

ISBN : 978-602-52468-3-8

PROSIDING



Seminar Nasional Fisika Makassar 2018

Penguatan Riset dan Pendidikan Fisika
untuk Indonesia Maju

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar, 3 Juli 2018



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL FISIKA MAKASSAR 2018 (SNF MAKASSAR 2018)

“Penguatan Riset dan Pendidikan Fisika untuk Indonesia Maju”

3 Juli 2018
Universitas Hasanuddin
Makassar, Indonesia

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin**

ISBN : 978-602-52468-3-8
Diterbitkan : 27 September 2018

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL FISIKA MAKASSAR 2018 (SNF MAKASSAR 2018)

Tim Reviewer :

Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si
Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc.
Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc.
Dr. Sri Suryani, DEA

Tim Editor :

Paulus Lobo Gareso, M.Sc., Ph.D.
Dr. Arifin, M.T.

Layout :

Sultan, S.Si.

Cover Design :

Muhammad Fauzi Mustamin, S.Si.

Diterbitkan Oleh :

Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin
Alamat : Gedung Sains (SB) FMIPA UNHAS
Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 10,
Tamalanrea, Makassar.

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang

© Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin

KATA PENGANTAR KETUA PANITIA

Puji syukur ke hadirat Tuhan yang Maha ESA atas segala limpahan rahmat, hidayah serta perlindungan, pertolongan dan ridho-Nya kepada kita semua sehingga dapat melaksanakan Seminar Nasional Fisika 2018.

Seminar Nasional Fisika ini merupakan wadah temu ilmiah berkala yang diselenggarakan oleh Departemen Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin. Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan ilmu fisika, peran pendidikan fisika dan terapan fisika di berbagai universitas dan instansi lainnya di seluruh Indonesia. Sebagai forum interaksi, kolaborasi dan integrasi antara dosen, peneliti dan praktisi fisika. Melalui Seminar Nasional ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dan berperan aktif dalam *Penguatan Riset dan Pendidikan Fisika untuk Indonesia Maju* .

Ucapan terima kasih kepada seluruh pihak baik kepada Dekan FMIPA, Ketua Departemen Fisika, Dosen Departemen Fisika serta Civitas Akademika Fisika Unhas yang telah meluangkan waktu untuk bekerja sehingga kegiatan ini dapat terlaksana. Apresiasi kepada seluruh peserta seminar dari berbagai perguruan tinggi negeri dan swasta serta instansi lain yang telah berpartisipasi dalam kegiatan seminar nasional ini. Kami mohon maaf apabila dalam penyelenggaraan seminar masih terdapat kesalahan dan kekurangan.

Makassar, 23 September 2018
Ketua Panitia SNF Makassar 2018
FMIPA UNHAS

Paulus Lobo Gareso, M.Sc., Ph.D.

**SAMBUTAN KETUA DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MIPA UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT ESA atas segala limpahan rahmat, hidayah serta perlindungan, pertolongan dan ridho-Nya kepada kita atas terselenggaranya Seminar Nasional Fisika 2018 sebagai forum interaksi, kolaborasi antar dosen, peneliti, dan pemerhati fisika. Pada tahun ini Departemen Fisika mengangkat tema ***Penguatan Riset dan Pendidikan Fisika untuk Indonesia Maju*** melalui Seminar Nasional ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dan berperan aktif dalam pengembangan fisika kedepan.

Ucapan terima kasih kepada seluruh pihak baik kepada Pemateri Seminar, Dekan FMIPA, Ketua Panitia, Dosen Departemen Fisika serta Civitas Akademika Fisika Unhas yang telah menyukseskan kegiatan ini. Apresiasi tak lupa kami ucapkan kepada seluruh peserta seminar dari berbagai perguruan tinggi negeri dan swasta serta instansi lain yang telah berpartisipasi dalam kegiatan seminar nasional ini. Kami mohon maaf apabila dalam penyelenggaraan seminar masih terdapat kesalahan dan kekurangan.

Makassar, 23 September 2018
Ketua Departemen Fisika
FMIPA UNHAS

Dr. Arifin, M.T.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar Ketua Panitia	i
Sambutan Ketua Departemen Fisika	ii
Daftar Isi	iii

Ruang A

TMG-FA01	Studi Perbandingan Fotoluminisens Metode Sintesis Bottom Up Carbon Nanodots Berbahan Dasar Gula <i>Siti Fatimah, Silma Maulana Bilqis, Isnaeni, Dahlang Tahir</i>	1-5
TMG-FA02	Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Bahan Dinding Akustik <i>Nurlaela Rauf, Habibie HS.</i>	6-8
TMG-FA04	Medan Gravitasi Sumber Konformastatik Bermuatan <i>Ariansyah</i>	9-20
TMG-FA06	Prediksi Curah Hujan Bulanan Menggunakan Model Arima Musiman <i>Faradiba</i>	21-27
TMG-FA07	Perangkat Lunak Terbuka untuk Pengolahan Data Resistivitas 1D Konfigurasi Schlumberger <i>Muhammad Altin Massinai, Muhammad Fawzy Ismullah Massinai, Maria</i>	28-32
TMG-FA08	Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Menggunakan Teknik Pirolisis <i>Andi Ikhtiar Bakti, P. L. Gareso, Nurlaela Rauf</i>	33-36
TMG-FA09	Analisis Reflection Loss Menggunakan Metode Finite-Difference-Time-Domain (FDTD) untuk Aplikasi Absorpsi Gelombang Mikro <i>Muh. Fachrul Latief, Dahlang Tahir, Eko Juarlin</i>	37-41
TMG-FA11	Pendekatan Sistem Dinamik Kosmologi Dunia Brane pada Limit Energi Rendah dengan model Λ CDM <i>M. N. Gazali Yunus, L. M. Aldin Haswari, U. Al Qaeany, Bansawang B.J.</i>	42-46
TMG-FA12	Penentuan Sebaran Fluks Radiasi Sumber Titik dengan Metode Finite Difference <i>Yuniar P. Ismail, Eko Juarlin, Bansawang B.J.</i>	47-49
TMG-FA13	Karakterisasi Bioplastik dari Pati Labu Kuning dan Kitosan dengan Penambahan Variasi Komposisi Serbuk Polipropilena <i>Hafazhahniah Ibrahim, Hardianti, Rahma Anugrahwidya, Dahlang Tahir</i>	50-53

Ruang B

PEO-FB01	Pengembangan Metode Kerja Praktikum Melalui Pendekatan Keterampilan Proses Sains <i>Suhardiman, Rafiqah, Lisdayanti, Anas</i>	54-58
PEO-FB04	Efektivitas Pengajaran Ilmu Alam berbasis Online di SMAN 3 Gowa, Sulawesi Selatan <i>Wira Bahari Nurdin, Sri Suryani, Nur Hasanah, Tasrief Surungan, Bansawang B.J., Nurlaela Rauf, P. L. Gareso, Eko Juarlin</i>	59-61
PEO-FB05	Analisis Intensitas Cahaya Lampu LED pada Rumpon Elektronik <i>A. Arifin, Asri, Muhammad yunus, Metusalach, Syamsir Dewang</i>	62-65
PEO-FB06	Uji Sensitivitas Sensor Getaran Berbasis Serat Optik Polimer Menggunakan Metode <i>Backscattering</i> dan <i>Macrobending</i> <i>Radha Hartina Putri, A. Arifin</i>	66-70
PEO-FB07	Karakterisasi Sensor Berbasis Serat Optik Plastik untuk Pengukuran Kadar Alkohol <i>Sahril, A. Arifin, Bidayatul Armynah, Muhammad Yunus</i>	71-76
PEO-FB08	Uji Sensitivitas Sensor Ketinggian Air menggunakan Serat Optik Plastik <i>Ruwaidah IL, A. Arifin</i>	77-79
PEO-FB09	Karakterisasi Sensor Kontraksi Otot Berbasis Plastik Konfigurasi Sinusoidal dan <i>Loop</i> <i>Noviana, A. Arifin</i>	80-82
PEO-FB10	Uji Sensitivitas Sensor pH Berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi U dan Gamma <i>Hardianti, A. Arifin</i>	83-86
PEO-FB11	Karakterisasi Sensor Suhu menggunakan Serat Optik Polimer dengan Konfigurasi U dan Gamma <i>Nur Afni Saharuddin, A. Arifin</i>	87-90
PEO-FB12	Efisiensi Sintesis daun Sirih Merah pada Rakitan DSSC Berbasis Semikonduktor ZnO-SiO ₂ <i>Rahma Anugrahwidya, Nurul Awaliyah Muhammad, Nurdiana, Dahlang Tahir</i>	91-93
PEO-FB13	Penyediaan Air Minum dari Air Payau Berbasis Tenaga Surya untuk Rumah Tambak <i>Bidayatul Armynah, Syahril Mahmud</i>	94-98

PEO-FB14	Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut dan Arus Laut Menggunakan Metode Nozzle dan Turbin Savonius Sebagai Sumber Energi Alternatif <i>A. S. Hanifa Wahyuni, L. M. Aldin Haswari, Kasmita, Dahlang Tahir</i>	99-102
PEO-FB15	Analisis Efisiensi Turbin Angin Mikro Poros Horizontal Model Airfoil Bw3 sebagai Penghasil Energi Listrik dengan Metode Wind-Funnel <i>Indriani, Nurhidayah, Kiki Rizkiyah Amaliyah, Dahlang Tahir</i>	103-106

Ruang C

BML-FC01	Pengaruh Radiasi Cahaya Tampak pada Pertumbuhan Tanaman Pacar Air (<i>Impatiens Basalmina L.</i>) dan Jumlah Klorofil Tanaman Glodokan Tiang (<i>Polyalthea Longifolia</i>) <i>Sri Suryani, Astrid Sri Wahyuni Sumah</i>	107-110
BML-FC02	Pengaruh Ukuran Slice Teknik terhadap Nilai CTDI dengan Menggunakan Detektor Ionisasi Chamber <i>Rostini Ali, Bualkar Abdullah, Dahlang Tahir</i>	111-113
BML-FC03	Pengaruh Tegangan Tabung Tinggi terhadap Kualitas Gambar, Dosis Radiasi, dan Deteksi Daya Kontras Rendah pada CT Kepala <i>Jumriah, Syamsir Dewang, Bualkar Abdullah, Dahlang Tahir</i>	114-117
BML-FC04	Studi Linearitas Nomor CT dan dan Noise pada Berbagai Ukuran Rekonstruksi Gambar CT Scan <i>Mulyadin, Bualkar Abdullah, Dahlang Tahir</i>	118-120
BML-FC05	Evaluasi Quality Assurance Parameter Signal Noise Ratio (SNR) pada MRI 1.5 Tesla di Rumah Sakit Awal Bros Makassar <i>Purwanto, Bualkar Abdullah, Dahlang Tahir</i>	121-129
BML-FC06	Analisis Dosis Radiasi CT Scan Fantom Kepala pada Posisi Titik yang Berbeda <i>Asmiati Amir, Sri Suryani, Bualkar Abdullah, Dahlang Tahir</i>	130-133
BML-FC07	Pengaruh Faktor Ekspose terhadap Derau Citra Berbasis Citra CT Scan Multislice <i>Nur Hafni Zain, Bualkar Abdullah, Halmar Halide</i>	134-137
BML-FC08	Analisa Nilai Penyimpangan Parameter Uji Pesawat Sinar-X Konvensional di Rumah Sakit Wilayah Provinsi Sulawesi Selatan <i>Ilham Bahtiar, Bualkar Abdullah, Dahlang Tahir</i>	138-141

BML-FC09	Pengukuran Intensitas Gelombang Ultrasonik yang Terserap pada Pemeriksaan Kehamilan <i>Siti Nurul Rahma, Sri Suryani, Wira Bahari Nurdin, Normawati</i>	142-145
BML-FC10	Kontur Sederhana Distribusi Fluks Partikel Radiasi Brakiterapi untuk Geometri Sumber Berbentuk Garis pada Program Aplikasi Scilab <i>Hafazhahniah Ibrahim, Eko Juarlin, Nur Hasanah, Agustina Yahya, Tasrief Surungan</i>	146-149
BML-FC11	Rancangan Bangun Algoritma Deteksi Penyakit Kulit Menggunakan Metode Segmentasi Warna <i>M. Arif Dian Ramadhan, Nurkhaliq Putra Maulana, Said Syamil Amas, Eko Juarlin</i>	150-152
BML-FC12	Pengaruh Koefisien Atenuasi Jaringan terhadap Sebaran Fluks Radiasi dari Brakiterapi pada Program Aplikasi Scilab untuk Kasus <i>Breast Cancer</i> <i>Agustina Yahya, Eko Juarlin, Nur Hasanah, Hafazhahniah Ibrahim, Tasrief Surungan</i>	153-158
BML-FC13	Uji Karakteristik Fungsi Black White pada Pendeteksian Tepi Menggunakan Fuzzy Logic <i>Uvi Damayanti, Eko Juarlin, Tasrief Surungan</i>	159-162
BML-FC14	Pengukuran Radio Aktivitas Alam dalam Gua menggunakan Detektor Jejak Nuklir CR-39 <i>Syamsir Dewang, Martono Manda, Bualkar Abdullah, Bannu, Syarbaini</i>	163-167
Indeks		168-169

Studi Perbandingan Fotoluminisens Metode Sintesis *Bottom Up* Carbon Nanodots Berbahan Dasar Gula

Siti Fatimah^{1*}, Silma Maula Bilqis², Isnaeni³, Dahlang Tahir¹

¹Prodi Fisika, FMIPA Universitas Hasanuddin, Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10, Tamalanrea, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

²Prodi Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta, Jalan Colombo No. 1, Karang Malang, Caturtunggal, Sleman, DI Yogyakarta, Indonesia

³Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jalan Kawasan Puspittek No. 441-442, Setu, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

Abstrak

Sintesis *carbon nanodots* (CDs) berbahan dasar gula pasir dengan konsentrasi yang berbeda menggunakan metode *bottom up* telah dilakukan. Metode *bottom up* yang digunakan yaitu metode pemanasan *microwave* dan *hydrothermal*. Karakterisasi fotoluminisens (PL) digunakan untuk menunjukkan sifat optik CDs. Perbandingan PL dari CDs gula yang disintesis menggunakan metode pemanasan *microwave* dan metode pemanasan *hydrothermal* digunakan untuk mengetahui metode yang tepat dalam mensintesis CDs. Hasil karakterisasi PL menunjukkan CDs gula yang disintesis menggunakan metode *microwave* memiliki panjang gelombang yang besar dan intensitas pendaran yang tinggi dibandingkan CDs gula yang disintesis menggunakan metode *hydrothermal* untuk masing-masing konsentrasi yang berbeda. Besarnya panjang gelombang dan tingginya intensitas pendaran mengindikasikan bahwa CDs memiliki pendaran yang kuat dan stabil. Hal ini menunjukkan bahwa metode *microwave* adalah metode yang tepat untuk mensintesis CDs dengan intensitas pendaran yang kuat, ekonomis, efektif, dan efisien.

Kata Kunci: *carbon nanodots*, fotoluminisens, metode *hydrothermal*, metode *microwave*.

1. PENDAHULUAN

Carbon nanodots (CDs) adalah material berpendar dalam skala nano yang pertama kali ditemukan melalui pemurnian *single-walled carbon nanotubes* (SW-CNT) pada tahun 2004¹. CDs memiliki kelebihan dari beberapa jenis karbon lainnya seperti *graphene*, *fullerene*, dan *carbon nanotubes* yaitu memiliki sifat fotoluminisens yang kuat, toksisitas yang rendah dan bahan baku yang melimpah di alam²⁻³. Kelebihan yang dimiliki CDs tersebut menarik banyak peneliti untuk mengkaji lebih dalam tentang CDs, mulai dari mengembangkan metode sintesis hingga bervariasi sumber karbonnya, baik berupa bahan kimia, organik maupun limbah seperti *nitric acid*⁴, kedelai⁵, bubuk kopi⁶, dan limbah jeruk⁷.

Beberapa metode sintesis CDs kini telah dikembangkan. Metode dalam sintesis CDs secara umum diklasifikasikan ke dalam dua cara, yaitu metode *top-down* dan *bottom up*². Metode *top-down* merupakan metode sintesis secara fisika meliputi *laser ablation*⁶ dan *arc*

*discharge*⁴. Sedangkan metode *bottom-up* merupakan metode sintesis secara kimiawi meliputi *electrochemical*⁴, *hydrothermal*⁵, dan *microwave*⁷.

Metode sintesis yang sering digunakan karena proses yang singkat dan ekonomis adalah metode *bottom up* meliputi *microwave* dan *hydrothermal*. Metode *microwave* merupakan metode sintesis CDs dengan proses pemanasan menggunakan gelombang *micro*². Gelombang *micro* yang dihasilkan dapat mempermudah dan mempercepat proses sintesis CDs. Sedangkan metode *hydrothermal* merupakan metode sintesis pemanasan seperti halnya metode *microwave* namun prinsip pemanasannya menggunakan kadar oksigen rendah⁸.

Pada eksperimen ini kami fokus membandingkan sifat optik berupa karakterisasi fotoluminisens (PL) pada CDs gula dengan konsentrasi yang berbeda terhadap dua metode sintesis yaitu *microwave* dan *hydrothermal* untuk mendapatkan CDs yang efisien, efektif, dan ekonomis, serta memiliki pendaran yang kuat.

*Email : fatimahsamsul02@gmail.com

2. BAHAN DAN METODA

Bahan. Bahan dasar sintesis CDs berasal gula pasir GULAKU Premium dari PT Sweet Indolampung (Indonesia). Sintesis dimulai dengan pembuatan larutan gula pasir dengan komposisi gula yang berbeda untuk mendapatkan konsentrasi yang bervariasi. Komposisi pertama yaitu 10 gram gula, komposisi kedua yaitu 20 gram gula, dan komposisi ketiga yaitu 40 gram gula, yang masing-masing dilarutkan ke dalam 250 ml aquades. Gula pasir dan aquades diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Komposisi pertama menghasilkan konsentrasi larutan gula sebesar 18 mg/ml (K1), komposisi kedua yaitu 22 mg/ml (K2), dan komposisi ketiga yaitu 31 mg/ml (K3).

Metode Microwave. Sintesis CDs dengan metode *microwave* untuk masing-masing komposisi dilakukan terpisah dengan langkah yang sama. Sampel dituangkan ke dalam gelas *beaker* sebanyak 50 ml lalu dimasukkan ke dalam *microwave* selama 40 menit untuk proses pemanasan menjadi CDs. Sampel dihasilkan berupa kerak pada dasar gelas *beaker*. Kerak tersebut didinginkan dalam suhu ruang kemudian dilarutkan ke dalam aquades sebanyak 100 ml sambil diaduk secara perlahan. Larutan tersebut selanjutnya disentrifugasi selama 30 menit untuk memisahkan larutan CDs dengan endapan karbon.

Metode Hydrothermal. Sintesis CDs dengan metode *hydrothermal* untuk masing-masing komposisi dilakukan terpisah dengan langkah yang sama. Sampel sebanyak 30 ml dituangkan ke dalam *autoclave* dan dipanaskan dalam oven selama 5 jam pada suhu 150 °C untuk proses pemanasan menjadi CDs (proses *hydrothermal*) dan proses *cooling down* selama kurang lebih 16 jam dalam suhu ruang. Sampel selanjutnya disentrifugasi selama 30 menit untuk memisahkan larutan CDs yang dihasilkan dengan endapan karbon.

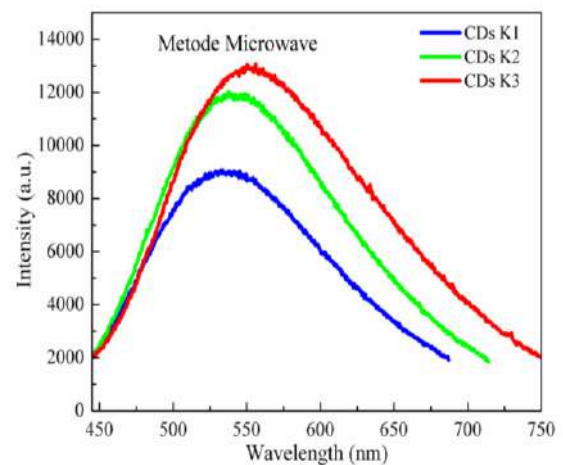
Karakterisasi. Hasil CDs gula dari masing-masing komposisi yang telah disintesis menggunakan metode *microwave* dan *hydrothermal* selanjutnya dikarakterisasi menggunakan alat uji PL dengan setup yang terdiri dari Laser Pico Model LDH-D-C-420 dengan panjang gelombang 400-700 nm, 3 lensa objektif, fiber optik, spectrometer MAYA 2000 PRO *Ocean Optics*, komputer untuk merekam data hasil PL dan kuvet sebagai tempat sampel CDs. Masing-masing

CDs diambil sebanyak 2 ml dengan konsentrasi larutan sampel yang sama untuk selanjutnya dilakukan pengujian PL. Karakterisasi PL dilakukan untuk menganalisis sifat optik CDs berupa panjang gelombang dan intensitas pendaran CDs yang dihasilkan dari masing-masing komposisi gula untuk metode sintesis yang berbeda.

3. HASIL DAN BAHASAN

3.1. Metode Microwave.

Hasil CDs yang telah disintesis menggunakan metode pemanasan *microwave* selanjutnya dikarakterisasi menggunakan uji PL. Berikut hasil spektrum PL yang dihasilkan masing-masing konsentrasi gula yang berbeda.

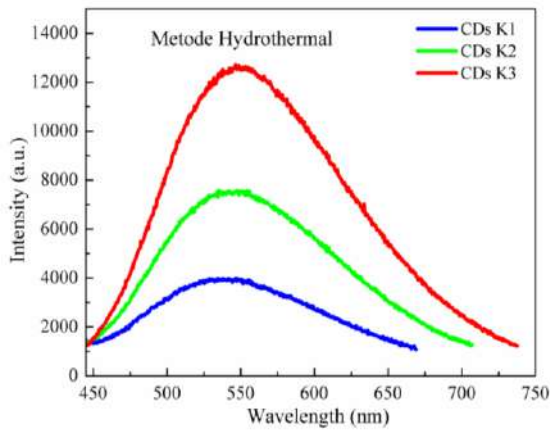


Gambar 1. Grafik PL CDs gula dengan konsentrasi berbeda yang disintesis menggunakan metode *microwave*.

Pada gambar 1 menunjukkan hasil PL masing-masing konsentrasi berada pada panjang gelombang dan intensitas berbeda yang dieksitasi pada panjang gelombang 420 nm. Panjang gelombang yang dihasilkan dari pendaran K1 yaitu 538 nm, K2 yaitu 544 nm dan K3 yaitu 556 nm. Sedangkan intensitas pendaran K1 yaitu 9060 a.u., K2 yaitu 11911 a.u., dan K3 yaitu 12996 a.u.. Dari data ini menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi gula pada metode sintesis *microwave* berpengaruh pada panjang gelombang dan pendaran CDs yang dihasilkan. Semakin besar konsentrasi gula yang digunakan maka akan semakin besar pula panjang gelombang dan intensitas pendaran CDs.

3.2. Metode Hydrothermal

Hal yang sama juga ditunjukkan dari hasil karakterisasi PL CDs gula yang disintesis menggunakan metode *hydrothermal*.



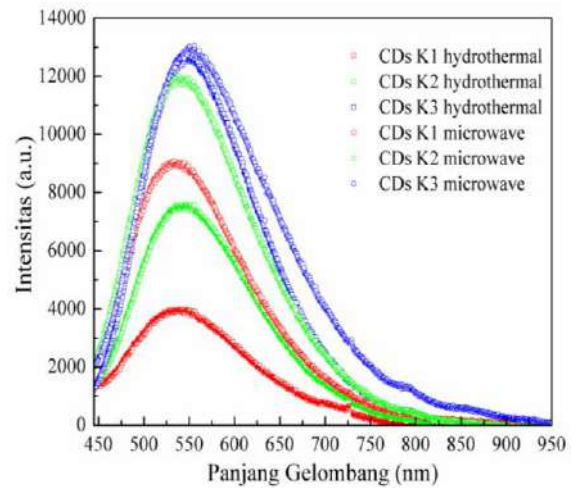
Gambar 2. Grafik fotoluminisens CDs gula dengan konsentrasi berbeda yang disintesis menggunakan metode *hydrothermal*.

Pada gambar 2, penambahan konsentrasi CDs mengakibatkan peningkatan panjang gelombang dan intensitas pendaran secara signifikan. CDs K1 memiliki panjang gelombang 528 nm dengan intensitas pendaran 3993 a.u., K2 memiliki panjang gelombang 536 nm dengan intensitas 7608 a.u., sedangkan K3 mengalami peningkatan yang signifikan dengan panjang gelombang 547 nm dengan intensitas pendaran 12641 a.u..

Hal ini menunjukkan besarnya konsentrasi sumber karbon CDs akan meningkatkan jumlah partikel CDs, baik pada metode pemanasan *microwave* maupun metode pemanasan *hydrothermal*.

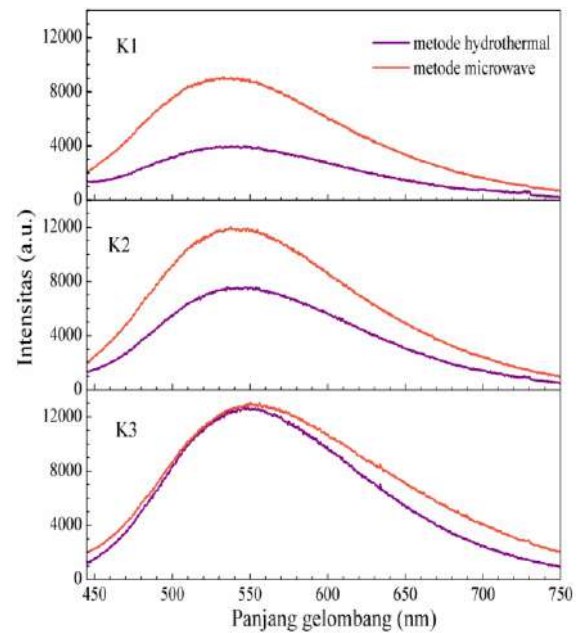
3.3. Perbandingan Metode Microwave dan Metode Hydrothermal

Karakterisasi PL CDs yang disintesis dari gula pasir dengan berbagai konsentrasi telah dilakukan, baik menggunakan metode *microwave* maupun metode *hydrothermal*. Kedua metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan dalam mensintesis CDs. Namun kami mencari metode yang tepat diantara kedua metode tersebut untuk mensintesis CDs dari gula pasir yang lebih efektif, efisien dan memiliki pendaran yang kuat dan stabil. Perbandingan kedua metode sintesis dalam karakterisasi PL untuk masing-masing konsentrasi CDs gula ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



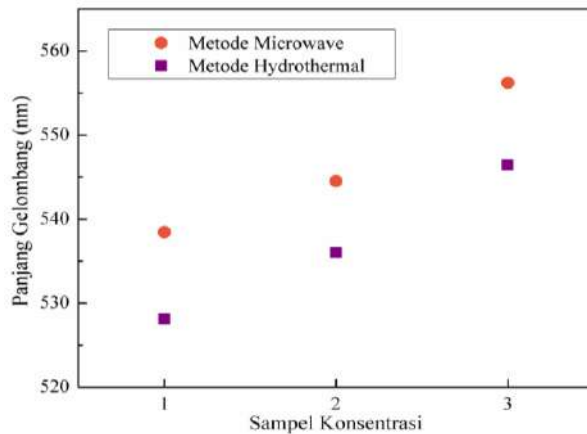
Gambar 3. Grafik PL CDs gula menggunakan metode *microwave* dan metode *hydrothermal*

Grafik diatas menunjukkan perbedaan pendaran yang signifikan antara CDs yang disintesis menggunakan metode *microwave* dengan metode *hydrothermal*. Perbedaan panjang gelombang dan intensitas pendaran CDs setiap konsentrasi gula dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

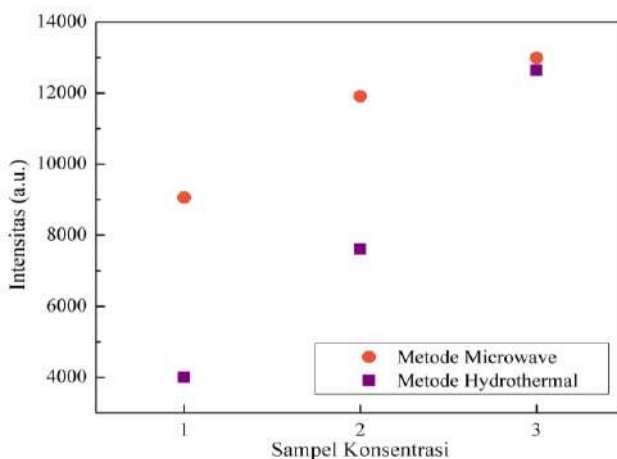


Gambar 4. Grafik perbandingan PL metode *microwave* dengan metode *hydrothermal* pada setiap konsentrasi CDs

Gambar 4 menunjukkan perbedaan puncak grafik hasil karakterisasi PL dari metode *microwave* dan *hydrothermal*. Pada K1 terdapat perbedaan peak PL yang signifikan antara CDs yang disintesis menggunakan metode *microwave* dengan metode *hydrothermal*. CDs yang disintesis menggunakan metode *microwave* memiliki grafik yang lebih tinggi dan lebar dibandingkan CDs yang disintesis menggunakan metode *hydrothermal*. Hal yang sama juga terjadi pada K2 dan K3. Namun pada K3, tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Besarnya panjang gelombang dan intensitas pendaran dari CDs yang disintesis menggunakan *microwave* mengindikasikan bahwa *surface state* sebagai penghasil pendaran pada CDs⁹⁻¹¹ lebih besar dibandingkan CDs yang disintesis menggunakan metode *hydrothermal*.



(a)



(b)

Gambar 5. Perbandingan (a) panjang gelombang dan (b) intensitas pendaran CDs gula menggunakan metode *microwave* dengan metode *hydrothermal*

Perbedaan lebih detail panjang gelombang dan intensitas pendaran CDs yang disintesis menggunakan metode *microwave* dan metode *hydrothermal* dapat dilihat pada gambar 5a dan 5b. Sintesis CDs menggunakan metode *microwave* memiliki panjang gelombang dan intensitas pendaran yang lebih tinggi dibandingkan metode *hydrothermal*. Hal ini disebabkan karena metode pemanasan *microwave* menyediakan energi dari gelombang *micro* yang berkelanjutan dan homogen saat pemanasan sampel. Dibandingkan dengan metode pemanasan menggunakan kadar oksigen rendah (keadaan tertutup) pada *hydrothermal*, metode pemanasan terbuka pada *microwave* lebih unggul karena proses untuk penggetaran (vibrasi) rantai-rantai karbon menjadi CDs menjadi lebih efektif dan bereaksi dalam waktu yang sangat singkat.

4. KESIMPULAN

Sintesis CDs dengan konsentrasi gula yang berbeda dengan menggunakan metode sintesis *bottom-up* yaitu metode *microwave* dan metode *hydrothermal*, berhasil dilakukan. Perbandingan hasil karakterisasi PL pada masing-masing konsentrasi gula untuk kedua metode dilakukan untuk mengetahui metode pemanasan sederhana yang terbaik dalam mensintesis CDs gula dengan pendaran yang kuat dan stabil. Hasil karakterisasi PL menunjukkan bahwa metode pemanasan *microwave* lebih unggul dalam mensintesis CDs dibandingkan metode pemanasan *hydrothermal*. Hal ini dilihat dari besarnya nilai panjang gelombang dan intensitas pendaran yang dihasilkan metode *microwave* lebih tinggi dibandingkan metode *hydrothermal*. Dari perbandingan kedua metode tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa metode *microwave* adalah metode yang tepat untuk mensintesis CDs yang ekonomis, efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

1. Xu, X., Ray, R., Gu, Y., Ploehn, H. J., Gearheart, L., Raker, K., Scrivens, W. A., 2004. Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon nanotube Fragments. *J. Am. Chem. Soc.* 126, 12736–12737.
2. Baker, S. N., Baker, G. A., 2010. Luminescent carbon nanodots: Emergent nanolights. *Angew. Chem. Int. Ed.* 49, 6726–6744.

- Zhu, S., Meng, Q., Wang, L., Zhang, J., Song, Y., Jin, H., Zhang, K., Sun, H., Wang, H., Yang, B., 2013. Highly photoluminescent carbon dots for multicolor patterning, sensors, and bioimaging. *Angew. Chem.* 2013, 4045-4049.
- Hsu, P. C., Shih, Z. Y., Lee, C. H., Chang, H. T., 2012. Synthesis and Analytical Applications of Photoluminescent Carbon Nanodots. *Green Chem.* 14, 917-920.
- Zhu, C., Zhai, J., Dong, S., 2012. Bifunctional Fluorescent Carbon Nanodots: Green Synthesis Via Soy Milk and Application as Metal-Free Electrocatalysts for Oxygen Reduction. *Chem. Commun.* 48, 9367-9369.
- Reyes, D., Camacho, M., Mayorga, M., Weathers, D., Salamo, G., Wang, Z., Neogi, A., 2016. Laser Ablated Carbon Nanodots for Light Emission. *Nanoscale Res. Lett.* 11, 424.
- Fatimah, S., Isnaeni, Tahir, D., 2017. Sintesis dan Karakterisasi Fotoluminisens Carbon Dots Berbahan Dasar Organik dan Limbah Organik. *Positron* 7, 37-41.
- Peng, H., Travas, S. J., 2009. Simple Aqueous Solution Route to Luminescent Carbogenic Dots from Carbohydrates. *Chem. Mater.* 21, 5563–5565.
- Fatimah, S., Isnaeni, Tahir, D., 2018. Assisted Surface-state Recombination of Orange-peel Carbon Nanodots in Various Matrices. *Makara* 22, 29-34.
- Bolton, O., Lee, K., Kim, H. J., Lin, K. Y., Kim, J., 2011. Activating efficient phosphorescence from purely organic materials by crystal design. *Nat. Chem.* 3, 205–210.
- Deng, Y., Zhao, D., Chen, X., Wang, F., Song, H., Shen, D., 2013. Long lifetime pure organic phosphorescence based on water soluble carbon dots. *Chem. Commun.* 49, 5751-5753.

Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Bahan Dinding Akustik

Nurlaela Rauf*, Habibie HS

Universitas Hasanuddin, Jalan Perintis Kemerdekaan KM 10, Makassar, 90245.

Abstrak

Telah dibuat pelat akustik dengan permukaan datar dari bahan semen dan sekam padi dengan variasi komposisi yang berbeda dan sesuai dengan mutu standar bahan bangunan SNI. Pada pelat dinding akustik dilakukan pengukuran tingkat intensitas bunyi untuk menghitung reduksi bunyi, tingkat penyerapan bunyi dan waktu dengung, serta uji fisik berupa massa jenis, daya serap air, porositas. Hasil pengujian menunjukkan variasi sekam padi dan semen mempengaruhi sifat penyerapan bunyi dan sifat fisis pelat akustik. Dan ada hubungan yang signifikan antara massa jenis, porositas dan tingkat penyerapan bunyi pada dinding akustik.

Kata Kunci: pelat akustik, penyerapan bunyi, porositas, reduksi bunyi, waktu dengung.

1. PENDAHULUAN

Pengendalian bising dapat dilakukan dengan meredam sumber bising, membuat tembok penghalang, dan memakai material peredam. Penggunaan material peredam bising masih jarang digunakan karena harganya relatif mahal. Maka perlu dilakukan penelitian untuk mencari bahan baku yang mudah didapat dan bermutu baik.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan dinding akustik yang murah dan mudah diperoleh bahannya. Papan akustik dari limbah tongkol Jagung¹, dari serbuk kayu kelapa², dari serat eceng gondok³. Sekam padi dapat dijadikan bahan utama pembuatan dinding akustik dengan menggunakan semen sebagai perekat. Sekam padi merupakan limbah pertanian, mudah didapatkan, dan bermutu baik (permukaan keras, kasar dan tak larut).

2. BAHAN DAN METODA

Pelat akustik yang dibuat terdiri dari campuran semen Portland, sekam padi dan air yang berfungsi sebagai pelarut. Ada dua tipe komposisi campuran yang dibuat dalam perbandingan volum antara semen, sekam padi, air. Tipe A dengan semen : sekam padi : air = 1 : 4 : 1. Tipe B dengan semen : sekam padi : air = 1 : 5 : 1. Pelat yang berbentuk persegi panjang dengan ketebalan 1,5 cm dikeringkan pada suhu ruang sebelum dijemur di bawah sinar matahari hingga kering.

Pelat akustik yang sudah kering disusun pada dinding dalam ruang pengujian akustik. Pengukuran tingkat intensitas bunyi menggunakan alat *sound level meter*. Dilakukan pengujian sifat fisis pelat akustik sekam padi dan disesuaikan dengan mutu standar bahan bangunan (SNI). Pengujian berupa susut kering, massa jenis, daya serap air dan porositas dari pelat akustik sekam padi.

Pengukuran tingkat intensitas bunyi dilakukan dengan menggunakan alat *sound level-meter* pada frekuensi 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz dan 4000 Hz yang merupakan frekuensi audio⁴. Pengukuran tingkat intensitas bunyi yang langsung dari sumber (TIBs) dengan meletakkan alat 1 cm dari sumber bunyi. Sumber bunyi diletakkan dalam ruang pengujian.

Untuk mengamati gejala perambatan gelombang bunyi dalam ruang pengujian, diukur tingkat intensitas bunyi pada jarak tertentu dari sumber untuk setiap tipe pelat akustik (tipe A dan tipe B). Untuk menentukan reduksi bunyi dari pelat/dinding akustik sekam padi, pertama-tama mengukur tingkat intensitas bunyi sebelum pelat akustik sekam padi dipasang (L_0) dalam ruang pengujian, lalu pengukuran kedua dilakukan setelah pelat akustik dipasang dalam ruang pengujian (L_1) yaitu pada dinding, alas dan penutup (langit-langit). Selisih hasil pengukuran merupakan reduksi bunyi yang dihasilkan ($SR = L_0 - L_1$).

Hal penting lainnya adalah kemampuan pelat akustik sekam padi menyerap energi bunyi yang tiba dipermukaan dinding akustik itu. Penyerapan bunyi : $a = \frac{(L_0 - L_1)}{L_0}$. Hal ini bergantung dari sifat

*Email : n-rauf@fmipa.unhas.ac.id

material, frekuensi bunyi dan sudut gelombang bunyi ketika mengenai permukaan material (pelat akustik). Kemampuan menyerap bunyi akan semakin besar jika material berpori dan permukaan tidak rata. Sifat material ini dimiliki oleh pelat akustik sekam padi.

3. HASIL DAN BAHASAN

Hasil uji fisis pelat dibandingkan dengan standar mutu SNI dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisis pelat

Sifat fisis	Tipe A	Tipe B	SNI
Susut kering (%)	0.83	0.82	1.00 (maks)
Massa jenis (g/cm ³)	0.77	0.72	
Daya serap air (%)	22.14	23.07	35.00 (maks)
Porositas (%)	21.69	22.24	

Dari tabel 1 terlihat bahwa semakin besar persentasi sekam padi yang digunakan maka akan diperoleh pelat akustik yang lebih ringan dan berpori. Pori-pori digunakan untuk menyerap energi bunyi yang tiba pada pelat akustik.

Pengukuran tingkat intensitas bunyi dilakukan pada frekuensi 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, dan 4000 Hz⁴. Adapun tingkat intensitas bunyi yang terukur pada jarak 80 cm dan 160 cm dari sumber bunyi untuk pelat akustik tipe A dan tipe B dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Tingkat Intensitas Bunyi

Tipe	A		B	
	80 cm	160 cm	80 cm	160 cm
Frekuensi	Tingkat Intensitas Bunyi (dB)			
125 Hz	71.58	68.88	67.22	62.62
250 Hz	77.16	69.76	70.54	65.30
500 Hz	82.80	71.98	75.64	71.54
1000 Hz	89.96	80.56	84.20	79.78
2000 Hz	84.68	75.50	81.90	75.32

4000 Hz 94.48 85.82 89.70 80.66

Data hasil pengukuran Tingkat Intensitas Bunyi pada Tabel 2 menunjukkan peningkatan tingkat intensitas bunyi sebanding dengan peningkatan frekuensi yang digunakan sebagai sumber bunyi. Penentuan jarak titik pengukuran dari sumber bunyi juga mempengaruhi besar tingkat intensitas yang terukur untuk kedua tipe pelat akustik. Pada frekuensi dan jarak yang sama terlihat pelat tipe B lebih rendah tingkat intensitas bunyi yang terukur jika dibandingkan dengan pelat tipe A. Pelat tipe B memiliki persentasi porositas yang lebih besar sehingga mampu untuk menyerap energi bunyi lebih besar.

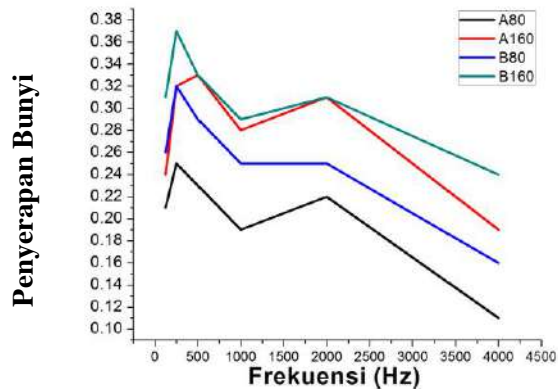
Reduksi bunyi yang diperoleh dari dinding akustik untuk tipe A dan tipe B pada pengukuran jarak dan frekuensi yang bervariasi dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Reduksi bunyi pada dinding akustik.

Tipe	A		B	
	80 cm	160 cm	80 cm	160 cm
Frekuensi	Tingkat Intensitas Bunyi (dB)			
125 Hz	8.06	11.20	12.42	17.46
250 Hz	8.40	8.44	15.02	12.90
500 Hz	5.24	16.72	12.40	17.16
1000 Hz	4.00	17.38	9.76	18.16
2000 Hz	15.66	24.30	18.44	24.48
4000 Hz	15.08	20.28	19.86	25.44

Pelat akustik yang terbuat dari campuran semen dan sekam padi lebih efektif mereduksi bunyi pada frekuensi tinggi jika dibandingkan pada frekuensi rendah. Pelat akustik tipe B mampu mereduksi bunyi lebih tinggi dari tipe A karena tingkat porositas pelat tipe B lebih besar dari pelat tipe A. Ini merupakan sifat dari bahan berpori⁴. Pelat akustik sekam padi difungsikan sebagai dinding pada ruang simulasi. Pengukuran tingkat tekanan bunyi yang keluar dari sumber bunyi dibandingkan dengan tingkat tekanan bunyi setelah pelat akustik dipasang dalam ruang. Pengukuran dilakukan pada jarak 80 cm dan 160 cm dari sumber bunyi. Grafik penyerapan bunyi untuk

kedua tipe (A dan B) dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan penyerapan bunyi pelat tipe A dan tipe B pada pengukuran berjarak 80 cm dan 160 cm dari sumber bunyi.

Material pelat akustik tipe B memiliki kemampuan penyerapan bunyi lebih besar dari pelat tipe A untuk posisi pengukuran yang sama terhadap sumber bunyi. Hal ini sesuai dengan kerapatan massa dan porositas yang dimiliki oleh pelat tipe B. Hal yang sama diperoleh pada penelitian pada papan dari tongkol jagung¹.

4. KESIMPULAN

Sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai bahan pelat akustik dan memenuhi standar mutu sebagai bahan bangunan (SNI). Pengujian memperlihatkan kemampuan mereduksi bunyi hingga 25 dB dan penyerapan intensitas bunyi yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Obimita Ika Permatasari & Masturi, *Penentuan Koefisien Serap Bunyi Papan Partikel Dari Limbah Tongkol Jagung*. Jurnal Fisika Vol4 No.1, Mei 2014, p.11-16
2. Suhaemi Thamrin, Seni H.J.Tongkukut & As'ari, *Koefisien Serap Bunyi Papan Partikel Dari Bahan Serbuk Kayu Kelapa*, Jurnal Mipa Unsrat Online 2 (1), 2013, p.56-59
3. Vonny Febrita, Elvaswer, *Penentuan Koefisien Absorpsi Bunyi Dan Impedansi Akustik Dari Serat Alam Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) dengan menggunakan Metode Tabung*. Jurnal Ilmu Fisika (JIF), Vol 7 no.2, September 2015, p;45-49
4. Doelle, L.L.1993, *Akustik Lingkungan*. Terjemahan Lea Prasetyo, Erlangga, Jakarta.

Medan Gravitasi Sumber Konformastatik Bermuatan

Ariansyah*

Makassar, 90115, Sulawesi Selatan, Indonesia

Abstrak

Dalam makalah ini ditelusuri perumusan persamaan dan solusi medan gravitasi-elektromagnet oleh sumber konformastatik bermuatan. Sistem yang ditinjau adalah persamaan medan Einstein-Maxwell dengan komponen tensor Einstein yang memerikan geometri ruangwaktu konformastatik dan tensor energi-momentum yang mendeskripsikan medan elektromagnet. Ditinjau pula persamaan Maxwell di ruangwaktu melengkung yang menjelaskan fenomena medan elektromagnet dengan kehadiran gravitasi. Adapun untuk memperoleh solusi dari persamaan medan diambil asumsi berdasar realita fisis bahwa kelengkungan ruangwaktu dipengaruhi oleh distribusi massa dan energi yang memberikan keterjalinan antara fungsi metrik dan potensial elektrostatik. Interpretasi fisis dari solusi yang diperoleh didiskusikan kemudian.

Kata Kunci: medan gravitasi, persamaan medan einstein, ruangwaktu konformastatik

1. PENDAHULUAN

Teori medan terpadu merupakan salah satu masalah yang belum terselesaikan dalam fisika. Salah satu kajian yang umum menyajikan perpaduan interaksi fundamental adalah penelusuran solusi persamaan medan Einstein dalam Teori Relativitas Umum, sebuah konsepsi yang indah dan revolusioner dalam sains modern bahwa gravitasi adalah efek geometri ruangwaktu yang melengkung¹. Konsep perpaduan tersebut menjadi mungkin sebab persamaan medan Einstein memberikan jalinan antara gravitasi (yang ditinjau sebagai kelengkungan ruangwaktu) dengan medan lain yang direpresentasikan oleh formulasi tensor energi-momentum. Perpaduan yang terjadi tentunya berlangsung di ranah klasik.

Solusi pertama persamaan medan Einstein dengan kondisi tensor energi-momentum yang tidak lenyap (yang memadukan gravitasi dengan elektromagnet) adalah metrik Reissner-Nordstrom yang ditemukan secara terpisah oleh Hans Reissner pada 1916² dan Gunnar Nordström pada 1918³. Penyelesaian ini memberikan gambaran untaian ruangwaktu disekitar sumber statik yang bermuatan dan bersimetri bola. Akan tetapi, pada kenyataan bahwa setiap sumber gravitasi di alam ini pada dasarnya adalah berotasi, kemudian diajukan model yang lebih mendekati kenyataan yakni simetri aksial sampai akhirnya pada tahun 1965 Ezra Newmann berhasil menemukan solusi persamaan medan Einstein untuk kasus sumber bermuatan yang berotasi atau kemudian umum

dikenal sebagai metrik Kerr-Newmann⁴. Walau begitu, solusi sumber simetri aksial dengan mengambil syarat statik (simetri aksial statik) yang bermuatan juga telah ditinjau sebelumnya⁵⁻⁸. Salah satu *subclass* dari ruangwaktu aksial statik tanpa memasukkan aspek simetri spasial kemudian umum disebut sebagai ruangwaktu konformastatik (disebut demikian oleh J. L. Synge dalam bukunya). Keunikan dari ruangwaktu statik tersebut adalah pada elemen garisnya hanya terdapat satu fungsi untuk diidentifikasi kemudian⁹⁻¹¹. Hal tersebut kemudian menjadi dasar penulisan makalah ini dengan meninjau sumber bermuatan.

Sekali lagi, walaupun keberadaan objek astrofisika statik dan bermuatan terlampaui teoretis, perpaduan dua interaksi fundamental selalu menjadi sesuatu yang menarik untuk dikaji. Dalam makalah ini ditelusuri kembali persamaan medan gravitasi-elektromagnet oleh sumber konformastatik yang bermuatan dengan menghitung berbagai properti geometri dan materi-energi yang menjadi bagian dalam perumusan persamaan medannya.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Persamaan Medan Einstein

Persamaan medan Einstein diberikan oleh jalinan¹²:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \kappa T_{\mu\nu} \quad 1$$

Ruas kiri merupakan definisi dari tensor Einstein, $G_{\mu\nu}$ dengan $R_{\mu\nu}$ adalah tensor kelengkungan Ricci yang sajiannya diberikan oleh:

*Email : dewaphysics@gmail.com

$$R_{\mu\nu} = \partial_\alpha \Gamma_{\mu\nu}^\alpha - \partial_\mu \Gamma_{\alpha\nu}^\alpha + \Gamma_{\mu\nu}^\alpha \Gamma_{\beta\alpha}^\beta - \Gamma_{\mu\beta}^\alpha \Gamma_{\alpha\nu}^\beta \quad 2$$

$\Gamma_{\mu\nu}^\alpha$ merupakan simbol Christoffel jenis kedua:

$$\Gamma_{\mu\nu}^\alpha = \frac{1}{2} g^{\alpha\beta} (\partial_\mu g_{\nu\beta} + \partial_\nu g_{\alpha\mu} - \partial_\beta g_{\mu\nu}) \quad 3$$

$$\left. \begin{array}{l} \nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \nabla \times \mathbf{B} = -\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + 4\pi \mathbf{J} \end{array} \right\} 8$$

Adapun R adalah skalar Ricci, sedangkan $g_{\mu\nu}$ adalah tensor metrik, komponen dari suatu elemen garis yang memuat informasi tentang struktur geometri suatu ruangwaktu. Pada ruas kanan, κ adalah tetapan gravitasi Einstein dan $T_{\mu\nu}$ adalah tensor energi-momentum yang mendeskripsikan medan lain selain gravitasi. Meskipun dapat diperoleh dengan melakukan generalisasi dari ruangwaktu datar, secara praktis formulasi eksplisit bagi $T_{\mu\nu}$ dapat diperoleh melalui aksi Hilbert-Einstein¹²:

$$S = \int \sqrt{-g} (R - 2\kappa \mathcal{L}_M) d^4x \quad 4$$

Dengan $\sqrt{-g}$ merupakan determinan dari tensor metrik dan \mathcal{L}_M merupakan Lagrangian materi. Jika dilakukan variasi terhadap $g^{\mu\nu}$, suku pertama akan memberikan tensor Einstein, sedangkan suku kedua memberikan formulasi tensor energi-momentum:

$$T_{\mu\nu} = \frac{2}{\sqrt{-g}} \left[\frac{\partial(\sqrt{-g} \mathcal{L}_M)}{\partial g^{\mu\nu}} - \frac{\partial}{\partial x^\alpha} \left(\frac{\partial(\sqrt{-g} \mathcal{L}_M)}{\partial g_{,\alpha}^{\mu\nu}} \right) \right] \quad 5$$

Jika diambil trace dari tensor Einstein ($G_\mu^\mu = g^{\mu\nu} G_{\mu\nu}$) akan diperoleh hubungan antara skalar Ricci dan trace tensor energi-momentum sebagai:

$$R = \kappa T \quad 6$$

Yang jika disubstitusi kembali kedalam persamaan medna Einstein (1) akan diperoleh bentuk yang termodifikasi:

$$R_{\mu\nu} = \kappa (T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T) \quad 7$$

2.2. Persamaan Maxwell di Ruangwaktu Melengkung

Penjelasan bagi fenomena elektromagnetisme pada dasarnya dijelaskan secara gamblang melalui satu set persamaan Maxwell yang diberikan oleh empat buah persamaan:

Keempat persamaan tersebut dapat dikompaktifikasi dengan memperkenalkan sebuah tensor rank-2 anti-simetrik yang disebut sebagai tensor kuat medan¹³

$$F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu \quad 9$$

Dengan $A_\mu(\phi, \mathbf{A})$ merupakan potensial-4 yang terdiri dari potensial skalar dan potensial vektor-3 yang memainkan peranan bagi medan listrik dan medan magnet melalui definisi

$$\mathbf{E} = -\nabla\phi - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad \text{dan} \quad \mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad 10$$

Dengan demikian, dapat dirumuskan komponen lengkap bagi tensor kuat medan:

$$F_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & E_x & E_y & E_z \\ -E_x & 0 & -B_z & B_y \\ -E_y & B_z & 0 & -B_x \\ -E_z & -B_y & B_x & 0 \end{pmatrix} \quad 11$$

Komponen kontravariannya dapat diperoleh dengan melakukan kontraksi simbol:

$$F^{\alpha\beta} = \eta^{\alpha\mu} \eta^{\beta\nu} F_{\mu\nu} \quad 12$$

Dengan $\eta^{\mu\nu}$ merupakan tensor metrik ruang datar Minkowski. Dengan memperhatikan komponen tensor kuat medan (12) dapat dirumuskan jalinan persamaan Maxwell dalam bentuk kompak, yakni:

$$\partial_\alpha F^{\alpha\beta} = \frac{4\pi}{c} J^\beta \quad 13$$

Yang merupakan bentuk kompak bagi persamaan Maxwell non-homogen. Persamaan tersebut dapat pula diperoleh secara langsung melalui formalisme Euler-Lagrange dengan memilih Lagrangian¹³:

$$L = -\frac{1}{16\pi} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - \frac{1}{c} J^\mu A_\mu \quad 14$$

Selanjutnya karena yang akan ditinjau kemudian adalah fenomena medan elektromagnet dimana terdapat pengaruh gravitasi (ruang tidak datar), seluruh kuantitas yang telah dirumuskan diatas

mestilah digeneralisasi kedalam formulasi ruang waktu melengkung. Tensor metrik $\eta^{\mu\nu}$ diperluas menjadi tensor metrik ruang lengkung $g^{\mu\nu}$, sebagaimana turunan biasa ∂_μ juga diperluas menjadi turunan kovarian D_μ yang memuat suku ruangwaktu. Adapun Lagrangian disisipi $\sqrt{-g}$ untuk menjamin tetap skalar invarian. Walaupun demikian, perumusan bagi tensor kuat medan kembali sebagaimana persamaan (9) oleh sifat simetri simbol Christoffel¹².

$$F_{\mu\nu} = D_\mu A_\nu - D_\nu A_\mu = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu \quad 15$$

Kontraksi simbol (12) diperluas menggunakan tensor metrik ruangwaktu melengkung,

$$F^{\alpha\beta} = g^{\alpha\mu} g^{\beta\nu} F_{\mu\nu} \quad 16$$

Dalam makalah ini, kasus yang hendak ditinjau adalah area eksterior diluar sumber yang kemudian melenyapkan suku kedua persamaan (14) atau yang umum dikenal sebagai kasus elektrovakum¹⁴ sehingga Lagrangiannya tereduksi menjadi,

$$L = \sqrt{-g} \mathcal{L} = \sqrt{-g} \left(-\frac{1}{16\pi} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \right) \quad 17$$

Yang jika disubstitusi kedalam formulasi tensor energi-momentum (5) maka diperoleh sajian eksplisit tensor energi-momentum¹²:

$$T_{\mu\nu} = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} g_{\mu\nu} F^{\alpha\beta} F_{\alpha\beta} - g^{\alpha\beta} F_{\mu\alpha} F_{\nu\beta} \right) \quad 18$$

Yang jika disubstitusi kedalam persamaan (1) akan diperoleh jalinan lengkap Persamaan medan Einstein-Maxwell, yakni:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{\kappa}{4\pi} \left(\frac{1}{4} g_{\mu\nu} F^{\alpha\beta} F_{\alpha\beta} - g^{\alpha\beta} F_{\mu\alpha} F_{\nu\beta} \right) \quad 19$$

Adapun dengan perluasan turunan ∂_α menjadi D_α dan ketiadaan rapat arus sebagaimana telah disebutkan sebelumnya, persamaan Maxwell kovarian (13) kemudian menjadi:

$$D_\alpha F^{\alpha\beta} = \frac{1}{\sqrt{-g}} \partial(\sqrt{-g} F^{\alpha\beta}) = 0 \quad 20$$

2.3. Geometri Ruangwaktu Konformastatik

Secara matematis, ruangwaktu konformastatik dicirikan secara khas pada elemen garisnya dimana hanya terdapat satu fungsi metrik untuk ditemutebak kemudian. Elemen garis yang

dimaksud merupakan reduksi dari ruangwaktu konformastasioner yang mana dalam koordinat silinder diberikan oleh¹⁵⁻¹⁷,

$$ds^2 = f(dt - \omega d\varphi)^2 - \frac{1}{f}(d\rho^2 + dz^2 + \rho^2 d\varphi^2) \quad 21$$

Jika diambil limit statik ($\omega = 0$) dan mengganti f dengan $e^{2\psi}$ elemen garis diatas menjadi^{10,18}:

$$ds^2 = e^{2\psi}(dt)^2 - e^{-2\psi}(d\rho^2 + dz^2 + \rho^2 d\varphi^2) \quad 22$$

Dengan $x_0 = t$, $x_1 = \rho$, $x_2 = z$, $x_3 = \varphi$ dan ψ bergantung pada ρ , z , dan φ . Dibanding konstanta (beberapa literatur menggunakan V)^{9,11}, pemilihan fungsi metrik sebagai $e^{2\psi}$ lebih menyajikan kedalaman makna fisis dimana metrik akan kembali ke ruangwaktu Minkowski pada peninjauan titik sangat jauh dari sumber ($\psi \rightarrow 0$).

Sebagai *subclass* dari ruangwaktu aksial statik^{12,14},

$$ds^2 = e^{2\psi}(dt)^2 - e^{2(\gamma-\psi)}(d\rho^2 + dz^2) - \rho^2 e^{-2\psi} d\varphi^2 \quad 23$$

Elemen garis konformastatik (22) dapat pula diperoleh dengan mengambil nilai $\gamma = 0$. Adapun ψ bertransformasi menurut $\psi(\rho, z) \rightarrow \psi(\rho, z, \varphi)$.

3. HASIL DAN BAHASAN

3.1. Geometri Konformastatik

Untuk merumuskan ruas kiri persamaan (19), pada bagian ini akan dihitung terlebih dahulu beberapa properti geometri ruangwaktu konformastatik.

3.1.1. Simbol Christoffel

Berdasarkan elemen garis (22), terdapat tiga puluh komponen simbol Christoffel yang tidak nol, yakni:

$$\Gamma_{tt}^\rho = \psi_\rho e^{4\psi} \quad \Gamma_{\varphi\varphi}^\rho = -\rho + \rho^2 \psi_\rho$$

$$\Gamma_{tt}^z = \psi_z e^{4\psi} \quad \Gamma_{\rho t}^t = \Gamma_{t\rho}^t = \psi_\rho$$

$$\Gamma_{tt}^\varphi = \frac{1}{\rho^2} \psi_\varphi e^{4\psi} \quad \Gamma_{zt}^t = \Gamma_{tz}^t = \psi_z$$

$$\Gamma_{\rho\rho}^\rho = -\psi_\rho \quad \Gamma_{\varphi t}^t = \Gamma_{t\varphi}^t = \psi_\varphi$$

$$\Gamma_{zz}^z = -\psi_z \quad \Gamma_{\rho z}^\rho = \Gamma_{z\rho}^\rho = -\psi_z \quad 24$$

$$\begin{aligned}
 \Gamma_{\varphi\varphi}^{\varphi} &= -\psi_{\varphi} & \Gamma_{\rho\varphi}^{\rho} &= \Gamma_{\varphi\rho}^{\rho} = -\psi_{\varphi} \\
 \Gamma_{\rho\rho}^z &= \psi_z & \Gamma_{\rho z}^z &= \Gamma_{z\rho}^z = -\psi_{\rho} \\
 \Gamma_{\varphi\varphi}^z &= \rho^2 \psi_z & \Gamma_{\varphi z}^z &= \Gamma_{z\varphi}^z = -\psi_{\varphi} \\
 \Gamma_{\rho\rho}^{\varphi} &= \frac{1}{\rho^2} \psi_{\varphi} & \Gamma_{\rho\varphi}^{\varphi} &= \Gamma_{\varphi\rho}^{\varphi} = \frac{1}{\rho} - \psi_{\rho} \\
 \Gamma_{zz}^{\varphi} &= \frac{1}{\rho^2} \psi_{\varphi} & \Gamma_{z\varphi}^{\varphi} &= \Gamma_{\varphi z}^{\varphi} = -\psi_z \\
 \Gamma_{zz}^{\rho} &= \psi_{\rho}
 \end{aligned}$$

Dengan indeks yang melekat pada ψ menyatakan turunan biasa terhadap masing-masing ρ , z , dan φ .

3.1.2. Tensor Ricci

Adapun dari ketiga puluh komponen simbol Christoffel tersebut dapat dihitung komponen tensor Ricci yang tidak lenyap, yakni:

$$\begin{aligned}
 R_{tt} &= \left(\psi_{\rho\rho} + \frac{1}{\rho} \psi_{\rho} + \psi_{zz} + \frac{1}{\rho^2} \psi_{\varphi\varphi} \right) e^{4\psi} \\
 &= \nabla^2 \psi e^{4\psi} \quad 25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{\rho\rho} &= \left(\psi_{\rho\rho} + \frac{1}{\rho} \psi_{\rho} + \psi_{zz} + \frac{1}{\rho^2} \psi_{\varphi\varphi} \right) - 2\psi_{\rho}^2 \\
 &= \nabla^2 \psi - 2\psi_{\rho}^2 \quad 26
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{zz} &= \left(\psi_{\rho\rho} + \frac{1}{\rho} \psi_{\rho} + \psi_{zz} + \frac{1}{\rho^2} \psi_{\varphi\varphi} \right) - 2\psi_z^2 \\
 &= \nabla^2 \psi - 2\psi_z^2 \quad 27
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{\varphi\varphi} &= \rho^2 \left(\psi_{\rho\rho} + \frac{1}{\rho} \psi_{\rho} + \psi_{zz} + \frac{1}{\rho^2} \psi_{\varphi\varphi} - \frac{2}{\rho^2} \psi_{\varphi}^2 \right) \\
 &= \rho^2 \left(\nabla^2 \psi - \frac{2}{\rho^2} \psi_{\varphi}^2 \right) \quad 28
 \end{aligned}$$

$$R_{\rho z} = R_{z\rho} = -2\psi_{\rho} \psi_z \quad 29$$

$$R_{\rho\varphi} = R_{\varphi\rho} = -2\psi_{\rho} \psi_{\varphi} \quad 30$$

$$R_{z\varphi} = R_{\varphi z} = -2\psi_z \psi_{\varphi} \quad 31$$

Dengan ∇^2 dan ∇ adalah operator Laplacian dan gradient dalam koordinat silinder dengan definisi:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \quad 32$$

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial \rho} \hat{\rho} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \varphi} \hat{\varphi} \quad 33$$

Adapun trace dari seluruh tensor Ricci tersebut adalah:

$$\begin{aligned}
 R &= 2 e^{2\psi} \left(-\psi_{\rho\rho} - \frac{1}{\rho} \psi_{\rho} - \psi_{zz} - \frac{1}{\rho^2} \psi_{\varphi\varphi} + \psi_{\rho}^2 \right. \\
 &\quad \left. + \psi_z^2 + \frac{2}{\rho^2} \psi_{\varphi}^2 \right) \\
 &= 2 e^{2\psi} \left(-\nabla^2 \psi + \nabla \psi \cdot \nabla \psi \right) \quad 34
 \end{aligned}$$

3.2. Materi-Energi (Medan Elektromagnet)

Tidak seperti solusi vakum yang melenyapkan tensor energi-momentum, sumber bermuatan memberikan tensor-energi momentum yang mendeskripsikan medan elektromagnet. Sebelum menghitung rincian per-komponennya, akan terlebih dahulu dicari komponen tensor kuat medan yang memainkan peranan penting bagi dinamika medan elektromagnet.

3.2.1. Tensor Kuat Medan

Pada kesesuaiannya dengan simetri konformastatik, dalam makalah ini ditinjau kasus elektrostatik yang diberikan oleh potensial-4 medan elektromagnet tanpa potensial vektor, yakni:

$$A_{\mu} = (\phi, 0, 0, 0) \quad 35$$

Dengan ϕ adalah potensial skalar yang bergantung pada ρ , z , dan φ . Dengan demikian, hanya terdapat enam komponen tensor kuat medan elektromagnet yang tidak nol, yakni:

$$F_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & -\phi_{\rho} & -\phi_z & -\phi_{\varphi} \\ \phi_{\rho} & 0 & 0 & 0 \\ \phi_z & 0 & 0 & 0 \\ \phi_{\varphi} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad 36$$

Komponen $F_{\mu\mu}$ lenyap oleh sifat tensor anti-simetrik sedangkan komponen F_{ij} lenyap oleh ketiadaan potensial vektor. Adapun dengan menggunakan kontraksi simbol dapat ditentukan bentuk kontravariannya:

$$F^{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} 0 & \phi_{\rho} & \phi_z & \frac{1}{\rho^2} \phi_{\varphi} \\ -\phi_{\rho} & 0 & 0 & 0 \\ -\phi_z & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{\rho^2} \phi_{\varphi} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad 37$$

3.2.2. Tensor Energi-Momentum

Dari komponen tensor kuat medan diatas dapat dihitung tensor energi-momentum yang tidak lenyap dalam kasus ini, antara lain:

$$T_{tt} = \frac{1}{8\pi} e^{2\psi} \left(\phi_\rho^2 + \phi_z^2 + \frac{1}{\rho^2} \phi_\varphi^2 \right) \quad 38$$

$$T_{\rho\rho} = \frac{1}{8\pi} e^{-2\psi} \left(-\phi_\rho^2 + \phi_z^2 + \frac{1}{\rho^2} \phi_\varphi^2 \right) \quad 39$$

$$T_{zz} = \frac{1}{8\pi} e^{-2\psi} \left(\phi_\rho^2 - \phi_z^2 + \frac{1}{\rho^2} \phi_\varphi^2 \right) \quad 40$$

$$T_{\varphi\varphi} = \frac{1}{8\pi} \rho^2 e^{-2\psi} \left(\phi_\rho^2 + \phi_z^2 - \frac{1}{\rho^2} \phi_\varphi^2 \right) \quad 41$$

$$T_{\rho z} = T_{z\rho} = -\frac{1}{4\pi} e^{-2\psi} \phi_\rho \phi_z \quad 42$$

$$T_{\rho\varphi} = T_{\varphi\rho} = -\frac{1}{4\pi} e^{-2\psi} \phi_\rho \phi_\varphi \quad 43$$

$$T_{\varphi z} = T_{z\varphi} = -\frac{1}{4\pi} e^{-2\psi} \phi_\rho \phi_\varphi \quad 44$$

Dengan trace dari tensor energi-momentum tersebut adalah nol

$$T = 0 \quad 45$$

Berdasarkan persamaan medan Einstein yang termodifikasi dengan pengambilan trace, fakta ini menjadikan persamaan (6) memberikan sebuah persamaan:

$$\nabla^2 \psi = \nabla\psi \cdot \nabla\psi \quad 46$$

3.3. Medan Gravitasi-Elektromagnet

3.3.1. Persamaan Medan

Dari berbagai kuantitas yang telah diperoleh sebelumnya, maka dapat dirumuskan jalinan persamaan medan gravitasi-elektromagnet oleh sumber konformastatik bermuatan. Dari persamaan medan Einstein-Maxwell, komponen tensor Einstein $G_{tt} = \kappa T_{tt}$ memberikan sebuah persamaan, yakni

$$\nabla^2 \psi = e^{-2\psi} \nabla\phi \cdot \nabla\phi \quad 47$$

Adapun komponen $G_{\rho\rho}$, G_{zz} , dan $G_{\varphi\varphi}$ memberikan tiga buah persamaan medan, yakni

$$\nabla^2 \psi - 2\psi_\rho^2 = e^{-2\psi} \left(-\phi_\rho^2 + \phi_z^2 + \frac{1}{\rho^2} \phi_\varphi^2 \right) \quad 48$$

$$\nabla^2 \psi - 2\psi_z^2 = e^{-2\psi} \left(\phi_\rho^2 - \phi_z^2 + \frac{1}{\rho^2} \phi_\varphi^2 \right) \quad 49$$

$$\nabla^2 \psi - 2\frac{1}{\rho^2} \psi_\rho^2 = e^{-2\psi} \left(\phi_\rho^2 + \phi_z^2 - \frac{1}{\rho^2} \phi_\varphi^2 \right) \quad 50$$

Yang jika dijumlahkan dan memberlakukan relasi matematis pada persamaan (46) maka akan diperoleh hasil yang identik dengan persamaan (47). Sementara itu, dari komponen tensor Einstein lainnya, yakni $G_{\rho z} = G_{z\rho}$, $G_{\rho\varphi} = G_{\varphi\rho}$, dan $G_{z\varphi} = G_{\varphi z}$ juga diperoleh tiga buah persamaan:

$$\psi_\rho \psi_z = e^{-2\psi} \phi_\rho \phi_z \quad 51$$

$$\psi_\rho \psi_\varphi = e^{-2\psi} \phi_\rho \phi_\varphi \quad 52$$

$$\psi_z \psi_\varphi = e^{-2\psi} \phi_\varphi \phi_z \quad 53$$

Yang mana dapat dituliskan kedalam bentuk yang lebih kompak sebagai

$$\psi_i \psi_j = e^{-2\psi} \phi_i \phi_j \quad 54$$

Dengan $i \neq j$ berjalan terhadap ρ , z , dan φ . Adapun dari rumusan persamaan Maxwell di ruangwaktu melengkung (20), juga diperoleh sebuah persamaan medan:

$$\nabla^2 \phi = 2 \nabla\psi \cdot \nabla\phi \quad 55$$

3.3.2. Penyelesaian Persamaan Medan

Sampai disini telah diperoleh tiga persamaan dasar yang memberikan hubungan antara fungsi metrik dan potensial elektrostatis yakni persamaan (47), (54), dan (55). Dalam pemecahan solusi ketiga persamaan tersebut, [10] menggunakan asumsi yang memberikan relasi fungsi metrik dan potensial elektrostatis sebagai $\phi(\psi)$. Dapat dibuktikan bahwa asumsi tersebut menyederhanakan persamaan (47) dan (55) menjadi persamaan (46) yang solusinya setara dengan kasus vakum. Solusi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menginvestigasi formula piringan galaksi. Pengambilan asumsi serupa juga dapat ditemukan pada [18] dan [19].

Dalam makalah ini diambil asumsi sebaliknya yakni $\psi(\phi)$ dengan mengacu pada kenyataan fisis dan alasan yang lebih fundamental bahwa kelengkungan ruangwaktu bergantung pada distribusi massa dan energi. Oleh asumsi tersebut, persamaan (47):

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} \nabla\phi \cdot \nabla\phi + \frac{\partial \psi}{\partial \phi} \nabla^2 \phi = e^{-2\psi} \nabla\phi \cdot \nabla\phi \quad 56$$

Adapun persamaan (55)

$$\nabla^2 \phi = 2 \frac{\partial \psi}{\partial \phi} \nabla \phi \cdot \nabla \phi \quad 57$$

Jika kedua persamaan digabungkan, akan diperoleh:

$$\left[\frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} + \left(\frac{\partial \psi}{\partial \phi} \right)^2 - e^{-2\psi} \right] \nabla \phi \cdot \nabla \phi = 0 \quad 58$$

Dimana suku dalam kurung memberikan:

$$e^{2\psi} = A + B\phi + \phi^2 \quad 59$$

Dengan A dan B adalah konstanta integrasi. Hasil tersebut tidak lain adalah komponen g_{tt} dari elemen garis (22). Dengan demikian dapat pula ditentukan komponen g_{ij} , yakni:

$$e^{-2\psi} = (A + B\phi + \phi^2)^{-1} \quad 60$$

Meninjau satu persamaan tersisa (54) pengambilan asumsi $\psi(\phi)$ juga menyederhakan persamaan tersebut menjadi:

$$\left(\frac{d\psi}{d\phi} \right)^2 = e^{-2\psi} \quad 61$$

Yang dengan mudah tentu dapat diketahui solusinya

$$e^\psi = \phi + C \quad 62$$

Tampak bahwa solusi tersebut mengonfirmasi hasil yang diperoleh sebelumnya, yakni persamaan (59). Untuk menginterpretasi metrik (59), ditinjau titik yang sangat jauh dari sumber (menuju tak hingga) dimana ruangwaktu menjadi datar asimtotik dimana $\psi \rightarrow 0$, begitupun $\phi \rightarrow 0$, sehingga $e^{2\psi} = 1$, dapat ditentukan bahwa $A = 1$. Dengan pengambilan limit medan lemah dan kesesuaiannya dengan solusi statik lain yang telah diketahui yakni solusi Reissner Nordström, dapat diduga bahwa B adalah sebuah konstanta yang memuat $-\frac{2M}{Q}$ sehingga:

$$e^{2\psi} = 1 - \frac{2M}{r} + \frac{Q^2}{r^2} \quad 63$$

Yang tidak lain merupakan komponen g_{tt} metrik Reissner-Nordström. Penyesuaian dapat dilakukan via transformasi koordinat.

Walau begitu, secara harfiah sejatinya solusi (59) secara gamblang menjelaskan kondisi ekstremal suatu ruangwaktu (misal untuk kasus ekstremal Reissner-Nordström, sebagai solusi statik lain yang diketahui). Meskipun lazim dilakukan via pendefinisian ansatz¹⁸, solusi dalam makalah ini juga dapat memenuhi hal tersebut secara langsung. Meninjau kembali solusi (59):

$$e^{2\psi} = A + B\phi + \phi^2 = (K + \phi)^2 \quad 64$$

Terang bahwa pada kondisi sangat jauh dari sumber, K akan memiliki nilai yang sama dengan A, yakni $K = A = 1$. Oleh karenanya:

$$e^{2\psi} = (1 + \phi)^2 \quad 65$$

Kondisi ekstremal Reissner-Nordström tercapai oleh keadaan $Q \rightarrow M$ (massa terkecil yang mungkin dimiliki oleh sumber gravitasi relatif terhadap muatan total).¹⁹ Mengacu pada formulasinya yang simetri bola (63), dapat dituliskan:

$$\phi = \frac{Q}{r} \sim -\frac{M}{r} \quad 66$$

Sehingga persamaan 65 menjadi:

$$e^{2\psi} = \left(1 - \frac{M}{r} \right)^2 \quad 67$$

Dengan melakukan transformasi koordinat¹⁸

$$\rho = (r - M) \sin \theta \text{ dan } z = (r + M) \sin \theta \quad 68$$

Dalam sajian lengkap, elemen garisnya adalah:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{M}{r} \right)^2 dt^2 - \left(1 - \frac{M}{r} \right)^{-2} dr^2 - r^2 d\Omega^2 \quad 69$$

Dengan $d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2$

4. KESIMPULAN

Dalam makalah ini telah diperlihatkan perumusan persamaan medan gravitasi-elektromagnet sumber konformastatik bermuatan, yakni persamaan (47), (54) dan (55) dan solusinya, yakni persamaan (59). Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya pengaruh medan elektrostatik terhadap untaian ruangwaktu di sekitar sumber konformastatik bermuatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ivan Booth dan Antonio Calixto Gutierrez-Pineros

atas kesediaannya menjawab berbagai pertanyaan dari penulis via email. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga kepada keluarga penulis atas dukungan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hartle, J.B. 2003. Gravity: an Introduction to Einstein's General Relativity. Addison Wesley. Preface.
2. Reissner, H. 1916. Über die Eigengravitation des elektrischen Feldes nach der Einsteinschen Theorie. Annalen Der Physik. 50: 106-120.
3. Nordström, G. 1918. On the Energy of the Gravitational Field in Einstein's Theory. Verhandl. Koninkl. Ned. Akad. Wetenschap., Afdel. Natuurk., Amsterdam. 26: 1201–1208.
4. Newman, Ezra; Couch, E.; Chinnapared, K.; Exton, A.; Prakash, A.; Torrence, R. 1965. Metric of a Rotating, Charged Mass. Journal of Mathematical Physics. 6 (6): 918–919.
5. Weyl, H. 1917. Zur Gravitationstheorie. Annalen der Physik. 54: 117-145
6. Papapetrou, A. 1947. A Static Solution of the Equations of the Gravitational Field for an Arbitrary Charge Distribution. Proceedings. Roy. Irish Acad. 51: 191-205.
7. Majumdar, S. D. 1947. A Class of Exact Solutions of Einstein's Field Equations. Physical Review. 72: 390-398.
8. Bonnor, W. B. 1953. Certain Exact Solutions of the Equations of General Relativity with an Electrostatic Field. Proceedings of the Physical Society, Section A, Volume 66, Number 22.
9. Synge, J. L. 1960. Relativity: The General Theory, Chapter VIII. Amsterdam: North-Holland Publishing Company. 341-342
10. Gonzalez, A. G., Gutierrez-Pineros, A. C., Ospina, P. A. 2008. Finite Axisymmetric Charged Dust Disks in Conformastatic Spacetimes. Physical Review D, 78 064058.
11. Posada-Aguirre, C. P., Batic, D. 2014. Electrovac Universes with a Cosmological Constant. Central European Journal of Physics. 12(5): 297-304
12. Carmeli, M. 1982. Classical Fields: General Relativity and Gauge Theory. New York: John Wiley & Sons. 85-86, 97, 101.
13. Jackson, J.D. 1999. Classical Electrodynamics, Third Edition. Cambridge University Press. p.553-557, 559
14. Griffiths, J.B., Podolsky, J. 2009. Exact Space-Times in Einstein's General Relativity. Cambridge University Press. p.17
15. Perjes, Z. 1971. Solutions of the Coupled Einstein-Maxwell Equations Representing the Fields of Spinning Sources. Phys.Rev.Lett. 27, 1668.
16. Israel, W., Wilson, G.A. 1972. A Class of Stationary Electromagnetic Vacuum Fields. Journal of Mathematical Physics. 13, 865.
17. Katz, J., Bicak, J., Lynden-Bell, D. 1999. Disk Sources for Conformastationary Metrics. Classical and Quantum Gravity. Volume 16, Number 12.
18. Booth, I., Tian, D. W. 2013. Some Spacetimes Containing Non-Rotating Extremal Isolated Horizon. Class. Quant. Grav. 30, 145008.
19. Lora-Clavijo, F. D., Ospina-Henao, P. A., Pedraza, J. F. 2010. Charged Annular Disks and Reissner-Nordström Type Black Holes from Extremal Dust. arXiv: 1009.1005v2.

LAMPIRAN

Tensor Ricci

$$\begin{aligned}
 R_{tt} &= \partial_\alpha \Gamma_{tt}^\alpha - \partial_t \Gamma_{\alpha t}^\alpha + \Gamma_{tt}^\alpha \Gamma_{\beta\alpha}^\beta - \Gamma_{t\beta}^\alpha \Gamma_{\alpha t}^\beta \\
 &= \partial_\rho \Gamma_{tt}^\rho + \partial_z \Gamma_{tt}^z + \partial_\varphi \Gamma_{tt}^\varphi + \Gamma_{tt}^\rho \Gamma_{t\rho}^\rho + \Gamma_{tt}^\varphi \Gamma_{\rho\rho}^\rho \\
 &\quad + \Gamma_{tt}^\rho \Gamma_{z\rho}^z + \Gamma_{tt}^\varphi \Gamma_{\varphi\rho}^\rho + \Gamma_{tt}^z \Gamma_{tz}^t + \Gamma_{tt}^z \Gamma_{\rho z}^\rho + \Gamma_{tt}^z \Gamma_{zz}^z \\
 &\quad + \Gamma_{tt}^z \Gamma_{\varphi z}^\varphi + \Gamma_{tt}^\varphi \Gamma_{t\varphi}^t + \Gamma_{tt}^\varphi \Gamma_{\rho\varphi}^\rho + \Gamma_{tt}^\varphi \Gamma_{z\varphi}^z + \Gamma_{tt}^\varphi \Gamma_{\varphi\varphi}^\varphi \\
 &\quad - \Gamma_{t\rho}^t \Gamma_{tt}^\rho - \Gamma_{tz}^t \Gamma_{tt}^z - \Gamma_{t\varphi}^t \Gamma_{tt}^\varphi - \Gamma_{tt}^\rho \Gamma_{\rho t}^\rho - \Gamma_{tt}^z \Gamma_{z t}^z \\
 &\quad - \Gamma_{tt}^\varphi \Gamma_{\varphi t}^\varphi \\
 &= \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial \rho} e^{4\Psi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial z} e^{4\Psi} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{1}{\rho^2} \frac{\partial \Psi}{\partial \varphi} e^{4\Psi} \right) \\
 &\quad + \left(\frac{\partial \Psi}{\partial \rho} e^{4\Psi} \right) \left(-\frac{\partial \Psi}{\partial \rho} \right) + \left(\frac{\partial \Psi}{\partial \rho} e^{4\Psi} \right) \left(-\frac{\partial \Psi}{\partial \rho} \right) + \\
 &\quad \left(\frac{\partial \Psi}{\partial \rho} e^{4\Psi} \right) \left(\frac{1}{\rho} - \frac{\partial \Psi}{\partial \rho} \right) + \left(\frac{\partial \Psi}{\partial z} e^{4\Psi} \right) \left(-\frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) \\
 &\quad + \left(\frac{\partial \Psi}{\partial z} e^{4\Psi} \right) \left(-\frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial \Psi}{\partial z} e^{4\Psi} \right) \left(-\frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) + \\
 &\quad + \left(\frac{1}{\rho^2} \frac{\partial \Psi}{\partial \varphi} e^{4\Psi} \right) \left(-\frac{\partial \Psi}{\partial \varphi} \right) + \left(\frac{1}{\rho^2} \frac{\partial \Psi}{\partial \varphi} e^{4\Psi} \right) \left(-\frac{\partial \Psi}{\partial \varphi} \right) + \\
 &\quad \left(\frac{1}{\rho^2} \frac{\partial \Psi}{\partial \varphi} e^{4\Psi} \right) \left(-\frac{\partial \Psi}{\partial \varphi} \right) - \left(\frac{\partial \Psi}{\partial \rho} e^{4\Psi} \right) \left(\frac{\partial \Psi}{\partial \rho} \right) \\
 &\quad - \left(\frac{\partial \Psi}{\partial z} e^{4\Psi} \right) \left(\frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) - \left(\frac{1}{\rho^2} \frac{\partial \Psi}{\partial \varphi} e^{4\Psi} \right) \left(\frac{\partial \Psi}{\partial \varphi} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \partial_\rho \Gamma_{\rho z}^\rho + \partial_z \Gamma_{\rho z}^z - \partial_\rho \Gamma_{tz}^t - \partial_\rho \Gamma_{\rho z}^\rho - \partial_\rho \Gamma_{zz}^z - \\
 &\quad \partial_\rho \Gamma_{\varphi z}^\varphi + \Gamma_{\rho z}^\rho \Gamma_{t\rho}^t + \Gamma_{\rho z}^\rho \Gamma_{\rho\rho}^\rho + \Gamma_{\rho z}^\rho \Gamma_{z\rho}^z + \Gamma_{\rho z}^\rho \Gamma_{\varphi\rho}^\varphi \\
 &\quad + \Gamma_{\rho z}^z \Gamma_{tz}^t + \Gamma_{\rho z}^z \Gamma_{\rho z}^\rho + \Gamma_{\rho z}^z \Gamma_{zz}^z + \Gamma_{\rho z}^z \Gamma_{\varphi z}^\varphi - \Gamma_{\rho t}^t \Gamma_{tz}^t \\
 &\quad - \Gamma_{\rho\rho}^\rho \Gamma_{\rho z}^\rho - \Gamma_{\rho z}^\rho \Gamma_{\rho z}^z - \Gamma_{\rho\rho}^\rho \Gamma_{zz}^z - \Gamma_{\rho z}^z \Gamma_{zz}^z - \Gamma_{\rho\varphi}^\varphi \Gamma_{\varphi z}^\varphi \\
 &= \frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) - \frac{\partial}{\partial\rho} \left(\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial\rho} \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial\rho} \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \\
 &\quad + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \left(\frac{1}{\rho} - \frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \left(\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \\
 &\quad + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) - \left(\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \left(\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) - \\
 &\quad \left(\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) - \left(\frac{1}{\rho} - \frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \\
 &= -2 \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \frac{\partial\psi}{\partial z} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{\rho\varphi} &= \partial_\alpha \Gamma_{\rho\varphi}^\alpha - \partial_\rho \Gamma_{\alpha\varphi}^\alpha + \Gamma_{\rho\varphi}^\alpha \Gamma_{\beta\alpha}^\beta - \Gamma_{\rho\beta}^\alpha \Gamma_{\alpha\varphi}^\beta \\
 &= \partial_\rho \Gamma_{\rho\varphi}^\rho + \partial_\varphi \Gamma_{\rho\varphi}^\varphi - \partial_\rho \Gamma_{t\varphi}^t - \partial_\rho \Gamma_{\rho\varphi}^\rho - \partial_\rho \Gamma_{z\varphi}^z \\
 &\quad - \partial_\rho \Gamma_{\varphi\varphi}^\varphi + \Gamma_{\rho\varphi}^\rho \Gamma_{t\rho}^t + \Gamma_{\rho\varphi}^\rho \Gamma_{\rho\rho}^\rho + \Gamma_{\rho\varphi}^\rho \Gamma_{z\rho}^z + \Gamma_{\rho\varphi}^\rho \Gamma_{\varphi\rho}^\varphi \\
 &\quad + \Gamma_{\rho\varphi}^\varphi \Gamma_{t\varphi}^t + \Gamma_{\rho\varphi}^\varphi \Gamma_{\rho\varphi}^\rho + \Gamma_{\rho\varphi}^\varphi \Gamma_{z\varphi}^z + \Gamma_{\rho\varphi}^\varphi \Gamma_{\varphi\varphi}^\varphi - \\
 &\quad \Gamma_{\rho t}^t \Gamma_{t\varphi}^t - \Gamma_{\rho\rho}^\rho \Gamma_{\rho\varphi}^\rho - \Gamma_{\rho\varphi}^\rho \Gamma_{\rho\varphi}^\rho - \Gamma_{\rho z}^z \Gamma_{z\varphi}^z - \Gamma_{\rho\rho}^\rho \Gamma_{\varphi\varphi}^\rho \\
 &\quad - \Gamma_{\rho\varphi}^\varphi \Gamma_{\varphi\varphi}^\varphi \\
 &= \frac{\partial}{\partial\varphi} \left(\frac{1}{\rho} - \frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) - \frac{\partial}{\partial\rho} \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) - \frac{\partial}{\partial\rho} \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) - \\
 &\quad \frac{\partial}{\partial\rho} \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) \left(\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) + \\
 &\quad + \left(\frac{1}{\rho} - \frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) + \left(\frac{1}{\rho} - \frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) + \left(\frac{1}{\rho} - \frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \\
 &\quad \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) - \left(\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) - \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) \\
 &\quad - \left(\frac{1}{\rho^2} \frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) \left(-\rho + \rho^2 \frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \\
 &= -2 \left(\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{z\varphi} &= \partial_\alpha \Gamma_{z\varphi}^\alpha - \partial_z \Gamma_{\alpha\varphi}^\alpha + \partial \Gamma_{z\varphi}^\alpha \Gamma_{\beta\alpha}^\beta - \Gamma_{z\beta}^\alpha \Gamma_{\alpha\varphi}^\beta \\
 &= \partial_z \Gamma_{z\varphi}^z + \partial_\varphi \Gamma_{z\varphi}^\varphi - \partial_z \Gamma_{t\varphi}^t - \partial_z \Gamma_{\rho\varphi}^\rho - \partial_z \Gamma_{z\varphi}^z - \\
 &\quad \partial_z \Gamma_{\varphi\varphi}^\varphi + \Gamma_{z\varphi}^z \Gamma_{tz}^t + \Gamma_{z\varphi}^z \Gamma_{\rho z}^\rho + \Gamma_{z\varphi}^z \Gamma_{zz}^z + \Gamma_{z\varphi}^z \Gamma_{\varphi z}^\varphi \\
 &\quad + \Gamma_{z\varphi}^\varphi \Gamma_{t\varphi}^t + \Gamma_{z\varphi}^\varphi \Gamma_{\rho\varphi}^\rho + \Gamma_{z\varphi}^\varphi \Gamma_{z\varphi}^z + \Gamma_{z\varphi}^\varphi \Gamma_{\varphi\varphi}^\varphi -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\Gamma_{zt}^t \Gamma_{t\varphi}^t - \Gamma_{z\rho}^\rho \Gamma_{\rho\varphi}^\rho - \Gamma_{zz}^z \Gamma_{z\varphi}^z - \Gamma_{z\varphi}^z \Gamma_{z\varphi}^\varphi - \Gamma_{zz}^\varphi \Gamma_{\varphi\varphi}^\varphi \\
 &\quad - \Gamma_{z\varphi}^\varphi \Gamma_{\varphi\varphi}^\varphi \\
 &= \partial_\varphi \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) - \\
 &\quad \frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) \left(\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) + \\
 &\quad + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) + \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) \\
 &\quad - \left(\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) - \left(-\frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \left(-\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) - \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right) \left(\rho^2 \frac{\partial\psi}{\partial z} \right) \\
 &= -2 \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \frac{\partial\psi}{\partial z} \right)
 \end{aligned}$$

Skalar Ricci

$$\begin{aligned}
 R &= g^{\mu\nu} R_{\mu\nu} \\
 &= g^{tt} R_{tt} + g^{\rho\rho} R_{\rho\rho} + g^{zz} R_{zz} + g^{\varphi\varphi} R_{\varphi\varphi} \\
 &= (e^{-2\psi}) e^{4\psi} \left(\frac{\partial^2\psi}{\partial\rho^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial\psi}{\partial\rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2\psi}{\partial\varphi^2} \right) + \\
 &\quad (-e^{2\psi}) \left(\frac{\partial^2\psi}{\partial\rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial\psi}{\partial\rho} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2\psi}{\partial\varphi^2} - 2 \left(\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right)^2 \right) \\
 &\quad + (-e^{2\psi}) \left(\frac{\partial^2\psi}{\partial\rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial\psi}{\partial\rho} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2\psi}{\partial\varphi^2} - 2 \left(\frac{\partial\psi}{\partial z} \right)^2 \right) + \\
 &\quad (-\rho^{-2} e^{2\psi}) \left(\rho^2 \frac{\partial^2\psi}{\partial\rho^2} + \rho \left(\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right) + \rho^2 \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial\varphi^2} - \right. \\
 &\quad \left. 2 \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right)^2 \right) \\
 &= 2e^{2\psi} \left(-\frac{\partial^2\psi}{\partial\rho^2} - \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial\psi}{\partial\rho} - \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2\psi}{\partial\varphi^2} + \left(\frac{\partial\psi}{\partial\rho} \right)^2 + \right. \\
 &\quad \left. \left(\frac{\partial\psi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi} \right)^2 \right)
 \end{aligned}$$

Tensor Energi-Momentum

$$\begin{aligned}
 T_{tt} &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} g_{tt} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} - (g^{\rho\rho} F_{t\rho} F_{t\rho} + g^{zz} F_{tz} F_{tz} + \right. \\
 &\quad \left. g^{\varphi\varphi} F_{t\varphi} F_{t\varphi}) \right) \\
 &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} e^{2\psi} \left(-2 \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right] \right) \right. \\
 &\quad \left. - (-e^{2\psi} \left(-\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right) \left(-\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right) - e^{2\psi} \left(-\frac{\partial\phi}{\partial z} \right) \left(-\frac{\partial\phi}{\partial z} \right) - \right. \\
 &\quad \left. \rho^{-2} e^{2\psi} \left(-\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right) \left(-\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right) \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{8\pi} e^{2\psi} \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right] \\
 T_{\rho\rho} &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} g_{\rho\rho} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} - (g^{tt} F_{\rho t} F_{\rho t}) \right) \\
 &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} (-e^{-2\psi}) \left(-2 \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \right. \right. \right. \\
 &\left. \left. \left. \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right] \right) - \left(e^{-2\psi} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right) \left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right) \right) \right) \\
 &= \frac{1}{8\pi} e^{-2\psi} \left(- \left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right) \\
 T_{zz} &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} g_{zz} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} - (g^{tt} F_{z t} F_{z t}) \right) \\
 &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} (-e^{-2\psi}) \left(-2 \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \right. \right. \right. \\
 &\left. \left. \left. \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right] \right) - \left(e^{-2\psi} \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right) \right) \right) \\
 &= \frac{1}{8\pi} e^{-2\psi} \left(\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 - \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right) \\
 T_{\varphi\varphi} &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} g_{\varphi\varphi} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} - (g^{tt} F_{\varphi t} F_{\varphi t}) \right) \\
 &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} (-\rho^2 e^{-2\psi}) \left(-2 \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \right. \right. \right. \\
 &\left. \left. \left. \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right] \right) - \left(e^{-2\psi} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right) \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right) \right) \right) \\
 &= \frac{1}{8\pi} e^{-2\psi} \left(\rho^2 \left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \rho^2 \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 - \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right) \\
 T_{\rho z} &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} g_{\rho z} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} - (g^{tt} F_{\rho t} F_{z t}) \right) \\
 &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} \cdot 0 \cdot \left(-2 \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right] \right) - \right. \\
 &\left. \left(e^{-2\psi} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right) \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right) \right) \right) \\
 &= -\frac{1}{4\pi} e^{-2\psi} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right) \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right) \\
 T_{\rho\varphi} &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} g_{\rho\varphi} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} - (g^{tt} F_{\rho t} F_{\varphi t}) \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} \cdot 0 \cdot \left(-2 \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right] \right) - \right. \\
 &\left. \left(e^{-2\psi} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right) \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right) \right) \right) \\
 &= -\frac{1}{4\pi} e^{-2\psi} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right) \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right) \\
 T_{z\varphi} &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} g_{z\varphi} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} - (g^{tt} F_{z t} F_{\varphi t}) \right) \\
 &= \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{4} \cdot 0 \cdot \left(-2 \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right] \right) - \right. \\
 &\left. \left(e^{-2\psi} \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right) \right) \right) \\
 &= -\frac{1}{4\pi} e^{-2\psi} \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)
 \end{aligned}$$

Trace Tensor Energi-Moement

$$\begin{aligned}
 T &= g^{\mu\nu} T_{\mu\nu} \\
 &= g^{tt} T_{tt} + g^{\rho\rho} T_{\rho\rho} + g^{zz} T_{zz} + g^{\varphi\varphi} T_{\varphi\varphi} \\
 &= e^{-2\psi} \frac{1}{8\pi} e^{2\psi} \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} e^{2\psi} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right] + \\
 &\left(-e^{2\psi} \right) \frac{1}{8\pi} e^{-2\psi} \left[- \left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right] + \\
 &\left(-e^{2\psi} \right) \frac{1}{8\pi} e^{-2\psi} \left(\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 - \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right) + \\
 &\left(-\rho^{-2} e^{2\psi} \right) \frac{1}{8\pi} e^{-2\psi} \left(\rho^2 \left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \rho^2 \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 - \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

Persamaan Medan Einstein-Maxwell

$$\begin{aligned}
 R_{tt} &= \kappa \left(T_{tt} - \frac{1}{2} g_{tt} T \right) \\
 e^{4\psi} \left(\frac{\partial^2\psi}{\partial\rho^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial\psi}{\partial\rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2\psi}{\partial\varphi^2} \right) &= \\
 8\pi \left(\frac{1}{8\pi} e^{2\psi} \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} \right)^2 \right] \right) &= \\
 \nabla^2\psi &= e^{-2\psi} \nabla\phi \cdot \nabla\phi \\
 R_{\rho\rho} &= \kappa \left(T_{\rho\rho} - \frac{1}{2} g_{\rho\rho} T \right)
 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi}{\partial \rho} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} - 2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \rho} \right)^2 =$$

$$8\pi \left(\frac{1}{8\pi} e^{-2\psi} \left(- \left(\frac{\partial \phi}{\partial \rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right)^2 \right) \right)$$

$$\nabla^2 \psi - 2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \rho} \right)^2 = e^{-2\psi} \left[- \left(\frac{\partial \phi}{\partial \rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 + \right.$$

$$\left. \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right)^2 \right]$$

$$R_{zz} = \kappa \left(T_{zz} - \frac{1}{2} g_{zz} \Gamma \right)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi}{\partial \rho} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} - 2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} \right)^2 =$$

$$8\pi \left(\frac{1}{8\pi} e^{-2\psi} \left(\left(\frac{\partial \phi}{\partial \rho} \right)^2 - \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right)^2 \right) \right)$$

$$\nabla^2 \psi - 2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} \right)^2 = e^{-2\psi} \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial \rho} \right)^2 - \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right)^2 \right]$$

$$R_{\varphi\varphi} = \kappa \left(T_{\varphi\varphi} - \frac{1}{2} g_{\varphi\varphi} \Gamma \right)$$

$$\rho^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial \rho^2} + \rho^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} + \rho \left(\frac{\partial \psi}{\partial \rho} \right) - 2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \right)^2 =$$

$$8\pi \left[\frac{1}{8\pi} e^{-2\psi} \left(\rho^2 \left(\frac{\partial \phi}{\partial \rho} \right)^2 + \rho^2 \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 - \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right)^2 \right) \right]$$

$$\nabla^2 \psi - \frac{2}{\rho^2} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \right)^2 = e^{-2\psi} \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial \rho} \right)^2 - \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right)^2 \right]$$

$$R_{\rho z} = \kappa \left(T_{\rho z} - \frac{1}{2} g_{\rho z} \Gamma \right)$$

$$-2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \rho} \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \right) = 8\pi \left(- \frac{1}{4\pi} e^{-2\psi} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \rho} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right) \right)$$

$$\left(\frac{\partial \psi}{\partial \rho} \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \right) = e^{-2\psi} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \rho} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right)$$

$$R_{\rho\varphi} = \kappa \left(T_{\rho\varphi} - \frac{1}{2} g_{\rho\varphi} \Gamma \right)$$

$$-2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \rho} \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \right) = 8\pi \left(- \frac{1}{4\pi} e^{-2\psi} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \rho} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right) \right)$$

$$\left(\frac{\partial \psi}{\partial \rho} \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \right) = e^{-2\psi} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \rho} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right)$$

$$R_{z\varphi} = \kappa \left(T_{z\varphi} - \frac{1}{2} g_{z\varphi} \Gamma \right)$$

$$-2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \right) = 8\pi \left(- \frac{1}{4\pi} e^{-2\psi} \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right) \right)$$

$$\left(\frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \right) = e^{-2\psi} \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right)$$

Persamaan Maxwell

$$D_\alpha F^{\alpha\beta} = \frac{1}{\sqrt{-g}} \partial_\alpha (\sqrt{-g} F^{\alpha\beta})$$

$$0 =$$

$$\partial_\rho (\sqrt{-g} F^{\rho t}) + \partial_z (\sqrt{-g} F^{zt}) + \partial_\varphi (\sqrt{-g} F^{\varphi t})$$

$$\frac{1}{\rho e^{-2\psi}} \left[\frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho e^{-2\psi} \left(- \frac{\partial \phi}{\partial \rho} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho e^{-2\psi} \left(- \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \right) + \right.$$

$$\left. \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\rho e^{-2\psi} \left(- \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right) \right) \right] = 0$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \phi}{\partial \rho} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial \varphi^2} = 2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \rho} \frac{\partial \phi}{\partial \rho} + \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial \phi}{\partial z} + \right.$$

$$\left. \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right)$$

$$\nabla^2 \phi = 2 \nabla \psi \cdot \nabla \phi$$

Pengambilan asumsi $\psi(\phi)$

Persamaan 54 dan solusinya

$$\psi_i \psi_j = e^{-2\psi} \phi_i \phi_j$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial \phi} \phi_i \frac{\partial \psi}{\partial \phi} \phi_j = e^{-2\psi} \phi_i \phi_j$$

$$\left(\frac{\partial \psi}{\partial \phi} \right)^2 = e^{-2\psi}$$

$$\left(\frac{\partial \psi}{\partial \phi} \right) = e^{-\psi}$$

$$e^\psi d\psi = d\phi$$

$$\int e^\psi d\psi = \int d\phi$$

$$e^\psi + k_1 = \phi + k_2$$

$$e^\psi = \phi + C$$

Persamaan 55

$$\nabla^2 \phi = 2 \nabla \psi \cdot \nabla \phi$$

$$\nabla^2 \phi = 2 \frac{\partial \psi}{\partial \phi} \nabla \phi \cdot \nabla \phi$$

Persamaan 47 ke persamaan 58

$$\nabla^2 \psi = e^{-2\psi} \nabla \phi \cdot \nabla \phi$$

$$\nabla(\nabla \psi) = e^{-2\psi} \nabla \phi \cdot \nabla \phi$$

$$\nabla \left(\frac{\partial \psi}{\partial \phi} \nabla \phi \right) = e^{-2\psi} \nabla \phi \cdot \nabla \phi$$

$$\frac{\partial}{\partial \phi} (\nabla \psi) \nabla \phi + \frac{\partial \psi}{\partial \phi} \nabla^2 \phi = e^{-2\psi} \nabla \phi \cdot \nabla \phi$$

$$\frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \phi} \nabla \phi \right) \nabla \phi + \frac{\partial \psi}{\partial \phi} \nabla^2 \phi = e^{-2\psi} \nabla \phi \cdot \nabla \phi$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} \nabla \phi \cdot \nabla \phi + \frac{\partial \psi}{\partial \phi} \nabla \frac{\partial \phi}{\partial \phi} \nabla \phi + 2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \phi} \right)^2 \nabla \phi \cdot \nabla \phi =$$

$$e^{-2\psi} \nabla \phi \cdot \nabla \phi$$

$$\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} + 2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \phi} \right)^2 - e^{-2\psi} \right) \nabla \phi \cdot \nabla \phi = 0$$

$$\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} + 2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \phi} \right)^2 - e^{-2\psi} \right) = 0$$

Penyelesaian suku dalam kurung persamaan 58

$$\frac{d^2 \xi}{d\phi^2} - 2 = 0$$

$$\frac{d^2 (e^{2\psi})}{d\phi^2} - 2 = 0$$

$$\frac{d}{d\phi} \frac{d(e^{2\psi})}{d\phi} - 2 = 0$$

$$\frac{d}{d\phi} \left(2e^{2\psi} \frac{\partial \psi}{\partial \phi} \right) - 2 = 0$$

$$4e^{2\psi} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \phi} \right)^2 + 2e^{2\psi} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} - 2 = 0$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} + 2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \phi} \right)^2 - e^{-2\psi} = 0$$

Adapun solusi $\frac{d^2 \xi}{d\phi^2} - 2$, diambil pemisalan $\frac{d\xi}{d\phi} = y$

$$\frac{dy}{d\phi} - 2 = 0$$

$$dy = 2d\phi$$

$$\int dy = \int 2d\phi$$

$$y + k_3 = 2\phi + k_4$$

$$y = 2\phi + k_5$$

Kembali pada pemisalan:

$$d\xi = y d\phi$$

$$\int d\xi = \int (2\phi + k_5) d\phi$$

$$\xi + k_6 = \phi^2 + k_5\phi + k_6$$

$$\xi = \phi^2 + k_5\phi + k_7$$

$$\xi = e^{2\psi} = \phi^2 + B\phi + A$$

Prediksi Curah Hujan Bulanan Menggunakan Model Arima Musiman

Faradiba*

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Kristen Indonesia
Jl. Mayjen Sutoyo No. 2, Cawang-Jakarta 13630, Indonesia

Abstrak

Perubahan cuaca saat ini dirasakan cukup ekstrim, hal ini berdampak pada peningkatan bencana seperti banjir dan badai angin. Selain itu perubahan iklim yang terjadi ikut mempengaruhi perencanaan pembangunan diberbagai sektor. Perubahan cuaca juga mengakibatkan perubahan intensitas pola curah hujan. Peramalan curah hujan dilakukan sebagai langkah antisipatif dalam meminimalisir dampak buruk yang akan terjadi. Metode peramalan dilakukan dengan menganalisis data curah hujan pada tahun 2005-2016. Model peramalan yang digunakan yaitu model ARIMA Musiman. Hasil dari analisis data 11 tahun diperoleh data yang tidak stasioner, maka dari itu dilakukan proses *differencing* pada data sehingga data menjadi stasioner. Model terbaik untuk data tersebut adalah SARIMA(1,1,1)(0,1,2)¹². Hasil peramalan rata-rata curah hujan pada Tahun 2017 dan 2018 secara berturut-turut, yaitu 200,5983 mm² dan 200,0171 mm² yang keduanya dikategorikan menengah. Curah hujan tertinggi terjadi pada Bulan Januari dan Februari.

Kata Kunci: peramalan, curah hujan, iklim, ARIMA musiman.

1. PENDAHULUAN

Kondisi iklim yang berubah-ubah memberi dampak negatif pada kondisi cuaca pada suatu wilayah. Perubahan cuaca yang terjadi mengakibatkan pola intensitas curah hujan ikut berubah. Perubahan cuaca yang saat ini dirasakan cukup ekstrim, mengakibatkan peningkatan intensitas curah hujan yang berdampak pada banjir, badai angin, dsb. Perubahan kondisi iklim ini tentu saja sangat mempengaruhi perencanaan pembangunan diberbagai sektor. Dampak buruk yang dihasilkan dari kondisi ekstrim tersebut antara lain: kegagalan panen, peningkatan kemiskinan, penurunan kondisi kesehatan masyarakat, dll.

Cuaca ekstrim yang akan terjadi dapat diantisipasi melalui Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). BMKG akan menganalisa cuaca yang akan terjadi melalui pergeseran angin yang berhembus. Analisa akan lebih akurat ketika beberapa saat sebelum terjadinya suatu fenomena alam.

Diperlukan suatu prediksi cuaca jauh-jauh hari bagi para petani, pemerintah, pengembang infrastruktur, dsb. untuk dapat merencanakan dan menjalankan program-programnya. Maka dari itu diperlukan formulasi perhitungan melalui metodologi yang tepat untuk dapat

menghasilkan data-data sebagai gambaran awal untuk menentukan matriks kegiatan suatu program. Dengan adanya peramalan tersebut diharapkan dapat meminimalisir suatu kejadian yang tidak diharapkan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai peramalan dengan model ARIMA yaitu hasil penjualan kosmetik dengan metode ARIMA bahwa metode ARIMA sangat cocok digunakan untuk memprediksi penjualan dengan *error* yang dihasilkan cukup rendah yaitu 57,943¹. Selain itu, penelitian lain untuk peramalan curah hujan menggunakan metode ARIMA musiman (SARIMA) dengan analisis spektral. Pada penelitian tersebut diprediksi curah hujan minimum terjadi pada bulan januari dan curah hujan maksimum terjadi pada bulan agustus untuk tahun 2015².

2. BAHAN DAN METODA

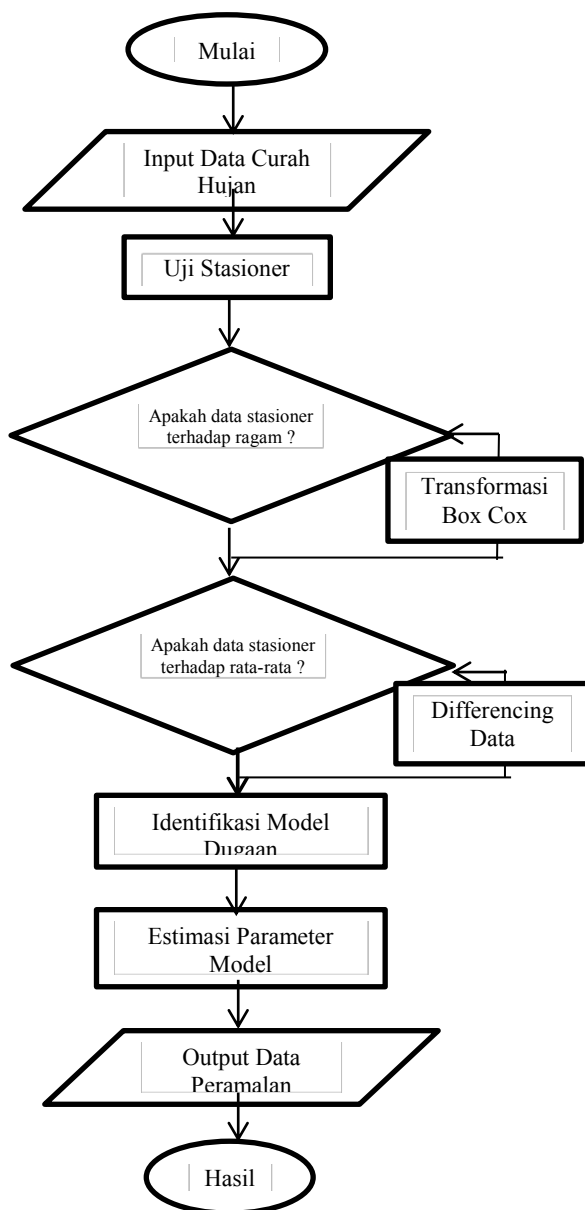
Lokasi yang dijadikan sebagai objek peramalan adalah Provinsi DKI Jakarta. Variabel dalam penelitian ini berupa data sekunder dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang dikutip dari Buku Daerah Dalam Angka 2006 sampai dengan 2017, yang diterbitkan Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta (BPS). Data dianalisis menggunakan analisis runtun waktu, dan pada penyelesaiannya menggunakan *software* Minitab 16.0. Secara umum tahap-tahap dalam menganalisis data untuk

*Email : faradiba@uki.ac.id

pemodelan *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA)* adalah:

- (1) Proses identifikasi model, meliputi :
 - a. Membuat plot time series data
 - b. Membuat plot *ACF (Autocorelation Function)* dan *PACF (Parsial Autocorelation Function)*
 - c. Stasioner dan non stasioner data
- (2) Pendugaan parameter model.
- (3) Estimasi/ Taksiran Model
- (4) Uji Diagnostik
- (5) Menggunakan model untuk peramalan jika model memenuhi syarat ³.

Adapun *flowchart* pada penelitian ini adalah:



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian Musiman adalah kecenderungan mengulangi pola tingkah gerak dalam periode

musim, biasanya satu tahun untuk data bulanan. Model *ARIMA* Musiman merupakan model *ARIMA* yang digunakan untuk menyelesaikan runtun waktu musiman yang terdiri dari dua bagian, yaitu bagian tidak musiman (non-musiman) dan bagian musiman. Bagian non-musiman dari metode ini adalah model *ARIMA*³.

Secara umum bentuk model *ARIMA* musiman atau *ARIMA (p,d,q)(P,Q,S)s* adalah⁴:

$$\phi_p(B)\Phi_P(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D X_t = \theta_q(B)\Theta_Q(B^s)e_t$$

3. HASIL DAN BAHASAN

Berdasarkan data BMKG, diperoleh data curah hujan menurut bulan di Provinsi DKI Jakarta.

Tabel 1. Data Curah Hujan Bulan Januari – Juni, 2005 - 2016

Tahun	Data Curah Hujan (mm ²)					
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
2005	392,50	351,60	422,60	105,50	93,30	134,10
2006	389,60	350,00	320,00	316,10	85,20	30,80
2007	211,30	674,90	178,30	165,50	188,50	100,70
2008	226,50	677,60	212,40	218,40	25,90	51,40
2009	547,90	231,90	141,40	92,70	223,40	74,40
2010	354,50	223,00	175,80	63,10	112,10	187,70
2011	145,00	230,00	147,00	106,00	198,00	70,00
2012	275,00	157,00	173,00	196,00	118,00	67,00
2013	621,00	146,00	184,00	204,00	101,00	256,00
2014	1075,00	689,00	174,00	168,00	47,00	174,00
2015	412,00	639,00	221,00	111,00	79,00	48,00
2016	136,60	451,75	293,5	192,25	112,05	186,60

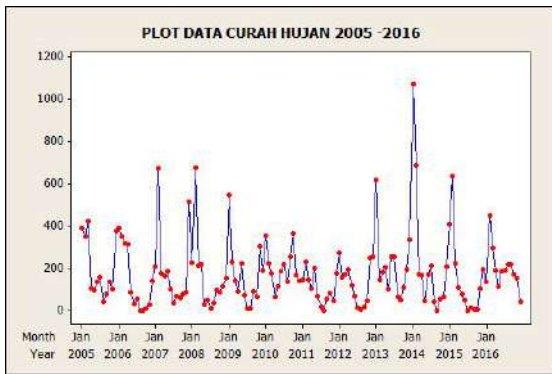
Tabel 2. Data Curah Hujan Bulan Juli-Desember, 2005 - 2016

Tahun	Data Curah Hujan (mm ²)					
	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
2005	160,60	39,10	78,70	135,70	101,80	377,40
2006	53,20	0,00	0,20	10,60	26,80	140,00
2007	34,50	66,60	59,70	75,60	85,50	512,80
2008	9,50	36,40	97,30	85,80	113,80	154,20
2009	10,40	6,50	88,30	63,30	303,70	189,10
2010	219,20	137,20	256,70	365,60	167,60	142,00
2011	18,00	1,00	52,00	80,00	44,00	177,00
2012	13,00	2,00	16,00	44,00	251,00	254,00
2013	256,00	61,00	49,00	110,00	196,00	338,00

2014	214,00	39,00	0,00	52,00	65,00	211,00
2015	1,00	12,00	5,00	6,00	103,00	194,00
2016	188,60	217,45	220,5	172,75	152,40	41,70

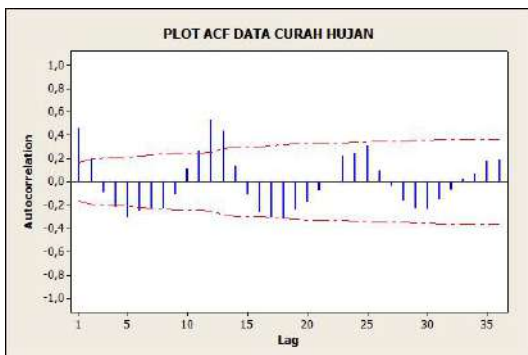
(Sumber : BMKG-dikutip dari Publikasi Jakarta Dalam Angka 2005-2016)⁵

Data curah hujan diambil mulai tahun 2005 sampai 2016. Plot data dilakukan untuk melihat kestasioneran dari data.

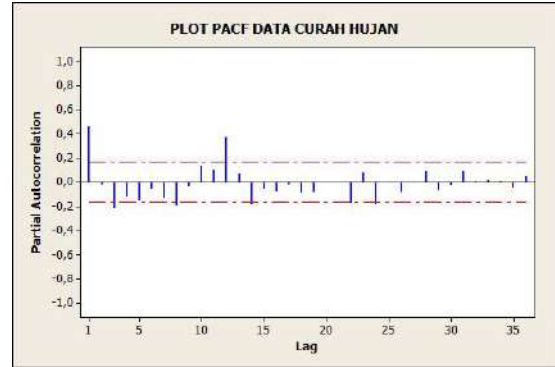


Gambar 2. Plot Data Curah Hujan 2005-2016

Pada gambar 2 terlihat unsur musiman yang berarti data belum stasioner. Unsur musiman dapat dilihat dari pola data yang tidak berada di area rata-rata, dan ada pola tertentu yang menunjukkan pola data berulang di bulan yang sama di tahun yang berbeda. Untuk melihat jelas stasioner dari data, dilakukan uji korelasi yaitu uji autokorelasi (ACF) dan uji autokorelasi parsial (PACF) seperti gambar 3 dan 4.

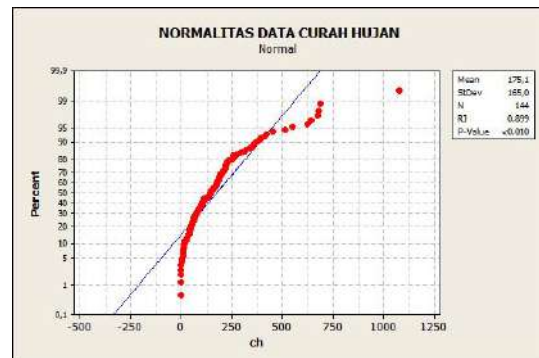


Gambar 3. Plot Fungsi Autokorelasi (ACF)



Gambar 4. Plot Fungsi Autokorelasi Parsial (PACF)

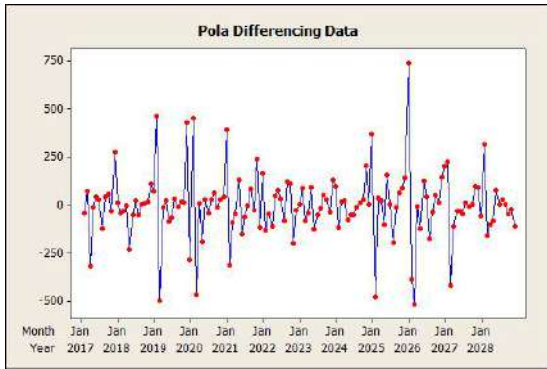
Pada gambar 3 Pada plot ACF terlihat *lag-lag* yang masih berpola musiman yang berarti data belum stasioner. Pola ACF menurun secara cepat (*dies down*). Pada gambar 4 terlihat grafik PACF dibawah nol pada lag ke dua. Dari gambar tersebut pola PACF *cut off* di lag ke 2 dan diduga data dibangkitkan oleh AR saja. Plot ACF dan plot data masih menunjukkan data yang belum stasioner, sehingga perlu dilakukan uji stasioner data terhadap varian dan uji stasioner data terhadap rata-rata. Uji stasioner data terhadap varian dilakukan dengan menggunakan transformasi Box Cox. Setelah data stasioner terhadap varian, maka dilakukan uji stasioner terhadap rata-rata.



Gambar 5. Hasil Normalitas Data

Nilai *P-Value* adalah 0,010 dimana $<0,050$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa data hasil tranformasi **tidak terdistribusi secara normal**.

Dalam menggunakan model ARIMA, diperlukan data yang bersifat stasioner. Untuk itu perlu dilakukan *differencing* dari data asli untuk menstasionerkan data seperti pada gambar di bawah.



Gambar 6. Plot Data Hasil Differencing

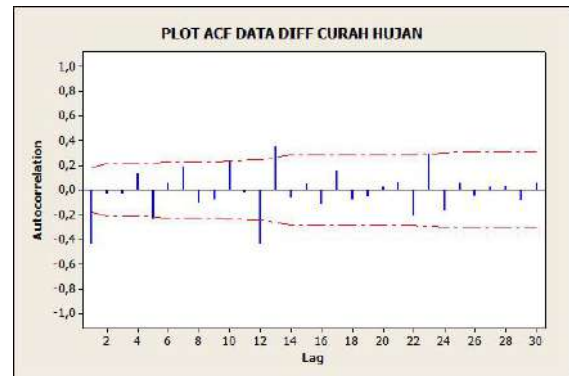
Dari gambar 6 terlihat bahwa grafik tidak menunjukkan pola musiman dimana grafik bergerak di sekitar rata-rata. Maka dengan demikian data tersebut dapat dikatakan stasioner. Untuk menggunakan model ARIMA yang cocok, maka perlu dilakukan analisis plot data ACF dan PACF data stasioner (data hasil differencing).

Tabel 3. ACF Tiap Lag

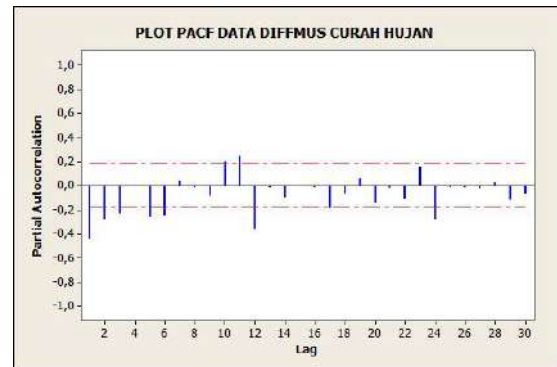
Lag	ACF	T
1	-0,2494	-2,98243
2	0,013091	0,147628
3	-0,132	-1,48838
4	-0,03736	-0,41491
5	-0,1361	-1,50957
6	0,028246	0,308412
7	0,021007	0,22922
8	-0,10214	-1,1141
9	-0,10098	-1,09206
10	0,072125	0,77355
11	-0,12707	-1,35714
12	0,337398	3,558051
13	0,192489	1,871008
14	-0,05473	-0,51941
15	-0,08636	-0,81808
16	-0,0916	-0,86366
17	-0,02888	-0,27088
18	-0,07732	-0,72488
19	0,005697	0,053211
20	-0,01907	-0,17817
21	0,012366	0,115481
22	-0,11638	-1,08672
23	0,169977	1,574244
24	-0,04258	-0,3877
25	0,229683	2,089077

26	-0,05187	-0,45804
27	-0,01048	-0,09241
28	-0,05732	-0,5054
29	-0,04405	-0,38764
30	-0,07547	-0,66353
31	-0,01326	-0,11624
32	-0,00467	-0,04094
33	0,05829	0,510839
34	-0,05634	-0,49281
35	0,073066	0,638083
36	0,010245	0,089215

Pada plot ACF dapat dilihat nilai T pada lag ke 12 dan 25 memiliki nilai yang lebih besar dari 2. Maka dari itu perlu dilakukan differencing terhadap musiman dan dilakukan analisis data ACF dan PACF untuk menentukan model yang sesuai.



Gambar 7. Plot ACF Hasil Differencing Musiman



Gambar 8. Plot PACF Hasil Differencing Musiman

Dari pola ACF dan PACF hasil differencing musiman terlihat menunjukkan pola dies down pada lag ke 2 dan diduga data dibangkitkan oleh AR dan MA musiman.

Beberapa model *ARIMA* musiman (*SARIMA*) yang mungkin adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Model Dugaan

No	Model Dugaan
1	SARIMA (0,1,2)(0,1,2) ¹²
2	SARIMA (0,1,2)(1,1,0) ¹²
3	SARIMA (0,1,1)(1,1,0) ¹²
4	SARIMA (1,1,2,)(1,1,0) ¹²
5	SARIMA (1,1,1)(0,1,2) ¹²
6	SARIMA (1,1,1)(1,1,0) ¹²

Tabel 5. Hasil Estimasi Parameter Model

Model	Parameter	Estimasi	P-value
SARIMA (0,1,2)(0,1,2) ¹²	MA 1	0,763	0,000
	MA 2	0,188	0,032
	SMA 12	0,494	0,000
	SMA 24	0,314	0,002
SARIMA (0,1,2)(1,1,0) ¹²	SAR 12	-0,213	0,028
	MA 1	0,799	0,000
	MA 2	0,188	0,000
SARIMA (0,1,1)(1,1,0) ¹²	MA 1	0,879	0,000
	SMA 12	0,514	0,000
	SMA 24	0,299	0,003
SARIMA (1,1,2,)(1,1,0) ¹²	AR 1	0,373	0,000
	SAR 12	-0,219	0,024
	MA 1	1,148	0,000
	MA 2	-0,158	0,000
SARIMA (1,1,1)(0,1,2) ¹²	AR 1	0,208	0,042
	MA 1	0,936	0,000
	SMA 12	0,500	0,000
	SMA 24	0,300	0,003
SARIMA (1,1,1)(1,1,0) ¹²	AR 1	0,215	0,017
	SAR 12	-0,224	0,017
	MA 1	0,987	0,000

Hasil estimasi untuk setiap model signifikan pada tingkat kepercayaan $\alpha=0,05$. Hal ini dapat dilihat pada nilai P-value yang lebih kecil dari tingkat kepercayaan 0,05. Nilai estimasi tiap parameter untuk 6 model tersebut sudah signifikan, sehingga 6 model tersebut layak digunakan. Selanjutnya 6 model yang memenuhi syarat akan dilakukan uji diagnostik untuk mengetahui galat telah memenuhi syarat *white noise* atau terdistribusi normal. Pengujian diagnostik dilakukan dengan Uji *Ljung Box*.

Selanjutnya akan dilakukan uji *Ljung Box* untuk melihat model memenuhi syarat *white noise*.

Tabel 6. Uji *Ljung Box*

Model	Lag			
	12	24	36	48
SARIMA (0,1,2)(0,1,2) ¹²	0,066	0,015	0,071	0,107
SARIMA (0,1,2)(1,1,0) ¹²	0,117	0,000	0,002	0,001
SARIMA (0,1,1)(1,1,0) ¹²	0,050	0,029	0,050	0,470
SARIMA (1,1,2,)(1,1,0) ¹²	0,097	0,000	0,004	0,004
SARIMA (1,1,1)(0,1,2) ¹²	0,070	0,024	0,089	0,139
SARIMA (1,1,1)(1,1,0) ¹²	0,139	0,000	0,004	0,003

Dari hasil Uji *Ljung Box*, terlihat galat tiap Lag untuk 6 model. Galat yang memenuhi syarat *white noise* apabila nilai *p-value* untuk setiap lag lebih besar dari tingkat kesalahan = 0,05. Dari 6 model tersebut tidak ada model yang nilai *p-value* setiap lagnya lebih dari 0,05, maka model dipilih adalah model yang memiliki sedikitnya 2 nilai *p-value* > 0,05. Model tersebut SARIMA (0,1,2) (0,1,2)¹², SARIMA (0,1,1) (1,1,0)¹² dan SARIMA (1,1,1) (0,1,2)¹². Selanjutnya akan dipilih model terbaik berdasarkan nilai *Chi-Square*. Model yang dipilih adalah model yang memiliki nilai *Chi Square* yang lebih kecil dari tabel *Chi-Square*.

Tabel 7. Uji Model *Chi Square*

Lag	12	24	36	48
Df	8	20	32	44
Chi-Square Tabel	15,51	31,41	46,19	60,48
SARIMA (0,1,1)(1,1,0) ¹²	15,5	33,7	46,1	60,9
Lag	12	24	36	48
Df	7	19	31	43
Chi-Square Tabel	14,7	30,14	44,98	59,30
SARIMA (0,1,2)(0,1,2) ¹²	13,3	34,7	43,2	54,8
SARIMA (1,1,1)(0,1,2) ¹²	13,1	33	42,1	53,1

Dari tabel 8 dapat dilihat nilai *Chi Square* tiap lag untuk ketiga model. Model SARIMA (1,1,1)(0,1,2)¹² dipilih menjadi model terbaik karena dari ke 4 nilai *Chi-Square* yang dimiliki, ada tiga nilai di tiap lag-nya lebih kecil dari nilai tabel *Chi-Square*. Dan nilainya lebih kecil dari nilai model SARIMA (0,1,2)(0,1,2)¹². Setelah ditentukan model terbaik, maka dilakukan peramalan dengan Model SARIMA (1,1,1)(0,1,2)¹².

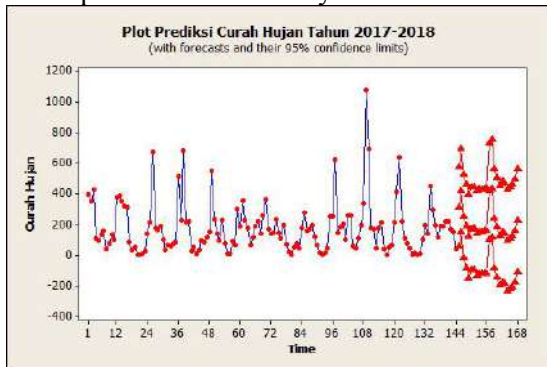
Tabel 8. Peramalan Curah Hujan 2017-2018

Bulan	2017	2018
Januari	314,6005	416,2064
Februari	420,9186	433,8535
Maret	253,6904	238,1308
April	188,7018	179,4766
Mei	121,4517	127,0552

Juni	173,0793	151,8417
Juli	173,311	141,4208
Agustus	141,7276	93,13827
September	154,2511	109,4184
Oktober	151,5554	126,8621
Nopember	156,0389	158,6601
Desember	157,8532	223,8627
Rerata	200,5983	200,0171

Dari tabel 8 dapat digambarkan bahwa pada tahun 2017-2018 curah hujan di Provinsi DKI Jakarta dikategorikan menengah. Predikat ini tercermin dari nilai rerata yang berada pada angka 200,5983 mm² dan 200,0171 mm².

Menurut BMKG permulaan musim kemarau ditetapkan berdasarkan jumlah Curah Hujan dalam satu dasarian (10 hari) kurang dari 50 milimeter dan diikuti oleh beberapa Dasarian berikutnya. Sedangkan permulaan musim hujan ditetapkan berdasarkan jumlah curah hujan dalam satu dasarian (10 hari) sama atau lebih dari 50 milimeter dan diikuti oleh beberapa dasarian berikutnya⁵.



Gambar 9. Pola Peramalan Bulanan Periode 2017-2018

Pada Tahun 2017 curah hujan tertinggi terdapat pada Bulan Februari sebesar 420,9186 mm², sedangkan jumlah curah hujan terendah terdapat pada Bulan Mei sebesar 121,4517 mm². Pada Tahun 2018 curah hujan tertinggi terdapat pada Bulan Februari sebesar 433,8535 mm², sedangkan jumlah curah hujan terendah terdapat pada Bulan Agustus sebesar 93,13827 mm².

Dari data hasil peramalan curah hutun tahun 2017 dan 2018, diprediksi bahwa hujan akan terjadi sepanjang tahun dengan intensitas rendah hingga sedang. Jika diperhatikan prediksi curah hujan tahun 2017-2018 memiliki kesamaan pola, namun besarnya yang berbeda. Jika disandingkan dengan data

curah hujan 2005-2016, puncak curah hujan masih dalam kisaran Bulan Januari-Februari.

Dari data yang dirilis oleh Badan Penanggulangan Bencana Daerah Provinsi DKI Jakarta (BPBD) tahun 2013, jumlah bencana banjir tertinggi terjadi pada Bulan, Desember, Januari, dan Februari. Banjir terparah terjadi pada Bulan Januari, sedikitnya terdapat 35 kecamatan yang terdiri dari 124 kelurahan yang mengalami bencana banjir. Rata-rata ketinggian air berkisar antara 10 - 400 cm. Pada bulan tersebut terdapat 1.226.487 warga DKI Jakarta yang mengalami musibah kebanjiran, dimana 38 orang diantaranya meninggal dunia akibat bencana banjir⁷.

Tabel 10. Kriteria Distribusi Curah Hujan Bulanan

Kriteria	Curah Hujan Bulanan (mm)
Rendah	0-100
Menengah	101-300
Tinggi	301-400
Sangat Tinggi	>400

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika⁶

Dari kriteria yang disebutkan diatas, diperoleh informasi bahwa dari hasil peramalan tahun 2017-2018 menunjukkan bahwa pada Bulan Januari dan Februari memiliki curah hujan dengan intensitas tinggi, pada Bulan Maret sampai dengan Desember memiliki curah hujan dengan intensitas rendah sampai dengan menengah. Menurut BMKG, sifat hujan adalah perbandingan antara jumlah curah hujan selama rentang waktu yang ditetapkan (satu periode musim hujan atau satu periode musim kemarau) dengan jumlah curah hujan normalnya (rata-rata selama 30 tahun periode 1981 - 2010). Sifat hujan dibagi menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu :

- Di Atas Normal (AN), jika nilai curah hujan lebih dari 115% terhadap rata-ratanya
- Normal (N), jika nilai curah hujan antara 85% - 115% terhadap rata-ratanya
- Di Bawah Normal (BN), jika nilai curah hujan kurang dari 85% terhadap rata-ratanya⁶.

Tabel 11. Hasil Peramalan Menurut Sifat Hujan

Sifat Hujan	Bulan
Di Bawah Normal (BN)	Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, dan November
Normal (N)	Maret dan April
Di Atas Normal (AN)	Januari, Februari, dan Desember

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa jumlah bulan yang intensitasnya diatas normal hanya sebanyak 3 bulan., yakni pada Bulan Januari, Februari, dan Maret pada Tahun 2017 dan 2018. Curah hujan pada 3 bulan ini masuk dalam kategori menengah sampai dengan tinggi sehingga dapat mengakibatkan bencana banjir.

Pada 3 bulan ini, Kabupaten Bogor yang hilir aliran sungainya melalui DKI Jakarta menambah debit air yang harus ditampung Provinsi DKI Jakarta. Diperlukan antisipasi dari Pemerintah untuk menanggulangi bencana banjir yang sering dialami oleh Provinsi DKI Jakarta. Penanggulangan dapat dilakukan pada Bulan November (sebelum curah hujan di atas kondisi normal). Jika dikaitkan dengan penentuan kebijakan pemerintah, pola curah hujan ini sudah sangat mendukung. Pada awal tahun program pemerintah masih pada tahap persiapan, dan pada saat yang sama terjadi puncak musim hujan. Musim hujan dianggap sebagai salah satu faktor yang mengganggu pada program pemerintah sektor konstruksi. Memasuki Bulan April, anggaran pemerintah sudah siap untuk digulirkan sekaligus proses lelang sudah selesai dilaksanakan. Pada Bulan April curah hujan sudah semakin berkurang sehingga faktor penghambat dapat diminimalisir.

Pada subsektor tanaman pangan diketahui bahwa periode tanam tanaman padi yaitu April-September dan Oktober-Maret. Pada periode April-September tanaman padi harus ditambah pengairannya melalui sistem irigasi lainnya, karena pada periode tersebut terjadi penurunan curah hujan dan puncak musim kemarau.

4. KESIMPULAN

Model terbaik untuk data curah hujan DKI Jakarta berdasarkan data stasiun Jakarta yaitu model SARIMA $(1,1,1)(0,1,2)^{12}$. Hasil peramalan rata-rata curah hujan pada Tahun 2017 dan 2018 secara berturutan, yaitu $200,5983 \text{ mm}^2$ dan $200,0171 \text{ mm}^2$ yang

dikategorikan menengah. Menurut hasil peramalan pada bulan Januari dan Februari memiliki intensitas tinggi sampai dengan sangat tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu dan terlibat dalam pelaksanaan penelitian ini. (1) Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan Badan Pusat Statistik (BPS), selaku penyedia data curah hujan. ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Setiawan A, dkk. 2013. Aplikasi Peramalan Penjualan Kosmetik dengan Metode ARIMA. *Konfrensi Nasional Sistem Informasi*.
2. Ukhra A, 2014. Pemodelan dan peramalan data deret waktu dengan metode seasonal ARIMA. *Jurnal Matematika UNAND*. Vol. 3 No. 3. 59-67.
3. Wahyuni P, dkk. 2016. Peramalan Curah Hujan Menggunakan Metode Analisis Spektral, *E-Jurnal Maatematika*. Vol. 5 No.4 183-193.
4. Baroroh A, 2013, *Analisis Multivariat dan Time Series dengan SPSS 21*. Jakarta : Elex Media Komputindo.
5. Badan Pusat Statistik, (2005 -2015), *Jakarta Dalam Angka*, Jakarta : BPS Provinsi DKI Jakarta.
6. Badan Meteorologi dan Klimatologi dan Geofisika, 2010, *Kondisi Cuaca Ekstrem dan Iklim*, BMKG. <http://data.bmkg.go.id/share/Dokumen/press%20release%20kondisi%20cuaca%20ekstrim%20dan%20iklim%20tahun%202010-2011.pdf> diakses pada tanggal 18 Januari 2018 : 09.50 WIB
7. Badan Penanggulangan Bencana Daerah Prov DKI Jakarta, 2013. *Data kejadian Bencana Banjir tahun 2013*. BPBD Prov. DKI Jakarta. <http://data.jakarta.go.id/dataset/rekap-banjir-bulan-februari-2016/resource/54c58739-724c-4edf-a819-4c7a3c7edfc2> diakses pada tanggal 21 Januari 2018 : 08.55 WIB.

Perangkat Lunak Terbuka untuk Pengolahan Data Resistivitas 1D Konfigurasi Schlumberger

Muhammad Altin Massinai*, Muhammad Fawzy Ismullah Massinai, Maria Prodi Geofisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

Abstrak

Penelitian ini memberikan tinjauan pada perangkat lunak yang bersifat terbuka. Perangkat lunak ini, Schlum, digunakan untuk menghitung resistivitas dan ketebalan pada data geolistrik resistivitas 1D Konfigurasi Schlumberger. Aplikasi ini memberikan hasil yang mirip dengan perangkat lunak IPI2Win yang umum digunakan pada pengolahan data resistivitas, baik untuk data sintetik maupun data lapangan. Kelebihan perangkat lunak ini adalah dapat memberikan nilai galat pada tiap lapisannya dan dapat mengolah data untuk permukaan dan dasar danau. Kekurangannya, selain hanya terbatas pada Konfigurasi Schlumberger, aplikasi ini belum mampu dengan cepat mengubah hasil saat ada informasi a priori baru yang diterima.

Kata Kunci: ketebalan; Konfigurasi Schlumberger; perangkat lunak; resistivitas; 1D.

1. PENDAHULUAN

Salah satu metode geofisika yang populer saat ini adalah geolistrik resistivitas. Metode ini mempelajari aliran listrik di bawah permukaan bumi dan mendeteksinya dari permukaan bumi¹. Metode ini memiliki susunan elektroda (Konfigurasi) yang umum digunakan adalah Schlumberger, Wenner dll. Masalah yang sering ditemukan adalah keterbatasan perangkat lunak yang umumnya berlisensi komersil. Penelitian ini memberikan tinjauan pada perangkat lunak yang bersifat terbuka atau *open source*. Perangkat lunak ini, Schlum, digunakan untuk menghitung resistivitas dan ketebalan pada data geolistrik resistivitas 1D Konfigurasi Schlumberger. Schlum pertama kali diperkenalkan oleh Franz Kohlbeck & Dana Mawlood pada tahun 2009. Schlum dapat mengolah data Konfigurasi Schlumberger dari²:

1. Semua elektroda di darat.
2. Semua elektroda di dasar danau atau sejenisnya.
3. 2 elektroda potensial di dasar danau dan elektroda arus lainnya di darat.

2. TEORI DASAR DAN METODA

Pada pemodelan geolistrik 1-D model bumi dianggap berlapis horizontal (Gambar 1) sehingga resistivitas (dalam Ohm.m) hanya bervariasi terhadap kedalaman. Pendekatan ini dianggap cukup memadai untuk kondisi geologi tertentu yaitu di lingkungan sedimen sampai kedalaman yang tidak terlalu besar. Data geolistrik diperoleh melalui pengukuran dengan

konfigurasi elektroda tertentu dengan jarak antar elektroda yang makin besar untuk memperoleh informasi pada kedalaman yang makin besar pula (*sounding*)³

Fungsi pemodelan kedepan pada metode geolistrik dengan model 1-D diformulasikan sebagai persamaan integral Hankel yang menyatakan resistivitas-semu ρ_a sebagai fungsi dari resistivitas dan ketebalan (ρ_k, h_k) tiap lapisan, $k = 1, \dots, n$ dan n adalah jumlah lapisan³:

$$\rho_a = s^2 \int_0^{\infty} T(\lambda) J_1(\lambda s) \lambda d\lambda \quad 1$$

s adalah setengah jarak antar elektroda arus ($AB/2$) untuk konfigurasi Schlumberger), J_1 adalah fungsi Bessel orde-satu, dan $T(\lambda)$ adalah fungsi transformasi resistivitas yang dinyatakan oleh formulasi rekursif Pekeris³:

$$T_k(\lambda) = \frac{T_{k+1}(\lambda) + \rho_k \tanh(\lambda h_k)}{1 + T_{k+1}(\lambda) \tanh(\lambda h_k) / \rho_k}; k = n - 1, \dots, 1 \quad 2$$

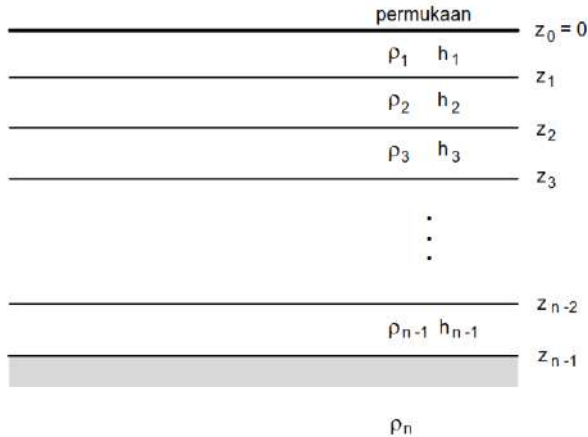
Perhitungan ketebalan dan resistivitas tiap lapisan pada artikel ini disebut dengan istilah inversi. Perhitungan dimulai dari model awal ketebalan dan resistivitas tersebut (Gambar 2). Arus I diinduksi pada elektroda arus (A, B) dan beda potensial (ΔV) diukur pada elektroda potensial (M, N). Dengan mengetahui lokasi dari masing masing elektroda, resistansi $\Delta V/I$ dapat dihitung untuk tiap jarak $AB/2$ dari posisi elektroda. Parameter model dapat diubah agar meminimalisir perbedaan antara yang nilai yang terukur dan terhitung².

*Email: altin@science.unhas.ac.id

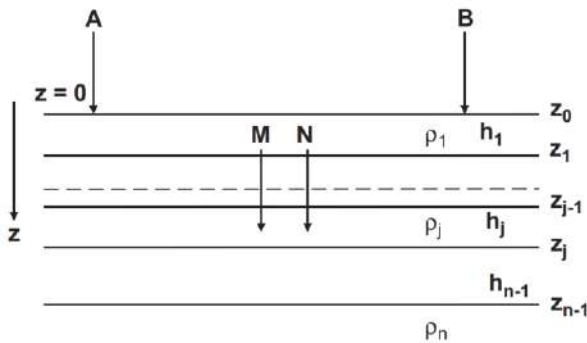
Potensi di lokasi \vec{r} disebabkan oleh satu elektroda arus pada lokasi \vec{r}_a dapat dinyatakan sebagai berikut²:

$$V(\vec{r}, \vec{r}_a) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty f(z, z_a, \lambda) J_0(\lambda R_a) d\lambda \quad 3$$

dengan R_a jarak dari \vec{r} ke \vec{r}_a , J_0 fungsi Bessel orde-nol. (x, y, z) dan (x_a, y_a, z_a) komponen dari \vec{r} dan \vec{r}_a dengan z bernilai positif³.



Gambar 1. Model resistivitas 1-D yang terdiri dari n lapisan horizontal, masing-masing dengan resistivitas homogen ρ_k dan ketebalan h_k . Lapisan terakhir adalah *half-space* dengan ketebalan tak-hingga³.



Gambar 2. Pengukuran dan perhitungan resistivitas dan ketebalan tiap lapisan².

Beda potensial ΔV untuk sumber positif di \vec{r}_a dan sumber negatif dengan harga yang sama di \vec{r}_b dapat dinyatakan sebagai²:

$$\Delta V = 2 \frac{1\Delta x}{2\pi} \int_0^\infty f(z, z_a, \lambda) J_1(\lambda R_a) \lambda d\lambda \quad 4$$

Pers. 4 menjadi dasar dari perangkat lunak ini. Namun saat ada elektroda yang berada di permukaan dan lainnya di bawah permukaan, maka suku $f(z, z_a, \lambda)$ dinyatakan sebagai²:

$$f(z, 0, \lambda) = \left[\prod_{i=1}^{j-1} \left(\frac{\bar{T}_i + \rho_i}{\bar{T}_{i+1} + \rho_i} \right) \right] \frac{1}{2} (\bar{T}_j + \rho_j) e^{-\lambda z} \times \begin{cases} 1 & j \geq 2 \\ e^{-2\lambda(z_j - z)} \frac{\bar{T}_{j+1} - \rho_j}{\bar{T}_{j+1} + \rho_j} & j \geq 2 \end{cases} \quad 5$$

dengan T adalah formulasi rekursif Pekeris (Pers. 2).

3. HASIL DAN BAHASAN

Kami menguji perangkat lunak ini, Schlum, pada 2 buah kondisi yakni pada data sintetik dan data lapangan. Perangkat lunak lain, IPI2Win, digunakan sebagai pembanding.

Data Sintetik

Tabel 1. Data sintetik⁴.

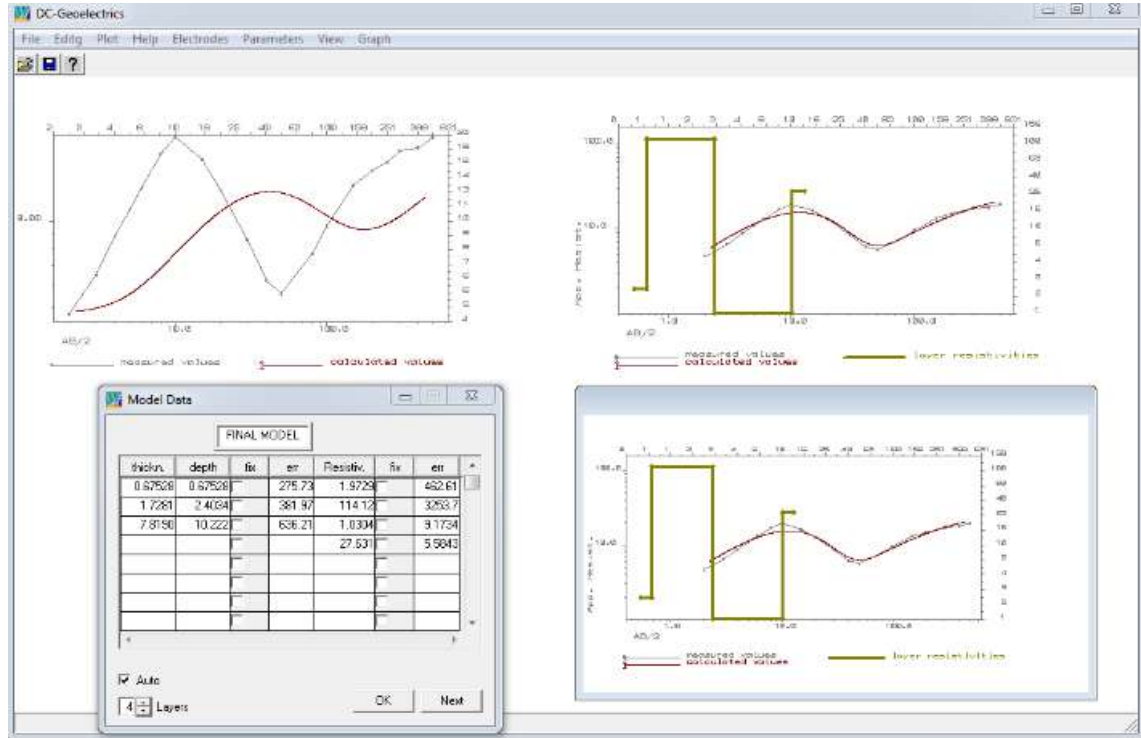
AB/2 (m)	ρ (Ω m)
2	4.75
3	6.5
4	8.85
5	11
6	13
8	17.1
10	19.6
15	16.4
20	12.8
30	8.6
40	6.2
50	5.6
80	7.7
100	9.6
150	13.3
200	15
250	16
300	17.5
400	18
500	19.5

Data tersebut pada Tabel 1 diolah menggunakan Schlum dan IPI2Win. Semua jenis perlakuan dalam pengolahan data dilakukan sama untuk kedua perangkat lunak tersebut. Secara umum, Schlum dan IPI2Win mendapatkan hasil 4 buah lapisan (Gambar 3 dan 4). Ketebalan dari masing masing lapisan berbanding lurus dengan kedalaman. Dari segi resistivitas, kedua perangkat lunak ini juga memberikan trend yang sama. Lapisan kedua merupakan lapisan dengan nilai resistivitas terbesar, diikuti lapisan keempat, pertama dan ketiga. Hal ini

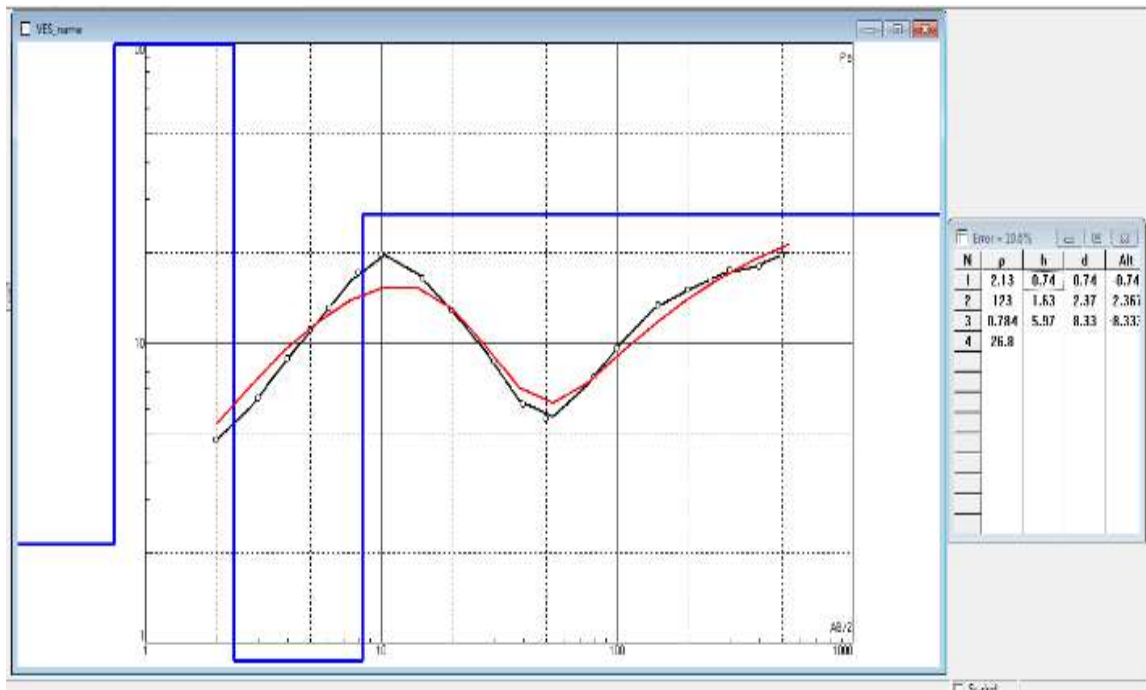
menunjukkan bahwa untuk data sintetik, Schlum dan IPI2Win memperlihatkan hasil yang mirip.

Perbedaan terlihat dari nilai ketebalan dan resistivitas masing masing lapisan. Schlum memberikan nilai galat (*error*) untuk tiap ketebalan dan resistivitas lapisan yang IPI2Win

hanya memberikan satu buah nilai galat untuk keseluruhan lapisan. Hal ini menjadi salah satu kelebihan Schlum. Namun penggunaan IPI2Win yang mudah saat merubah model jika terdapat informasi tambahan menjadi nilai lebih dibanding Schlum



Gambar 3. Hasil dari Schlum untuk data sintetik.



Gambar 4. Hasil dari IPI2Win untuk data sintetik.

Data Lapangan

Akuisisi geolistrik resistivitas 1-D menggunakan konfigurasi Schlumberger. Lokasi pengambilan data merupakan lapangan lokasi perkemahan di Widoro, Kab. Kebumen, Jawa Tengah. Topografi lokasi akuisisi data datar dengan lintasan sepanjang 100 m. Survei ini dilakukan pada Kamis, 7 Mei 2015 sekitar pukul 12.30 – 15.30 WIB

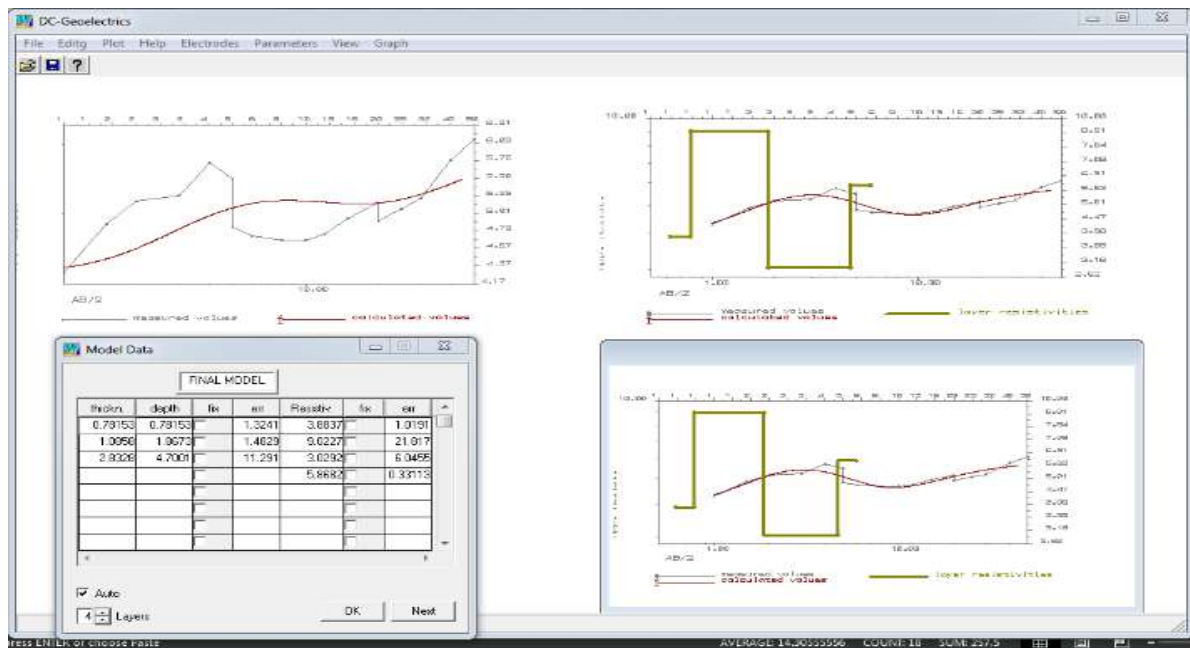
Tabel 2. Data lapangan.

AB/2 (m)	ρ (Ω m)
1	4.2856
1.5	4.874
2	5.171
3	5.251
4	5.72
5	5.48
5	4.83
6	4.72
8	4.67
10	4.6693
12	4.7418
15	4.9469
20	5.1489
20	4.9141
25	5.0724
30	5.2075
40	5.7661
50	6.0771

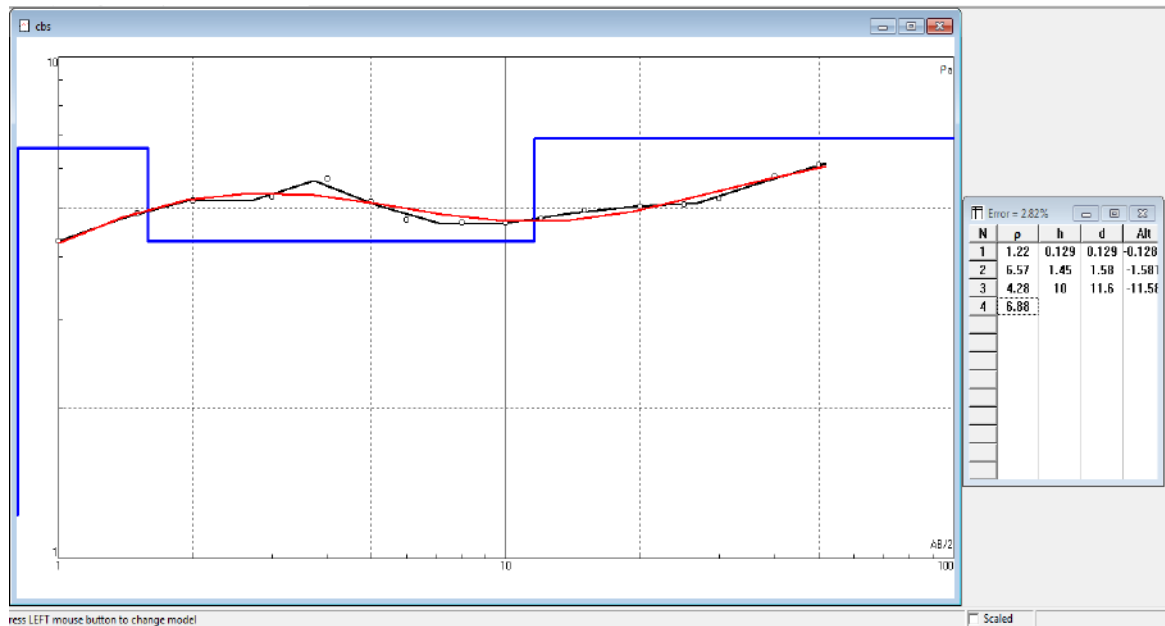
Perlakukan prosedur pengolahan pada data lapangan ini seperti pada data sintetik sebelumnya. Schlum dan IPI2Win

memperlihatkan trend yang mirip dengan perbedaan pada nilai ketebalan dan resistivitas masing masing lapisan (Gambar 5 dan 6). Trendnya juga mirip dengan data sintetik sebelumnya. Ketebalan tiap lapisan berbanding lurus dengan kedalaman. Perbedaan trend muncul pada resistivitas. Pada Schlum, Resistivitas terbesar ada pada lapisan kedua. Lalu lapisan keempat, diikuti lapisan pertama dan ketiga. Berbeda urutan pada IPI2Win, lapisan keempat memiliki resistivitas terbesar diikuti lapisan kedua, pertama dan terkecil ketiga. Perbedaan hasil ini mungkin saja berasal dari pembacaan kurva inversi pada masing masing perangkat lunak. Hasil pembacaan IPI2Win untuk resistivitas lapisan kedua dan keempat memiliki perbedaan kurang dari 0,5 Ω m sedangkan pada Schlum berbeda hingga 4 Ω m.

Perbedaan ini dapat dicermati lebih jauh dari nilai galatnya. Namun IPI2Win hanya memberikan nilai galat untuk keseluruhan lapisan. Berbeda dengan Schlum yang memberikan nilai galat untuk tiap lapisan. Hal ini menunjukkan Schlum bisa memberikan tingkat kepercayaan yang tinggi dibanding IPI2Win. Namun, diperlukan kesabaran untuk mengolah data geolistrik resistivitas 1-D konfigurasi Schlumberger mengingat penggunaan IPI2Win lebih mudah dan sederhana dibandingkan Schlum, terutama jika ada informasi *a priori* atau baru yang perlu dimasukkan.



Gambar 5. Hasil dari Schlum untuk data lapangan.



Gambar 6. Hasil dari IPI2Win untuk data lapangan.

4. KESIMPULAN

Perangkat lunak ini, Schlum, memberikan hasil yang mirip dengan perangkat lunak komersial lainnya yang umum digunakan pada pengolahan data resistivitas Kelebihan Schlum adalah dapat memberikan nilai galat pada tiap lapisannya dan dapat mengolah data untuk permukaan dan dasar danau.

Selain hanya terbatas pada Konfigurasi Schlumberger, kekurangan Schlum adalah belum mampu dengan cepat mengubah hasil saat ada informasi *a priori* baru yang diterima.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. M. A. Massinai, Lantu, H. Latuconsina, M F Ismullah M. 2018. *Distribution Analysis of Sulphide Mineral (Pyrite) Using Induced Polarization Method in Libureng, Bone, South Sulawesi*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **132** 012017.
2. F. Kohlbeck, D. Mawlood. 2009. *Computer program to calculate resistivities and layer thicknesses from Schlumberger soundings at the surface, at lake bottom and with two electrodes down in the subsurface*. Computers & Geosciences **35** 1748–1751.
3. H. Grandis. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI). Hal. 142 – 143.
4. P. K. Bhattacharya, H. P. Patra. 1968. *Direct Current Geoelectric Sounding*. India. Elsevier Publishing Company. Hal. 128.

Karakterisasi Karbon Aktif Yang Disiapkan Dari Tempurung Kelapa Menggunakan Teknik Pirolisis

Andi Ikhtiar Bakti*, P.L. Gareso, Nurlaela Rauf

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin,
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Makassar 90245, Indonesia

Abstrak

Karbon aktif dihasilkan dari tempurung kelapa melalui aktivasi fisika. Metode pirolisis digunakan untuk aktivasi fisika pada suhu optimal 800°C, Hasil Spektrum XRD menganalisis puncak-puncak yang muncul pada fasa karbon dan grafit pada puncak gelombang dengan sudut (2θ) 23,62°, dan 44,06° bidang hkl (002) dan (101), Hasil SEM dari struktur mikro dengan pembesaran 3000 kali, nampak ukuran pori yang terbentuk adalah 1,0 μm dan disekitar areanya juga terdapat porositas lainnya. Hasil EDS mengidentifikasi kandungan unsur karbon yang cukup baik yaitu 50,77 % yang menjelaskan proses aktivasi karbon aktif berhasil.

Kata kunci : karbon aktif, , SEM-EDS, teknik pirolisis, tempurung kelapa, X-RD

1. PENDAHULUAN

Tempurung kelapa sebagai bahan baku sering dimanfaatkan untuk diaktivasi menjadi karbon aktif¹. Berdasarkan data yang diperoleh, Asia Tenggara merupakan wilayah dengan jumlah produksi kelapa yang cukup besar dengan empat negara sebagai produsen utamanya, yaitu India, Indonesia, Filipina, dan Sri Lanka yang menyumbangkan 78% produksi kelapa di dunia². Berkaitan dengan produksi karbon aktif, Indonesia kini merupakan salah satu negara eksportir utama karbon aktif³.

Karbon aktif telah dikenal sebagai adsorban yang paling efektif dan berguna untuk menghilangkan polutan dari gas yang tercemar dan aliran cairan. Hal ini disebabkan oleh sifat karbon aktif yang memiliki luas permukaan aktif besar yang bisa memberikan kapasitas adsorpsi struktur berpori yang berkembang dengan baik dan sifat mekanik yang baik⁴. Hal mendasar yang digunakan untuk pembuatan karbon aktif adalah bahan organik yang kaya akan karbon⁵. Pengembangan metode penggunaan bahan limbah sebagai karbon aktif sangat diharapkan dapat menjadi solusi dalam pemanfaatan limbah seperti limbah biji jarak, tongkol jagung, tempurung kelapa, serat kelapa sawit, dan serbuk gergaji kayu, bahan ini terbukti sangat baik untuk diubah menjadi karbon aktif karena teksturnya yang keras dan kuat yang

disebabkan oleh tingginya lignin dan kandungan karbon serta rendahnya kadar abu dari bahan-bahan tersebut^{2,6-7}.

Untuk menghasilkan karbon aktif dari tempurung kelapa digunakan teknik pirolisis yakni proses tempurung kelapa menjadi arang, dilanjutkan dengan proses aktivasi. Proses aktivasi terbagi menjadi dua, yaitu aktivasi fisika dan kimia. Proses aktivasi fisika diperoleh melalui karbonisasi dengan gas pengoksidasi atau karbon dioksida pada suhu tinggi (400-1000°C). Untuk aktivasi kimia, bahan direndam dalam larutan kimia seperti ZnCl_2 , Na_2CO_3 , KOH dan KCl dengan konsentrasi tertentu⁸.

Karbon aktif menghasilkan struktur kristal karbon yang lebih baik dan struktur amorf yang secara tidak teratur ditumpuk oleh cincin karbon bermanfaat untuk menghasilkan celah teradsorben, yang merupakan 97% karbon murni^{5,9}. Proses aktivasi dilakukan melalui prosedur mencampurkan bahan awal dengan reagen aktivasi dan campuran dipanaskan dalam tekanan atmosfer lembam⁴. Proses ini biasanya dilakukan pada suhu dan waktu yang lebih rendah dibandingkan dengan proses aktivasi fisika. Luas permukaan dan porositas yang dihasilkan pun lebih baik dibandingkan dengan aktivasi kimia. Penelitian ini akan menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif dan menganalisis struktur Kristal, komposisi kandungan unsur dan daya serapan dengan menggunakan X-RD dan SEM-EDS.

*Email : andikhtiar@gmail.com

2. Material Dan Metodologi

2.1. Material mentah

Tempurung kelapa dipilih untuk pembuatan karbon aktif. Bahannya dibersihkan dengan aquades beberapa kali untuk menghilangkan debu dan kotoran. Sampel tempurung kelapa kemudian dikeringkan di oven pada suhu 110°C selama 24 jam untuk menghilangkan kelembaban permukaan dan kemudian digiling sesuai ukuran yang diinginkan. Kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui kadar volatil dan karbon tetap serta untuk mengukur komposisi masing-masing unsur, metode ini seperti metode penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hidayu dkk.

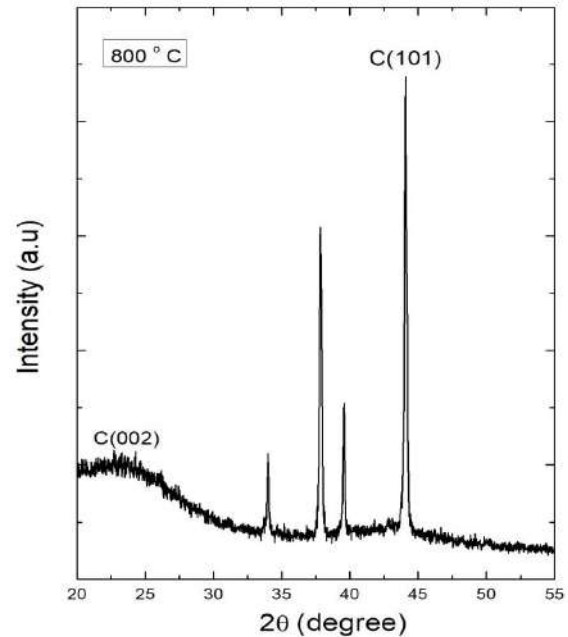
2.2. Aktivasi karbon

Tempurung kelapa diaktivasi menggunakan teknik aktivasi fisika dengan memasukkannya ke dalam reaktor pirolisis yang dipanaskan pada suhu 800°C selama satu jam. Setelah proses aktivasi selesai, karbon aktif kemudian dibersihkan dengan aquades dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C selama tiga puluh menit. Setelah itu, dilakukan pengayakan dengan menggunakan ASTM *Standard Test Sieve* yang mempunyai ukuran 70-200 Mesh. Model ayakan yang digunakan terdiri atas tiga susunan ayakan. Sampel yang telah diayak, kemudian diambil dan dikarakterisasi.

3. Hasil Dan Pembahasan

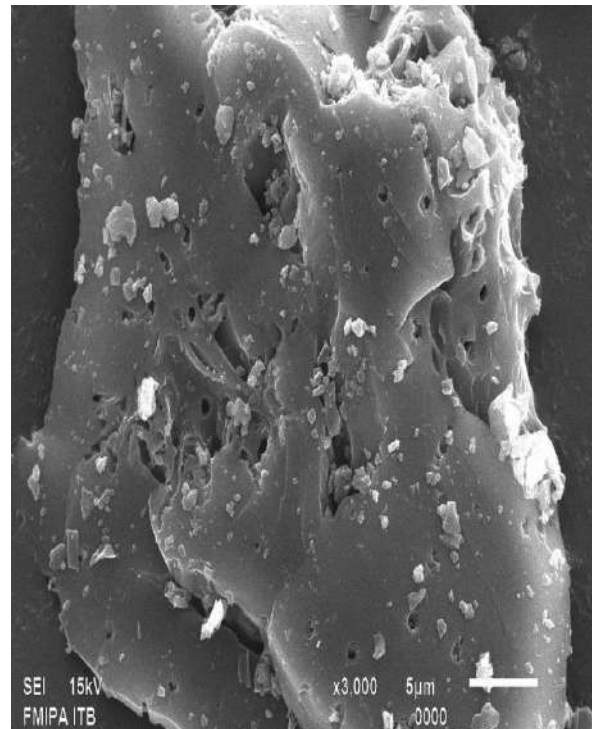
3.1. Analisis X-RD

Dari spektrum X-RD yang diperlihatkan pada gambar 1 tampak puncak-puncak yang muncul adalah fasa karbon (C) dan grafit, terlihat dari puncak gelombang pada sudut 2theta (2θ) 23,62°, 39,80° dan 44,06° bidang hkl (002) dan (101), meskipun masih ada sedikit impuritas terlihat pada sudut 2θ lainnya yang merupakan fasa kalium (K) dan sudut 2θ lainnya yang belum teridentifikasi. Dari hasil spektrum tersebut dapat disimpulkan bahwa sebagian fasa karbon dan grafit yang terbentuk dalam sampel sudah teraktivasi. sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Kushwaha dkk. dan Rani dkk⁹⁻¹³.

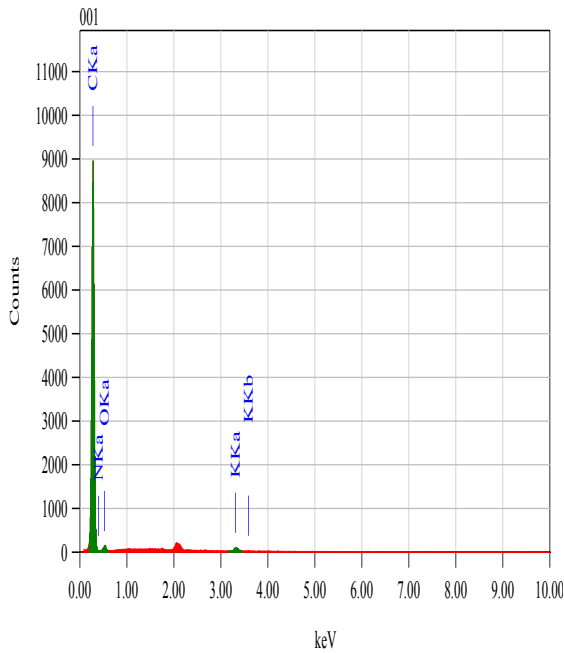


Gambar 1. pola X-RD setelah diaktivasi

3.2. Analisis SEM-EDS



Gambar 2. Rekaman SEM pembesaran 3000 kali



Gambar 3. komposisi kandungan unsur dengan EDS

Tabel 1. Komposisi kandungan unsur EDS

Sampel	<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>			
	<i>(Mass %)</i>			
Karbon Aktif	C	O	K	N
800 ^o C	50,77	1,51	0,17	47,55

Hasil rekaman *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS)* pada gambar 2 menunjukkan morfologi SEM dari struktur mikro dengan pembesaran 3000 kali, ukuran gambar 5 μm , nampak ukuran pori yang terbentuk adalah 1,0 μm dan disekitar areanya juga terdapat porositas lainnya yang menjelaskan bahwa hasil aktivasi karbon berhasil. Foto SEM dengan aktivasi 800^oC menunjukkan bahwa tahap aktivasi menghasilkan permukaan eksternal yang luas dengan pori-pori yang cukup baik, hal itu mempengaruhi daya serap atau absorban dari porositas yang terbentuk, semakin besar dan banyak jumlah porositasnya maka kualitas karbon aktif semakin baik.

Pada tabel 1 menjelaskan kandungan unsur (massa %) dengan hasil rekaman EDS, menunjukkan kandungan unsur karbon (C), Oksigen (O), Kalium (K), Nitrogen (N) adalah 50,77 %, 1,51 %, 0,17 %, 47,55 %. Berdasarkan data karakteristik teridentifikasi unsur karbon yang cukup baik yaitu 50,77 % yang menjelaskan proses aktivasi karbon aktif berhasil. Pada proses pirolisis menyisakan unsur Nitrogen yang cukup tinggi

mengindikasikan proses penguapan unsur tersebut tidak berjalan maksimal. Maka dibutuhkan zat pengaktivasi untuk mengurangi atau menghilangkan unsur Nitrogen dan unsur lainnya selain karbon¹³⁻¹⁶.

4. KESIMPULAN

Hasil spektrum X-RD menganalisis puncak-puncak yang muncul adalah fasa karbon (C) dan grafit pada bidang hkl (002) dan (101). permukaan eksternal yang luas dengan pori-pori yang cukup baik, hal itu mempengaruhi daya serapan dari porositas yang terbentuk, semakin besar dan banyak jumlah porositasnya maka kualitas karbon aktif semakin baik. Berdasarkan data karakteristik teridentifikasi unsur karbon yang cukup baik yaitu 50,77 % yang menjelaskan proses aktivasi karbon aktif berhasil.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arash Arami-Niya, Wan Mohd Ashri Wan Daud, Farouq S. Mjalli, faisal Abnisa, Mohammad Saleh Shafeeyan. (2012). Production of microporous palm shell based activated carbon for methane adsorption: modeling and optimization using response surface methodology. *Chemical Engineering Research and Design*, 776-784.
2. Kalyanapu Venkateswara Rao, A.H.L.Swaroop, Dr.P.Kodanda Rama Rao, Ch.Naga Bharath. (2015). Study on Strength Properties of Coconut Shell Concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 42-61.
3. Cocommunity, T. (2016, August) Initiatives Towards Product Diversification Seek Out Viable Opportunities in the Coconut Industry. *Monthly Newsletter of the Asian and Pacific Coconut Community, XLVI(8)*, 1-32.
4. A.R Hidayu, N. Muda. (2016). Preparation and characterization of impregnated activated carbon from palm kernel shell coconut shell for CO₂ capture. *Procedia Engineering 148 (2016) 106-113*, 1-8.
5. A.R. Hidayu, N.F. Muahammad, S. Matali, A.S.K. Sharifah. (2013). Characterization of activated carbon prepared from oil palm empty fruti bunch using BET and FT-IR techniques. *Procedia Engineering 68 (2013) 379-384*, 1-6.

6. J. Lehmann and S. Joseph. (2009). Biocha for environmental management. *Earthscan*.
7. Kittiphop Promdee, Jirawat Chanvidhwatanakit, Somruedee Satitkune, Chakkrich Boonmee, Thitipong Kawichai, Sittipong Jarernprasert, Tharapong Vitidsant. (2017). Characterization of carbon materials and differences from activated carbon particle (ACP) and coal briquettes product (CBP) derived from coconut shell via rotary kiln. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75, 1175-1186.
8. Hung, J. J. (2012). *The Production of Activated carbon from Coconut Shells Using Pyrolysis and Fluidized Bed Reactors*. Arizona: The University of Arizona.
9. Pradhan, S. (2011). *Production and characterization of Activated Carbon produced a suitable Industrial sludge*. Odisha, India: Department of Chemical Engineering National Institute of Technology Rourkela.
10. Noor Hidayu Abdul Rani, nor Fadilah Mohammad, Sharmeela Matali and Sharifah Aishah Syed A. kadir. (2014). Preparation and characterization af activated carbon made from oil palm empty fruit bunch. *Enginerig Materials* , 594-595, 44-48.
11. Shilpi Kushwaha, P. Padmaja, G. Sreelatha. (2012). physical and chemical modified forms of palm shell preparation, characterization and preliminary assessment. <https://www.research.net/publication/257594337>, 1-17.
12. S. Matali, S. A. Khairuddin, A. S. A. K. Sharifah, and A. R Hidayu. (2013). Removal of selected gaseous effluent using activated carbon derived from oil palm waste: An Overview. in *2013 IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications*. Kuching, Sarawak.
13. Ahmad Monshi, Mohammad Reza Foroughi, Mohammad reza Monshi. (2012). Modified Scherrer Equation to Estimate More Accurately Nano-Crystallite Size Using XRD. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 154-160.
14. Volodymyr D. Khavryuchenko, Oleksiy V. Khavryuchenko, Andriy I. Shkilnyy, Denys A. Stratiichuk and Vladyslav V. Lisnyak. (2009). Characterization by SEM, TEM and Quantum-Chemical Simulation of the Spherical Carbon with Nitrogen (SCN) Active Carbon Produced by Thermal Decompositoin of Poly (vinylpyridine-divinylbenzene) Copolymer. *materials*, 2, 1239-1251.
15. Beata Sarecka-Hujar, Radoslaw Balwierz, AnetaOstrzka-Cieslik, RenataDyja, Dariusz Lukowiec, Andrzej Jankowski. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray energy dispersive spectroscopy - useful tools in the analysis of pharmaceutical products. *IOP Conference Series of Physics: Conf. Series 931 (2017) 012008* (pp. 1-6). Kasztanowa, poland: IOP Publishing.
16. Roozbeh Hoseinzadh Hesas, Arash Arami-Niya, Wan Mohd Ahri Wan Daud and J. N. Sahu. (2013). Preparation and Characterization of Activated Carbon from Apple Waste by Microwave-Assisted Phosporic.

Analisis Reflection Loss Menggunakan Metode Finite-Difference-Time-Domain (FDTD) Untuk Aplikasi Absorpsi Gelombang Mikro

Muh. Fachrul Latief^{1,2,*}, Dahlang Tahir², Eko Juarlin¹

¹Laboratorium Fisika Teoritik dan Komputasi, Department Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

²Laboratorium Fisika Material, Department Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Makassar 90245, Indonesia

Abstrak

Reflection Loss (RL) merupakan hasil dari bagian energi yang direfleksikan ulang ke permukaan. Atau disebut juga energi yang hilang akibat adanya absorpsi gelombang mikro. Teori dan material tentang absorpsi gelombang mikro semakin berkembang dalam aplikasi militer (pengurangan radar identitas dari pesawat udara, kapal, dan tank). Apapun pengaplikasian untuk absorber yang dituju, maka pengurangan bobot dan optimalisasi operasi *bandwidth* merupakan dua hal yang penting untuk dikaji. Saat ini teknik numerik dimungkinkan untuk berhubungan langsung dengan berbagai eksperimen yang relevan terhadap parameter pemodelan. Kemampuan dari komputasi dan efisiensi dari metode komputasi terus meningkat, menjadi mungkin untuk diselidiki bahan komposit baru melalui simulasi komputer, sebelum dilakukan sintesis. Banyak ahli teori telah memeriksa subjek ini dengan melakukan perhitungan. Salah satu metode komputasi yang digunakan adalah *Finite-Difference-Time-Domain (FDTD)* karena merupakan persamaan linear di setiap waktunya. Dalam paper ini akan ditinjau pemodelan absorpsi gelombang mikro untuk dua material yang berbeda bahan kompositnya dengan menggunakan metode *Finite-Difference-Time-Domain (FDTD)*. Selanjutnya nilai *Reflection Loss (RL)* yang diperoleh dianalisis sehingga didapatkan karakteristik absorbernya.

Kata Kunci : gelombang mikro, *Finite-Difference-Time-Domain (FDTD)*, *reflection loss*

1. PENDAHULUAN

Secara umum, dimungkinkan untuk mendeskripsikan interaksi dari suatu gelombang elektromagnetik dengan material absorber gelombang mikro sebagai fenomena di mana energi elektromagnetik dapat berubah menjadi energi panas [1,2]. Menurut prinsip konservasi energi, suatu gelombang elektromagnetik yang melewati suatu material dimungkinkan terjadinya pemantulan, pelemahan, atau transmisi gelombang. Tanggapan untuk suatu material terhadap gelombang tersebut bergantung pada karakteristik intrinsiknya [3,4].

Upaya teoritis dan eksperimen telah lama dirancang untuk melengkapi absorpsi gelombang mikro yang terkait dengan dua hal penting terkait dengan sifat gelombang elektromagnetiknya. Hal yang pertama didasarkan dengan meningkatnya *magnetic losses*. Misalnya fenomena resonansi pada ambang frekuensi yang lebih tinggi. Hal kedua yang didasarkan dengan meningkatnya

dielectric losses. *Magnetic losses* pada ferrit spinel akan menjadi kecil yang sesuai dengan nilai batas Snoke. Dengan demikian, bahan-bahan tersebut tidak memungkinkan untuk digunakan pada ambang frekuensi GHz. Namun, penelitian yang cukup besar telah dilakukan khusus untuk mengembangkan media komposit buatan menggunakan berbagai polimer yang di dalamnya terisi tipe-M hexaferrit pada medan anisotropi [5-17].

Kemajuan teknologi ferrit membawa perkembangan yang luar biasa karena mampu menjelaskan karakteristik resonansi gyromagnetik untuk frekuensi yang selektif. Hal inilah yang memungkinkan untuk membuka jalan dalam pembuatan radar. Banyak percobaan dan simulasi terbaru menyelidiki perilaku nanopartikel feromagnetik dalam kombinasi dengan bahan matriks dielektrik untuk absorpsi gelombang mikro [10-19].

Karakteristik suatu absorber dapat ditinjau melalui metode pengukuran standar, yaitu pengukuran secara langsung dari pemantulan di ruang vakum dengan transmisi yang lenyap

*Email : muh.fachrul73@yahoo.co.id

oleh substrat logam yang melekat pada absorber tersebut. Syarat utama suatu material agar dapat menjadi absorber adalah sebagai berikut: (i) harus meminimalisir pemantulan depan-muka dan pencocokan impedansi di udara ke antarmuka penyerap, (ii) harus meningkatkan nilai absorpsi gelombang mikro melalui *magnetic losses* dan *dielectric losses*, (iii) dimungkinkan untuk dapat diterapkan dalam ambang frekuensi yang luas, (iv) tidak memerlukan penggunaan medan magnet eksternal [20-25]. Material absorber gelombang mikro termasuk layar Salisbury, absorber Jaumann, partikel serat lapisan polimer, dan cat umumnya adalah sistem pasif, meskipun terdapat beberapa hal yang berhubungan dengan permukaan aktif, seperti variabel dari permukaan impedansi.

Dalam paper ini, akan ditinjau material absorber gelombang mikro yang relevan terhadap metode komputasi. Hal ini dimungkinkan untuk mendapatkan deskripsi tentang material komposit baru yang akan ditinjau sebelum material tersebut disintesis.

2. TEORI ABSORPSI GELOMBANG MIKRO (MA THEORY)

Pada bagian ini, hal fundamental tentang absorpsi gelombang mikro akan dipaparkan serta gambaran tentang teori hukum campuran. Keduanya sama-sama memberikan sebuah teoritis tentang desain absorber yang teroptimalkan. Energi gelombang mikro, ketika terjadi pada material yang menyebar, akan tercipta pemanasan di dalam material melalui interaksi medan elektromagnetik dengan struktur molekuler dan elektronik material tersebut. Media homogen dan heterogen yang dianalisis dalam pendekatan media efektif dijelaskan oleh dua parameter, yakni permivitas listrik relatif dan permeabilitas magnet relatif yang dituliskan:

$$\epsilon_r = \epsilon' + i\epsilon'' \quad (1)$$

$$\mu_r = \mu' + i\mu'' \quad (2)$$

Pada persamaan ini, bentuk ϵ' dan μ' merupakan bagian real yang berhubungan dengan penyimpanan energi, sedangkan bentuk ϵ'' dan μ'' merupakan bagian imajiner yang berkaitan dengan disipasi energi dari material yang dihasilkan. Disipasi energi dalam material lewat gelombang elektromagnetik yang terjadi melalui gaya redaman yang bekerja pada atom dan polarisasi molekul pada konduktivitas tertentu dari suatu material.

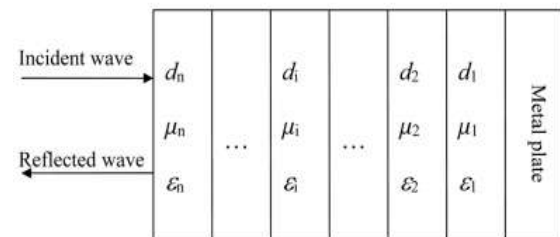
a. Interaksi Gelombang Mikro terhadap Absorpsi

Dalam penyerapannya, gelombang mikro melewati lapisan-lapisan dari suatu material yang digunakan. Hal ini dikhususkan untuk absorber gelombang mikro untuk beberapa lapisan (*multilayer*) yang terdiri dari n -layer pada material komposit yang berbeda dapat dianalisis dengan pendekatan konduktor listrik sempurna (PEC) seperti pada gambar 1 di bawah ini. Untuk menyederhanakannya, maka diasumsikan bahwasanya gelombang elektromagnetik terjadi secara normal. Sehingga konduktivitas dari setiap lapisan dari sifat absorbernya adalah diasumsikan menjadi nol. Berdasarkan teori Transmisi-Garis [26-28], impedansi gelombang dari setiap lapisannya dapat dituliskan

$$Z_i = \eta_i \frac{Z_{i-1} + \eta_i \tanh(\gamma_i d_i)}{\eta_i + Z_{i-1} \tanh(\gamma_i d_i)} \quad (3)$$

di mana d_i adalah ketebalan material, η_i adalah impedansi intrinsik kompleks, dan γ_i adalah konstanta propagasi dari lapisan ke- i . Di sini ungkapan dari $\eta_i = \eta_0 \sqrt{\mu_i/\epsilon_i}$, $\gamma_i = i2\pi f \sqrt{\mu\epsilon/c}$. η_0 merupakan impedansi pada ruang vakum, dan μ_i dan ϵ_i merupakan permeabilitas dan permivitas kompleks relatif dari lapisan ke- i . Dengan pertimbangan bahwasanya pelat logam adalah PEC ($\eta_0 = 0$), maka impedansi pada lapisan pertama diungkapkan:

$$Z_1 = \eta_1 \tanh(\gamma_1 d_1) \quad (4)$$



Gambar 1. Sebuah skema perjalanan dari absorber gelombang mikro berlapis banyak (*multilayer*) dengan gelombang masukan yang normal, d_i , μ_i , dan ϵ_i merupakan ketebalan, permeabilitas dan permivitas kompleks pada lapisan ke- i .

Reflection Loss (RL) untuk gelombang elektromagnetik masukannya pada permukaan absorbernya diungkapkan oleh :

$$RL = 20 \log|\Gamma| = 20 \log \left| \frac{Z_n - \eta_0}{Z_n + \eta_0} \right| \quad (5)$$

Selanjutnya akan ditinjau konstanta atenuasi (bagian real dari faktor propagasi γ) didefinisikan [26,29] :

$$\alpha = \text{Re}(\gamma) = \text{Re}\left(\frac{i\omega\sqrt{\mu\varepsilon}}{c}\right)$$

$$= \frac{\omega}{\sqrt{2}c} \sqrt{\mu\varepsilon - \mu'\varepsilon' + \sqrt{(\mu'^2 + \mu''^2)(\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2)}} \quad (6)$$

di mana c adalah kecepatan cahaya pada ruang vakum. Dari persamaan 7 di atas terlihat bahwasanya konstanta atenuasi bergantung pada permeabilitas magnet dan permivitas listrik kompleks dan frekuensi.

Absorpsi material untuk dua lapisan atau lebih seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 dapat dihitung dengan *Reflection Loss (RL)* dengan persamaan [30];

$$RL = \left| \frac{\left[\frac{\sqrt{\mu_1/\varepsilon_1} \tanh(\gamma_1 d_1) + \sqrt{\mu_2/\varepsilon_2} \tanh(\gamma_2 d_2)}{\sqrt{\mu_1 \varepsilon_2 / \mu_2 \varepsilon_1} \tanh(\gamma_1 d_1) \tanh(\gamma_2 d_2)} \right] - 1}{\left[\frac{\sqrt{\mu_1/\varepsilon_1} \tanh(\gamma_1 d_1) + \sqrt{\mu_2/\varepsilon_2} \tanh(\gamma_2 d_2)}{\sqrt{\mu_1 \varepsilon_2 / \mu_2 \varepsilon_1} \tanh(\gamma_1 d_1) \tanh(\gamma_2 d_2)} \right] + 1} \right|$$

b. Pendekatan Komputasi

Teknik numerik saat ini dimungkinkan untuk menganalisis langsung teori dengan berbagai eksperimen yang relevan terhadap parameter model. Respon elektromagnetik dari suatu bahan komposit absorber harus sesuai dengan metode teoritis yang sudah tervalidasi [31-38]. Karena keduanya, kemampuan komputasi dan efisiensi dari metode komputasi itu sendiri seiring waktu selalu meningkat. Hal ini memungkinkan untuk menyelidiki material komposit absorber melalui simulasi komputer sebelum bahan tersebut disintesis. Banyak ilmuwan teoritis fisika yang mendalami subjek ini dengan melakukan perhitungan *ab initio* misalnya teori kerapatan fungsional (DFT) [39-41] atau metode elemen berhingga (FEM) [42]. Karena metode elemen berhingga menggunakan memori dan waktu yang lebih banyak, sehingga untuk lebih efisiennya digunakan metode *finite differnece time domain* (FDTD). Selain itu, beberapa teknik numerik yang relevan terhadap subjek ini adalah prinsip pertama dinamika molekul [43-45], algoritma integral terbatas [45-47], Monte Carlo [48], momen mutipol [49,50], evolusi diferensial [51], algoritma genetik [52], atau FDTD [53-55].

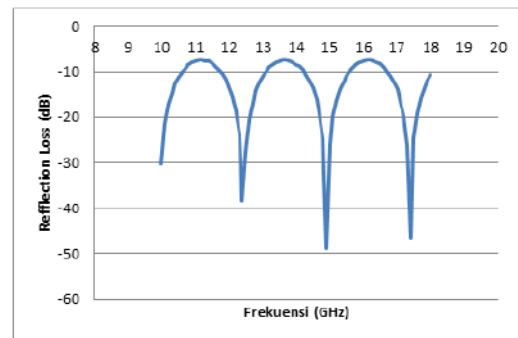
3. METODE PENELITIAN

Dalam program ini berdasarkan salah satu dari persamaan Maxwell untuk gelombang elektromagnetik. Sehingga hal-hal yang perlu diperhatikan tentang program tersebut adalah

1. Nilai dari E_x dan H_y dihitung berdasarkan pemisahan loop, di mana E_x dan E_y bekerja masing-masing dan tidak saling mempengaruhi.
2. Setelah E_x dapat dihitung, maka sumber dari gelombang nya juga dapat dihitung dengan menentukan E pada titik $\kappa = kc$. Inilah yang dinamakan *hard sources* yang dapat menentukan jargon dari program FDTD.

4. HASIL DAN KESIMPULAN

Hasil perhitungan untuk nilai Reflection Loss (RL) yang merupakan nilai absorber untuk dua material yang berbeda bahan kompositnya adalah,



Gambar 2. Reflection Loss untuk 2 bahan yang berbeda nilai permivitas dan permeabilitas dengan ketebalan yang sama.

di mana nilai permivitas dan permeabilitas untuk bahan pertama adalah 1, sedangkan nilai permivitas dan permeabilitas untuk bahan kedua adalah 1,5. Kedua bahan tersebut mempunyai ketebalan material yang sama. Dari grafik tersebut, terlihat nilai absorber untuk tertinggi pada masukan frekuensi 15 GHz yakni sebesar 48 dB. Grafik dari gambar 2 ini sesuai dengan hipotesis yang telah dilakukan sebelumnya [56].

DAFTAR ISI

1. Schleher DC. *Electronic warfare in the information age*. London: Artech House; 1999.
2. Folgueras LC and Rezende MC. Hybrid multilayer structures for use as microwave absorbing material. In: *Proceedings of the IEEE 2007/ MTT-S International Microwave and Optoelectronics*

- Conference; 2007; Salvador, Brazil. Salvador: IMOC; 2007. p. 483-487.
3. Kovetz A. *Electromagnetic Theory*. New York: Oxford; 2000.
 4. Knott EF, Shaeffer JF and Tuley MT. *Radar Cross Section*. 2 ed. Norwood: Artech House; 1993.
 5. J. Smit and H. P. J. Wijn, Ferrites: Physical Properties of Ferromagnetic Oxides in Relation to their Technical Applications (Philips Technical Library, Eindhoven, The Netherlands, 1959).
 6. B. Lax and K. J. Button, Microwave ferrites and ferrimagnetics (McGraw-Hill, New York, 1962).
 7. M. R. Meshram, N. K. Agrawal, B. Sinha, and P. S. Misra, *J. Magn. Magn. Mater.* 271, 207 (2004).
 8. T. Kagotani, D. Fujiwara, S. Sugimoto, K. Inomata, and M. Homma, *J. Magn. Magn. Mater.* 272–276, E1813 (2004).
 9. Z. Haijun, L. Zhichao, M. Chengliang, Y. Xi, Z. Liangying, and W. Mingzhong, *Mater. Sci. Eng., B* 96, 289 (2002).
 10. S. P. Ruan, B. K. Xu, H. Suo, F. Q. Wu, S. Q. Xiang, and M. Y. Zhao, *J. Magn. Magn. Mater.* 212, 175 (2000).
 11. P. Singh, V. K. Babbar, A. Razdan, S. L. Srivastava, and T. C. Goel, *Mater. Sci. Eng., B* 78, 70 (2000).
 12. P. Singh, V. K. Babbar, A. Razdan, R. K. Puri, and T. C. Goel, *J. Appl. Phys.* 87, 4362 (2000).
 13. S. M. Abbas, R. Chatterjee, A. K. Dixit, A. V. R. Kumar, and T. C. Goel, *J. Appl. Phys.* 101, 074105 (2007).
 14. J. Y. Shin and J. H. Oh, *IEEE Trans. Magn.* 29, 3437 (1993).
 15. M. B. Amin and J. R. James, *Radio Electron. Eng.* 51, 209 (1981).
 16. S. S. Kim, S. B. Jo, K. I. Gueon, K. K. Choi, J. M. Kim, and K. S. Churn, *IEEE Trans. Magn.* 27, 5462 (1991).
 17. H. S. Cho and S. S. Kim, *IEEE Trans. Magn.* 35, 3151 (1999).
 18. C. P. Neo and V. K. Varadan, *IEEE Trans. Electromagn. Compat.* 46, 102 (2004).
 19. V. B. Bregar, *IEEE Trans. Magn.* 40, 1679 (2004).
 20. K. C. Pitman, M. W. Lindley, D. Simkin, and J. F. Cooper, *IEE Proc. F, Radar Signal Process.* 138, 223 (1991).
 21. X. F. Zhang, X. L. Dong, H. Huang, B. Lv, J. P. Lei, and C. J. Choi, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 40, 5383 (2007).
 22. X. Yuan, H. Wang, B. Zha, G. Hou, and P. Hou, *Surf. Coat. Technol.* 201, 7130 (2007).
 23. Y. Xiaojing, W. Hangong, H. Genliang, J. Li, and Y. Chunjiang, *IEEE Trans. Magn.* 42, 2115 (2006).
 24. K. Sung-Soo, H. Dae-Hee, and C. Sung-Baeg, *IEEE Trans. Magn.* 30, 4554 (1994).
 25. S. Kolev, A. Yanev, and I. Nedkov, *Physica Status Solidi (C), Applied Research* 3(5), 1308 (2006).
 26. K. J. Vinoy and R. M. Jha, *Radar Absorbing Materials—From Theory to Design and Characterization* (Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1996).
 27. J.-H. Oh, K.-S. Oh, C.-G. Kim, and C.-S. Hong, *Composites, Part B* 35, 49 (2004).
 28. G. Z. Shen, Z. Xu, and Y. Li, *J. Magn. Magn. Mater.* 301, 325 (2006).
 29. S. J. Yan, L. Zhen, C. Y. Xu, J. T. Jiang, and W. Z. Shao, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 43, 245003 (2010).
 30. Balanis CA. *Advanced Engineering Electromagnetics*. New York: John Wiley and Sons; 1989.
 31. A. Mejdoubi and C. Brosseau, *Phys. Rev. E* 73, 031405 (2006).
 32. B. Sareni, L. Krahenbuhl, A. Beroual, and C. Brosseau, *J. Appl. Phys.* 80, 4560 (1996).
 33. B. Sareni, L. Krahenbuhl, A. Beroual, and C. Brosseau, *J. Appl. Phys.* 81, 2375 (1997).
 34. B. Sareni, L. Krahenbuhl, A. Beroual, and C. Brosseau, *J. Appl. Phys.* 81, 2375 (1997).
 35. A. Mejdoubi and C. Brosseau, *J. Appl. Phys.* 99, 063502 (2006).
 36. J. P. Calame, A. Birman, Y. Carmel, D. Gershon, B. Levush, A. A. Sorokin, V. E. Semenov, D. Dadon, L. P. Martin, and M. Rosen, *J. Appl. Phys.* 80, 3992 (1996).
 37. J. P. Calame, *J. Appl. Phys.* 99, 084101 (2006).
 38. J. P. Calame, *J. Appl. Phys.* 94, 5945 (2003).
 39. L. P. Horwitz and H. Neumann, *Phys. Rev. Lett.* 19, 765 (1967).
 40. J. W. Evans, *Rev. Mod. Phys.* 65, 1281 (1993).
 41. R. G. Parr and W. Yang, *Density-Functional Theory of Atoms and Molecules* (Oxford University Press and Clarendon Press, New York and Oxford, 1989).

42. O. C. Zienkiewicz and R. L. Taylor, *The Finite Element Method* (Mc Graw-Hill, New York, 1994).
43. J. M. Haile, C. Massobrio, and S. Torquato, *J. Chem. Phys.* 83, 4075 (1985)
44. J. M. Haile, *Molecular Dynamics Simulation: Elementary Methods* (Wiley, New York, 1992).
45. S. Stolzle, A. Enders, and G. Nimtz, *J. Phys. (France)* 2, 401 (1992).
46. T. Weiland, *Part. Accel.* 17, 227 (1985).
47. T. Weiland, *Part. Accel.* 15, 245 (1984).
48. K. Binder and D. W. Heermann, *Monte Carlo Simulation in Statistical Physics* (Springer-Verlag, Berlin, 1988).
49. A. W. Appel, *SIAM J. Sci. Stat. Comput.* 6, 85 (1985).
50. L. Greengard and V. Rokhlin, *The Rapid Evaluation of Potential Fields in Three Dimensions* (MIT Press, Cambridge, MA, 1988).
51. N. I. Dib, M. Asi, and A. Sabbah, *Prog. Electromagn. Res. C* 13, 171 (2010).
52. I. A. Youngs, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 35, 3127 (2002).
53. K. K. Kaikkariinen, A. H. Sihvola, and K. I. Nikoskinen, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 38, 1303 (2000).
54. K. L. Shlager and J. B. Schneider, *IEEE Antennas Propag. Mag.* 37, 39 (1995).
55. K. S. Kunz and R. J. Luebbers, *The FDTD Method for Electromagnetics* (CRC, Boca Raton, FL, 1993).
56. F. Qin and C. Brosseau *J. Appl. Phys.* 111, 061301 (2012)

Pendekatan Sistem Dinamik Kosmologi Dunia *Brane* pada Limit Energi Rendah dengan Model Λ CDM

M. N. Gazali Yunus*, L. M. Aldin Haswari, U. Al Qarany, Bansawang BJ**

Department Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Makassar 90245, Indonesia

Abstrak

Dunia *brane* merupakan model pendekatan dimensi ekstra dalam gravitasi yang dimotivasi oleh teori-M. Dalam skenario dunia *brane*, sebuah *brane* digambarkan sebagai suatu dinding domain atau permukaan-hiper 4D dengan tensi positif (λ) dalam ruang-waktu *bulk* Anti de-Sitter 5D dengan simetri Z_2 . Modifikasi gravitasi pada relativitas umum menggunakan skenario dunia *brane* menghasilkan beberapa suku koreksi terhadap persamaan medan Einstein pada *brane* yang dikenal sebagai persamaan medan “efektif”. Dalam makalah ini, kosmologi dunia *brane* hanya ditinjau pada limit energi rendah, sehingga medan materi pada suku kuadrat yang relevan dengan energi tinggi diabaikan. Sedangkan efek-efek non-lokal pada *brane* lenyap sehingga memberikan solusi pada *brane* sebagai sistem tertutup. Selanjutnya studi pendekatan sistem dinamik dari kosmologi dunia *brane* ini memberikan solusi yang memenuhi model Λ CDM, dimana kontribusi materi, $\Omega_M \approx 0,3$ dan alam semesta didominasi oleh kontribusi energi gelap atau energi vakum, $\Omega_\Lambda \approx 0,7$ pada limit energi rendah.

Kata Kunci: energi rendah, kosmologi dunia *brane*, model Λ CDM, sistem dinamik

1. PENDAHULUAN

Kosmologi merupakan salah satu bidang kajian ilmu fisika khususnya fisika teori yang sangat ramai dikaji saat ini. Teori dari kosmologi yang sudah sangat maju ini juga didukung kuat oleh hasil-hasil eksperimen dan observasi alam semesta. Tujuan utama dari bidang kajian ini yaitu untuk menggambarkan evolusi alam semesta dari waktu awal hingga sekarang dan bahkan prediksi alam semesta kedepannya. Salah satu kesuksesan luar biasa dari kosmologi adalah mampu menggambarkan secara rinci keadaan paling awal alam semesta. Tidak hanya itu, kosmologi juga mampu menjelaskan struktur skala yang sangat besar alam semesta seperti yang terlihat saat ini. Gambaran matematis kosmologi diberikan oleh persamaan Einstein dalam teori relativitas umum. Materi-energi dalam teori ini menjadi dasar untuk semua model kosmologi. Dalam persamaan Einstein, materi-energi diperkenalkan melalui tensor energi-momentum yang bergantung dari teori yang mendasarinya. Modifikasi persamaan medan Einstein akan berdampak pada kosmologinya. Dalam makalah ini, persamaan medan Einstein dimodifikasi pada suku gravitasi

dengan pendekatan dimensi ekstra 4+1D dalam skenario dunia *brane*.

Skenario dunia *brane* pertama kali digagas oleh Horava-Witten [1] yang menunjukkan bahwa teori-M dalam *orbifold* 11D $R^{10} \times S^1/Z_2$ dapat dikompakkan menjadi $R^4 \times S^1/Z_2 \times [\text{Calabi-Yau}]^6$. Ruang ekstra Calabi-Yau 6D sangat kecil, sehingga dapat direduksi dalam ruang-waktu 5-dimensi (5D) menjadi $R^4 \times S^1/Z_2$. Skenario dunia *brane* yang didasari teori Horava-Witten, ruang-waktu 4D digambarkan sebagai dinding domain yang disebut sebagai *brane* dan gravitasi dalam ruang-waktu 5D yang disebut juga ruang-waktu *bulk*. Partikel model standar terkurung dalam *brane*, sedangkan graviton tersebar dalam ruang-waktu *bulk* [2].

Selain Horava-Witten, skenario dunia *brane* juga dipelopori oleh Randall-Sundrum dan Dvali-Gabadadze-Porrati [2,3]. Dalam model RS, *brane* digambarkan sebagai suatu dinding domain yang identik dengan tensi positif (λ) dalam ruang-waktu AdS 5D [4,5], sedangkan dalam model DGP, ruang-waktu 4D digambarkan sebagai dinding domain 3-*brane* dalam ruang-waktu *bulk* Minkowski dengan dimensi ekstra yang sangat besar [6].

Kosmologi FRW pada *brane* dalam makalah ini ditinjau pada limit energi rendah dan dengan sistem tertutup. Pada kasus ini, suku-suku yang relevan dengan energi tinggi dapat diabaikan dan

*Email : ghazalyyunus@gmail.com

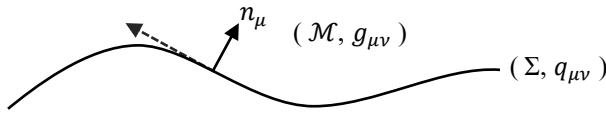
**Email : bangsawang@yahoo.com

efek non-lokal *bulk* pada *brane* lenyap agar sistem menjadi tertutup. Energi gelap pada tinjauan ini adalah murni kontribusi dari konstanta kosmologi lokal *brane* yang mana keadaan tersebut relevan dengan kosmologi model Λ CDM [7]. Studi pendekatan sistem dinamik pada penelitian ini dilakukan untuk menggambarkan evolusi dari struktur alam semesta, yaitu radiasi, Ω_r , materi non-relativistik, Ω_m dan energi gelap Ω_Λ .

2. KOSMOLOGI DUNIA BRANE

2.1 Persamaan medan “efektif” pada brane

Dalam skenario dunia *brane*, ruang-waktu 4D digambarkan sebagai dinding domain 3-*brane* $(\Sigma, q_{\mu\nu})$ dalam ruang-waktu *bulk* 5D $(\mathcal{M}, g_{\mu\nu})$. Metrik induksi pada Σ dalam ruang-waktu 5D diberikan oleh $q_{\mu\nu} = g_{\mu\nu} - n_\mu n_\nu$, dengan n_μ merupakan vektor satuan normal pada Σ dan $g_{\mu\nu}$ adalah metrik 5D [2,8]. Penggambaran skenario ini ditunjukkan melalui skema geometri dunia *brane* berikut.



Gambar 1. Skema geometri dunia brane

Persamaan medan Einstein dalam *bulk* 5D pada skenario dunia *brane* diberikan sebagai

$${}^{(5)}G_{AB} = -\Lambda_5 g_{AB} + \kappa_5^2 T_{AB}^{(5)}, \quad (1)$$

dimana $T_{AB}^{(5)}$ merupakan tensor energi-momentum dari medan materi dalam *bulk* 5D. Karena dalam skenario dunia *brane* dianggap bahwa tidak ada medan materi lain selain gravitasi dalam *bulk* 5D, maka $T_{AB}^{(5)} = 0$, sehingga persamaan medan Einstein dalam *bulk* 5D menjadi ${}^{(5)}G_{AB} \approx -\Lambda_5 g_{AB}$.

Dengan menggunakan proyeksi metrik 5D pada *brane* dan persamaan medan Einstein dalam *bulk* 5D, dimana kelengkungan ekstrinsik pada *brane* ditentukan melalui kondisi *junction* dan simetri Z_2 yang diterapkan dalam skenario dunia *brane*, maka persamaan medan Einstein “efektif” pada *brane* diperoleh sebagai berikut :

$${}^{(4)}G_{\mu\nu} = -\Lambda_4 q_{\mu\nu} + \kappa^2 T_{\mu\nu} + \frac{6}{\lambda} \kappa^2 \Pi_{\mu\nu} - E_{\mu\nu}, \quad (2)$$

dimana $\kappa^2 = 8\pi G = \kappa_4^2 = \frac{1}{6}\kappa_5^4 \lambda$, sedangkan $T_{\mu\nu}$ adalah tensor energi-momentum dari medan materi pada *brane*, dan

$$\Lambda_4 \equiv \frac{1}{2}(\Lambda_5 + \kappa^2 \lambda) \quad (3)$$

adalah konstanta kosmologi “efektif” pada *brane*, dengan λ adalah tensi *brane* atau energi vakum yang terlokalisasi pada *brane*. Suku koreksi pada persamaan (2) yang pertama adalah suku kuadratik yang muncul akibat kelengkungan ekstrinsik

$$\Pi_{\mu\nu} \equiv \frac{1}{12} TT_{\mu\nu} - \frac{1}{4} T_{\mu\alpha} T_{\nu}^{\alpha} + \frac{1}{8} q_{\mu\nu} T_{\alpha\beta} T^{\alpha\beta} - \frac{1}{24} q_{\mu\nu} T^2 \quad (4)$$

merupakan kuadrat dari suku $T_{\mu\nu}$ yang berperan pada awal-awal alam semesta ketika skala materi-energi sangat tinggi. Suku koreksi kedua adalah suku proyeksi tensor Weyl,

$$E_{\mu\nu} \equiv {}^{(5)}C^{\alpha}_{\beta\rho\sigma} n_{\alpha} n^{\rho} q_{\mu}^{\beta} q_{\nu}^{\sigma} \quad (5)$$

yang membawa informasi medan gravitasi non-lokal pada *brane*.

2.2 Limit energi rendah dan sistem tertutup

Pada analisa tingkat energi, diperkenalkan skala energi massa dimana $\kappa_4^2 \sim M_4^{-2}$ dengan $M_4 \sim M_P$, $M_P \sim 10^{16}$ TeV adalah skala Planck. Sedangkan $\kappa_5^2 \sim M_5^{-3}$ dan $\lambda \equiv M_{\lambda}^4$ dengan tingkat energi masing-masing diberikan sebagai $M_5 > 10^5$ TeV dan $\lambda^{1/4} > 1$ TeV [9]. Namun pada limit energi rendah, M_5 dan M_{λ} cukup besar dibandingkan skala energi materi, yakni $M \ll M_5, M_{\lambda}$ dengan $T_{\mu\nu} \sim M^4$ [2]. Suku kedua pada ruas kanan persamaan (2) merupakan kontribusi materi normal yang memenuhi energi lokal *brane*, sedangkan suku ketiga yaitu suku kuadratik, $\Pi_{\mu\nu}$ dapat diabaikan pada limit energi rendah. Hal ini ditunjukkan dengan perbandingan suku ini terhadap suku materi biasa yang diberikan sebagai

$$\frac{\kappa_5^4 |\Pi_{\mu\nu}|}{\kappa^2 |T_{\mu\nu}|} \sim \frac{|T_{\mu\nu}|}{\lambda} \sim \frac{M^4}{M_{\lambda}^4} = \frac{\rho}{\lambda}. \quad (6)$$

$\Pi_{\mu\nu} \sim (T_{\mu\nu})^2$ merupakan suku koreksi materi energi tinggi yang mana dapat diabaikan pada limit energi rendah, dimana $\rho \ll \lambda$, tetapi lebih dominan pada $\rho \gg \lambda$ yang terjadi di awal-awal alam semesta [10].

Suku tensor Weyl, $E_{\mu\nu}$ untuk suku longitudinal yang mana ditentukan melalui $T_{\mu\nu}$ diperoleh tingkat energi yang setara dengan suku kuadratik [2,8], yaitu

$$\frac{|E_{\mu\nu}^L|}{\kappa^2 |T_{\mu\nu}|} \sim \frac{M^4}{M_{\lambda}^4}. \quad (7)$$

Sedangkan untuk suku *transverse-traceless* tensor Weyl, $E_{\mu\nu}^{TT}$ yang menggambarkan efek

non-lokal dalam *bulk* pada *brane* yang lenyap apabila *brane* dipandang sebagai sistem tertutup. Perbandingan energi untuk suku ini diberikan sebagai

$$\frac{|E_{\mu\nu}^{TT}|}{\kappa^2 |T_{\mu\nu}|} \sim \frac{M_5^6 M^2}{M_\lambda^8}. \quad (8)$$

Pada limit energi rendah dan sistem tertutup pada *brane*, suku $E_{\mu\nu}$ juga dapat diabaikan. Pada kasus ini $E_{\mu\nu} = 0$, yang berarti bahwa ruang-waktu *bulk* 5D adalah murni AdS ataukah ruang-waktu 5D *conformally flat*. Dengan demikian persamaan medan Einstein “efektif” (2) pada limit energi rendah tereduksi ke bentuk persamaan medan Einstein standar pada *brane* [8], yaitu

$${}^{(4)}G_{\mu\nu} \cong -\Lambda_4 q_{\mu\nu} + \kappa^2 T_{\mu\nu}, \quad (9)$$

dimana jika *brane* dipandang sebagai sistem tertutup, konstanta kosmologi non-lokal lenyap, $\Lambda_5 = 0$, sehingga konstanta kosmologi pada *brane* diberikan sebagai $\Lambda_4 = \frac{1}{2}\kappa^2 \lambda$ dan diperoleh $\lambda = 2\rho_\Lambda$, dimana $\rho_\Lambda = \Lambda_4/8\pi G$ adalah rapat energi vakum pada *brane*.

2.3 Kosmologi FRW pada brane

Dalam skenario dunia *brane*, kosmologi FRW ditentukan melalui metrik 5D dengan simetri kosmologi yang diberikan sebagai [10,11]

$$ds^2 = -N^2(t, y) dt^2 + A^2(t, y) \gamma_{ij} dx^i dx^j + dy^2, \quad (10)$$

dimana $n_\mu dx^\mu = dy$ adalah koordinat normal Gaussian yang ortogonal terhadap *brane*. Jika ditinjau pada *brane* 4D, dimana dapat dipilih $y = 0$ pada *brane*. Maka secara konsisten, metrik pada persamaan (10) menggambarkan kosmologi FRW pada *brane* dengan $A(t, y = 0) = a(t)$ adalah faktor skala pada *brane* dan $N(t, y = 0) = 1$, sehingga metrik tersebut memenuhi metrik FRW biasa 4D.

Pada kosmologi FRW, *brane* dipandang homogen dan isotropik, dengan rapat materi-energi, ρ dan tekanan isotropik, P . Dengan demikian, diperoleh persamaan Friedmann termodifikasi pada *brane* untuk persamaan (2) adalah [12]

$$H^2 = \frac{\Lambda_4}{3} + \frac{8\pi G}{3} \rho \left(1 + \frac{\rho}{2\lambda}\right) - \frac{k}{a^2} + \frac{u}{4\pi G\lambda}. \quad (11)$$

Pada tinjauan limit energi rendah ($\rho \ll \lambda$, dan $\rho/\lambda \rightarrow 0$) dan *brane* dipandang sebagai sistem tertutup sehingga suku terakhir persamaan (11) menjadi lenyap, maka persamaan Friedmann pada *brane* dapat dituliskan kembali menjadi

$$H^2 = \frac{\Lambda_4}{3} + \frac{8\pi G}{3} \rho - \frac{k}{a^2} \quad (12)$$

yang mana solusi ini memenuhi kosmologi model Λ CDM untuk kosmologi FRW *flat* ($k = 0$), dengan $\Lambda_4 = 8\pi G\rho_\Lambda$ adalah kontribusi energi vakum atau energi gelap pada *brane* dan tekanan isotropik negatif, $P_\Lambda = -\rho_\Lambda$ dengan sajian persamaan keadaan energi gelap adalah $w_\Lambda = -1$ [7].

3. PENDEKATAN SISTEM DINAMIK

Pada studi dinamika kosmologi, diperkenalkan persamaan gerak dari persamaan (12) untuk kosmologi FRW *flat* pada *brane*

$$3H^2 = \Lambda_4 + \kappa^2 \rho, \quad (13)$$

$$2\dot{H} = -\kappa^2 (\rho + P), \quad (14)$$

dimana $\kappa^2 = 8\pi G$ dan rapat energi total ρ dan tekanan isotropik P pada persamaan (13) dan (14) masing-masing diberikan sebagai $\rho = \rho_m + \rho_r$ dan $P = \rho_r/3$, dengan ρ_m dan ρ_r masing-masing adalah rapat materi dan rapat radiasi [3]. Sama halnya untuk medan skalar, pada kasus ini juga diperkenalkan variabel-variabel tak-berdimensi (*dimensionless*):

$$x_1 \equiv \frac{\sqrt{\Lambda_4}}{\sqrt{3}H}, \text{ dan } x_2 \equiv \frac{\kappa\sqrt{\rho_r}}{\sqrt{3}H}. \quad (15)$$

Parameter kerapatan tiap materi-energi masing-masing diberikan sebagai

$$\Omega_\Lambda \equiv x_1^2, \quad \Omega_r \equiv x_2^2, \text{ dan}$$

$$\Omega_m \equiv \frac{\kappa^2 \rho_m}{3H^2} = 1 - x_1^2 - x_2^2. \quad (16)$$

Hal ini memenuhi hubungan kerapatan total pada *brane* yaitu $\Omega_\Lambda + \Omega_r + \Omega_m = 1$ untuk persamaan (13). Turunan dari variabel-variabel x_1 dan x_2 persamaan (15) terhadap N , dengan $N = \ln a$ diperoleh persamaan *autonomous* berikut

$$\frac{dx_1}{dN} = -x_1 \frac{\dot{H}}{H^2}, \quad (17)$$

$$\frac{dx_2}{dN} = -2x_2 - x_2 \frac{\dot{H}}{H^2}, \quad (18)$$

dimana

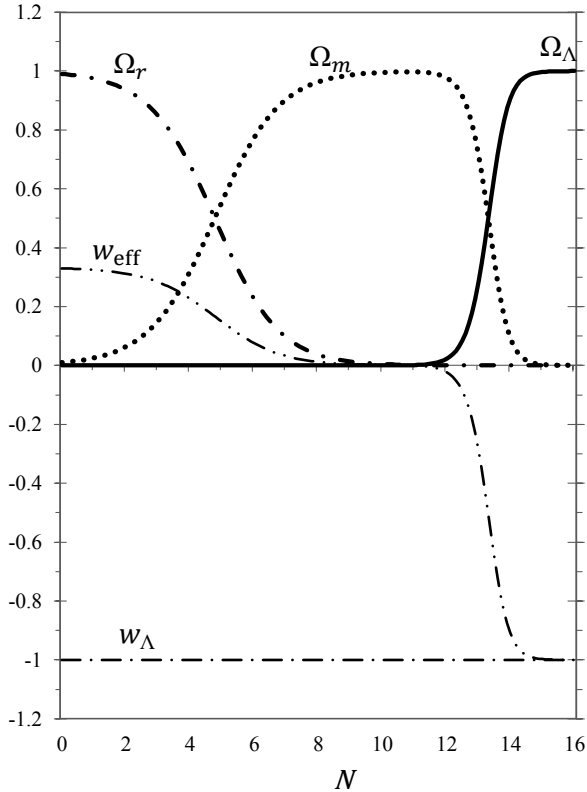
$$\frac{\dot{H}}{H^2} = -\frac{1}{2}(3 - 3x_1^2 + x_2^2). \quad (19)$$

Dan diperoleh persamaan keadaan efektif pada *brane*

$$w_{\text{eff}} = -1 - \frac{2\dot{H}}{3H^2} = -x_1^2 + \frac{x_2^2}{3}. \quad (20)$$

4. HASIL DAN BAHASAN

Berdasarkan studi pendekatan sistem dinamik yang dilakukan, dinamika dari kosmologi dunia *brane* pada limit energi rendah dapat digambarkan yang mana pada kasus ini juga memenuhi kosmologi model Λ CDM yang paling relevan dengan data observasi. Dinamika kosmologi ini digambarkan melalui evolusi dari struktur besar alam semesta yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Evolusi dari Ω_Λ , Ω_r , Ω_m , dan w_{eff} untuk kosmologi FRW *brane* pada limit energi rendah dengan $w_\Lambda = -1$. Keadaan awal diberikan sebagai $x_1 = 10^{-9}$ dan $x_2 = 0.995$ pada $N = 0$.

Dinamika kosmologi FRW pada *brane* yang ditunjukkan pada Gambar 2, merupakan dinamika alam semesta yang memenuhi model Λ CDM. Pada kasus ini, Λ_4 pada *brane* berkontribusi sebagai energi gelap. Beda halnya pada tinjauan medan skalar sebagai energi gelap [3], kontribusi konstanta kosmologi, Λ_4 sebagai energi gelap lebih relevan dengan data observasi SN Ia [7,13] dimana alam semesta sekarang berekspansi dipercepat. Pada studi sistem dinamik ini, evolusi dari struktur alam semesta dari awal-awal hingga alam semesta saat ini nampak lebih jelas. Sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2, evolusi alam semesta

mengalami 3 masa dominasi materi-energi, yang secara kompak dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Dominasi oleh materi-energi komponen tunggal

N	Kontribusi materi-energi			w_{eff}
	Ω_Λ	Ω_m	Ω_r	
0	10^{-18}	0.01	0.99	0.33
10	0.0001	0.995	0.005	0.001
15	0.997	10^{-7}	0.003	-1

Berdasarkan dari data hasil analisa pada Tabel 1 di atas, jelas bahwa pada $N = 0$ (awal-awal alam semesta), radiasi lebih dominan daripada materi dan energi gelap dimana diperoleh $w_{\text{eff}} = 0.33 \approx 1/3$ yang juga merupakan persamaan keadaan untuk materi relativistik (radiasi), pada masa dominasi materi ($N = 10$), diperoleh $w_{\text{eff}} \approx 0$ adalah persamaan keadaan untuk materi non-relativistik (baryon dan materi gelap), sedangkan pada masa sekarang yaitu masa alam semesta didominasi oleh energi gelap, dimana $w_{\text{eff}} \rightarrow w_\Lambda = -1$. Selain itu, dinamika kosmologi yang diperoleh memiliki relevansi dengan model Λ CDM yang menggambarkan struktur alam semesta saat ini, yaitu pada $N = 13.6$, diperoleh kontribusi materi, $\Omega_m \cong 0.28$ dan sisanya adalah kontribusi energi gelap, $\Omega_\Lambda \cong 0.72$. Sedangkan, persamaan keadaan energi gelap diperoleh berkisar antara w_{eff} dan w_Λ pada $N = 13.6$, yaitu $-0.718 \geq w_{\text{DE}} \geq -1$. Hal ini sesuai dengan kombinasi data SN Ia, CMB, BAO, dan WMAP yang menunjukkan persamaan keadaan energi gelap saat ini adalah $w_{\text{DE}} = -0.94 \pm 0.1$ [3].

5. KESIMPULAN

Pada makalah ini telah dipaparkan dinamika kosmologi dunia *brane* pada limit energi rendah yang memenuhi model Λ CDM. Evolusi dari struktur besar alam semesta pada kasus ini diperoleh dengan memandang *brane* adalah sistem tertutup sehingga efek-efek non-lokal pada *brane* menjadi lenyap. Selain itu, konstanta kosmologi pada *brane* ditinjau berkontribusi sebagai energi gelap yang mana memiliki hasil analisa keadaan materi-energi yang sesuai dengan data-data observasi. Hal ini semakin memperkuat asumsi yang menyatakan bahwa konstanta kosmologi berkontribusi sebagai energi gelap di alam semesta, khususnya pada studi dinamika kosmologi. Sedangkan studi dimensi ekstra dalam skenario dunia *brane* memiliki peran yang penting jika ditinjau pada

energi tinggi dan *brane* adalah sistem yang tidak tertutup.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Kemenristek Dikti atas bantuan dana penelitian melalui program Hibah PKM Tahun 2018 kerja sama dengan Universitas Hasanuddin. Penulis juga berterima kasih untuk bantuan Dana Hibah Penelitian BMIS UNHAS Tahun 2018.

DAFTAR PUSTAKA

1. P. Horava and E. Witten. 1996. Heterotic and Type I String Dynamics from Eleven Dimensions. *Nucl. Phys. B* **460**: 506-529.
2. P. Horava and E. Witten. 1996. Eleven-Dimensional Supergravity on a Manifold with Boundary. *Nucl. Phys. B* **475**: 94-118.
3. K. Maeda. 2002. The Einstein Equations on a Brane World. *Prog. Theor. Phys. Suppl.* **148**: 59-90.
4. L. Amendola and S. Tsujikawa. 2010. *Dark Energy: Theory and Observation*. Cambridge University Press, New York, USA.
5. L. Randall and R. Sundrum. 1999. A Large Mass Hierarchy from a Small Extra Dimension. *Phys. Rev. Lett.* **83**(17), 3370: 1-9.
6. L. Randall and R. Sundrum. 1999. An Alternative to Compactification. *Phys. Rev. Lett.* **83**(23), 4690: 1-10.
7. G. Dvali, G. Gabadadze and M. Porrati. 2000. 4D Gravity on a Brane in 5D Minkowski Space. *Phys. Lett. B* **485**: 208-218.
8. S.E. Gautama, T. Surungan dan Bansawang BJ. 2014. Tinjauan inflasi alam semesta berdasarkan model Λ CDM. Repository Unhas. (<http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/10970>).
9. T. Shiromizu, K. Maeda and M. Sasaki. 2000. The Einstein Equations on the 3-Brane World. *Phys. Rev. D* **62**(2), 024012: 1-8.
10. R. Maartens and K. Koyama. 2010. Brane-World Gravity. *Living Rev. Rel.* **13**(5): 1-124.
11. Arianto. 2007. Gravitasi Einstein dan *braneworld* dalam daerah efektif energi rendah dan dimensi ekstra. *Ph.D. Thesis*. Institut Teknologi Bandung.
12. T. Kobayashi. 2006. Braneworld Cosmological Perturbations. *Ph.D. Thesis*. Kyoto University.
13. R. Maartens. 2001. Geometry and Dynamics of the Brane-World. *Reference Frame and Gravitomagnetism, Proc. of the XXIII Spanish Rel. Meet*: 93-119.
14. A.G. Riess, S. Perlmutter and B.P. Schmidt. 2011. The Accelerating Universe. *Scientific background on the Nobel Prize in Phys.* (The Royal Swedish Academy of Sciences, Kungl. Vetenskaps-Akademien, Oct. 4th 2011).

Penentuan Sebaran Fluks Radiasi Sumber Titik dengan Metode *Finite Difference*

Yuniar P. Ismail*, Eko Juarlin, Bansawang B.J.

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM 10 Makassar, 90245

Abstrak

Penggunaan metode *finite difference* (FDM) telah dilakukan untuk mendapatkan solusi numerik persamaan Laplace. Persamaan Laplace bisa digunakan untuk memodelkan rapat fluks radiasi. Jenis sumber radiasi adalah sumber titik. Domain yang digunakan dalam penelitian ini adalah setengah lingkaran dan menggunakan koordinat kartesius dimensi dua. Diperoleh hasil nilai sebaran energi radiasi simetris dan meningkat saat titik mendekati sumber.

Kata Kunci: *Finite difference*; persamaan Laplace; domain setengah lingkaran.

1. PENDAHULUAN

Persamaan Laplace merupakan bentuk persamaan diferensial parsial orde dua. Ada dua solusi untuk menyelesaikan persamaan Laplace, yaitu solusi analitik dan numerik. Solusi numerik dari persamaan parsial ialah cabang yang penting dalam suatu langkah pemodelan matematika, serta memiliki aplikasi yang besar di bidang ilmu pengetahuan alam dan teknik¹. Persamaan Poisson merupakan salah satu bentuk persamaan diferensial tak homogen yang diturunkan dari hukum Gauss².

Persamaan Poisson menjabarkan kasus dimana terdapat muatan tersebar di mana saja, tetapi jika yang ditinjau ialah tempat tanpa adanya muatan, maka dalam kasus tersebut nilai $\rho = 0$ dan persamaan Poisson menjadi persamaan Laplace. Salah satu alternatif untuk menyelesaikan persamaan Laplace adalah pendekatan FD. Pada teknik ini, persamaan diferensial ditransformasikan menjadi suatu deretan persamaan aljabar yang bisa diselesaikan³.

Penggunaan FDM sudah dilakukan sejak tahun 1990 dalam memecahkan persamaan diferensial biasa. Metode numerik FDM digunakan karena kesulitan mendapatkan solusi analitik pada domain setengah lingkaran. Solusi numerik yaitu dengan FDM⁴⁻⁵.

Sumber radiasi memancarkan foton dan memiliki sifat hamburan ke segala arah sama besar. Setiap foton membawa energi. Model distribusi radiasi tersebut identik dengan distribusi potensial listrik yang berasal dari muatan listrik. Persamaan Laplace digunakan untuk memodelkan rapat fluks radiasi ini.

2. METODOLOGI

Turunan *continuum* dapat digunakan untuk melakukan pendekatan berbentuk diskrit. Turunan dapat didiskritkan melalui pendekatan *centered difference*:

$$u'(x_i) = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2\Delta x} \quad 1$$

Dua jenis pendekatan lainnya yaitu *backward Euler* dan *forward Euler*. Ketiga pendekatan tersebut bersifat ekuivalen, namun memiliki tahapan pendekatan yang berbeda dalam kasus diskrit. Uraian lengkapnya dapat dijelaskan menggunakan deret Taylor berikut:

$$\frac{u(x_i + \Delta x) - u(x_i)}{\Delta x} = \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x_i} + O(\Delta x) \quad 2$$

Uraian Taylor untuk besaran distribusi fluks radiasi adalah:

$$u_{(x+\Delta r)} = u + \frac{\Delta x}{1!} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad 3$$

$$u_{(x-\Delta r)} = u - \frac{\Delta x}{1!} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad 4$$

Kemudian, persamaan 3 dan 4 dijumlahkan, maka dapat diperoleh persamaan 5 yang bentuk lainnya dapat pula dituliskan seperti pada persamaan 6. Penjabarannya yakni sebagai berikut:

$$\frac{u(x+\Delta x) - 2u(x) + u(x-\Delta x)}{(\Delta x)^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad 5$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta x^2} \quad 6$$

Untuk komponen y penjabarannya adalah sebagai berikut⁴:

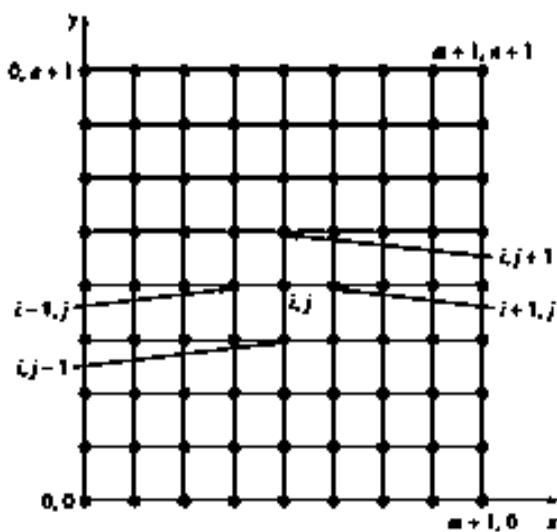
$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\Delta y^2} \quad 7$$

*Email : yuniarismail46@gmail.com

Dalam kasus ini, terdapat banyak sumber titik yang tersebar di tepi domain maka persamaan Poisson berubah menjadi persamaan Laplace⁴. Kemudian, persamaan 6 dan 7 dijumlahkan menjadi:

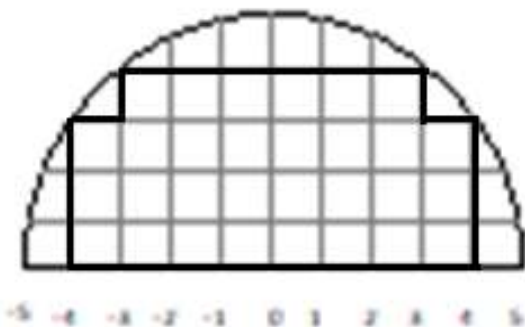
$$u_{i,j} = \frac{\Delta y^2(u_{i+1,j} + u_{i-1,j}) + \Delta x^2(u_{i,j+1} + u_{i,j-1})}{2(\Delta x^2 + \Delta y^2)} \quad 8$$

Persamaan 8 sebagai solusinya persamaan laplace dengan menggunakan FDM yang kemudian dimasukkan ke dalam program. Domain dipilih dan didiskritisasi dalam bentuk *grid*. *Grid* ini terlihat pada gambar 1 untuk melihat titik-titik tetangga hasil dari substitusi turunan parsial persamaan 7.



Gambar 1. Grid untuk solusi FDM dari dua variabel berbeda³

Domain dipilih setengah lingkaran seperti pada gambar 2. Keliling domain ditetapkan dari garis perpotongan grid vertikal dengan grid horizontal terdekat dengan busur lingkaran dan garis tengah lingkaran. merupakan syarat batas penelitian yang ditandai oleh garis tebal. Di semua titik perpotongan keliling diletakkan sumber-sumber radiasi. Sebagai contoh diambil $dx = dy = 1$ satuan untuk jari-jari 5 satuan sebagai berikut:

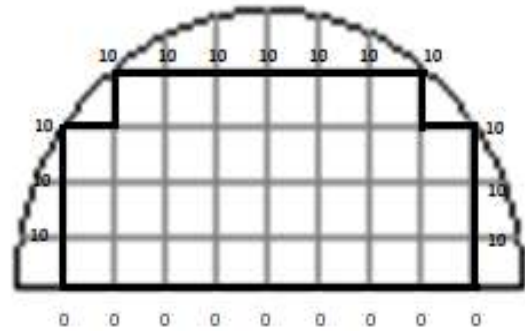


Gambar 2. Kondisi batas untuk penelitian pada koordinat kartesius

Langkah berikutnya, adalah membuat matriks hubungan radiasi antar titik di dalam domain. Solusi dicari menggunakan metode invers matriks.

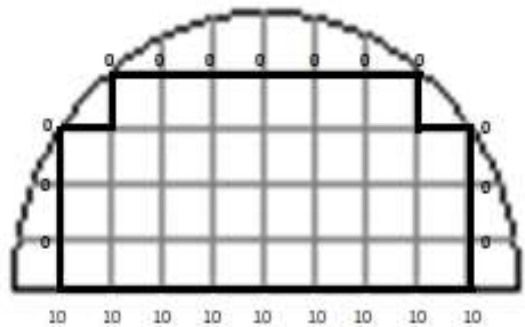
3. HASIL DAN BAHASAN

Dalam makalah ini, dihitung sebaran fluks radiasi dengan dua tipe sumber dan domain seperti pada gambar 2. Tipe pertama, nilai sumber di busur 10 satuan dan di garis tengah ditetapkan bernilai 0. Sebaran fluks radiasi tipe pertama terdapat pada gambar 3.



Gambar 3. Tipe sumber pertama

Tipe kedua, nilai di busur ditetapkan 0 satuan dan di garis tengah sumber bernilai 10 satuan. Sebaran fluks radiasi tipe kedua terdapat pada gambar 4.



Gambar 4. Tipe sumber kedua

Matriks nilai sebaran dosis tipe pertama terdapat di persamaan 9.

$$[D] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 10 & 10 & 9,1 & 10 & 10 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 8,6 & 7,5 & 6,9 & 6,4 & 6,9 & 7,5 & 8,6 & 10 & 0 \\ 0 & 10 & 7 & 5,3 & 4,2 & 4 & 4,2 & 5,3 & 7 & 10 & 0 \\ 0 & 10 & 4,9 & 2,9 & 2,1 & 1,8 & 2,1 & 2,9 & 4,9 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad 9$$

Persamaan 9 menunjukkan matriks sebaran dosis radiasi tipe pertama. Baris pertama matriks menyatakan nilai sumber di garis tengah. Akibat pemotongan, sumber terletak di baris kedua sampai baris keenam dengan nilai sumber tidak membentuk garis busur lingkaran. Nilai 0 lainnya ditetapkan sebagai nilai dosis di luar domain.

$$[D]= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3,0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,8 & 1,2 & 1,7 & 2,4 & 1,7 & 1,2 & 0,8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2,0 & 3,0 & 3,5 & 4,0 & 3,5 & 3,0 & 2,0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4,4 & 5,8 & 6,3 & 6,5 & 6,3 & 5,8 & 4,4 & 0 & 0 \\ 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 \end{bmatrix} 10$$

Persamaan 10 merupakan matriks yang menunjukkan nilai sebaran dosis radiasi tipe sumber kedua. Serupa dengan tipe pertama, perbedaannya yakni pada tipe kedua, sumber berada pada baris keenam dan pada busur lingkaran bernilai 0. Nilai 0 lainnya ditetapkan sebagai nilai dosis di luar domain.

Kesimetrisan nilai dosis radiasi terlihat pada hasil matriks (persamaan 9 dan 10). Matriks tersebut menunjukkan kesimetrisan terhadap sumbu-y. *Trend* sebaran dosis meningkat apabila titik-titik yang ada terletak pada wilayah yang mendekati sumber.

4. KESIMPULAN

Metode FDM bisa digunakan untuk menghitung sebaran dosis dengan domain setengah lingkaran dan sumber terletak di busur dan garis tengah. Hasil simulasi sebaran dosis radiasi dan kesimetrisan menunjukkan kesesuaian dengan teori.

DAFTAR PUSTAKA

1. Izadian, J. dan M. Jalili. 2014. *A Generalized FDM for Solving the Poisson Equation on 3D Irregular Domain*. International Scientific Publications and Consulting Services, Vol. 2014, 1-7.
2. Griffiths, D.J. 1999. *Introduction to Electrodynamics*. Prentice Hall, United States of America.
3. Chapra, S.C. dan R. P. Canale. 2015. *Numerical Methods for Engineers, Seventh Edition*. McGraw-Hill Education, New York.
4. Mahmudah, D.E. dan M. Z. Naf'an. 2017. *Penyelesaian Persamaan Poisson 2D dengan Menggunakan Metode Gauss-Seidel dan Conjugate Gradient*. Jurnal Teknikom, Vol. 1, No.1:31-38.
5. Kamilah, S.I. dan F. Haryanto. 2015. *Simple Calculation of the Radiation Flux Distribution for Brachytherapy Using Microsoft Excel..* Journal of Medical Physics and Biophysics, Vol. 2, No.1:36.

Karakterisasi Bioplastik Dari Pati Labu Kuning dan Kitosan dengan Penambahan Variasi Komposisi Serbuk Polipropilena

Hafazhahniah Ibrahim*, Hardianti, Rahma Anugrahwidya, Dahlang Tahir

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

Jalan Perintis Kemerdekaan KM 10, Makassar

Abstrak

Bioplastik sebagai alternatif untuk mengurangi masalah lingkungan akibat sampah plastik yang berbahan dasar polimer sintetik, dapat dibuat melalui pencampuran bahan berupa pati labu kuning, kitosan dan serbuk polipropilena. Pembuatan bioplastik dilakukan dengan memberikan komposisi yang tetap pada pati labu kuning dan kitosan kemudian mencampurkannya dengan variasi komposisi serbuk polipropilena. Dari pembuatan bioplastik tersebut, didapatkan hasil karakterisasi uji kuat tarik dan ketahanan terhadap pelarut. Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh dari sampel pada perbandingan komposisi 1:2 dari pati labu kuning & kitosan : serbuk polipropilena, yaitu $6,0990 \text{ N/mm}^2$. Hasil karakterisasi bioplastik terhadap uji ketahanan dalam pelarut yang optimum diperoleh pada perbandingan komposisi 1:2 dalam pelarut H_2O dan HCl , serta komposisi 2:1 dalam pelarut NaOH .

Kata Kunci : *bioplastik, kitosan, pati labu kuning, polipropilena*

1. PENDAHULUAN

Plastik merupakan suatu polimer sintetik yang paling banyak digunakan di kehidupan sehari-hari baik untuk keperluan kemasan rumah tangga, makanan atau industri¹. Plastik dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah jenis plastik yang paling mudah dimanfaatkan yang dapat dibentuk sesuai dengan yang diinginkan jika dipanaskan hingga mencair pada temperature tertentu². Salah satu *thermoplastic* yang paling umum digunakan adalah polipropilena yang memiliki sifat mekanik yang baik dengan densitas rendah dan harga yang terjangkau³.

Namun dalam penggunaannya, dapat menghasilkan sampah plastik yang berbahaya bagi lingkungan dan sulit terurai di alam serta membutuhkan waktu ratusan bahkan ribuan tahun¹. Untuk mengurangi masalah lingkungan akibat sampah plastik, dibuat suatu plastik *biodegradable* yang terbuat dari pencampuran polimersintetis dan polimer alam⁴.

Polimer alam dalam bentuk bioplastik dapat ditemui dari sumber biomassa terbarukan seperti mikrobiota, kacang-kacangan, minyak nabati dan pati⁵. Sebagai polimer alam, pati merupakan bioplastik yang paling banyak dimanfaatkan⁶. Pati dapat

diperoleh dari pengolahan buah labu kuning, melalui proses pengendapan air yang didapat dari penghancuran buah labu kuning⁷. Labu kuning memiliki sifat higroskopis atau mudah menyerap air, karena memiliki kadar air yang cukup tinggi yaitu sebesar 7,55 %. Dari 100 gram tepung labu kuning terdapat 44,02 % kandungan pati⁸.

Untuk menurunkan sifat kaku dari pati digunakan cairan yang mempunyai titik didih tinggi seperti *plastisizer*. *Plastisizer* seperti gliserol dapat terdistribusi ke dalam pati atau sekurang-kurangnya dapat membentuk interaksi ikatan hidrogen karena mengandung gugus – OH^[4]. Dapat juga dapat ditambahkan kitosan, yaitu suatu senyawa yang anti bakteri dan dapat memberikan sifat mekanik yang kuat terhadap bioplastik⁷.

Penelitian mengenai bioplastik berbahan pati telah dilakukan oleh Munandar,dkk (2017). Pada penelitian tersebut didapatkan film bioplastik dari pati labu kuning (*Curcubita Moschata*) yang diformulasikan dengan kitosan dan minyak jarak sebagai pemlastis. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Mishra Mishra, dkk (2015), yang meneliti sifat kuat tarik, *creep*, dan degradasi dari bioplastik berbahan pati kulit pisang. Adapun penelitian lain tentang karakteristik bioplastik dilakukan oleh Hindayani, dkk (2015) dengan mencampurkan limbah plastik polipropilena dengan pati biji durian.

*Email: hafazhahniah@gmail.com

Berdasarkan uraian tersebut, dilakukan penelitian berupa pemanfaatan pati labu kuning yang dicampur dengan polimer plastik polipropilena sebagai bioplastik. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh komposisi bioplastik dari bahan pati labu kuning dan polipropilena terhadap sifat mekanik yang dihasilkan serta ketahanan sampel bioplastik terhadap berbagai pelarut.

2. BAHAN DAN METODA

2.1. Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pati labu kuning, kitosan, serbuk plastik polipropilena, asam asetat, gliserin, aquades, HCl pH 5, NaOH pH 10, *aluminium foil*. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, pinset, alat-alat gelas, *hotplate*, *magnetic stirrer*, *furnace* dan alat uji kuat tarik.

2.2. Preparasi Pati Labu Kuning

Pembuatan pati buah labu kuning dilakukan dengan cara membersihkan daging buah labu kuning dari kulit, biji dan ari-ari buah. Kemudian buah labu kuning dipotong kecil-kecil dan dihancurkan menggunakan blender. Air hasil penghancuran kemudian dipisahkan dari ampas kasar buah labu kuning dan dilakukan pengendapan selama 1 jam hingga terbentuk endapan pati basah. Endapan tersebut kemudian diambil dan dikeringkan di atas *hotplate*.

2.3. Pembuatan Bioplastik

Pembuatan bioplastik dilakukan dengan cara menimbang pati labu kuning, kitosan dan serbuk polipropilena sesuai dengan massa yang divariasikan (Tabel 1), pati labu kuning kemudian ditambahkan 5 ml asam asetat dan dilakukan pengadukan pada suhu 90°C menggunakan *magnetic stirrer*, hal serupa juga dilakukan pada kitosan. Kedua bahan lalu dicampurkan pada gelas kimia dan ditambahkan 0,5 ml gliserin dan serbuk polipropilena sesuai dengan variasi yang ditetapkan. Setelah sampel teraduk rata dan membentuk gel, sampel dituang ke dalam cetakan dan dikeringkan dengan *furnace* pada suhu 120°C selama 4,5 jam.

Tabel 1. Perbandingan komposisi pati labu kuning dan polipropilena

No	Perbandingan (Pati : PP)	Komposisi		
		Pati labu kuning	Polipropilena (PP)	Kitosan
1.	2 : 1	0,4 gr	0,2 gr	0,4 gr
2.	1 : 1	0,4 gr	0,4 gr	0,4 gr
3.	1 : 2	0,4 gr	0,8 gr	0,4 gr

2.4. Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik dilakukan dengan langkah awal mempreparasi sampel film bioplastik dan dihitung panjang, lebar serta tebal film. Pengujian dilakukan dengan kecepatan tarik 60 mm/menit. Sampel kemudian dijepit kedua sisi dan dijalankan alat uji kuat tarik hingga sampel terputus. Hasil pengujian kuat tarik kemudian dicatat dalam bentuk tabel.

2.5. Pengujian Ketahanan Bioplastik dalam Pelarut

Sampel bioplastik dipotong dengan ukuran 1x1 cm². Setelah dipotong, sampel kemudian ditimbang dengan neraca analitik untuk mendapatkan berat sampel awal (w_0). sampel bioplastik kemudian diletakkan dalam gelas yang berisi pelarut selama 10 detik, setelah itu diangkat menggunakan pinset, diletakkan diatas tisu dan di lap serta ditimbang ulang untuk mendapat berat sampel yang menyerap pelarut (w). langkah ini dilakukan berulang-ulang hingga dicapai massa yang konstan dan pada masing-masing pelarut yaitu Aquades, HCl dan NaOH.

Untuk mengetahui persen pelarut yang diserap oleh sampel bioplastik, dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\% \text{ Pelarut diserap} = \frac{w - w_0}{w_0} \times 100\% \quad 1$$

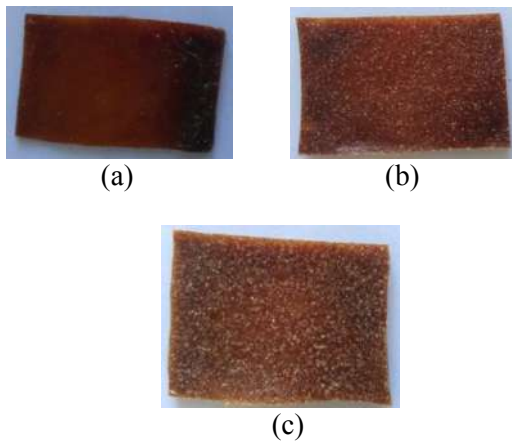
Kemudian, dilakukan perhitungan untuk mengetahui persen ketahanan sampel dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\% \text{ Ketahanan pelarut} = 100\% - \text{pelarut yang diserap}$$

3. HASIL DAN BAHASAN

3.1. Pembuatan Bioplastik

Hasil film bioplastik diperoleh dalam bentuk lembaran dengan variasi warna yang berbeda tergantung pada penambahan variasi komposisi serbuk polipropilena, hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Variasi sampel bioplastik dengan perbandingan komposisi (a) 2:1, (b) 1:1 dan (c) 1:2

Berdasarkan Gambar 1, diketahui bahwa terdapat perbedaan warna dimana sampel bioplastik dengan perbandingan (pati : PP) 2 : 1, memiliki warna coklat yang lebih gelap dengan tekstur yang lebih halus dibandingkan dengan film dengan komposisi lain. Film bioplastik dengan perbandingan 1 : 2, menunjukkan tekstur yang lebih kasar dengan sebaran pp yang lebih merata.

3.2. Pengujian Kuat Tarik

Kuat tarik (*tensile Strength*) merupakan ukuran spesifik dari kekuatan film, yang diperoleh dari tarikan maksimum terakhir sebelum putus/ sobek. Pengujian dilakukan untuk mengetahui besar gaya yang diperlukan untuk mengetahui titik tarikan maksimum pada suatu luasan permukaan film bioplastik⁷. Hasil pengujian terhadap sampel film bioplastik dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Nilai uji kuat tarik sampel bioplastik

No.	Sampel (pati : PP)	Nilai Kuat Tarik
1	2 : 1	0,6495 N/mm ²
2	1 : 1	2,2183 N/mm ²
3	1: 2	6,0990 N/mm ²

Hasil pengujian kuat tarik pada sampel bioplastik menunjukkan bahwa nilai kuat tarik sampel akan meningkat seiring dengan bertambahnya komposisi polipropilena yang

diberikan, ditunjukkan pada sampel dengan perbandingan (pati : pp) 1:2 yang memiliki nilai kuat tarik paling besar, yaitu 6,0990 N/mm² dan nilai kuat tarik paling kecil pada perbandingan 2 : 1, yaitu 0,6495 N/mm². Hal tersebut serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayani dkk, 2015, dimana film plastik *biodegradable* dari bahan limbah plastik polipropilena yang belum ditambahkan pati, dalam hal ini pati biji durian, memiliki nilai kekuatan tarik dan kelumuran tertinggi. Hal ini dikarenakan karakteristik dari *thermoplastic* pada umumnya yang memiliki sifat mekanik yang baik⁹. Rendahnya nilai kuat tarik dari sampel dengan komposisi pati terbanyak yaitu pada perbandingan 2:1, juga disebabkan karena sifat pati yang kaku (rapuh)⁴.

3.3. Pengujian Ketahanan Bioplastik dalam Pelarut

Hasil uji ketahanan sampel bioplastik terhadap pelarut menunjukkan bahwa sampel dengan komposisi 1 : 2 lebih tahan terhadap Aquades dan HCl dibandingkan dengan sampel komposisi lain. Sedangkan sampel dengan nilai ketahanan yang paling baik dalam pelarut NaOH adalah sampel dengan perbandingan 2 : 1. Hal ini disebabkan dari presentase daya serap yang berbeda dari setiap sampel terhadap masing-masing pelarut. Presentase daya serap dan ketahanan sampel bioplastik pada berbagai pelarut dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Presentase daya serap pada berbagai pelarut

No	Sampel (pati : PP)	Aquades (%)	HCl (%)	NaOH (%)
1	2 : 1	8,178	8,38	4,448
2	1 : 1	7,844	8,31	4,821
3	1: 2	6,345	6,66	5,527

Polipropilena merupakan jenis plastik yang sering digunakan karena memiliki sifat tahan terhadap bahan kimia pelarut. Selain itu polipropilena memiliki sifat kaku dan tidak berbau¹⁰.

Tabel 4. Presentase ketahanan bioplastik terhadap berbagai pelarut

No.	Sampel (pati : PP)	Aquades (%)	HCl (%)	NaOH (%)
1	2 : 1	91,822	91,62	95,55
2	1 : 1	92,156	91,69	95,18
3	1: 2	93,655	93,34	94,47

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan bahwa kekuatan tarik film bioplastik dari campuran pati labu kuning, kitosan dan polipropilena dipengaruhi oleh komposisi polipropilena, dimana kondisi optimum kuat tarik diperoleh pada komposisi variabel polipropilena terbanyak.

Pada pengujian ketahanan terhadap pelarut diketahui bahwa semakin banyak komposisi polipropilena maka akan semakin tinggi ketahanan sampel bioplastik terhadap larutan Aquades dan HCl serta sebaliknya pada larutan NaOH.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik tidak terlepas dari kemurahan rahmat dan rezeki dari Allah SWT serta bantuan berbagai pihak. Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Kementrian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan kesempatan kepada peneliti untuk mendapatkan dana hibah bersaing Pekan Kreativitas Mahasiswa tahun 2018.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mukti Gill. "Bioplastic: A Better Alternative to Plastics", *International Journal of Research in Applied*, vol. 2, no. 8, hh:115, 2014
2. Untoro Budi Surono dan Ismanto. "Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya". *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)*, vol. 1, no. 1: 33, 2016
3. Tuty Dwi Sriaty Matondang, Basuki Wirjosentono, Darwin Yunus. "Pembuatan Plastik Kemasan Terbiodegradasi dari Polipropylene Tergrafting Maleat Anhidrida dengan

Bahan Pengisi Pati Sagu Kelapa Sawit". *Valensi*, vol. 3, no. 2, hh. 111, 2013

4. Susilawati, Irfan Mustafa dan Desy Maulina. "Biodegradable Plastics From A Mixture of Low Density Polyethylene (LDPE) and Cassava Starch with the Addition of Acrylic Acid". *Jurnal Natural*, vol.11, no. 2: 69, 2011
5. Haryanto, Fena Retyo Titani. "Bioplastik dari Tepung Tapioka dan Tepung Maizena". *Techno*, ISSN 1410-8607, vol. 18, no. 1: 001, 2017
6. Mehta, Varda, Marjadi Darshan dan Dharaiya Nishith. "Can A Starch Based Plastic Be An Option of Environmental Friendly Plastic?". *Journal of Global Biosciences*, vol.3, no.3 : 681-685, 2014
7. Munandar, M. Hasan dan Ratu Fazlia.I.R. "Pembuatan Bioplastik dari Kitosan dan Pati Labu Kuning (*Cucurbita Moschata*) dengan Minyak Jarak (*Castor Oil*) sebagai Pemplastis". *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Kimia*, vol. 2, no. 3, hh 238-247, 2017
8. Ika Winda Purnamasari, Widya Dwi Rukmi Putri. " Pengaruh Penambahan Tepung Labu Kuning dan Natrium Bikarbonat terhadap Karakteristik *Flake Talas*". *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, vol. 3, no. 4 : 1379-1382, 2015
9. Tengku Rachmi Hidayani, Elda Pelita, Dyah Nirmala. " Karakteristik Plastik Biodegradable dari Limbah Plastik Polipropilena dan Pati Biji Durian". *Majalah Kulit, Karet dan Plastik*, vol. 31, no.1: 9-14, 2015
10. Ardi Juniarto, 2018, *Pemanfaatan Limbah Plastik Polipropilen sebagai Material Komposit Plastik Biodegradable dengan Penambahan Serbuk Ampas Aren*, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Pengembangan Metode Kerja Praktikum Melalui Pendekatan Keterampilan Proses Sains

Suhardiman*, Rafiqa, Lisdayanti, Anas
Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

Abstrak

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan bertujuan untuk mengembangkan metode kerja praktikum melalui pendekatan keterampilan proses sains materi suhu dan kalor pada kelas XI MIA agar memenuhi kriteria valid dan efektif. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model 4-D. Instrumen penelitian divalidasi oleh ahli pada penelitian ini terdiri atas modul, angket respon peserta didik dan guru terhadap modul serta tes keterampilan proses sains. Tahap uji coba skala terbatas dilakukan pada kelas XI MIA SMAN 2 Pinrang. Sedangkan untuk tahap penyebaran dilakukan pada beberapa guru IPA di SMAN Pinrang. Hasil penelitian menunjukkan modul memenuhi kriteria valid. Dan instrumen penunjang angket respon peserta didik dan guru serta lembar tes keterampilan proses sains sebesar kriteria sangat valid. Pengujian kriteria efektif diperoleh Rata-rata respon peserta didik dan respon guru terhadap metode kerja praktikum melalui pendekatan keterampilan proses sains pada kategori sangat positif. Hasil tes keterampilan proses sains diperoleh rata-rata skor yang diperoleh peserta didik saat menggunakan modul 83% peserta didik mencapai KKM sehingga menunjukkan bahwa metode kerja praktikum melalui pendekatan keterampilan proses sains layak digunakan sebagai sumber belajar karena telah memenuhi kriteria valid dan efektif.

Kata Kunci : Kerja Laboratorium, Modul Fisika, dan Science Proses Skill.

1. PENDAHULUAN

Proses belajar-mengajar sangatlah kompleks, Membuat pendidik perlu merancang pengelolaan pembelajaran yang baik. Untuk memudahkan proses pembelajaran guru hendaknya memiliki bahan pembelajaran yang yang dapat di mamfaatkan oleh peserta didik.

Bahan ajar merupakan seperangkat bahan yang disusun secara sistematis untuk kebutuhan pembelajaran yang bersumber dari bahan cetak, alat bantu visual, audio, video, multimedia, dan animasi, serta komputer dan jaringan (Yaumi, 2012: 171).

Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Pinrang Pelaksanaan pembelajaran Fisika yang lebih menekankan kepada aspek pengetahuan dan mengesampingkan ketercapaian pada aspek sikap dan keterampilan yang ditandai dengan kriteria kelulusan pada penilaian hasil belajar kognitif, selain itu Metode pengajaran menggunakan metode *direct learning* dan tidak menggunakan bahan pembelajaran yang baik. Oleh karena itu pembelajaran Fisika diperlukan perbaikan proses pembelajaran dengan mengembangkan pembelajaran menggunakan metode kerja laboratorium sehingga diperlukan modul berbasis kerja Laboratorium.

Metode kerja praktikum yang ditunangkan dalam penuntun praktikum/modul yang digunakan tidak di jumpai teori dasar, kompetensi dasar, dan indikator ketercapaian praktikum, serta panduan penilaian sehingga berbagai masalah tersebut maka salah satu solusi yang bisa dilakukan adalah diperlukan pengembangan metode kerja laboratorium yang di gunakan dalam modul di kembangkan dengan memuat indikator keterampilan proses sains sehingga akan di peroleh proses pembelajaran praktikum yang di lengkapi pula dengan aspek sikap dan keterampilan dalam proses pelaksanaan praktikum.

Modul praktikum yang di kembangkan pembelajaran akan dilengkapi dengan metode kerja laboratorium menggunakan indikator KPS yang dihasilkan merupakan modul Fisika yang digunakan dalam laboratorium ataupun dalam kelas. dimana materi yang dipilih pada modul ini adalah suhu dan kalor pada kelas XI meliputi cover modul dan isi modul secara keseluruhan.

2. BAHAN DAN METODE

Jenis penelitian merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development*)

*Email : dimanfisika@yahoo.co.id

yaitu pengembangan metode kerja laboratorium menggunakan indikator KPS yang akan menghasilkan produk modul dan dilakukan pengujian kevalidan dan keefektifan produk tersebut. Dalam penelitian ini akan dikembangkan produk berupa modul praktikum yang dikembangkan dengan menggunakan model 4-D.

Model Pengembangan modul yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada model 4-D. Model 4-D terdiri dari pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*develop*), dan penyebaran (*disseminate*) sebagaimana dikemukakan oleh Thiagarajan (Trianto, 2011: 189). Alasan memilih model 4-D yaitu merupakan dasar untuk melakukan pengembangan perangkat pembelajaran (bukan sistem pembelajaran).

Analisis terkait nilai validasi di kumpulkan melalui analisis penilaian modul kepada para ahli dan praktisi (validator) sementara pengujian efektif dilakukan dengan melakukan uji coba terbatas pada sejumlah siswa yang merupakan sampel penilaian berikut ini merupakan lembar validasi dan efektif menggunakan lembar validasi modul kerja praktikum, validasi tes KPS, dan Validasi respon guru dan peserat didik dengan memperhatikan komentar-komentar dari ahli dan praktisi.

Data dikumpulkan menggunakan instrumen-instrumen seperti yang telah disebutkan selanjutnya dianalisis mengetahui apakah modul yang sedang dikembangkan sudah valid dan efektif. Hasil analisis tersebut disajikan sebagai pedoman untuk merevisi produk berupa modul yang dikembangkan. Adapun dilakukan dalam proses analisis data kelayakan modul Kategori validitas Indeks validitas butir yang diusulkan Aiken ini dirumuskan sebagai berikut:

$$V = \frac{\sum s}{n(c-1)} \quad 1$$

Dengan V adalah nilai kesesuaian kesamaan penilaian validator terkait butir dengan r = skor kategori penilaian validator dan Io skor terendah dalam kategori penyekoran); n banyaknya rater; dan c banyaknya kategori (Retnawati, 2016: 18).

Kategori validitas

$V > 0,8$	Sangat Valid (SV)
$0,4 \leq V \leq 0,8$	Valid (V)
$V < 0,4$	Kurang Valid (KV)

Sementara analisis terkait respon peserta didik dan guru dianalisis lembar angket respon menggunakan rumus presentase (%). Untuk

melihat efektifitas tes KPS maka akan dianalisis deskriptif dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai deskriptif KPS.
2. Membuat kategorisasi KPS dengan menggunakan aturan kategorisasi menurut eko W:

Tabel 1. Kategorisasi KPS

No	Rumus	Klasifikasi
1.	$X > \bar{X}_i + 1,8 \times sb_i$	S.baik
2.	$X_i + 0,6 \times sb_i < X \leq \bar{X}_i + 1,8 \times sb_i$	Baik
3.	$X_i - 0,6 \times sb_i < X \leq \bar{X}_i + 0,6 \times sb_i$	Cukup
4.	$X_i - 1,8 \times sb_i < X \leq \bar{X}_i - 0,6 \times sb_i$	Kurang
5.	$X \leq \bar{X}_i - 1,8 \times sb_i$	S. kurang

3. Menghitung presentasi tes KPS

$$\text{Persentase} = \frac{\text{skoryangdiperoleh}}{\text{skormaksimum}} \times 100\% \quad 3$$

4. Menghitung tingkat efektifitas KPS dengan kriteria baik >60 menggunakan rumus statistik deskriptif keterampilan proesees sains

$$t = \frac{X - \mu}{S_x} \text{ dimana } S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad 4$$

Keterangan:

- t = Harga statistik -t
- μ = Rata-rata populasi
- S = Standar deviasi
- n = Ukuran sampel

3. HASIL DAN BAHASAN

Hasil Penelitian diperoleh modul praktikum Fisika berbasis keterampilan proses sains yang memenuhi kriteria valid dan efektif dengan menggunakan model pengembangan four-D (4-D). Masing-masing tahapan kegiatan pengembangan yang dilakukan beserta dianalisis data yang diperoleh, dapat digambarkan sebagai berikut:

a. Deskripsi Tahap Pendefinisian (*define*)

Kegiatan ini dilakukan untuk mengidentifikasi masalah mendasar yang ada di sekolah dan alternatif penyelesaian masalah tersebut sebagai dasar mengembangkan metode kerja laboratorium di dalam modul. Hasil observasi yang telah dilakukan di pendidik maupun peserta didik tidak pernah melakukan percobaan saat di bangku X. Dan modul kerja praktikum yang dibuat seadanya tanpa memperhatikan format yang baik. sebagai

keperluan peserta didik. Pembelajaran lebih menekankan pada pembelajaran berbasis kelas untuk mencapai nilai kriteria kelulusan sehingga pembelajaran berbasis laboratorium tidak begitu dipertimbangkan sebagai tujuan pembelajaran. Hal tersebut menyebabkan laboratorium Fisika yang ada di sekolah hanya digunakan sebagai kelas untuk melakukan pembelajaran berbasis kelas tanpa melakukan percobaan atau praktikum Fisika.

Salah satu solusi dari permasalahan tersebut peserta didik membutuhkan proses belajar/kerja di laboratorium dimana pembelajaran berupa praktikum setelah peserta didik belajar teori. Untuk mendukung praktikum di Laboratorium dirancang modul dengan desain penambahkan indikator KPS pada penyusunan Modul praktikum kerja laboratorium materi suhu dan kalor. Analisis peserta didik yang dilakukan Tahapan kognitif berada pada kategori tahap operasional formal. Pokok perkembangan dalam tahap ini peserta telah mampu berpikir abstrak dan logis dengan menggunakan pola berpikir. Sedangkan bahasa yang digunakan peserta didik adalah bahasa Indonesia selain itu Untuk analisis materi dan analisis tugas, peneliti menentukan materi dan batasannya yang akan dijadikan isi dari pengembangan produk berupa modul Fisika berbasis kerja laboratorium.

b. Deskripsi Tahap Perancangan (*design*)

Pada tahap ini akan dirancang metode kerja praktikum yang dikembangkan dengan indikator KPS. Dimana kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah menyusun tes keterampilan proses sains, (1) pemilihan media, (2) pemilihan format modul, dan (3) perancangan awal modul. Pemilihan media modul.

Pada tahap ini, disesuaikan dengan hasil dari analisis materi yang telah dilakukan. Selain itu, media yang dipilih harus disesuaikan dengan karakteristik peserta didik dan fasilitas yang ada disekolah. Media yang digunakan berbentuk modul Fisika kerja laboratorium dengan indikator KPS.

1) Pemilihan format.

Format penyusunan di gunakan format yang disiapkan pada kurikulum 2013. Pengembangan modul terdiri dari 3 unit percobaan urutan unit didasarkan pada urutan sub materi dalam silabus. Unit I adalah percobaan tentang Suhu dan Kalor terdiri dari tiga kegiatan percobaan, unit II Kalor Jenis satu kegiatan percobaan, dan unit III percobaan Perpindahan Kalor terdiri dari dua kegiatan percobaan.

2) Rancangan awal.

Rancangan Modul terdiri atas beberapa bagian yaitu : (1) Sampul, (2) kata pengantar, (3) daftar isi, (4) indikator KPS yang digunakan, (5) kompetensi inti (KI) kompetensi dasar (KD), (6) indikator, tujuan pembelajaran, (7) unit modul, terdiri atas kajian teori, alat dan bahan, prosedur kerja, daftar pertanyaan keterampilan proses sains, dan daftar pustaka modul. Dalam proses pengembangan produk berupa modul ini menggunakan 8 indikator KPS yaitu (1) Pengamatan; (2) Penginferensian; (3) Pemrediksian; (4) Pengukuran; (5) Perhitungan; (6) Mengontrol variabel; (7) Menginterpretasi data; dan (8) Menarik kesimpulan.

c. Hasil Pengembangan (*develop*)

Pada tahap ini dihasilkan modul yang layak digunakan setelah dilakukan perbaikan berdasarkan masukan dan saran ketiga validator sehingga dilakukan tahap uji. Pada tahap ini dihasilkan modul yang layak digunakan setelah dilakukan revisi berdasarkan masukan dan saran ketiga validator sehingga dilakukan tahap uji.

1. Hasil validasi modul dan instrumen penelitian

Modul yang telah dikembangkan divalidasi oleh 2 pakar terkait materi dan 1 pakar bidang media. validasi metode kerja dengan indikator praktikum Fisika berbasis keterampilan proses sains. Untuk lebih jelasnya analisis lembar validasi modul yang dikembangkan untuk setiap aspek penilaian.

Tabel 2. Hasil lembar validasi modul.

No	Aspek Validaasi	V	Keterangan
1	Komponen Kualitas Isi	3,50	Sangat Valid
2	Komponen Kebahasaan	3,57	Sangat Valid
3	Komponen Kelengkapan Modul	3,26	Valid
Mean Total		3,44	Valid

Hasil analisis diperoleh nilai rata-rata total kevalidan modul adalah 3,44. nilai kevalidan dalam kategori “valid” ($2,5 \leq M < 3,5$).

2. Analisis Validasi Instrumen Penelitian

Analisis validasi dari validator digunakan untuk menilai kelayakan angket respon peserta didik, angket respon Guru dan Instrumen Tes Keterampilan Proses digunakan pada tahap penelitian di peroleh:

Tabel 3. Hasil lembar validasi Instrumen penelitian.

No	Instrumen	V	Keterangan
1	Angket Respon Peserta Didik	0,90	Sangat Valid
2	Angket Respon Guru	0,85	Sangat Valid
3	Test Hasil Belajar	0,96	Sangat Valid

Sehingga diperoleh seluruh intrumen penelitian ini yakni (1) Angket respon peserta didik, (2) angket respon Guru dan (3) Tes hasil belajar diperoleh keseluruhan aspek, maka modul dinyatakan memenuhi kriteria valid.

Pengujian yang dilakukan dalam uji coba terbatas untuk mengukur tingkat keefektifan metode kerja praktikum menggunakan indikator KPS digunakan. Hasil yang diperoleh dari uji coba:

a) Hasil angket respon peserta didik dan guru Fisika

analisis tingkat efektifitas metode kerja berdasar penilaian skor angket respon yang telah digunakan peserta didik pda saat percobaan melalui komentar peserta didik dan guru Fisika. Pendapat dan komentar responden diperoleh melalui kolom penilaian angket yang telah disiapkan pada lembar angket peserta didik dan guru Fisika. Jumlah responden adalah 31 dan guru Fisika 3 orang. Berikut ini adalah tabel analisis angket respon peserta didik terhadap modul Fisik:

Tabel 4. Hasil angket respon peserta.

Nilai	Kriteria Respon	F	%
$3,5 \leq M \leq 4,0$	S. Positif (SP)	17	55
$2,5 \leq M < 3,5$	Positif (P)	14	45
$1,5 \leq M < 2,5$	C'. Positif (CP)	0	0
$M < 1,5$	Tidak Positif (TP)	0	0
Rerata		3,53	
Jumlah		31	100

Nilai data analisis yang diperoleh dari respon peserta didik terhadap modul fisika sebesar 3,53. Berdasarkan data tersebut hasil tersebut di ketahui respon peserta didik sangat positif. Selanjutnya analisis angket respon guru Fisika terhadap modul yang dikembangkan diperoleh:

Tabel 5. Hasil Respon Guru.

Nilai	Kriteria Respon	F	%
$3,5 \leq M \leq 4,0$	S. Positif (SP)	3	100
$2,5 \leq M < 3,5$	Positif (P)	0	0
$1,5 \leq M < 2,5$	C'. Positif (CP)	0	0
$M < 1,5$	Tidak Positif (TP)	0	0
Rerata		3,72	
Jumlah		3	100

Respon guru Fisika terhadap modul berada pada kategori sangat positif.

b) Hasil tes ketrampilan proses sains untuk melihat efektifitas modul fisika berbasis kerja laboratorium dengan pendekatan *science process skill* yang diperoleh berdasarkan hasil atau skor rata-rata dari peserta didik setelah dilakukan tes keterampilan peserta didik yang telah dilakukan menggunakan tes.

Tabel 6. Hasil analisis deskriptif tes.

Statistik Deskriptif	Nilai
Jumlah sampel	31
Skor maksimum	53
Skor minimum	93
Rata-rata	80,48
Standar deviasi	8,04
Varians	64,24

Peserta didik yang yang mengikuti tahap uji coba adalah 31 orang dari 15 tes KPS diperoleh Skor minimum peserta didik sebesar 53 dan skor maksimum sebesar 93 dengan nilai rata-rata peserta didik sebesar 80,48. Standar deviasi sebesar 8,02 dengan variansi sebesar 64,26. Sementara terkait nilai tuntas dan tidak tuntas yang diperoleh peserta didik pada saat uji coba dapat dilihat pada tabel pencapaian kriteria ketuntasan minimal (KKM) berikut ini:

Tabel 7. Analisis KKM Peserta didik

Kriteria	Frekuensi
Tuntas	26
Tidak Tuntas	5

Peserta didik dinyatakan lulus jika mampu mencapai KKM yang telah ditentukan di sekolah. Ketentuan nilai KKM Fisika SMAN 2 Pinrang adalah ≥ 75 . Sedangkan dikatakan berhasil jika rata-rata dari peserta didik mencapai ketuntasan nilai KKM $\geq 80\%$. Dari 31 peserta didik yang dijadikan sebagai sampel uji coba terdapat 5 orang peserta didik yang tidak mencapai nilai KKM yang telah ditentukan, artinya bahwa 26 peserta didik dinyatakan tuntas. Sehingga hasil atau skor rata-rata peserta didik yang berhasil mencapai nilai KKM adalah

83 %. Sedangkan analisis menggunakan uji t nilai KPS setelah menggunakan metode kerja praktikum KPS diberikan seperti pada tabel berikut:

Tabel 8. Hasil analisis uji t sampel terhadap nilai keterampilan proses sains

Test Value = 60			
Nilai	T	Df	sig (2-tailed)
	14,24	30	0,00

Dari hasil analisis perhitungan di atas diperoleh nilai $t = 14,20$ dan signifikan tailed $0,00$ sedangkan diketahui $t_{tabel (31)} = 1,7$ dimana $t_{hitung} = 14,22 > t_{tabel} = 1,7$. Artinya bahwa dengan menggunakan metode kerja praktikum efektif terhadap keterampilan proses sains peserta didik.

d. Hasil Penyebaran (*dissiminate*)

Tahap ini merupakan tahap terakhir dalam proses penelitian dengan membagikan angket respon guru terhadap metode kerja praktikum dengan indikator KPS yang telah dikembangkan. Untuk menjelaskan analisis lembar angket respon guru terhadap modul dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 9. Hasil analisis angket respon guru terhadap modul

Nilai	Kriteria Respon	F	%
$3,5 \leq M \leq 4,0$	S. Positif (SP)	6	86
$2,5 \leq M < 3,5$	Positif (P)	1	14
$1,5 \leq M < 2,5$	C'. Positif (CP)	0	0
$M < 1,5$	Tidak Positif (TP)	0	0
Rerata Respon Dissiminate		3,63	
Jumlah		7	100

Nilai data analisis yang diperoleh dari respon guru terhadap modul Fisika kerja laboratorium berbasis KPS diperoleh keseluruhan aspek sebesar 3,65. Berdasarkan nilai tersebut hasil respon guru berada pada kategori sangat positif.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian pengembangan ini, adalah sebagai berikut :

1) Proses Pengembangan Modul

Metode kerja praktikum dengan indikator KPS dikembangkan dengan menggunakan model four-D yaitu *define, design, develop, and disseminate*. Materi praktikum yang di kembangkan pada subab suhu dan kalor yang terdiri atas tiga unit dengan unit I percobaan suhu dan kalor, unit II kalor jenis, dan unit III perpindahan kalor.

2) Kevalidan Modul

Metode kerja praktikum dengan indikator KPS memenuhi kriteria valid yang terdiri atas (1) modul, (2) angket respon peserta didik (3) angket respon guru dan (4) tes keterampilan proses sains.

3) Efektifitas Modul

Metode kerja praktikum dengan indikator KPS yang dikembangkan efektif dimana dari hasil peniliannya keefektifan modul yang diperoleh dari keseluruhan angket respon peserta didik berada pada kategori sangat positif, angket respon guru Fisika dan angket respon guru juga berada pada kategori sangat positif, dan untuk tes keterampilan proses sains nilai kategorisasi rata-rata berada pada kategori baik..

DAFTAR PUSTAKA

- Retnawati, Heri. *Analisis Kuantitatif Instrumen Penelitian (Panduan Peneliti, Mahasiswa, dan Psikometrian)*. Sorowajan Baru: Yogyakarta.
- Trianto, 2011. *Konsep, Landasan, dan Implementasinya pada KurikulumTingkat Satuan Pendidikan (KTSP)*. Cet. V; Jakarta: Kencana.
- Yaumi, Muhammad. 2012. *Desain Pembelajaran Efektif*. Makassar: UIN Alauddin Makassar.
- Anggereni, Santi. 2014, *Mengembangkan Asesmen Kinerja Melalui Pembelajaran Berbasis Laboratorium*. Makassar: Alauddin University Press.
- Purwanto. 2013. *Evaluasi Hasil Belajar*. Yogyakarta: Pustaka Belajar

Efektivitas Pengajaran Ilmu Alam berbasis Online di SMA Negeri 3 Gowa, Sulawesi Selatan

Wira Bahari Nurdin*, Sri Suryani, Nur Hasanah, Tasrief Surungan,
Bansawang, Nurlaela Rauf, P. L. Gareso, Eko Juarlin
Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

Abstrak

Suatu bentuk aktifitas pengabdian kepada komunitas pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 3 Kabupaten Gowa sudah dilaksanakan untuk meningkatkan kualitas penguasaan ilmu alam pada siswa dan guru di sana. Hasil yang dicapai dalam aktifitas ini yaitu bertambahnya tingkat kecerdasan dalam bentuk kapabilitas dalam menemukan solusi dari masalah atau ujian pada segenap bahagian ilmu alam. Dalam aktifitas tersebut diajarkan pula teknik surfing dan cara menambah pengetahuan ilmu alam secara online. Untuk melengkapi data yang dibuat dengan melakukan jajak pendapat pada 210 orang pelajar di SMAN 3 Gowa yang menggunakan teknik sampel acak (random sample) dihasilkan simpulan yang menyatakan bahwa seluruh siswa sudah pernah memakai mesin cari secara online, diantaranya 91% telah memakai fasilitas tersebut untuk mencari kumpulan soal ilmu alam, sedang 90% menggunakan internet untuk mendapatkan materi pembelajaran atau buku, 87% memberi pernyataan bahwa internet memudahkan penyelesaian soal, 21% pernah menyaksikan proses pengajaran ilmu di internet dalam bentuk video, dan 11% sudah melakukan pembahasan mengenai ilmu alam secara online.

Abstract

A program for social service have been done to increase the capability to understand the natural science among academic persons of High School 3 Gowa. This program aimed to enrich to capability to solve the problems in natural sciences. The program covered also technical application of internet in learning physics. After having a random sample questionnaire of 210 students in High School 3 Gowa, we can conclude some points. All of the students in principle have done and had the capability in using search engine, 91% of them had used internet to search the education material in physics, 90% quotes that they had found educational materials such as books, 87% of them claimed that use internet to help them in solving the problems, 21% said that they have learned video from internet to study physics, and 11% of them had done an online discussion about physical problems.

Keywords: Science, Online Problem Solution, High School Education.

1. LATAR BELAKANG

Internet dapat digunakan untuk meningkatkan proses pembelajaran, mulai dari pencarian material pengajaran, alat komunikasi dalam pengajaran, serta peralatan penghubung yang baik untuk mengkomunikasikan para pelaku pendidikan (pelajar) dan pendidik dalam proses pembelajaran. Untuk meningkatkan kemampuan menggunakan komputer secara daring (online) dalam suatu proses pengajaran dapat dilakukan melalui peningkatan kompetensi pemanfaatan internet. Internet adalah interaksi dari sekumpulan komputer yang berisi data atau informasi yang dihimpun pada server agar kemudian mampu diakses

dengan mudah setiap waktu dari manapun, jika terdapat hubungan internet. Informasi yang diperlukan baik berupa berita yang dimuat oleh koran atau majalah maupun informasi yang berguna bagi proses pengajaran berupa material pengajaran seperti tulisan berwujud buku, transparan atau risalah, rekaman audio dan film video.

2. PENDAHULUAN MASALAH

SMAN 3 Gowa yang dulunya bernama SMAN 1 Bontonompo adalah satu sekolah dari 9 buah sekolah negeri yang terdapat di Kab. Gowa, dalam lingkup Prov. Sulawesi Selatan [1]. Sekolah negeri ini telah dibuka pada Tahun 1990. Kemudian sekolah ini telah mendapat penetapan sebagai SMA Model pada Tahun 2012. Saat ini sekolah tersebut telah mendapat peringkat yang sangat baik dalam

*Email : wbnurdin@gmail.com

bentuk nilai akreditasi A (sangat baik). Alamat sekolah ini adalah Jalan Poros Makassar Gowa, Kelurahan Tamallayang, dalam daerah Kec. Bontonompo, di Kabupaten Gowa, dalam Propinsi Sulawesi Selatan. Sebagai catatan jumlah pelajar pada tahun 2015 terdapat 1764 orang dengan 27 buah kelas [2].

Pada umumnya, profil SMA negeri maupun swasta di Kabupaten Gowa sudah mempunyai alamat atau situs web tersendiri, misalnya situs SMA Negeri 3 Gowa dan SMA Negeri 1 Sungguminasa. Situs website ini sangat mungkin ditingkatkan kualitasnya dengan menambah isinya, terutama materi pembelajaran bagi para pelajar. Situs tersebut berisi informasi tentang data umum dari sekolah bersangkutan serta informasi kejadian harian. Bagian yang memuat informasi tentang materi pembelajaran belum ada. Keadaan tersebut bisa dimaklumi mengingat bahwa persiapan bahan pengajaran pada server membutuhkan waktu, dana dan kemampuan khusus.

Dalam pembuatan materi pendidikan tersebut, disamping kemampuan pemahaman ilmu, prasyarat hubungan internet bilamana sering menghadapi permasalahan juga merupakan hambatan. Oleh karena itu dibutuhkan kemampuan inovasi serta kemampuan kreativitas untuk meningkatkan fasilitas pengajaran yang terdapat dalam server agar tetap dengan mudah diakses walaupun hubungan internet menghadapi masalah atau gangguan. Strategi solusi yang mungkin dilaksanakan adalah berupa pengadaan server secara local. Server ini banyak berisi materi pembelajaran, atau cara lain melalui pembuatan *server mirror* atau server bayangan. Server bayangan merupakan server yang terduplikasi sedemikian sehingga pengguna komputer mampu melakukan akses ke server dengan mudah, berupa berlangsungnya hubungan otomatis ke server duplikasi terdekat.

Situs internet dan survei pada SMAN 3 Gowa yang menjadi tempat dan mitra pada aktifitas pengabdian pada masyarakat ini merupakan bukti belum optimalnya penggunaan internet untuk sebagai media untuk materi dan bahan pembelajaran yang terhubung internet. Pada situs tersebut terdapat menu bertuliskan *E-learning*. Menu ini kemudian dibuat koneksi (*di-link*) dengan situs external. Adanya menu tersebut memperlihatkan adanya rencana dari mitra

dalam persiapan sarana pengajaran melalui internet, meskipun baru sebatas rencana. Untuk memecahkan permasalahan tersebut, dilakukan kegiatan penyuluhan pemanfaatan internet dalam membantu kegiatan pembelajaran dan pendidikan ilmu alam. Format kegiatan tersebut telah dilaksanakan dalam bentuk kegiatan tryout buat para pelajar untuk memperoleh peta kemampuan dasar ilmu alam yang sesungguhnya, sehingga dapat diberikan jalan keluar yang terbaik terhadap peta kompetensi itu. Lalu dilakukan lokakarya bertempat pada sekolah mitra. Peserta dalam lokakarya tersebut adalah para pelaku akademik yaitu guru dan siswa yang akan diberi bekal berupa kemampuan dalam penggunaan internet.

3. SASARAN DAN HASIL KEGIATAN

Yang menjadi sasaran dalam aktifitas ini ialah para pelaku akademik di SMAN 3 Gowa termasuk beberapa pelajar pilihan. Para peserta tersebut akan dikutkan dalam lokakarya dalam penggunaan internet secara maksimal. Hasil keluaran dari aktifitas ini berupa kemampuan pemakaian internet untuk pembelajaran secara otodidak atau mandiri bagi pelajar di sekolah mitra. Selain itu, hasil luaran lain berupa peningkatan kehandalan para pelajar untuk menjawab permasalahan dalam ilmu sains disamping kemampuan berkomunikasi dengan menggunakan sosial media dan kesanggupan dalam memanfaatkan ketersediaan bahan ajar di internet.

4. TUJUAN DAN LUARAN KEGIATAN

Kegiatan pengabdian pada masyarakat diadakan dengan tujuan untuk peningkatan kehandalan para pendidik sekolah menengah pada teknologi internet dan informasi, khususnya berupa kemampuan penggunaan internet sebagai alat bantu dalam proses pembelajaran ilmu alam. Kemampuan ini akan sangat membantu para peserta didik di dalam berinteraksi dengan guru serta memperoleh materi atau sumber pembelajaran dengan kualitas baik sewaktu-waktu dan di mana pun dia berada secara online. Hasil luaran program pengabdian tersebut dapat dinyatakan atas beberapa bagian berupa (i) pengetahuan dalam memperoleh materi ajar berwujud tulisan ilmiah, presentasi materi ajar, rekaman suara dan rekama visual teknik pembelajaran. Selain itu wujud kemampuan tersebut adalah pengetahuan teknis tentang cara kerja jaringan (network) komputer, server dan (ii)

peningkatan pengetahuan hal pragmatistis ilmu alam para guru dan pelajar yang diperoleh melalui kegiatan tryout dan lokakarya.

5. ANALISIS KUISIONER

Kegiatan tryout dan lokakarya merupakan kegiatan utama dan untuk mengukur tingkat keberhasilan kegiatan diadakan survei tentang tingkat pemanfaatan internet dengan jumlah sampel 210 orang siswa SMAN 3 Gowa yang diambil sebagai sampel. Dari total sampel tersebut, 142 orang berjenis kelamin laki-laki dan 68 orang perempuan.

Dalam sampling metode yang digunakan adalah metode acak (random sampling). Total sampel meliputi 96 siswa tingkat 1, 84 siswa tingkat II dan 30 siswa tingkat III. Sedang yang menjadi mata pencaharian orang tua dari pelajar tersebut beragam diantaranya 118 orang siswa adalah petani, pengusaha 40 sebanyak orang, Pegawai Negeri Sipil sebanyak 20 orang dan 6 orang merupakan pegawai swasta. Seluruh siswa tersebut pernah memakai mesin pencari dalam internet, dengan beragam situs web yang ada seperti google, yahoo, bing dan Mozilla. Sejumlah 192 orang mengatakan telah memakai internet untuk mencari rangkuman soal dalam ilmu alam, 190 org siswa telah menyatakan bahwa internet sangat membantu dalam pencarian materi kuliah atau naskah buku, 182 siswa mengatakan bahwa internet membantu menemukan solusi atau kunci dari soal, 44 siswa mengatakan pernah menyaksikan video untuk proses pembelajaran ilmu alam di internet, dan 24 siswa mengatakan bahwa mereka pernah melakukan diskusi mengenai masalah ilmu alam di internet. Tabel 1. berisi keterangan dan jumlah siswa dengan ragam pertanyaan.

6. KESIMPULAN

Dari hasil survei dapat disimpulkan bahwa semua siswa pernah memanfaatkan mesin cari secara online. Sebagian besar dari mereka (91%) jumlah siswa mengatakan telah memanfaatkan internet untuk melakukan pencarian kumpulan soal atau ujian fisika, sebagian besar (90%) siswa mengatakan bahwa internet membantu mereka dalam mencari materi catatan atau buku, sebagian besar dari mereka (87%) mengatakan bahwa internet telah membantu mereka dalam mencari penyelesaian jawaban, sebagian kecil (21%) dari mereka mengatakan pernah

menyaksikan proses visual pengajaran ilmu alam di internet, dan sebagian kecil (11%) mengatakan bahwa mereka pernah melakukan diskusi mengenai masalah ilmu alam secara online. Kemudian menurut mereka mata pelajaran yang terdapat di SMA yang tersulit yaitu mata pelajaran fisika sebanyak 78%, mata pelajaran matematika sebanyak 19%, mata pelajaran kimia sebanyak 6%, mata pelajaran bahasa Inggris sebanyak 2%, dan mata pelajaran biologi sebanyak 1%. Para siswa tersebut menggunakan internet sehari secara bervariasi diantaranya sebanyak 24% mengatakan selama 1 jam, 28% mengatakan selama 2 jam, 15% mengatakan selama 3 jam, 5% mengatakan selama 4 jam, dan yang terakhir 10% mengatakan diatas 5 jam.

Tabel 1. Daftar Kuisisioner dan Jawaban

DAFTAR PERTANYAAN	YA	TIDAK
Pernahkan Saudara memakai internet?	210	0
Apakah penggunaan internet membantu menyelesaikan soal fisika Anda?	116	92
Apa pekerjaan Orang Tua Anda?	196	14
Pernahkan Saudara memakai mesin cari secara online?	206	4
Mesin cari apa selain SELAIN Google yang pernah digunakan?	Yahoo 96	Bing 28
Membantukah internet dalam pencarian kumpulan soal?	192	18
Membantukah internet dalam mencari materi ilmu atau naskah buku?	190	20
Membantukah internet dalam mendapatkan solusi atau kunci jawaban?	186	22
Pernahkah anda menyaksikan audio video pengajaran di internet?	44	166
Pernahkah Anda berdiskusi mengenai masalah ilmu alam di internet?	24	186

DAFTAR PUSTAKA

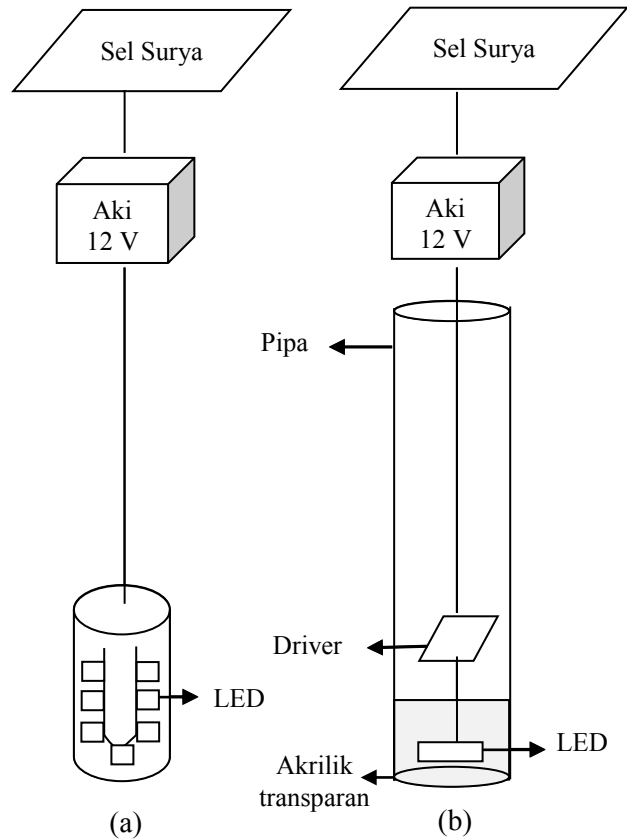
1. Situs Web Pemda Provinsi Sulsel, 2015, Alamat situs <http://sulselprov.go.id/>
2. Situs Web Resmi Kab. Gowa, Alamat Situs <http://gowakab.go.id/profile>.
3. Data Sekolah Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2015. <http://sekolah.data.kemdikbud.go.id/>

karakteristik daerah tangkapan serta harga yang mahal untuk nelayan kecil^{1,5,6}.

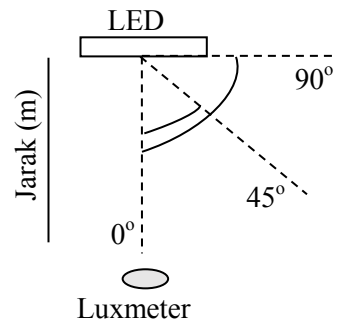
Pada penelitian ini, dilakukan analisis intensitas pencahayaan lampu *Light Emitting Diode* (LED) dengan daya 3 watt dan 50 watt yang akan digunakan pada rumpon elektronik. Lampu LED berdaya 3 watt dapat digunakan untuk rumpon elektronik oleh nelayan kecil seperti pemancing ikan. Sedangkan lampu LED 50 watt dapat digunakan untuk rumpon elektronik oleh nelayan besar seperti gillnet, seine net dan purse seine. Penelitian ini diharapkan mampu menganalisis kebutuhan nelayan tentang intensitas pencahayaan berbagai jenis ikan dan jarak jangkauan pencahayaan lampu LED sebagai penerang yang dipasang dalam rumpon elektronik. Keunggulan dari penelitian ini adalah fabrikasi mudah, harga murah, tahan lama, hemat energi, sistem pengukuran yang sederhana, serta ramah lingkungan.

2. BAHAN DAN METODA

Penelitian ini menggunakan cahaya lampu warna putih dari LED 3 Watt dan 50 Watt sebagai sumber penerangan. Lampu LED dengan daya 3 Watt yang dihubungkan dengan aki 12 Volt sebagai sumber tegangan listrik. Untuk LED 50 Watt dengan tegangan 36 Volt yang dihubungkan dengan bagian output driver CN6009 untuk menaikkan tegangan dari aki 12 Volt. Pada bagian input driver dipasang dioda rectifier IN0007 sebagai penghantar arus pada satu arah. Sumber energi listrik lampu LED berasal dari aki yang disambungkan dengan kontroler dan sel surya. Proses pengambilan data jarak jangkauan pencahayaan diukur menggunakan meteran mulai dari jarak terdekat sampai jarak terjauh hingga intensitas cahaya 0 lux. Besar intensitas cahaya diukur menggunakan luxmeter pada arah lurus ke bawah 0°, ke samping 45° dan 90°. Skema rangkaian dan posisi pengukuran intensitas cahaya lampu LED ditampilkan seperti pada Gambar 1 dan 2 berikut:



Gambar 1. Skema rangkaian rumpon elektronik berbasis LED (a) 3 Watt dan (b) 50 Watt.

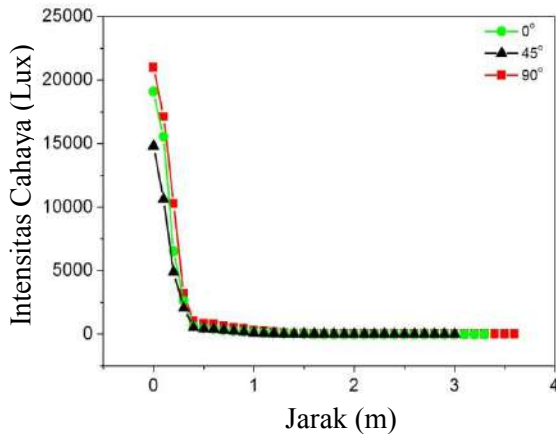


Gambar 2. Pengukuran intensitas cahaya Lampu LED

3. HASIL DAN BAHASAN

Pengukuran intensitas pencahayaan lampu LED yang digunakan pada rumpon elektronik dengan menggunakan lampu LED berdaya 3 watt dan 50 watt dengan medium perantara udara. Intensitas cahaya masing-masing lampu LED diukur menggunakan luxmeter pada posisi sudut 0° (vertikal), 45°, dan 90° (horizontal). Pengambilan data intensitas cahaya dimulai dari jarak 0 m dari sumber cahaya lampu LED hingga menghasilkan intensitas pencahayaan 0 lux. Hasil pengukuran intensitas cahaya untuk lampu

LED berdaya 3 watt ditampilkan seperti pada Gambar 3 berikut:

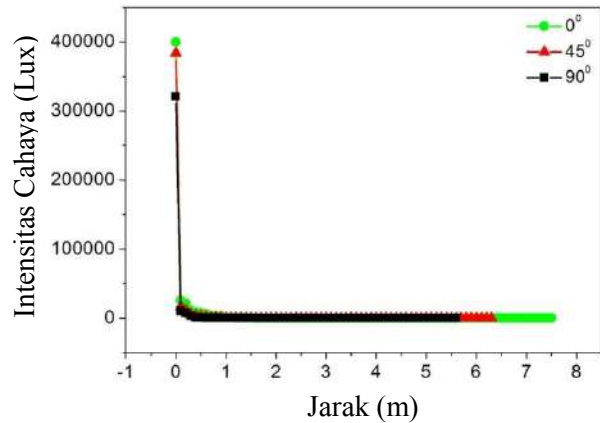


Gambar 3. Grafik pengukuran intensitas cahaya lampu LED 3 Watt terhadap jarak jangkauan.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3 menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang terukur sangat bergantung kepada jarak posisi pengukuran. Semakin jauh jarak posisi pengukuran, maka semakin kecil intensitas cahaya yang terukur. Selanjutnya intensitas cahaya juga bergantung kepada posisi sudut pengukuran. Intensitas cahaya lampu LED 3 Watt paling besar berturut-turut berada pada posisi samping 90°, kemudian posisi bawah (0°) dan paling kecil berada pada posisi samping 45°.

Hal ini disebabkan karena letak pemasangan lampu LED paling banyak berada pada posisi samping 90°, kemudian di bawah, sedangkan pada posisi samping 45° tidak ada LED.

Hasil pengukuran dari intensitas cahaya lampu LED berdaya 50 watt yang dapat digunakan untuk nelayan besar, ditampilkan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Grafik intensitas cahaya LED berdaya 50 Watt terhadap jarak jangkauan.

Hasil pengukuran intensitas cahaya pada rumpon elektronik menggunakan LED 50 watt seperti pada Gambar 4 yang memiliki kemiripan dengan grafik pada Gambar 3, namun intensitas cahaya lampu LED 50 Watt lebih besar dengan daya jangkauan yang cukup jauh dibandingkan dengan lampu LED 3 watt. Hasil menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang terukur berbanding terbalik dengan jarak jangkauan cahaya LED. Semakin jauh jarak jangkauan cahaya LED yang terukur, maka semakin kecil intensitas cahaya yang dihasilkan. Intensitas cahaya paling besar berada pada posisi ke bawah (0°), kemudian posisi samping 45° dan paling rendah posisi samping 90°.

Hal ini karena lampu LED hanya 1 unit yang menghadap ke bawah. Sehingga intensitas cahaya maksimum terletak pada posisi bawah 0°.

Data hasil pengukuran besaran intensitas cahaya dan jarak jangkauan pencahayaan lampu LED dengan daya 3 watt dan 50 watt ditampilkan seperti pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Intensitas dan jarak pencahayaan pada LED 3 Watt dan 50 Watt

Daya LED	Sudut (°)	Intensitas Cahaya (Lux)								Jarak Max. (m)
		0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m		
3 Watt	0	19.100	170	1,2	0,3					3,2
	45	14.800	110	2,8	0,0					2,9
	90	21.000	310	5,9	0,8					3,5
50 Watt	0	400.000	1.200	87,2	16,2	6,8	3,9	1,8		7,4
	45	383.600	650	40,1	8,4	5,0	1,5	0,1		6,2
	90	321.000	160	29,8	8,0	3,2	0,6			5,4

Berdasarkan data pada Tabel 1 di atas, hasil menunjukkan bahwa pada lampu LED 3 watt, intensitas cahaya terbesar berada pada posisi samping (horizontal) yaitu 21.000 lux dengan

jarak jangkauan pencahayaan terjauh sebesar 3,5 meter. Intensitas pencahayaan terkecil pada posisi samping dengan sudut 45° sebesar 14.800 lux dengan jarak jangkauan pencahayaan sebesar 2,9

meter. Lampu LED ini sangat cocok digunakan untuk rumpon yang kecil dengan jenis ikan permukaan dengan kedalaman pencahayaan sekitar 3,2 meter.

Pada lampu LED 50 watt, intensitas cahaya terbesar berada pada posisi di bawah lampu (vertikal) yaitu sebesar 400.000 lux dengan jarak jangkauan pencahayaan maksimum sebesar 7,4 meter. Sedangkan intensitas pencahayaan terkecil berada pada posisi samping (horizontal) dengan sudut 90^0 sebesar 321.000 lux dengan jarak jangkauan pencahayaan sebesar 5,4 meter. Lampu LED ini sangat cocok digunakan untuk rumpon besar dengan alat tangkap jenis gillnet, seine net dan purse seine. Lampu LED ini mampu menarik perhatian ikan yang cukup banyak dengan jenis ikan yang berada pada kedalaman sekitar 7,4 meter.

Pengukuran intensitas pencahayaan pada penelitian ini menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Penelitian yang telah dilakukan oleh Setiawan, dkk. (2015) tentang pengukuran intensitas cahaya pada lampu warna putih yang diaplikasikan sebagai lampu celup bawah air. Besar intensitas cahaya maksimum yang diperoleh adalah 275,7 lux¹. Selanjutnya hasil penelitian oleh Arifin, dkk. (2009) menggunakan lampu fluorescent ballast elektronik sebagai lampu celup dengan daya 65 watt. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa intensitas cahaya maksimum terdapat pada lampu berwarna putih sebesar 20.000 lux pada arah horizontal dengan jarak jangkauan pencahayaan maksimum 20 meter. Sedangkan pada arah vertikal intensitas maksimum sebesar 3.800 lux pada lampu warna putih dengan jarak jangkauan pencahayaan sebesar 12 meter⁵.

Dari hasil ini penelitian ini membuktikan bahwa LED sebagai lampu penerangan yang digunakan menarik perhatian ikan untuk mendekat dan berkumpul di sekitar sumber cahaya sangat cocok digunakan pada rumpon elektronik. Hal ini dapat terjadi karena lampu LED memiliki kelebihan di antaranya adalah memiliki intensitas cahaya yang sangat tinggi, jarak jangkauan pencahayaan jauh, fabrikasi mudah, biaya murah, tahan lama, hemat energi, serta ramah lingkungan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar daya lampu LED yang digunakan, maka

semakin besar intensitas cahaya yang dihasilkan, serta semakin besar pula jarak jangkauan pencahayaan. Pengukuran intensitas cahaya terbaik diperoleh pada lampu LED 50 Watt sebesar 400.000 Lux dengan jarak jangkauan pencahayaan sebesar 7,4 meter. Lampu LED ini sangat cocok digunakan pada rumpon elektronik dengan kapasitas nelayan yang besar dan dapat digunakan untuk nelayan dengan jenis alat tangkap purse seine karena memiliki intensitas cahaya yang sangat tinggi dengan jarak jangkauan pencahayaan yang lebih jauh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh “Program Pengabdian kepada Masyarakat Unhas – Program Kemitraan Masyarakat (PPMU-PKM) Unhas – 2018” No. Kontrak 3083/UN4.21/PL.00.00/2018.

DAFTAR PUSTAKA

1. Setiawan, F., Sulistiyanti, S. R., Sadnowo, A. 2015. Analisis Pengaruh Medium Perambatan Terhadap Intensitas Cahaya Lacuba (Lampu Celup Bawah Air). *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro* **9**: 21-29.
2. Siburian, P., Batubara, H. 2016. *IbM Nelayan Pesisir Pantai Nagalawan Dan Rancang Bangun Sampan/Jaring untuk Meningkatkan Hasil Tangkapan Ikan Di Kecamatan Perbaungan*. Universitas Negeri Malang, 1-39.
3. Dantes, K. R., Nugraha, I. N, P., Wigraha, N. A., Widayana, G. 2016. *Pelatihan Pembuatan Rumpon Bagi Kelompok Nelayan Di Desa Les, Kecamatan Tejakula, Kabupaten Buleleng*, Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat, 374-381.
4. Baswantara, A., Jaya, I., Yusfiandayani, R. 2017. Modifikasi dan Rekayasa Rumpon Elektronik Sebagai Alat Bantu Penangkapan Ikan Berbasis Cahaya Led. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* **9**: 201-209.
5. Arifin & Metusalach. 2009. Optimalisasi Sistem Pencahayaan Ikan dengan Menggunakan Lampu Listrik Dalam Air Bertenaga Surya Untuk Meningkatkan Produktivitas Nelayan Di Sulawesi Selatan. Penelitian DIPA UNHAS 2009, Makassar.
6. Hamidi, Baskoro, M. S., Riyanto, M. 2017. Penggunaan *Light Emitting Diode (LED)* Celup Bawah Air dengan Warna Berbeda: Pengaruhnya Terhadap Hasil Tangkapan Bagan Perahu. *Albacore* **1**: 285-296.

Uji Sensitivitas Sensor Getaran Berbasis Serat Optik Polimer Menggunakan Metode *Backscattering* dan *Macrobending*

Radha Hartina Putri*, A. Arifin

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Salah satu aplikasi serat optik sebagai sensor yakni mendeteksi getaran. Pembuatan sensor deteksi getaran umumnya dilakukan dengan metode *backscattering*. Pada penelitian ini dibuat sensor deteksi getaran dengan menggunakan dua metode pengukuran yakni metode *backscattering* dan metode *macrobending*. Transmisi cahaya yang bersumber dari LED akan terpengaruh getaran yang diberikan pada speaker 8Ω sehingga cahaya yang diterima fototransistor dan penguat selisih mengalami perubahan rugi daya. Tegangan keluaran berupa tegangan analog yang dikonversi oleh mikrokontroler menjadi tegangan digital dan ditampilkan pada komputer. Hasil yang diperoleh menunjukkan sensor pada *macrobending* memiliki sensitivitas $3,093 \text{ mV/H}$ pada jarak lengkungan lengkungan sensor 1 cm dan jarak dari sumber getaran $0,5 \text{ mm}$. Metode *macrobending* menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi dan linearitas yang lebih baik dibandingkan metode *backscattering*. Serat optik polimer dapat digunakan sebagai sensor deteksi getaran karena memiliki kelebihan diantaranya adalah ukuran kecil, ringan, sensitivitas tinggi, serta dapat dihubungkan dengan komputer.

Kata Kunci: getaran, mikrokontroler, sensor, serat optik

1. PENDAHULUAN

Serat optik telah dikembangkan dalam berbagai aplikasi. Pada umumnya serat optik digunakan sebagai media telekomunikasi¹, kini serat optik dapat diterapkan pada pengaplikasian sensor. Serat optik telah dikembangkan menjadi sistem sensor untuk mengukur berbagai parameter besaran fisis seperti sensor pergeseran², suhu³, getaran⁴, Kelembaban relative udara⁵, kekeruhan air⁶, dan sebagainya. Kondisi sistem-sistem sensor yang terus diperbaharui, mulai menggantikan tempat sensor konvensional termasuk sensor getaran.

Umumnya, getaran dapat diukur dengan menggunakan perangkat elektromagnetik seperti piezoelektrik, piezoresistif, atau kapasitif akselerometer⁷. Hanya saja pengukuran menggunakan perangkat elektronik dapat terganggu jika harus digunakan pada daerah yang memiliki elektromagnetik. Sedangkan serat optik dipilih dikarenakan keunggulannya seperti ukuran yang kecil, tidak menggunakan listrik sebagai bentuk informasi yang dibawa sehingga data tidak akan terpengaruh oleh medan elektromagnetik yang berada di sekitarnya.

Dengan sifatnya yang juga sensitive terhadap lingkungan sekitarnya. Beberapa penelitian telah menggunakan serat optik sebagai sensor yang berhubungan dengan getaran. Seperti pada tahun 2008 serat optik terbukti dapat digunakan untuk mendeteksi getaran⁸. Selanjutnya penggunaan serat optik yang dapat digunakan mendeteksi frekuensi $20\text{-}100 \text{ Hz}$ hingga mengontrol frekuensi getaran menggunakan metode pemantulan (*backscattering*) hanya saja sensitivitas yang diperoleh sangat rendah dan peralatan yang digunakan cukup rumit⁹⁻¹⁰.

Serat optik terbuat dari bahan kaca atau polimer dengan menggunakan prinsip pemantulan sempurna (*total internal reflection*) untuk mentransmisikan gelombang elektromagnetik¹¹. Serat optik terus dikembangkan dan dimodifikasi menjadi perangkat yang dapat berinteraksi langsung dengan lingkungan seperti sensor. Salah satu metode yang sering digunakan yakni dengan memodifikasi *cladding* serat optik hingga pembengkokkan (*bending*). Serat optik yang dilengkungkan berpotensi sebagai sensor ekonomis yang dapat diterapkan diberbagai bidang.

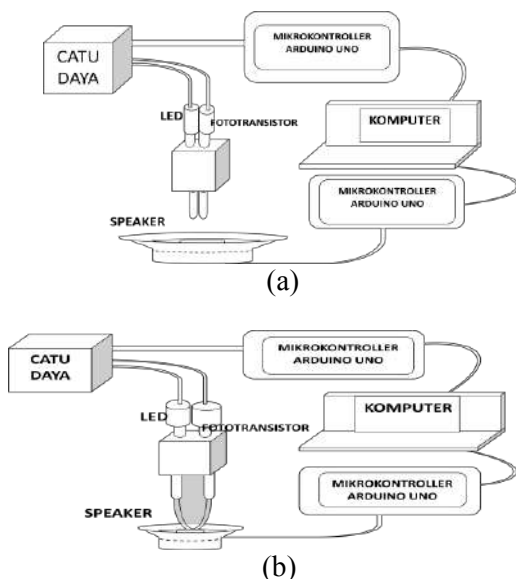
*Email: radha.putri08@gmail.com

Peningkatan kinerja sensor dapat dilakukan dengan memodifikasi fisik serat optik (sensor) dari sisi bentuk maupun tujuan tertentu yang dikaitkan untuk melakukan pengukuran. Pemberian variasi sudut pembengkokan memberikan perbedaan sensitivitas pada pengukuran⁶. Perlakuan terhadap serat optik yang dapat sengaja diberikan akan mempengaruhi informasi yang ditransmisikan di dalam serat optik. Pada penelitian ini sistem yang digunakan adalah ekstrinsik. Sistem ekstrinsik merupakan metode yang mengukur karakteristik sensor tanpa bersentuhan langsung dengan sampel¹². Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan karakteristik sensor yang baik yakni sensitivitas yang tinggi dengan sistem pengukuran yang sederhana dan ekonomis.

2. BAHAN DAN METODA

Bahan yang digunakan adalah serat optik polimer, LED IF E91A, Fototransistor IF-D92, statif, speaker 8Ω, catu daya 5V, penguat selisih, mikrokontroler arduino uno, dan komputer.

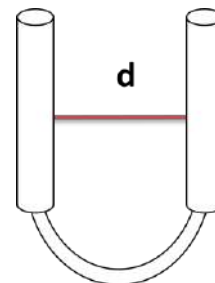
Serat optik polimer berbahan *polymethyl metacrylate* dengan jarak lengkungan jaket 2,2 mm, bungkus 1mm, dan inti 0,98 mm. Indeks bias pada inti dan bungkus masing-masing 1,492 dan 1,402. Pada metode *backscattering*, serat optik dipotong sepanjang 10 cm sebagai *transmitter* dan 10 cm sebagai *receiver*. Dengan menggunakan LED IF E91A dengan panjang gelombang 950 nm yang digunakan sebagai sumber cahaya yang akan di transmisikan. Cahaya tersebut akan diterima oleh Fotodetektor IF-D92 dengan panjang gelombang 400-1100 nm yang dirangkai seperti Gambar 1(a).



Gambar 1. (a) Skema rangkaian alat sensor berbentuk *backscattering* (b) Skema rangkaian alat sensor *Macrobending*

Sedangkan pada *Macrobending*, serat optik dipotong sepanjang 20 cm sebanyak 4 buah. Masing-masing serat optik dibentuk menjadi U dengan jarak lengkungan (jarak antara ujung serat optik) 1cm, 2cm, 3cm, dan 4cm (Gambar 2) Pada metode *macrobending*, jaket dikupas sepanjang 2,5-3 cm ditengah serat optik. Bagian yang dikupas digunakan sebagai titik sensor yang mendeteksi getaran yang dihasilkan membran speaker yang dirangkai seperti Gambar 1(b).

Catu daya 5V sebagai sumber tegangan untuk menyalakan LED dan Fotodetektor. Cahaya yang diterima Fotodetektor diterima oleh penguat selisih yang kemudian dikonversi dari analog ke digital menggunakan mikrokontroler arduino uno. Hasil akan direkam oleh IDE arduino uno. Arduino juga digunakan sebagai pengatur sumber getaran yang akan dihasilkan oleh speaker 8Ω. Mikrokontroler dan port yang digunakan berbeda untuk membaca tegangan keluaran sensor dan mengatur frekuensi pada sumber getaran (speaker) sehingga masing-masing tegangan mikrokontroler tidak saling mengganggu ketika digunakan bersamaan.



Gambar 2. Bentuk *Macrobending* dengan jarak lengkungan 1cm, 2cm, 3cm, dan 4cm

Pengukuran menggunakan metode *backscattering* dilakukan dengan merekatkan kedua serat optik (*transmitter* dan *receiver*) yang akan digunakan sebagai sensor menggunakan selotip. Kemudian sensor dipasang dibeton yang tergantung pada statif. Pengukuran awal dilakukan dengan mengubah jarak antara permukaan membran speaker dan ujung serat optik yang akan menembakkan dan menerima cahaya yang dipantulkan. Jarak di atur mulai dari 0 mm hingga 10mm dengan interval 1 mm. Setelah memperoleh keluaran maksimal, jarak diatur konstan selama pengukuran terhadap setiap perubahan frekuensi.

Pengukuran sensor konfigurasi sensor dilakukan dengan menggunakan 4 varian jarak lengkungan dan bervariasi jarak antara permukaan membran speaker dan permukaan serat optik yang dikupas. Jarak diatur 0,5 mm, 1mm, dan 1,5 mm. Serat optik dibentuk U dengan menggunakan bantuan beton yang digantung pada statif. Data diambil berdasarkan perubahan masing-masing frekuensi. Frekuensi diatur dengan menggunakan arduino uno. Pada frekuensi 0 Hz, speaker dibiarkan tetap diam atau tidak diberikan masukan. Hasil yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan Excel untuk menghitung sensitivitas sensor dan linearitas grafik.

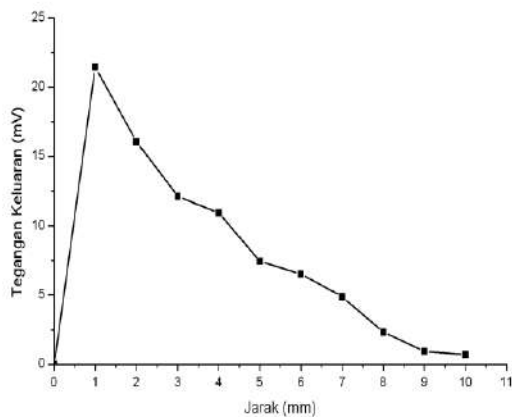
Sensitivitas sensor adalah kepekaan sensor yang sengaja dimodifikasi terhadap getaran yang diberikan. Sensitivitas sensor getaran dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$S = \frac{V_{max} - V_{min}}{F_{max} - F_{min}} \quad 1$$

V_{max} dan V_{min} menunjukkan tegangan maksimal dan minimal yang diperoleh pada pengukuran. Sedangkan F_{max} dan F_{min} adalah nilai frekuensi maksimal dan minimal pada pengukuran.

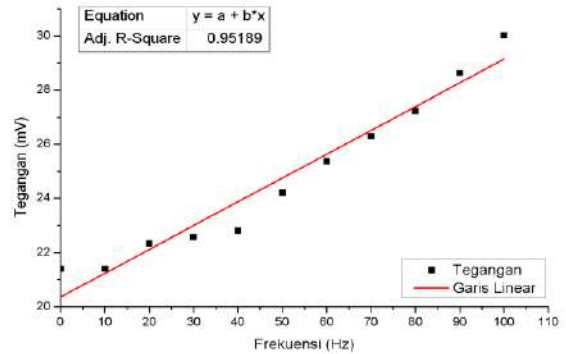
3. HASIL DAN BAHASAN

Pengukuran pertama menggunakan metode *backscattering*. Pada metode ini, jarak sensor serat optik berbentuk *backscattering* dikarakterisasi terlebih dahulu terhadap permukaan membran speaker. Hal ini dilakukan untuk memperoleh kemampuan optimal serat optik untuk menerima pantulan dari transmisi cahaya yang dipantulkan.



Gambar 4. Grafik perubahan tegangan keluaran sensor pada pergeseran jarak sensor terhadap permukaan membran speaker

Variasi jarak yang dilakukan yakni 0-10 mm. Hasil keluaran maksimum ditunjukkan pada jarak 1mm seperti pada Gambar 4. Berdasarkan grafik, hasil maksimum diperoleh pada jarak 1 mm dengan keluaran mencapai 21,412 mV dan tegangan terus menurun setiap pertambahan jarak antara sensor dan membran speaker hingga 10 mm. Setelah diperoleh keluaran maksimum antara jarak sensor dan permukaan speaker, dilakukan pengukuran terhadap perubahan frekuensi dengan menetapkan jarak sensor 1 mm.



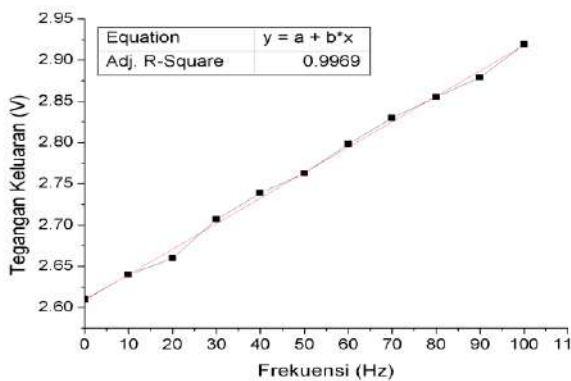
Gambar 5. Grafik perubahan tegangan keluaran sensor terhadap frekuensi metode *backscattering*

Gambar 5 menunjukkan tegangan yang diperoleh mengalami kenaikan setiap kenaikan interval frekuensi 10 Hz. Grafik menunjukkan getaran yang sengaja diberikan pada speaker mempengaruhi cahaya yang diterima oleh serat optik *receiver* sehingga cahaya yang diteruskan ke fotodetektor akan berkurang sehingga menyebabkan rugi daya atau penurunan tegangan. Meskipun pada frekuensi awal 0-10 Hz hasil yang diperoleh sama yakni 21,412 mV. Hal tersebut dikarenakan getaran yang dihasilkan pada frekuensi 10 Hz tak dapat dideteksi dengan baik oleh sensor. Pada pengukuran ini diperoleh sensitivitas sensor sebesar 0,0861 mV/Hz. Sensitivitas yang didapatkan menunjukkan tingkat sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan penelitian yang telah dilakukan oleh Neha gupta, dkk pada tahun 2012 dengan metode *backscattering*.

Tabel 1. Tabel data sensitivitas pengukuran sensor metode *macro bending*

Jarak (mm)	Sensitivitas (mV/Hz)			
	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
0,5	3,093	2,674	2,739	2,309
1,0	1,443	2,258	1,839	0,940
1,5	0,815	0,570	0,814	0,461

Penelitian dilanjutkan dengan melakukan karakterisasi pada sensor *macrobending*, dilakukan pengukuran dengan memvariasikan jarak lengkungan pada lekukan U yakni 4 cm, 3 cm, 2 cm, dan 1cm. Sedangkan jarak sensor dan permukaan membran speaker diatur dengan tiga variasi jarak yaitu 0.5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. Pada *macrobending*, jaket dikupas pada bagian dasar U yang akan berfungsi untuk mendeteksi getaran yang berada di sekitarnya. Hal ini sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan sensitivitas pada sensor. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 6. Grafik perubahan tegangan keluaran sensor terhadap frekuensi sensor *macrobending* ($d=1\text{ cm}$, $j=0.5\text{ mm}$)

Berdasarkan tabel 1, hasil yang memiliki sensitivitas 3,093 mV/Hz merupakan sensitivitas tertinggi yang diperoleh pada jarak lengkungan 1cm dan jarak sensor dari permukaan membran speaker 0.5 mm. Hasil tersebut menunjukkan jarak lengkungan dan jarak permukaan membran speaker ke sensor mempengaruhi sensitivitas sensor. Sensitivitas sensor semakin baik ketika jarak lengkungan semakin kecil dan jarak antara membran speaker dan sensor semakin dekat. Sedangkan jarak lengkungan terbesar yakni 4 cm dengan jarak terjauh 1.5 mm dari permukaan membran speaker memiliki sensitivitas sebesar 0,461 mV/Hz. Sehingga *macrobending* memiliki karakteristik yang baik pada jarak lengkungan 1 cm dan jarak 0.5 mm. Jika membandingkan sensitivitas dan linearitas yang diperoleh antara metode *backscattering* dan *macrobending* dengan jarak lengkungan 1 cm dan jarak 0.5 mm. *Macro bending* memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan metode *backscattering*. Sedangkan linearitas yang diperoleh menunjukkan sensor *macro bending* lebih linear dibandingkan bentuk *backscattering*.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan terdapat penurunan tegangan akibat dari gangguan getaran yang diberikan oleh speaker. Pada metode *backscattering* cahaya yang diterima oleh serat optik *receiver* berkurang setiap kenaikan 10 Hz. Meskipun pada frekuensi 0 Hz dan 10 Hz, tegangan keluar yang diperoleh sama karena sensor tidak dapat mendeteksi dengan baik. Hal tersebut menunjukkan sensitivitas dari metode *backscattering* kurang baik yakni hanya sebesar 0,086 mV/Hz dibandingkan sensor serat optik metode *macro bending*. Pada metode *macro bending* jarak lengkungan sensor dan jaraknya ke permukaan membran speaker mempengaruhi tegangan keluarannya. Semakin kecil jarak lengkungan tegangan dan semakin dekat jarak sensor ke sumber getaran akan meningkatkan sensitivitas sensor. Sensor getaran ini dapat dikembangkan dengan menggunakan *bending* atau konfigurasi lainnya dan diterapkan pada beberapa pengaplikasian seperti pengukuran getaran pada mesin, gempa, maupun getaran-getaran yang terjadi akibat kegiatan-kegiatan di tempat umum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh “Riset Unggulan UNHAS (RUNAS) Dasar Unhas 2018” dengan No. Kontrak 3084/UN-4.21/PL.00.00/2018.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dewi Mayang Sari. 2010. Kajian Karakteristik Rugi-rugi pada Serat Optik Telkom Karena Pembengkokan Makro. Skripsi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta,.
2. T. B. Waluyo, D. Bayuwati, dan B. Widiyatmoko. 2009. Karakterisasi Rugi Lengkungan Serat Optik Dengan *Optikal Time Domain Reflectometer* untuk Penggunaannya Sebagai Sensor Pergeseran Tanah. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*9:0854-3046
3. R. R. Khan dan S. W. Kang. 2016. Highly Sensitive Temperature Sensors Based on Fiber-Optik PWM and Capacitance Variation Using Thermochromic Sensing Membrane. *Sensors*16:1064.
4. Y. Lu, T. Zhu, L. Chen, dan X. Bao. 2010. Distributed Vibration Sensor Based on Coherent Detection of Phase-OTDR. *Journal of Lightwave Technology* 28: 0733-8724.
5. A. Maddu, K. Modjahidin, S. Sardy, dan H. Zain. 2006. Pengembangan Probe Sensor

- Kelembaban Serat Optik dengan Cladding Gelatin. MAKARA10:45-50.
6. M. Peslinof, Harmasi, dan Wildian. 2013. Analisis Pengaruh Pembengkokan pada Alat Ukur Tingkat Kekeruhan Air Menggunakan Sistem Sensor Serat Optik?. JIF 5:1979-4657.
 7. S. Shrivastava, M. Gome, S. Purohit, C. Mundra, dan S. S. Pawar. 2014. Converting Sound Energy Into Electricity Using Piezoelectric Material: A Study. IJMET5:25-31.
 8. I. Lujjo, P.Klovoc, T. Komljenovic, M. Bosiljevac, dan Z. Sipus. 2008. Fiber *Optik* Vibration Sensor Based on Multimode Fiber. Radioengineering17:2.
 9. N. Gupta dan S. Pahuja. 2012. Vibration Sensor for Health Monitoring of Electrical Machines in Power Station.IJEST4:0975-5462.
 10. Firmansyah dan Harmasi. 2015. Rancang Bangun Sistem Pengontrol Frekuensi Getaran Menggunakan Serat Optik. Jurnal Fisika Unand 4:2302-8491.
 11. B. H. Saputro, Harmadi, dan Wildian. 2012. Analisis Pergeseran Mikro Menggunakan Sensor Serat Optik FD 620-10. JIF 6:2614-7386.
 12. M. Yunus dan A. Arifin. 2018. Karakterisasi Sensor Kekentalan Oli Berbasis Serat Optik Polimer Menggunakan Metode Back Scattering. Positron8:31-36.

Karakterisasi Sensor Berbasis Serat Optik Plastik Untuk Pengukuran Kadar Alkohol

Sahril*, A. Arifin, Bidayatul Armynah

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk membuat sensor serat optik plastik dalam pengukuran kadar alkohol. Sampel dibuat dengan konsentrasi yang diukur menggunakan alkoholmeter hingga menghasilkan berbagai variasi tingkat kadar alkohol dari 0% sampai 95%. Pengujian sensor dilakukan dengan variasi lekukan menggunakan serat optik dengan selubung dan tanpa selubung dengan konfigurasi U dan gamma. Kedua ujung sensor serat optik dihubungkan dengan LED dan fotodetektor. Cahaya LED ditransmisikan melalui serat optik dan akan diterima oleh fotodetektor kemudian terbaca pada OPM dan selanjutnya dapat di baca pada layar komputer berupa daya keluaran. Intensitas cahaya pada sensor mengalami rugi daya akibat peningkatan kadar alkohol sehingga daya keluaran semakin menurun. Hasil terbaik diperoleh pada konfigurasi gamma panjang kupasan 3 cm tanpa selubung dengan nilai sensitivitas dan resolusi masing-masing adalah $0,196 \mu\text{W}/\%$ dan $0,005 \%$. Pengukuran konsentrasi alkohol ini memiliki keunggulan yaitu sensitivitas yang tinggi, fabrikasi mudah, biaya rendah, dan dapat dihubungkan pada komputer.

Kata Kunci : Alkohol; sensor; serat optik; plastik.

1. PENDAHULUAN

Sensor merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan pada lingkungan fisik maupun kimia. Beberapa jenis sensor yang sering digunakan yaitu sensor cahaya, sensor suhu, dan sensor tekanan. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang demikian pesat di bidang elektronika dan instrumentasi telah memungkinkan dibuatkannya alat-alat ukur yang bekerja secara tepat dan praktis. Serat optik dikembangkan menuju kearah sistem sensor yang dimodifikasi dan digunakan sebagai perangkat yang berinteraksi langsung dengan lingkungan. Serat optik memiliki banyak kelebihan seperti memiliki kecepatan transmisi cahaya yang tinggi, tahan terhadap pengkaratan, dan harga relative terjangkau¹.

Pengujian serat optik sebagai sensor telah banyak di buat pada berbagai aplikasi seperti pengukuran suhu², pengukuran tingkat kekeruhan air³, mendeteksi radiasi UV⁴, pengukuran tingkat konsentrasi larutan⁵, pengukuran massa beban⁶, pengukuran intensitas cahaya⁷, pengukuran kekentalan oli¹, hingga pada aplikasi pengukuran tingkat kadar alkohol⁸.

Penelitian tentang deteksi kadar alkohol berbasis serat optik telah banyak dimanfaatkan dan terus berkelanjutan, di antaranya adalah pembuatan sensor serat optik untuk mendeteksi

kadar alkohol dalam minuman keras⁹, mendeteksi kadar alkohol berbasis sensor serat optik berlapis polanilin menggunakan metode oksidasi kimia¹⁰, serta mendeteksi konsentrasi alkohol dalam air berbasis intensitas¹¹. Penelitian selanjutnya, yaitu menentukan karakterisasi sensor serat optik berbasis intensitas yang dilapisi dengan campuran *poly vinyl alcohol* (PVA) dan SiO_2 untuk mendeteksi konsentrasi etanol dalam H_2O ¹², mendeteksi etanol pada hembusan napas menggunakan metode paparan napas yang dihembuskan dari seseorang sebelum dan sesudah konsumsi minuman beralkohol¹³. Selain itu, sensor deteksi kadar alkohol berbasis serat optik juga dilakukan dengan cara mendeteksi langsung kualitas minuman beralkohol secara bersamaan mengukur indeks bias dan tingkat penguapan menggunakan ujung serat optik¹⁴. Berbagai penelitian tersebut tentu saja memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Kekurangan yang paling utama adalah memiliki metode dan fabrikasi pengukuran yang rumit, harga yang sangat mahal, serta sensitivitas sensor yang rendah.

Pada penelitian ini, akan dikembangkan pengujian sensor serat optik plastik untuk menentukan karakteristik sensor terhadap variasi tingkat konsentrasi kadar alkohol. Kebaruan dari penelitian ini adalah menggunakan konfigurasi lekukan pada serat optik dengan model bentuk U dan gamma. Pengujian sensor menggunakan

*Email : baharsahril94@gmail.com

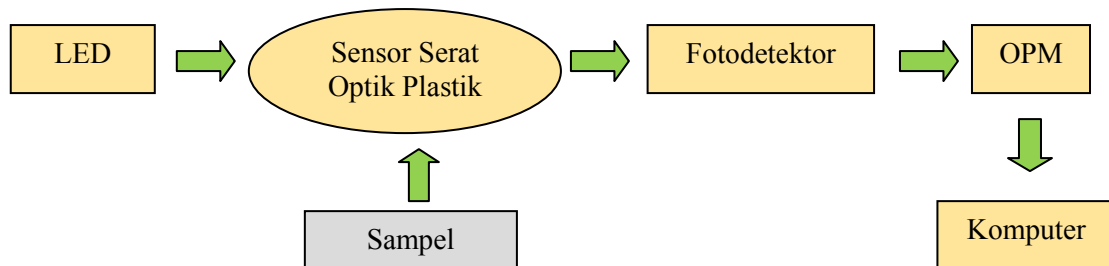
model konfigurasi ini diharapkan mampu menghasilkan nilai sensitivitas sensor yang tinggi. Keunggulan sensor kadar alkohol ini memiliki sistem pengukuran yang sederhana, fabrikasi yang mudah, biaya yang murah, waktu yang relative singkat, alat dan bahan mudah di dapat, serta dapat dihubungkan dengan sistem perangkat pengukuran lainnya.

2. BAHAN DAN METODA

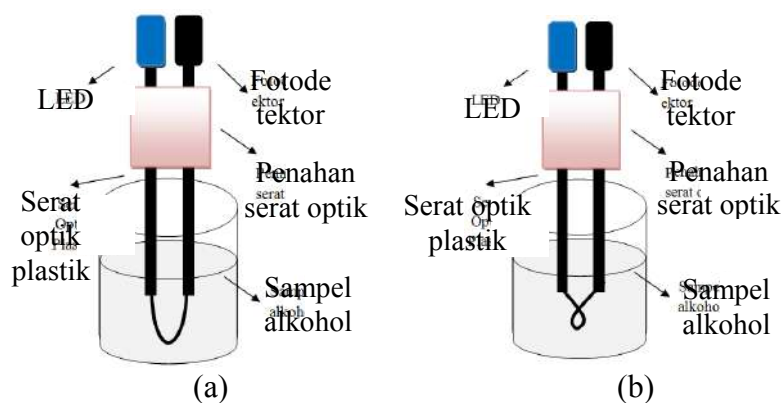
Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah serat optik plastik yang berfungsi sebagai media transmisi cahaya. Serat optik ini berjenis step indeks yang terbuat dari bahan *polymethyl metacrylate* (PMMA) memiliki diameter lapisan jaket 2,2 mm, selubung 1 mm, dan inti 0,98 mm. Indeks bias inti dan selubung dari serat optik ini masing-masing adalah 1,492 dan 1,402 dengan nilai celah numerik NA yaitu 0,5. Cahaya yang ditransmisikan pada serat optik ini bersumber dari LED infra merah jenis IF-E91A dengan panjang gelombang 950 nm dengan daya sebesar 30 W, kemudian diterima oleh fotodetektor jenis S120C dengan panjang gelombang 400-1100

nm. Besar intensitas yang diterima oleh fotodetektor akan terukur pada *Optical Power Meter* (OPM) jenis Thorlabs PM100D dan hasil pengukuran tersebut ditampilkan pada komputer berupa daya keluaran sensor. Sampel yang digunakan adalah hasil pencampuran konsentrasi antara alkohol dan aquadest hingga menghasilkan 11 sampel dengan tingkat kadar alkohol dari 0 % sampai 95 %. Tingkat kadar alkohol diukur dengan menggunakan alkoholmeter.

Pengujian sensor deteksi kadar alkohol berbasis serat optik plastik dilakukan dengan cara mencelupkan sensor ke dalam sampel alkohol. Sensor dibuat dengan bervariasi panjang kupasan dan diameter lekukan dari serat optik plastik dengan selubung dan tanpa selubung. Adapun skema rangkaian dan perancangan sensor deteksi kadar alkohol ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut:



Gambar 1. Skema rangkaian sensor kadar alkohol berbasis serat optik plastik.



Gambar 2. Perancangan sensor kadar alkohol berbasis serat optik plastik konfigurasi (a) U dan (b) Gamma.

3. HASIL DAN BAHASAN

Pengujian sensor berbasis serat optik plastik digunakan untuk mengukur kadar alkohol dengan memanfaatkan media transmisi cahaya yaitu serat optik plastik. Serat optik plastik

dihubungkan pada sebuah LED sebagai sumber cahaya yang menstransmisikan cahaya masuk ke dalam serat optik yang kemudian diterima oleh fotodetektor untuk dikonversi menjadi sinyal listrik. Hasil pengukuran terbaca pada OPM dan

ditampilkan pada komputer dalam bentuk daya keluaran.

Pada penelitian ini, sensor dibuat menjadi 2 konfigurasi yaitu U dan gamma dengan selubung dan tanpa selubung. Masing-masing sensor dibuat dengan variasi panjang kupasan 1 cm, 2 cm, dan 3 cm. pengujian sensor dilakukan dengan cara mencelupkan sensor ke dalam 11 sampel dengan tingkat kadar alkohol yang berbeda dari 0 % hingga 95 %.

Selanjutnya untuk menganalisis karakteristik sensor, data yang diperoleh dari hasil pengujian digunakan untuk perhitungan nilai *range* daya keluaran, sensitivitas, dan resolusinya. *Range* merupakan selisih daya keluaran maksimum terhadap daya keluaran minimum. Sensitivitas merupakan tingkat kepekaan sensor terhadap besaran larutan yang diukur. Sedangkan Resolusi merupakan nilai besaran terkecil yang dapat diukur oleh sensor. Perhitungan nilai *range* daya keluaran, sensitivitas, dan resolusi dapat

ditentukan menggunakan persamaan 1, 2, dan 3 berikut^{1,6}:

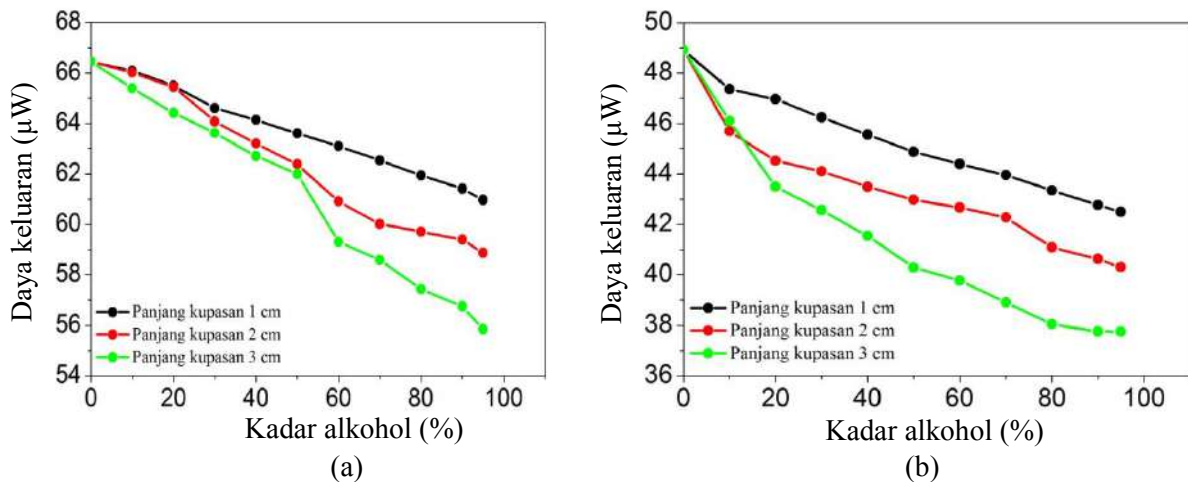
$$\Delta P = P_{max} - P_{min} \quad 1$$

$$S = \frac{P_{max}-P_{min}}{K_{max}-K_{min}} \quad 2$$

$$R = \frac{N}{S} \quad 3$$

Dimana, ΔP adalah *range*, S sensitivitas, R resolusi. P_{max} sebagai daya keluaran maksimum dan P_{min} sebagai daya keluaran minimum. K_{max} sebagai kadar alkohol maksimum dan K_{min} sebagai kadar alkohol minimum. Sedangkan N adalah nilai skala terkecil dari OPM sebesar 0,001 μWatt .

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengukuran tingkat kadar alkohol menggunakan variasi panjang kupasan 1 cm, 2 cm, dan 3 cm pada sensor berbasis serat optik plastik konfigurasi U dengan selubung dan tanpa selubung ditampilkan pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Grafik respon perubahan daya keluaran sensor terhadap kadar alkohol konfigurasi U variasi panjang kupasan sensor (a) dengan selubung dan (b) tanpa selubung.

Berdasarkan grafik dari Gambar 3 menunjukkan bahwa tingkat kadar alkohol mempengaruhi daya keluaran sensor. Daya keluaran sensor semakin menurun seiring dengan meningkatnya kadar alkohol.

Karakteristik sensor serat optik plastik konfigurasi U dapat ditentukan menggunakan persamaan 1, 2, dan 3 seperti pada Tabel 1 berikut:

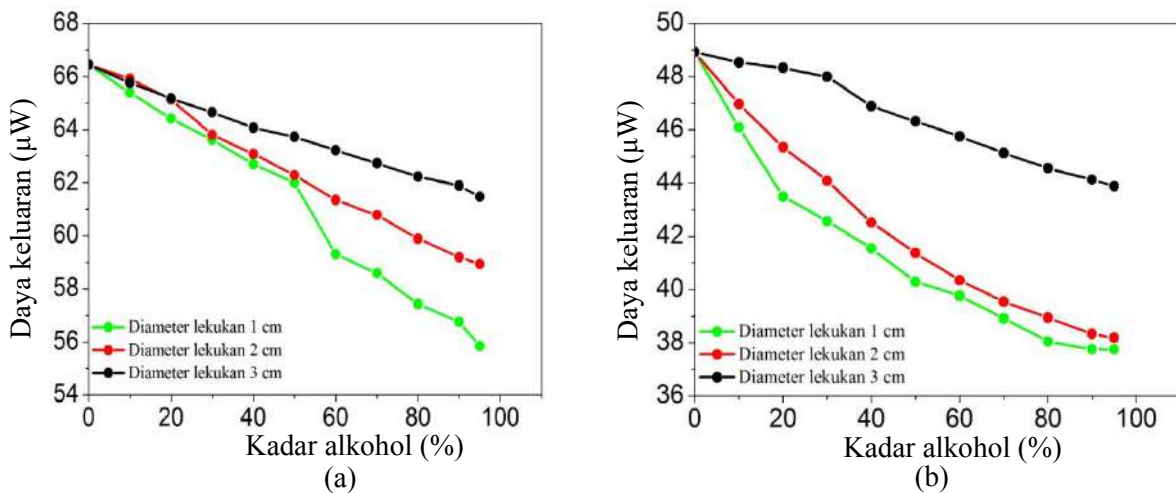
Tabel 1. Karakteristik sensor serat optik plastik untuk pengukuran kadar alkohol konfigurasi U variasi panjang kupasan sensor.

Karakteristik Sensor	Dengan Selubung			Tanpa selubung		
	1 cm	2 cm	3 cm	1 cm	2 cm	3 cm
Range (μW)	5,490	7,577	10,609	6,423	8,615	11,176
Sensitivitas ($\mu\text{W}/\%$)	0,058	0,079	0,112	0,068	0,091	0,118
Resolusi (%)	0,017	0,012	0,010	0,015	0,011	0,009

Pada Tabel 1 menunjukkan hasil karakteristik sensor serat optik plastik konfigurasi U untuk variasi panjang kupasan sensor dengan selubung dan tanpa selubung. Hasil menunjukkan bahwa semakin panjang kupasan sensor, maka semakin besar sensitivitas sensor baik dengan selubung maupun tanpa selubung. Karakteristik terbaik diperoleh pada sensor panjang kupasan 3 cm tanpa selubung dengan nilai sensitivitas $0,118 \mu\text{W}/\%$ dan resolusi $0,009 \%$. Hasil menunjukkan bahwa sensor tanpa

selubung lebih baik dibandingkan dengan jenis kupasan sensor dengan selubung.

Dari hasil yang diperoleh pada pengukuran kadar alkohol konfigurasi U variasi panjang kupasan sensor di atas, hasil terbaik diperoleh pada panjang kupasan 3 cm. Sehingga panjang kupasan konstan 3 cm digunakan pada pengujian sensor konfigurasi U untuk variasi diameter lekukan sensor. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Grafik respon perubahan daya keluaran sensor terhadap kadar alkohol konfigurasi U variasi diameter lekukan sensor (a) dengan selubung dan (b) tanpa selubung.

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan daya keluaran sensor terhadap kadar alkohol. Grafik tersebut menggambarkan bahwa daya keluaran sensor semakin menurun seiring

dengan bertambahnya tingkat kadar alkohol. Karakteristik sensor serat optik plastik untuk pengukuran kadar alkohol ditampilkan pada Tabel 2 berikut:

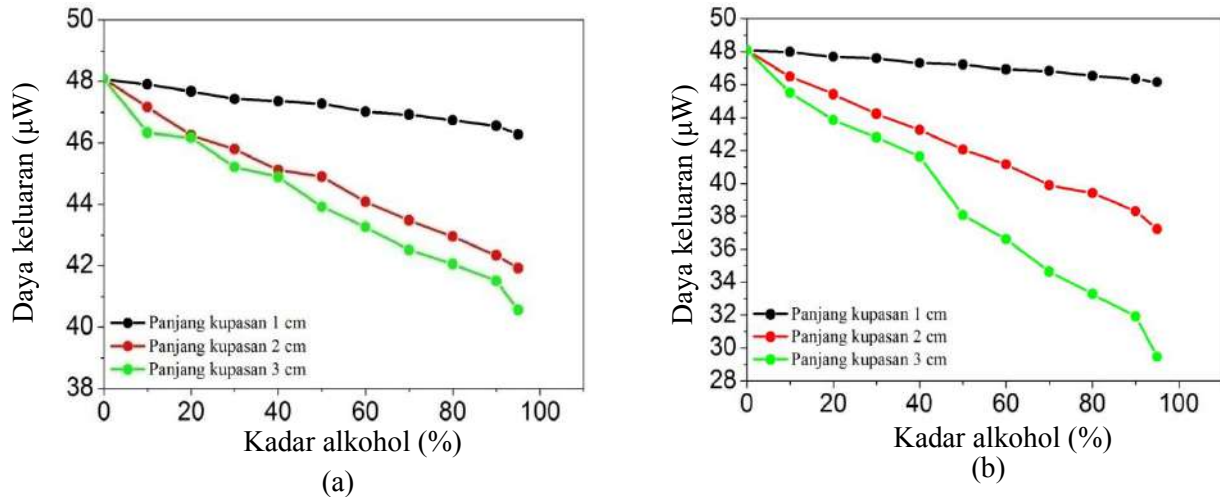
Tabel 2. Karakteristik sensor serat optik plastik untuk pengukuran kadar alkohol konfigurasi U variasi diameter lekukan sensor.

Karakteristik Sensor	Dengan Selubung			Tanpa selubung		
	1 cm	2 cm	3 cm	1 cm	2 cm	3 cm
Range (μW)	10,609	7,510	4,986	11,176	10,737	5,033
Sensitivitas ($\mu\text{W}/\%$)	0,112	0,079	0,052	0,118	0,113	0,053
Resolusi (%)	0,010	0,013	0,019	0,009	0,009	0,019

Berdasarkan hasil karakteristik dari Tabel 2 menunjukkan bahwa kupasan sensor tanpa selubung lebih baik dibandingkan sensor dengan selubung. Hasil terbaik ditampilkan pada diameter lekukan 1 cm tanpa selubung dengan nilai sensitivitas sensor $0,118 \mu\text{W}/\%$ dan resolusi $0,009 \%$. Hal ini membuktikan bahwa semakin

kecil diameter lekukan sensor, maka sensitivitas dan resolusi semakin baik.

Penelitian selanjutnya adalah pengukuran kadar alkohol menggunakan konfigurasi gamma variasi panjang kupasan sensor. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5. Grafik respon perubahan daya keluaran sensor terhadap kadar alkohol konfigurasi gamma variasi panjang kupasan sensor (a) dengan selubung dan (b) tanpa selubung.

Pengukuran kadar alkohol seperti yang ditampilkan pada Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa daya keluaran sensor berbanding terbalik dengan kadar alkohol. Semakin besar kadar alkohol, maka semakin kecil daya keluaran

sensor. Gambar tersebut menunjukkan bahwa grafik sensor tanpa selubung lebih curam dibandingkan pada grafik sensor dengan selubung. Karakteristik sensor untuk pengukuran ini ditampilkan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Karakteristik sensor serat optik plastik untuk pengukuran kadar alkohol konfigurasi gamma variasi panjang kupasan sensor.

Karakteristik Sensor	Dengan Selubung			Tanpa selubung		
	1 cm	2 cm	3 cm	1 cm	2 cm	3 cm
Range (μW)	1,803	6,155	7,523	1,935	10,848	18,609
Sensitivitas (μW/%)	0,019	0,065	0,079	0,020	0,114	0,196
Resolusi (%)	0,053	0,015	0,013	0,049	0,009	0,005

Karakteristik sensor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 di atas menampilkan hasil karakteristik terbaik pada sensor kupasan 3 cm tanpa selubung. Nilai sensitivitas dan resolusi terbaik masing-masing adalah 0,196 μW/% dan 0,005 %. Hasil ini membuktikan bahwa konfigurasi gamma memiliki nilai sensitivitas yang tinggi dibandingkan dengan konfigurasi U. Adanya perbedaan sensitivitas dari masing-masing konfigurasi dipengaruhi oleh panjang kupasan dan lekukan sensor. Semakin panjang kupasan dan semakin kecil lekukan sensor, maka intensitas cahaya yang ditransmisikan dalam serat optik semakin berkurang sehingga rugi-rugi daya semakin meningkat. Selain itu, adanya pengaruh indeks bias juga menyebabkan perubahan rugi-rugi daya yang terjadi pada serat optik. Rugi-rugi daya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya indeks bias kadar alkohol yang terjadi disekitar sensor sehingga daya keluaran semakin menurun. Penelitian ini memiliki

kesesuaian dengan penelitian sebelumnya, bahwa semakin besar indeks bias suatu larutan yang terjadi di sekitar sensor serat optik maka daya keluaran semakin menurun^{3,5}. Penelitian sensor berbasis serat optik plastik cocok digunakan untuk pengukuran kadar alkohol karena memiliki kelebihan fabrikasi mudah, biaya murah, serta menghasilkan sensitivitas yang tinggi.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan daya keluaran sensor berbanding terbalik dengan tingkat kadar alkohol. Semakin tinggi kadar alkohol, maka daya keluaran semakin menurun. Semakin panjang kupasan sensor dan semakin kecil diameter lekukan, maka karakteristik sensor semakin baik. Karakteristik terbaik sensor serat optik plastik untuk pengukuran kadar alkohol diperoleh pada konfigurasi gamma panjang kupasan 3 cm tanpa

selubung dengan nilai sensitivitas 0,196 $\mu\text{W}/\%$ dan resolusi 0,005 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh “PDUPT-UNHAS 2018” No. Kontrak 1634/UN-4.21/PL.00.00/2018.

DAFTAR PUSTAKA

1. Yunus, M., Arifin, A. 2018. *Design of Oil Viscosity Sensor Based on Plastic Optical Fiber*, The 2nd International Conference on Science (ICOS), 979.
2. Mustapha, R., Francis, G., Patrick, M. 2012. Flexible Optical Waveguide Bent Loss Attenuation Effects Analysis and Modeling Application to an Intrinsic Optical Fiber Temperature Sensor. *Optics and Photonics* **2**: 1-7.
3. Pedro, A., Jon, A., Joseba, Z. 2009. Design of a Sensor Based on Plastic Optical Fibre (POF) to Measure Fluid Flow and Turbidity. *J. Sensors* **9**: 3790-3800.
4. Ana, V. J., Bajic, Jovan, S. B., Dragan, Z. S., Milos, P. S., Miodrag, J., Milos, B. Z. 2012. Simple and Low-Cost Fiber-Optic Sensors for Detection of UV Radiation. *J. Telfor* **4**.
5. Lumanta, B. G., Candidato Jr. R. T., Reserva, R. L. 2015. *Characterization of POF for Liquid Level and Concentration Sensing Applications*, Proceeding of IOP Conference Series: Materials Science and Engineering **79**: 012-018.
6. Arifin, A., Yusran, Miftahuddin, Bualkar, A., Dahlang, T. 2017. *Comparison of Sensitivity and Resolution Load Sensor at Various Configuration Polymer Optical Fiber*, The 6th International Conference on Theoretical and Applied Physics AIP Conference Proceeding (The 6th ICTAP) **1801**: 1-6.
7. Arifin, A., Lusiana, Yunus, M., Dewang, S. 2018. *Characteristic Analysis Light Intensity Sensor Based On Plastic Optical Fiber At Various Configuration*, The 2nd International Conference on Science (ICOS), 979.
8. Mateusz S., Jakub G., Marcin M., Łukasz W., Marek G., Bartłomiej S., Witkowskib. 2012. Compact Alcohol Vapor Sensor Based on Zinc Oxide Nanocoating Deposited by Atomic Layer Deposition Method on Optical Fiber End-Face.
9. Morisawa, M. dan Muto, S. 2012. Plastic Optical Fiber Sensing of Alcohol Concentration in Liquors. *Journal of Sensors*.
10. Chiam, Y. S., Lim, K. S., Harunb, S. W., Gana, S. N., Phang, S. W. 2014. Conducting Polymer Coated Optical Microfiber Sensor for Alcohol Detection. *Sensors and Actuators* **205**: 58-62.
11. Saad, H., Ali, M. T., M. Rahman, K. A. 2015. High Sensitivity Optical POF Sensor for Detecting Low Ethanol Concentration in Water. *Advanced Materials Research* **1107**: 693-698.
12. Saad, H., Rahman, K. A., Ali, M. T. 2013. *Tapered Plastic Optical Fiber Sensor for Detection of Ethanol Concentration in H₂O*. Seventh International Conference on Sensing Technology.
13. Acha, N. D., Hromadka, J., Tokay, B. 2017. Detection of Ethanol in Human Breath Using Optical Fiber Long Period Grating Coated with Metal-Organic Frameworks. *EuroSensors* **1**: 474.
14. Yi, H. T., Ming, Y. P, En, H. L., Din, W. H., Pei, K. W. 2016. Quality Detection of Alcoholic Beverages Using Optical Fiber Tips. *IEEE*, 1530-1537.

Uji Sensitivitas Sensor Ketinggian Air menggunakan Serat Optik Plastik

Ruwaidah IL*, A. Arifin

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Serat optik plastik dapat dimanfaatkan sebagai sensor penginderaan dalam pengukuran ketinggian air. Serat optik dibuat menggunakan konfigurasi lurus dan U variasi jarak lekukan sensor. Pengukuran dilakukan dengan cara memposisikan sensor serat optik tegak lurus terhadap permukaan air. Kedua ujung sensor serat optik disambungkan dengan LED dan fototransistor. Cahaya yang ditransmisikan dari LED akan mengalami perubahan intensitas dalam serat optik ketika mengalami kenaikan air di sekitar sensor karena adanya perubahan rugi daya sensor serat optik plastik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sensitivitas dan resolusi sensor semakin baik jika jarak lekukan sensor semakin kecil. Keunggulan sensor berbasis serat optik plastik untuk pengukuran ketinggian air yaitu: desain sederhana, fabrikasi mudah, dan biaya murah.

Kata Kunci: ketinggian air; plastik; sensor; serat optik.

1. PENDAHULUAN

Pemantauan ketinggian air sangat diperlukan dan banyak diaplikasikan dalam kehidupan manusia seperti pemantauan tingkat air di bendungan, waduk, tangki penampungan, ketinggian minyak dalam sumur bor, tinggi gelombang air serta sebagai peringatan dini akan terjadinya kekeringan maupun banjir¹. Dalam proses pemantauan ketinggian air masih banyak menggunakan sensor konvensional seperti meteran serta alat ukur yang didasarkan pada teknik mekanik dan listrik²⁻³. Oleh karena itu dapat diterapkan suatu sensor berbasis serat optik. Sensor serat optik dalam beberapa tahun terakhir telah dikembangkan sebagai sensor pengukuran ketinggian air karena memiliki banyak kelebihan seperti fleksibel, non konduktif, pemantauan secara *real-time*, respon cepat, transmisi data yang cepat dan instalasi yang sederhana dan dapat dihubungkan dengan komputer⁴.

Serat optik plastik dapat dimanfaatkan sebagai sensor penginderaan dalam pengukuran ketinggian air. Penelitian tentang pengukuran ketinggian air telah dilakukan diantaranya adalah pengukuran level air yang ditempatkan pada gelas ukur dengan menggunakan sumber cahaya laser biru dan OPM⁵ dengan rentang pengukuran level cairan 0-100 mm. Selanjutnya penelitian mengenai pemantauan level cairan dengan menggunakan sistem *Fiber Bragg Grating*

(FBG)² dengan rentang pengukuran 0-75 cm. Selain itu. Pemanfaatan serat optik untuk pengukuran ketinggian air dapat menggunakan FBG berbasis modulasi intensitas laser dioda¹ dengan kisaran pengukuran level cairan 6,8 cm-8,1 cm serta resolusi 0,1 cm.

Penelitian sebelumnya menggunakan sistem yang sulit seperti FBG. Oleh karena itu perlu dirancang suatu sensor dengan biaya fabrikasi yang murah dan proses pemasangan yang mudah tetapi memiliki *range* pengukuran yang besar dan resolusi yang lebih baik. Pada penelitian ini akan dibuat sensor pengukuran ketinggian air berbasis serat optik plastik.

2. BAHAN DAN METODA

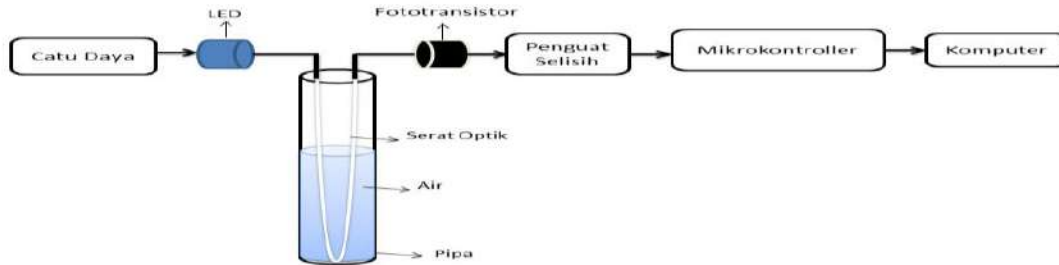
Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan dan pengujian sensor pengukuran ketinggian air berbasis serat optik plastik dengan selubung. Bahan utama yang digunakan yaitu serat optik plastik yang terbuat dari bahan *polymethyl metacrylate* (PMMA) sebagai elemen penginderaan. Adapun piranti pendukung sensor adalah rangkaian catu daya, LED inframerah jenis IF-E91A dengan panjang gelombang 950 nm, fototransistor jenis IF-D92, penguat selisih, serta mikrokontroler arduino uno seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Pengukuran dilakukan dengan cara memposisikan serat optik tegak lurus terhadap permukaan air. Air yang digunakan yaitu air tawar. Prinsip kerja sensor ketinggian air yaitu catu daya yang menghasilkan sinyal listrik akan diubah menjadi sinyal optik saat terhubung

*Email : ruwaidah.ilyas@gmail.com

dengan LED. Kemudian cahaya akan merambat sepanjang serat optik. Cahaya yang ditransmisikan dari LED akan mengalami perubahan intensitas dalam serat optik ketika mengalami kenaikan air di sekitar sensor karena adanya perubahan rugi daya sensor sehingga intensitas cahaya yang diterima oleh

fototransistor semakin kecil dan tegangan keluarannya menurun. Kemudian sinyal listrik akan dikuatkan oleh penguat selisih. Setelah itu, sinyal listrik yang berupa sinyal analog akan dikonversi menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler dan dibaca oleh komputer dalam bentuk tegangan keluaran.



Gambar 1. Skema pengukuran ketinggian air

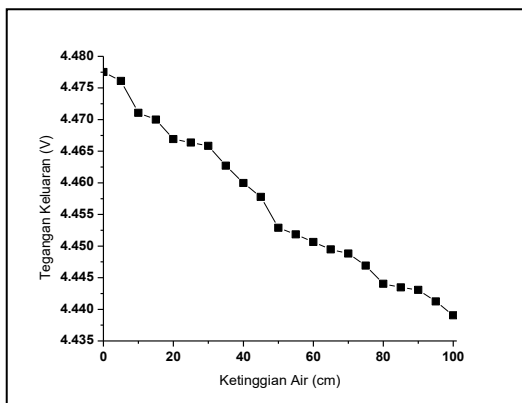
Pengujian sensor serat optik dilakukan dengan variasi konfigurasi yaitu lurus dengan panjang 120 cm sedangkan konfigurasi U memiliki panjang 230 cm. Selain itu, dilakukan variasi jarak lekukan yaitu 0 cm, 1 cm, dan 2 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi (a) lurus, (b) U

3. HASIL DAN BAHASAN

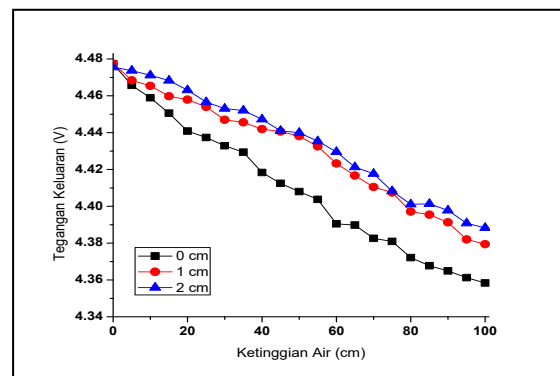
Sensor dibuat dengan konfigurasi lurus dan U untuk mengukur ketinggian air pada rentang 0-100 cm dengan kenaikan 5 cm. Hasil pengukuran dengan mikrokontroler berupa tegangan keluaran untuk konfigurasi lurus seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3. Grafik perubahan tegangan keluaran sensor konfigurasi lurus

Gambar 3 menunjukkan respon perubahan tegangan keluaran dari sensor konfigurasi lurus. Semakin tinggi kenaikan air disekitar sensor maka semakin kecil tegangan keluaran yang terbaca pada komputer karena adanya rugi-rugi daya dalam serat optik.

Pengujian sensor ketinggian air konfigurasi U dengan variasi jarak lekukan 0 cm, 1 cm, dan 2 cm diperoleh respon perubahan nilai dari berbagai tegangan keluaran sensor seperti pada gambar berikut:



Gambar 4. Grafik perubahan tegangan keluaran sensor konfigurasi U variasi jarak lekukan sensor.

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin kecil jarak lekukan pada serat optik maka rugi daya semakin besar sehingga intensitas cahaya semakin berkurang. Kecilnya intensitas cahaya yang merambat sepanjang sensor menyebabkan tegangan keluaran yang di tampilkan pada komputer semakin kecil.

Hasil uji sensor menunjukkan nilai karakterisasi sensor seperti *range*, sensitivitas, dan resolusi pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik sensor ketinggian air konfigurasi lurus dan U variasi jarak lekukan

Karakteristik Sensor	Konfigurasi Lurus	Konfigurasi U Variasi Jarak Lekukan		
		d ₁ 0 cm	d ₂ 1 cm	d ₃ 2 cm
Range Tegangan Keluaran (V)	0,0385	0,1190	0,0981	0,0872
Sensitivitas (V/cm)	0,0004	0,0012	0,0010	0,0009
Resolusi (cm)	2,5997	0,8402	1,0194	1,1462

Hasil pengukuran pada Tabel 1 menunjukkan nilai *range*, sensitivitas dan resolusi sensor untuk konfigurasi lurus dan U variasi jarak lekukan sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin kecil jarak lekukan sensor maka akan diperoleh karakteristik sensor yang lebih baik. Hasil pengujian terbaik yaitu pada konfigurasi U dengan jarak lekukan 0 cm dengan sensitivitas 0,0012 V/cm dan resolusi 0,8402 cm.

Hasil pengukuran yang diperoleh menunjukkan hal yang sama yang dilakukan oleh Lumanta, dkk yaitu semakin tinggi kenaikan air di sekitar sensor maka akan semakin kecil tegangan keluaran yang terbaca.

4. KESIMPULAN

Sensor pengukuran ketinggian air berbasis serat optik plastik telah dibuat. Semakin kecil jarak lekukan maka sensitivitas dan resolusi semakin baik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konfigurasi U dengan jarak lekukan 0 cm memiliki sensitivitas dan resolusi yang paling baik 0,0012 V/cm dan resolusi 0,8402 cm .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh “RUNAS-UNHAS 2018” No. Kontrak 3084/UN-4.21/PL.00.00/2018.

DAFTAR PUSTAKA

1. Setiono, A. dan R. Y. Sari. 2016. *Pengukuran Level Ketinggian Air Menggunakan Fiber Bragg Grating (FBG) Berbasis Modulasi Intensitas Laser Dioda*. Seminar Nasional Fisika.
2. Marques, C. A. F., A. Pospori, D. Sáez-Rodríguez, K. Nielsen, O. Bang, and D. J. Webb. 2015. *Fiber-Optic Liquid Level Monitoring System Using Microstructured Polymer Fiber Bragg Grating Array Sensors: Performance Analysis*. 24th International Conference on Optical Fiber Sensors.
3. Dai, Y., Q. Sun, S. Tan, J. Wo, J. Zhang, and D. Liu. 2012. Highly Sensitive Liquid-Level Sensor Based on Dual-Wavelength Double-Ring Fiber Laser Assisted by Beat Frequency Interrogation. *Optics Express* 25: 27367-27376.
4. Ivče, R., I. Jurdana, and R. Mohović. 2011. Determining Weight of Cargo Onboard Ship by Means of Optical Fiber Technology Draft Reading. *Promet Traffic & Transportation* 6: 421-429.
5. Lumanta, G., R. T. Candidato Jr, and R. L. Reserva. 2015. *Characterization Of POF for Liquid Level and Concentration Sensing Applications*. 1st International Conference in Applied Physics and Materials Science.

Karakterisasi Sensor Kontraksi Otot Berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi Sinusoidal dan *Loop*

Noviana*, A. Arifin

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pembuatan sensor deteksi kontraksi otot berbasis serat optik plastik. Pengambilan data dengan metode konfigurasi *loop* dengan variasi jumlah *loop* dan konfigurasi sinusoidal dengan variasi jarak perioda. Sensor dipasang pada kain elastis dan ditempelkan pada bagian permukaan otot *bishep*. Masing-masing ujung serat optik dihubungkan dengan LED dan fototransistor. Sensor serat optik mengalami regangan ketika otot beraktifitas oleh penambahan beban, sehingga cahaya dari LED yang merambat dalam serat optik semakin berkurang. Intensitas cahaya tersebut diterima oleh fotodetektor dan ditampilkan pada komputer berupa tegangan keluaran. Penelitian menunjukkan bahwa karakterisasi sensor konfigurasi sinusoidal lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *loop*. Pengukuran kontraksi otot ini sangat efektif dan efisien untuk mendeteksi kontraksi otot karena memiliki sensitivitas sensor yang tinggi.

Kata Kunci: kontraksi otot; plastik; sensor; serat optik.

1. PENDAHULUAN

Otot merupakan salah satu jaringan yang paling banyak mengisi tubuh manusia yang berfungsi untuk menggerakkan bagian-bagian tubuh dan ada yang khusus memompa darah di jantung¹. Adapun ciri-ciri dari sistem muscular (otot) yaitu kontraktilitas (dapat berkontraksi dan menegang), eksitabilitas (jika distimulasi oleh impuls saraf akan merespons dengan kuat), ekstensibilitas (menegang melebihi panjang otot saat rileks) dan elastisitas (setelah berkontraksi atau meregang dapat kembali ke ukuran semula)².

Lemahnya seseorang melakukan gerakan merupakan salah satu kelainan otot. Kontraksi otot dapat diperiksa melalui elektromiografi (EMG)¹. Namun, beberapa metode pengukuran kontraksi otot menggunakan sistem sensor telah dikembangkan, salah satunya menggunakan serat optik³⁻⁴.

Penggunaan serat optik pun telah meluas untuk aplikasi pada bidang yang beragam seperti monitoring polusi, mengukur stres dan ketegangan di jembatan, bangunan, bendungan, maupun aplikasi dalam bidang medis. Selain itu, posisi, getaran dan noda juga dapat diukur menggunakan serat optik⁵.

Ada dua jenis serat optik berdasarkan jenis materialnya yaitu serat optik kaca (SOK) dan serat optik plastik (SOF).

Perkembangan terbaru dalam industri polimer telah menyebabkan peningkatan dalam serat optik plastik. Serat optik plastik akhirnya akan menggantikan serat optik kaca karena banyak keuntungan, termasuk kemudahan dalam koneksi menggunakan *epoxy* serta harga yang lebih rendah, daya tahan, berat yang lebih rendah, dan radius lentur yang lebih kecil⁶.

Penelitian sensor aktivitas otot menggunakan serat optik telah diteliti oleh Fujiwaru, Eric dkk (2016) mengenai sensor serat optik untuk mengukur kekuatan otot lengan bawah yang disebabkan oleh gerakan tangan menggunakan serat optik silika. Hasil dari penelitian ini adalah menghasilkan akurasi rata-rata 89,9%. Selain itu, sensor serat optik juga dapat digunakan untuk identifikasi postur tangan dengan menggunakan serat optik silika. Hasil dari penelitian ini adalah semakin besar gaya yang diberikan maka intensitas cahaya yang diterima menjadi semakin kecil³⁻⁴.

Namun, penelitian sebelumnya sulit untuk dilakukan karena menggunakan sistem yang sangat sulit seperti serat optik silika yang membutuhkan perlakuan khusus dimana ukurannya yang sangat kecil dan sifatnya yang mudah rapuh. Selain itu,

*Email : noviana.smansa08@yahoo.com

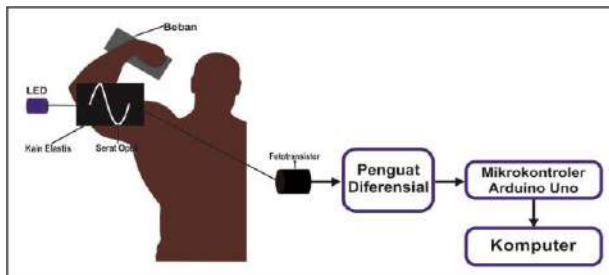
memberikan respons yang kurang baik saat pengukuran ekstensi jari-jari individu⁷.

Pada penelitian ini akan dibuat sensor aktivitas otot menggunakan serat optik plastik tanpa jaket (*coating*) dengan konfigurasi sinusoidal dan *loop* yang dipasang pada kain elastis dan ditempelkan pada otot lengan. Sensor aktivitas otot menggunakan serat optik plastik yang dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino Uno, kemudian di tampilkan ke komputer. Diharapkan adanya sensitivitas dan resolusi sensor yang lebih baik akibat lekukan pada sensor otot yang meningkatkan rugi daya. Sensor aktivitas otot menggunakan serat optik plastik yang akan dibuat memiliki keunggulan yaitu kesederhanaan dalam sistem pengukuran, biaya murah, fabrikasi mudah, pengoperasian mudah dan dapat disambungkan dengan mikrokontroler Arduino Uno dan komputer.

2. BAHAN DAN METODA

Bahan yang digunakan adalah mikrokontroler, komputer, serat optik plastik terbuat dari bahan *polymethyl metacrylate* (PMMA) dengan diameter lapisan jaket, selubung, dan inti masing-masing adalah 2,2 mm, 1 mm, dan 0,98 mm. Indeks bias inti yaitu 1,492, selubung 1,402 dan celah numerik NA = 0,5, LED infra merah jenis IF-E91A dengan panjang gelombang 950 nm, fototransistor jenis IF-D92, rangkaian penguat, catu daya, kain elastis dan beban.

Proses utama dalam penelitian ini yaitu perancangan dan pembuatan sensor kontraksi otot menggunakan serat optik plastik dengan jaket yang terkelupas. Skema sensor kontraksi otot menggunakan serat optik plastik seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.



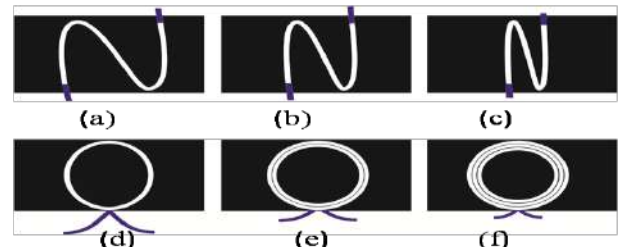
Gambar 1. Skema sensor kontraksi otot menggunakan serat optik plastik

Sensor dipasang pada kain elastis dan ditempelkan pada bagian permukaan otot *bishep*.

Masing-masing ujung serat optik dihubungkan dengan LED dan fototransistor. Sensor serat optik mengalami regangan ketika otot berkontraksi oleh penambahan beban, sehingga cahaya dari LED yang merambat dalam serat optik semakin berkurang. Intensitas cahaya tersebut diterima oleh fototransistor dan ditampilkan pada komputer berupa tegangan keluaran.

Pengambilan data dilakukan dengan variasi konfigurasi yaitu konfigurasi sinusoidal yang dibuat dengan variasi jarak perioda 1 cm, 2 cm dan 3 cm dan konfigurasi *loop* dengan variasi jumlah *loop* 1, 2 dan 3. Variasi beban pada serat optik yang digunakan yaitu 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg dan 5 kg.

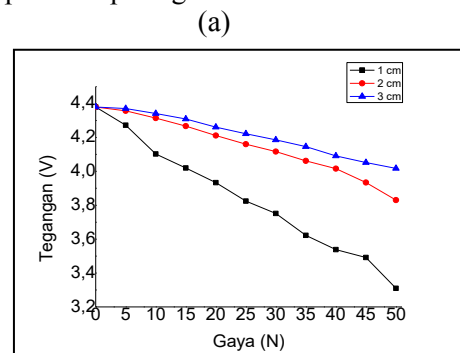
Pada konfigurasi sinusoidal, amplitudo serat optik yang digunakan yaitu 3 cm dengan jarak perioda 1 cm, 2 cm dan 3 cm. Panjang serat optik plastik yang digunakan yaitu 20 cm untuk masing-masing variasi jarak perioda dengan mengupas jaket pelindung sepanjang 14 cm dan 6 cm digunakan untuk pemasangan LED dan fototransistor. Pada konfigurasi *loop*, panjang serat optik plastik yang digunakan yaitu 60 cm dengan mengupas jaket pelindung sepanjang 54 cm dan 6 cm digunakan untuk pemasangan LED dan fototransistor.

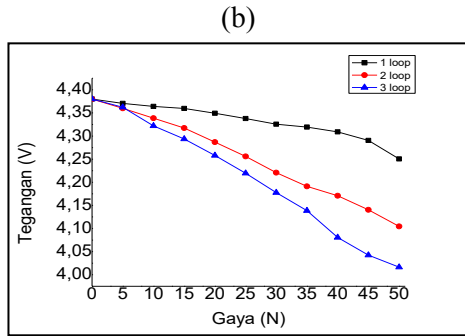


Gambar 2. Konfigurasi sinusoidal pada jarak perioda (a) 3 cm, (b) 2 cm, (c) 1 cm dan konfigurasi *loop* pada variasi *loop* (d) 1, (e) 2 dan (f) 3

3. HASIL DAN BAHASAN

Respon perubahan tegangan keluaran terhadap perubahan gaya pada sensor dengan variasi konfigurasi (a) sinusoidal dan (b) *loop* ditampilkan seperti gambar 3.





Gambar 3. (a) Perbandingan konfigurasi sinusoidal pada jarak perioda 1 cm, 2 cm dan 3 cm dan (b) Perbandingan konfigurasi loop pada variasi 1 loop, 2 loop dan 3 loop.

Pada gambar 3 Semakin besar gaya yang diberikan pada sensor aktivitas otot maka semakin kecil pula tegangan keluaran yang dihasilkan, dikarenakan sensor serat optik

tertekan ketika otot beraktifitas oleh penambahan beban, sehingga cahaya dari LED yang merambat dalam serat optik semakin berkurang.

Hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Eric dkk (2018) bahwa semakin besar gaya yang diberikan maka intensitas cahaya yang diterima menjadi semakin kecil karena tegangan berbanding lurus dengan intensitas³.

Pada gambar 3 bagian (a) Hasil pengukuran menggunakan sensor kontraksi otot berbasis serat optik plastik menggunakan konfigurasi sinusoidal yang terbaik diperoleh pada jarak perioda 1 cm. Pada gambar 3 bagian (b) Hasil pengukuran dengan menggunakan konfigurasi loop yang terbaik diperoleh pada variasi loop 3.

Tabel 1.Tabel Karakteristik Hasil Penelitian pada konfigurasi sinusoidal dan konfigurasi loop

Karakteristik	Konfigurasi sinusoidal (variasi jarak perioda)			Konfigurasi Loop (variasi jumlah loop)		
	1 cm	2 cm	3 cm	1 Loop	2 Loop	3 Loop
Range (V)	1,070	0,549	0,362	0,129	0,275	0,363
Sensitivitas (V/N)	0,021	0,010	0,007	0,002	0,005	0,007
Resolusi (N)	0,046	0,091	0,137	0,386	0,181	0,137

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai range, sensitivitas dan resolusi terbaik pada sensor aktivitas otot berbasis serat optik plastik terletak pada konfigurasi sinusoidal dengan jarak 1 cm dibandingkan dengan konfigurasi loop.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat optik plastik dapat digunakan untuk mendeteksi kontraksi otot yang terjadi pada lengan. Semakin besar gaya yang diberikan maka semakin kecil tegangan keluaran pada komputer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai range, sensitivitas dan resolusi terbaik pada sensor aktivitas otot yaitu konfigurasi sinusoidal dengan jarak 1 cm dengan nilai masing-masing: 1,070 V; 0,021 V/N; 0,046 N yang dibandingkan dengan konfigurasi loop.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh “PDUPT-UNHAS 2018” No. Kontrak 1634/UN-4.21/PL.00.00/2018.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wibowo, D. S. 2008. Anatomi Tubuh Manusia.Grasindo. Jakarta.
2. Wahyuningsih, H. P., dan Yuni K. 2017. Anatomi fisiologi. Kementerian kesehatan republik Indonesia.
3. Fujiwara, E., Yu T. W., Murilo F. M. Santos, E. A., Schenkel, and Carlos K. S. 2016. Optical Fiber Specklegram Sensor for Measurement of Force Myography Signals.IEEE Sensors Journal:1-8.
4. Fujiwara, E., Carlos K. 2018. Optical Fiber Force Myography Sensor for Identification of Hand Postures. Journal of Sensors:1-9.
5. Bagad, V.S. 2008. Optical Fiber Comunication. Technical Publication Pune. India: 2-12
6. Al-Azzawi, A. 2006. Fibre optics principles and practices . Taylor and Prancis Group. New York.
7. Nurfatimah. 2015. Rancang Bangun Sensor Pergeseran Berbasis Serat Optik Plastik Berdasarkan Kajian Macro dan Micro Bending. Skripsi Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Uji Sensitivitas Sensor pH Berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi U dan Gamma

Hardianti*, A. Arifin

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Telah dilakukan perancangan, pembuatan, pengujian, dan karakterisasi sensor serat optik plastik sebagai alat ukur pH. Sensor dibuat menggunakan konfigurasi U dan gamma dengan variasi jarak lekukan pada serat optik. Pengukuran dilakukan menggunakan serat optik plastik dengan selubung dan tanpa selubung pada larutan *buffer* dengan rentang nilai pH dari 1 hingga 11. Ketika sensor dicelupkan ke dalam larutan pH, cahaya dari LED merambat ke dalam serat optik dan akan mengalami rugi-rugi daya sehingga intensitas cahaya yang diterima fototransistor akan berkurang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan nilai pH larutan menyebabkan tegangan keluaran sensor semakin menurun. Semakin kecil jarak lekukan maka karakteristik sensor berupa sensitivitas dan resolusi semakin baik. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pengukuran pH dengan kelebihan biaya murah, fabrikasi mudah, dan dapat dihubungkan dengan mikrokontroler arduino uno dan komputer.

Kata kunci: pH; sensor; serat optik plastik

1. PENDAHULUAN

pH merupakan derajat keasaman yang menyatakan tingkat keasaman atau basa suatu larutan yang didasarkan pada konsentrasi ion hidrogen. Pengukuran pH merupakan salah satu analisis yang sangat penting dalam berbagai bidang. Misalnya untuk kontrol kualitas pada makanan dan minuman, untuk analisis pH cairan tubuh dan darah dalam aplikasi medik. Pada bidang farmasi untuk menentukan nilai pH obat yang sesuai dengan pH cairan tubuh sehingga tidak menimbulkan bahaya saat pemakaian obat dan sebagai indikator pencemaran yang terjadi di perairan maupun di tanah¹.

Perkembangan sains dan teknologi dalam bidang instrumentasi memungkinkan pengukuran dilakukan secara praktis dan presisi untuk pengukuran pH. Disamping penggunaan alat ukur pH konvensional, mulai dikembangkan alat ukur pH berbasis sensor menggunakan serat optik. Serat optik berdasarkan material penyusunnya terdiri atas serat optik kaca yang terbuat dari bahan silika dan serat optik plastik yang terbuat dari bahan *polymer*. Serat optik plastik mempunyai sifat lentur sehingga mudah dilekukan dibandingkan dengan serat optik kaca yang sifatnya rapuh².

Serat optik plastik sebagai sistem sensor dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang pengukuran, seperti tekanan, getaran, regangan, temperatur, tingkat konsentrasi cairan dan pengukuran pH larutan³. Penelitian sensor pH menggunakan serat optik telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya mengenai sensor pH menggunakan *Tipped Fiber Bragg Grating* (TFBG) yang dilapisi film *multilayer* sebagai lapisan penginderaan dengan *range* pH yang dapat diukur antara 4,66 hingga 6,02⁴. Kemudian pengukuran pH berbasis serat optik *Thin-Core Fiber Modal Interferometer* (TCFMI) dengan pelapis *coating* menggunakan *Sodium Alginate* (SA) dan *Polythylenimine* (PEI).

Rentang pH yang dapat diukur dari 2 hingga 11 dengan sensitivitas 1,51 nm/pH⁵. Selain itu, pemanfaatan serat optik plastik sebagai sensor pH menggunakan lapisan sol gel matriks penginderaan. Karakteristik sensor ini memiliki rentang pH yang diukur antara 5 hingga 8 dengan sensitivitas 0,5 a.u per pH⁶. Selanjutnya pengukuran pH berbasis sensor serat optik plastik menggunakan lapisan silika sol gel dengan melihat pengaruh variasi jarak lekukan sensor memiliki resolusi sebesar 0,038 pada rentang pH yang diukur yaitu pH 4 hingga pH 7⁷.

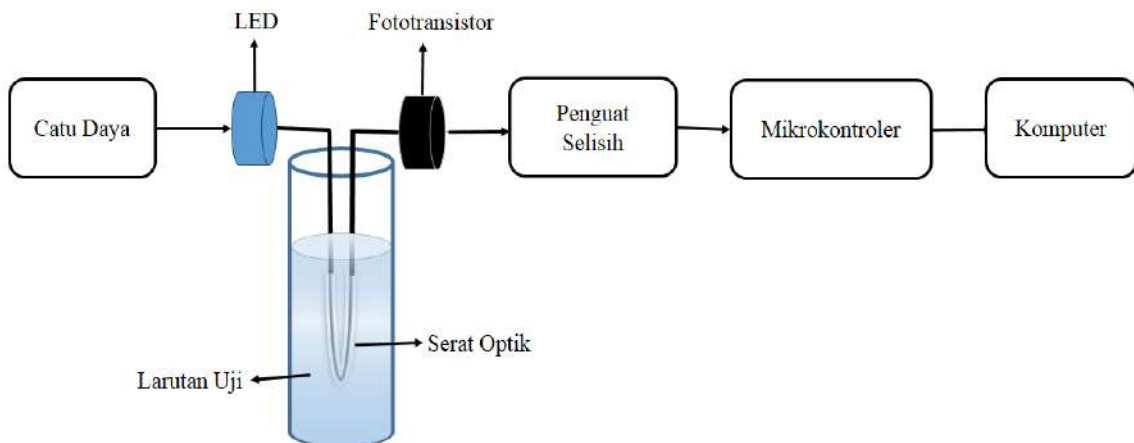
*Email : anthyezz@gmail.com

Penelitian sebelumnya masih menggunakan sistem sensor yang sulit dengan lapisan sol gel sebagai elemen *sensing* memiliki rentang pengukuran yang masih kecil. Pada penelitian ini akan dibuat sensor pH menggunakan serat optik plastik dengan selubung dan tanpa selubung pada variasi konfigurasi dan jarak lekukan. Semakin kecil jarak lekukan pada sensor serat optik diharapkan meningkatkan rugi daya sehingga karakteristik sensor berupa sensitivitas dan resolusi semakin baik. Sensor serat optik yang akan dibuat memiliki kelebihan diantaranya biaya murah, fabrikasi mudah, kemudahan dalam pengoperasian dan dapat disambungkan dengan mikrokontroler arduino uno dan komputer.

2. BAHAN DAN METODA

Perancangan dan pembuatan sensor pH berbasis serat optik plastik menggunakan rangkaian catu

daya, LED inframerah tipe IF-E91A sebagai sumber cahaya dengan panjang gelombang 950 nm. Fototransistor tipe IF-D92 untuk menerima cahaya, rangkaian penguat selisih, mikrokontroler dan komputer. Serat optik plastik yang digunakan terbuat dari *polymethyl metacrylate* (PMMA) jenis *multimode* dengan diameter inti (*core*) 980 μm dan diameter selubung (*cladding*) 20 μm . Indeks bias inti dan selubung serat optik yaitu $n_{inti} = 1,492$ dan $n_{selubung} = 1,402$ dengan nilai celah numerik ($NA = 0,5$). Larutan uji yang digunakan adalah larutan penyangga (*buffer*) dengan rentang nilai pH dari 1 hingga 11. Skema sensor pH menggunakan serat optik plastik ditampilkan pada gambar 1. Sensor dibuat dengan dua konfigurasi, yaitu U dan gamma seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Setiap konfigurasi dibuat dengan memvariasikan jarak lekukan serat optik menggunakan selubung dan tanpa selubung.



Gambar 1. Skema sensor pH menggunakan serat optik plastik.



Gambar 2. Konfigurasi serat optik dengan selubung atau tanpa selubung pada variasi jarak lekukan (a) konfigurasi U, (b) konfigurasi gamma.

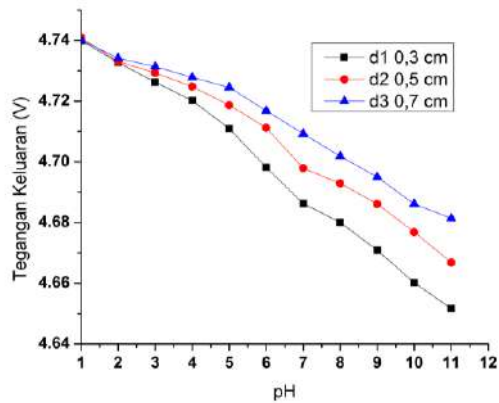
Prinsip kerja sensor pH menggunakan serat optik plastik berdasarkan Gambar 1 yaitu catu daya yang menghasilkan sinyal listrik akan diubah menjadi sinyal cahaya saat terhubung

dengan LED. Cahaya dari LED akan merambat sepanjang serat optik. Saat dicelupkan ke dalam larutan uji, serat optik akan mengalami rugi daya karena adanya

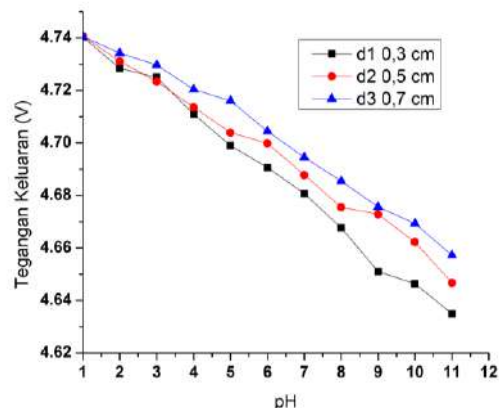
perubahan indeks bias yang menyebabkan intensitas cahaya yang diterima oleh fototransistor menjadi kecil dan tegangan keluarannya menurun. Sinyal listrik berupa tegangan dari fototransistor akan dikuatkan oleh penguat selisih. Selanjutnya sinyal analog yang dihasilkan akan diubah menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler dan dibaca pada komputer.

3. HASIL DAN BAHASAN

Pada penelitian ini, serat optik sebagai sensor pH dibuat dalam konfigurasi U dan gamma dengan selubung dan tanpa selubung. Panjang serat optik yang digunakan yaitu 15 cm dengan panjang kupasan 5 cm. Setiap konfigurasi sensor diberi jarak lekukan d_1 0,3 cm, d_2 0,5 cm dan d_3 0,7 cm. Hasil pengukuran untuk sensor dengan selubung dan tanpa selubung ditampilkan pada Gambar 3 untuk konfigurasi U dan Gambar 4 untuk konfigurasi gamma.

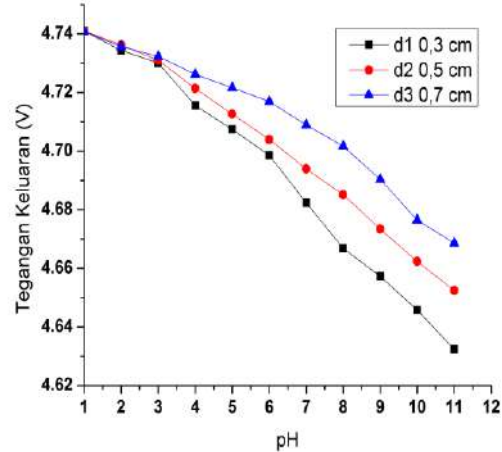


(a)

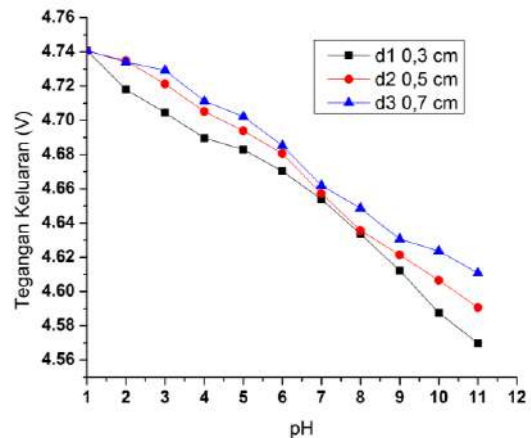


(b)

Gambar 3. Grafik perubahan tegangan keluaran sensor terhadap nilai pH pada konfigurasi U (a). dengan selubung, (b). tanpa selubung.



(a)



(b)

Gambar 4. Grafik perubahan tegangan keluaran sensor terhadap nilai pH pada konfigurasi gamma (a). dengan selubung, (b). tanpa selubung.

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan respon perubahan tegangan keluaran pada konfigurasi U dan gamma dengan variasi jarak lekukan. Peningkatan nilai pH menyebabkan penurunan tegangan keluaran. Pada gambar tersebut terlihat bahwa sensor dengan jarak lekukan 0,3 cm memiliki respon perubahan tegangan yang paling besar. Karakteristik sensor pH pada konfigurasi U dan gamma dengan variasi jarak lekukan masing-masing dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 menunjukkan karakteristik sensor berupa *range*, sensitivitas dan resolusi pada variasi jarak lekukan dari sensor dengan selubung dan tanpa selubung untuk konfigurasi U. Dapat dilihat bahwa *range*, sensitivitas dan resolusi sensor semakin baik dengan jarak lekukan yang semakin kecil.

Tabel 1. Karakteristik sensor pH pada konfigurasi U dengan variasi jarak lekukan

Karakteristik Sensor	Dengan Selubung			Tanpa Selubung		
	d ₁ 0,3 cm	d ₂ 0,5 cm	d ₃ 0,7 cm	d ₁ 0,3 cm	d ₂ 0,5 cm	d ₃ 0,7 cm
Range (V)	0,088	0,074	0,059	0,105	0,094	0,083
Sensitivitas (V/pH)	0,009	0,007	0,006	0,011	0,009	0,008
esolusi (pH)	0,113	0,135	0,170	0,095	0,106	0,120

Tabel 2. Karakteristik sensor pH pada konfigurasi gamma dengan variasi jarak lekukan.

Karakteristik Sensor	Dengan Selubung			Tanpa Selubung		
	d ₁ 0,3 cm	d ₂ 0,5 cm	d ₃ 0,7 cm	d ₁ 0,3 cm	d ₂ 0,5 cm	d ₃ 0,7 cm
Range (V)	0,109	0,089	0,072	0,171	0,149	0,130
Sensitivitas (V/pH)	0,011	0,009	0,007	0,017	0,015	0,013
Resolusi (pH)	0,093	0,113	0,139	0,058	0,067	0,077

Hasil terbaik didapatkan pada jarak lekukan sensor 0,3 cm tanpa selubung dengan nilai sensitivitas 0,011 V/pH dan resolusi 0,095 pH. Tabel 2 menunjukkan karakteristik sensor berupa *range*, sensitivitas dan resolusi pada variasi jarak lekukan dari sensor dengan selubung dan tanpa selubung untuk konfigurasi gamma. Dapat dilihat bahwa *range*, sensitivitas dan resolusi sensor semakin baik dengan jarak lekukan yang semakin kecil. Hasil terbaik didapatkan pada jarak lekukan sensor 0,3 cm tanpa selubung dengan nilai sensitivitas 0,017 V/pH dan resolusi 0,058 pH.

Hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa sensor pH menggunakan serat optik plastik tanpa selubung dengan variasi jarak lekukan yang semakin kecil menghasilkan karakteristik sensor yang lebih baik. Dari dua bentuk konfigurasi yang diukur, diperoleh hasil terbaik pada konfigurasi gamma tanpa selubung untuk jarak lekukan 0,3 cm dengan hasil sensitivitas 0,017 V/pH dan resolusi 0,058 pH dengan rentang pH pengukuran dari pH 1 hingga 11. Hasil ini cukup baik dibandingkan penelitian sebelumnya oleh Rovati dkk yang memiliki sensitivitas 0,5 a.u/pH namun rentang pH yang dapat diukur masih kecil dari pH 5 hingga pH 8.

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan perancangan dan pembuatan sensor pH menggunakan serat optik dengan selubung dan tanpa selubung pada variasi konfigurasi dan jarak lekukan. Dari hasil pengujian sensor yang diperoleh menunjukkan bahwa sensor tanpa selubung dengan variasi jarak lekukan yang semakin kecil akan meningkatkan rugi daya sehingga tegangan keluaran sensor semakin menurun sehingga

menghasilkan karakteristik sensor berupa sensitivitas dan resolusi yang semakin baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh “RUNAS-UNHAS 2018” No. Kontrak 3084/UN-4.21/PL.00.00/2018.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ganesh A.B and Radhakrishnan T.K. 2014. Fiber-Optic pH Sensor. *Fiber and Integrated Optics* **25**: 403-409.
2. Senior, J.M. dan Jamro, M.Y. 2009. *Optical Fiber Communication Principles and Practice* Third edition. Pearson Prentice Hall. England.
3. M. Yunus and A. Arifin. 2018. *Design of Oil Viscosity Sensor Based on Plastic Optical Fiber*, *Journal of Physics: Conference Series* 979: 1-9.
4. L.Y. Shao, M.J. Yin, H.Y.Tam and J. Albert. 2013. *Fiber Optic pH Sensor with Self-Assembled Polymer Multilayer Nanocoatings*, *Sensors* 13: 1425-1434.
5. B. Gu, M.Yin, A.P. Zhang, J. Qian and S. He. 2012. *Biocompatible Fiber Optic pH Sensor Based on Modal Interferometer Self Assembled with Sodium Alginate/Polythelimine Coating*, *IEEE Sensors Journal* 5: 1-6.
6. L. Rovati, P. Fabbri, L. Ferrari and F. Pilati. 2012. *Plastic Optical Fiber pH Sensor Using a Sol-Gel Sensing Matrix*, *Fiber Optic Sensor Research Gate*: 416-438.
7. N. Matiin, A.M. Hatta dan Sekartedjo. 2012. *Pengaruh Variasi Bending Sensor pH Berbasis Serat Optik Plastik Menggunakan Lapisan Silica Sol Gel Terhadap Sensitivitas*, *Jurnal Teknik POMITS1*: 1-6

Karakterisasi Sensor Suhu menggunakan Serat Optik Polimer dengan Konfigurasi U dan Gamma

Nur Afni Saharuddin*, A. Arifin

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pengukuran sensor suhu berbasis serat optik plastik. Sensor ini dibuat menggunakan konfigurasi U dan gamma dengan variasi jarak lekukan pada serat optik tanpa jaket. Pengujian sensor dilakukan pada rentang suhu 30°C - 70°C menggunakan mikrokontroler arduino uno. Ketika sensor serat optik mendeteksi perubahan suhu, akan mengakibatkan ekspansi fisik dan pengaruh indeks bias yang menimbulkan rugi daya pada sensor. Hasil pengujian diperoleh bahwa semakin kecil jarak lekukan sensor, maka sensitivitas dan resolusi sensor semakin baik. Keunggulan sensor menggunakan serat optik polimer antara lain: ringan, ukuran kecil, dan tahan terhadap suhu.

Kata Kunci: mikrokontroler; polimer; sensor; serat optik; suhu.

1. PENDAHULUAN

Telah dikembangkan sensor serat optik untuk sensor suhu, tegangan, tekanan, level cairan dan pergeseran. Sensor serat optik banyak aplikasinya di berbagai bidang seperti: manufaktur industri, teknik sipil, teknologi militer, perlindungan lingkungan, survei geofisika, teknologi medis dan biologi. Keunggulan serat optik yaitu pengiriman data yang lebih cepat, akurat, relatif stabil terhadap perubahan kondisi lingkungan, tahan terhadap suhu tinggi, ukuran kecil, tidak berinterferensi dengan gelombang elektromagnet, redaman transmisi yang kecil, serta memiliki *bandwidth* yang besar¹

Serat Optik Polimer terbuat dari *Poly Methyl Methacrylate* (PMMA) merupakan bahan inti dan *polimer fluorinated* merupakan bahan selongsong. Perkembangan serat optik polimer sebagai sensor karena mudah untuk diberikan perlakuan, antara lain dapat berupa pemanasan, memberi bahan sambungan, tekanan, lekukan ataupun dengan memberi perlakuan dengan penggantian selongsong dan jaket pelindung². Sensor berbasis serat optik polimer sebagai sensor serbaguna dengan keunggulan dalam berbagai hal: sensitivitas, selektivitas, fleksibilitas, akurasi, ukuran yang lebih kecil, ringan dan dapat digunakan untuk pengukuran dan penginderaan jauh³.

Kehidupan manusia tidak bisa terlepas dari suhu dan kalor. Suhu merupakan indikasi dari energi termal yang mengandung materi⁴. Dalam

kehidupan sehari-hari suhu biasanya diukur pada skala celsius. Pengukur tingkat panas terdapat skala (kisaran angka) yang dipilih secara khusus sehingga es murni mencair pada 0°C dan air murni mendidih pada suhu 100°C. Pemantauan kondisi ruangan maupun perangkat tertentu sangat dibutuhkan saat ini, misalnya: industri otomotif, kontrol AC dan industri kimia. Sensor suhu konvensional seperti termokopel dan termistor tidak sesuai untuk digunakan saat kebutuhan spesifik³.

Penelitian tentang pengukuran suhu telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya pengukuran suhu menggunakan sensor serat optik yang dilapisi MoS₂ dengan jaket serat D-shaped dalam kisaran suhu 26°C – 83°C dengan sensitivitas 0,1211 dB/°C⁴ dan resolusi 0,04°C. Kemudian pengukuran tekanan, suhu dan indeks bias cairan menggunakan sensor serat optik tunggal rentang suhu 20°C – 80°C⁵. Selain itu, pengukuran sensor suhu dan tekanan menggunakan serat optik berdasarkan cermin cekung yang dapat berubah bentuk memiliki sensitivitas 0,08 dB/°C dengan resolusi 0,13°C⁶ pada suhu 20°C – 100°C. Selanjutnya, pemanfaatan sensor serat optik model *core Hermcircular* 1000rf untuk pengukuran suhu dengan *range* pengukuran 25°C – 200°C⁶ didapat sensitivitas 0,0987 mV/°C.

Pada penelitian ini akan dibuat sensor suhu menggunakan serat optik plastik dengan selubung pada variasi konfigurasi dan jarak lekukan yang diharapkan meningkatkan rugi daya sehingga karakteristik sensor berupa sensitivitas, resolusi semakin baik dan dapat

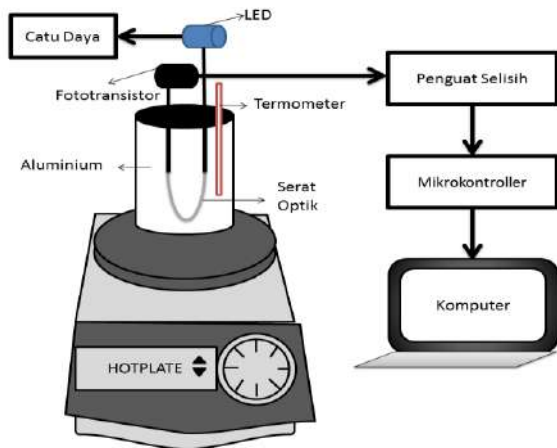
*Email: nurafnisaharuddin04@gmail.com

disambungkan dengan mikrokontroler arduino uno dan komputer.

2. BAHAN DAN METODA

Bahan utama dalam pembuatan dan pengujian sensor suhu yaitu serat optik polimer terbuat dari PMMA. Adapun bahan pendukung yaitu rangkaian catu daya, rangkaian penguat, LED infra merah jenis IF-E91A, fototransistor jenis IF-D92, mikrokontroler, komputer, termometer, hotplate sebagai pemanas, dan logam aluminium.

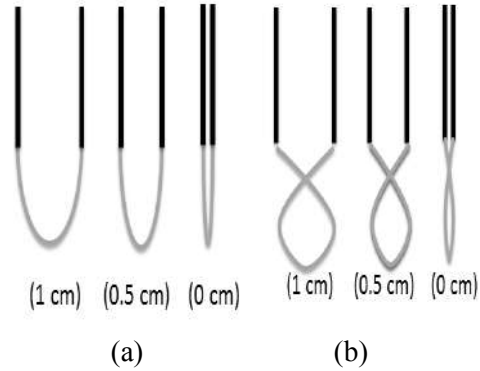
Dalam hal perancangan, elemen pengontrol sensor suhu menggunakan alat yang lebih presisi dan tertutup agar pengaruh suhu pada serat optik benar-benar terjaga dari pengaruh suhu lingkungan, sehingga data hasil pengukuran lebih tepat. Skema penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengukuran suhu sensor serat optik polimer.

Prinsip kerja sensor yaitu sinyal listrik yang dihasilkan oleh catu daya diubah menjadi sinyal optik saat terhubung dengan LED. Cahaya dari LED yang ditransmisikan sepanjang serat optik akan mengalami perubahan intensitas sehingga tegangan keluarannya berubah ketika mengalami kenaikan suhu disekitar sensor yang diterima oleh fototransistor. Kemudian sinyal listrik akan dikuatkan oleh penguat selisih. Selanjutnya sinyal analog dikonversi menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler dan dibaca oleh komputer dalam bentuk tegangan keluaran.

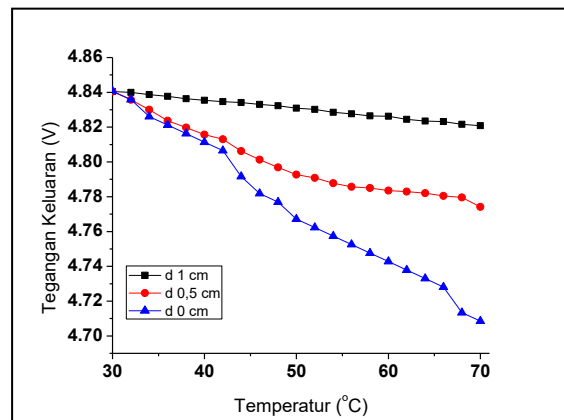
Pengukuran menggunakan serat optik plastik dengan konfigurasi U dan gamma, panjang serat optik plastik yang digunakan yaitu 30 cm dengan kupasan jaket 4 cm untuk masing-masing variasi jarak lekukan sensor 1 cm, 0,5 cm dan 0 cm. Sensor ditempatkan dalam wadah (aluminium) tertutup yang dipanaskan. Konfigurasi sensor seperti Gambar 2.



Gambar 2. (a) Konfigurasi U (b) Konfigurasi gamma

3. HASIL DAN BAHASAN

Sensor konfigurasi U dan gamma untuk pengukuran suhu dilakukan pada rentang 30°C – 70°C dengan kenaikan suhu tiap 2°C. Pengukuran dengan mikrokontroler menghasilkan tegangan keluaran seperti ditunjukkan pada Gambar 3 untuk konfigurasi U dengan variasi jarak lekukan sensor 1 cm, 0,5 cm dan 0 cm sebagai berikut:



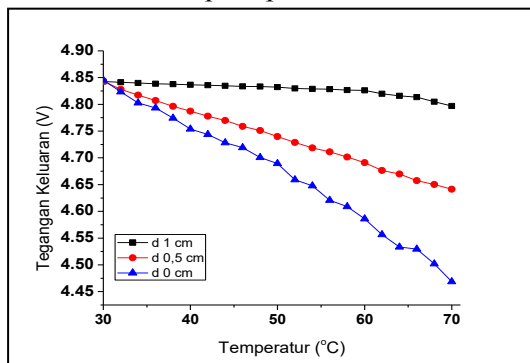
Gambar 3. Grafik perbandingan konfigurasi U jarak lekukan sensor 1 cm, 0,5 cm dan 0 cm.

Grafik pada Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran suhu konfigurasi U, dimana pada jarak lekukan sensor 0 cm memiliki sensitivitas lebih tinggi dan resolusi yang baik dibandingkan pada jarak lekukan sensor 1 cm dan 0,5 cm. Pada penelitian ini, semakin kecil jarak lekukan sensor maka didapatkan karakterisasi sensor yang lebih baik. Pada Tabel 1 menunjukkan nilai karakterisasi sensor temperatur berupa range, sensitivitas dan resolusi untuk konfigurasi U.

Tabel 1. Karakteristik sensor suhu konfigurasi U variasi jarak lekukan

Karakteristik Sensor	Jarak Lekukan Konfigurasi U		
	d ₁	d ₂	d ₃
	1 cm	0,5 cm	0 cm
Range (V)	0,019	0,066	0,132
Sensitivitas (V/°C)	0,001	0,002	0,003
Resolusi (°C)	2,041	0,603	0,303

Pengujian sensor suhu untuk konfigurasi gamma dengan variasi jarak lekukan sensor 1 cm, 0,5 cm dan 0 cm diperoleh tegangan keluaran sensor seperti pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Grafik perbandingan konfigurasi gamma jarak lekukan sensor 1 cm, 0,5 cm dan 0 cm.

Gambar 4 memperlihatkan grafik hasil pengukuran suhu konfigurasi gamma, dimana pada jarak lekukan sensor 0 cm memiliki sensitivitas lebih tinggi dan resolusi yang baik dibandingkan pada jarak lekukan sensor 1 cm dan 0,5 cm. Pada penelitian ini, semakin kecil jarak lekukan sensor maka didapatkan karakterisasi sensor yang lebih baik. Hasil uji sensor menunjukkan nilai karakterisasi sensor seperti *range*, sensitivitas, dan resolusi pada Tabel 2 untuk konfigurasi gamma.

Tabel 2. Karakteristik sensor suhu konfigurasi gamma variasi jarak lekukan

Karakteristik Sensor	Jarak Lekukan Konfigurasi Gamma		
	d ₁	d ₂	d ₃
	1 cm	0,5 cm	0 cm
Range (V)	0,038	0,202	0,377
Sensitivitas (V/°C)	0,001	0,005	0,009
Resolusi (°C)	1,058	0,198	0,106

Hasil pengukuran dan pengujian pada Tabel 1 dan 2 menunjukkan nilai *range*, sensitivitas

dan resolusi sensor untuk konfigurasi U dan gamma dengan variasi jarak lekukan sensor. Semakin kecil jarak lekukan sensor, maka akan diperoleh karakteristik sensor yang lebih baik. Hasil pengujian terbaik yaitu pada konfigurasi gamma jarak lekukan 0 cm dengan sensitivitas 0,009 V/°C dan resolusi 0,106°C.

Hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa sensor suhu menggunakan serat optik plastik dengan variasi jarak lekukan yang semakin kecil menghasilkan karakteristik sensor yang lebih baik. Dari dua bentuk konfigurasi yang diukur, diperoleh hasil terbaik pada konfigurasi gamma untuk jarak lekukan 0 cm dengan hasil sensitivitas 0,009 V/°C dan resolusi 0,106°C dengan rentang suhu 30°C – 70°C. Hasil pengukuran ini sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Mohanraj, dkk yaitu semakin tinggi kenaikan suhu disekitar sensor maka akan semakin kecil tegangan keluarannya⁵.

4. KESIMPULAN

Sensor suhu menggunakan serat optik plastik telah dibuat, Sensitivitas dan resolusi sensor semakin baik jika jarak lekukan sensor semakin kecil. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konfigurasi gamma dengan jarak lekukan 0 cm memiliki sensitivitas dan resolusi yang paling baik yaitu 0,009 V/°C dan 0,106°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh “PDUPT-UNHAS 2018” No. Kontrak 1634/UN-4.21/PL.00.00/2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Andeskob, T. I. dan Harmadi. 2014. Karakterisasi Sistem Sensor Serat Optik Berdasarkan Efek Gelombang *Evanescen*. Jurnal Fisika Unand 1: 8-13.
- John, C. dan Barry, E. 2008. Serat Optik: Sebuah Pengantar, Jakarta, Erlangga.
- Rahmi, I., Y. dan Gontjang, P. 2015. Analisis Pengaruh Perubahan Suhu dan Perubahan Panjang Kupasan *Cladding* serta *Coating* Terhadap Rugi Daya yang Dihasilkan oleh Fiber Optik *Multimode* Silika Tipe G-651. Jurnal Sains dan Seni ITS 2: 50-55.
- Nur, H. F., Sri, Y., Tira, M., A. dan Widowati, M, S. 2017. Pengaruh Suhu Terhadap Perubahan Pola Interferensi Pada Fiber Optik. Unnes Physics Journal 1: 45-49,
- Mohanraj, J., Velmurugan, V., Sathiyam, S. dan Sivabalan, S. 2017. All Fiber-Optic

- Ultra-Sensitive Suhu Sensor Using Few-Layer MoS₂ Coated D-Shaped. Optics Communications. 1-6
6. Bremer, K., Reinsch, T., Lee, G., Roth, B., Lochmann, S. dan Lewis, E. 2017. Pressure, Temperature and Refractive Index Determination of Fluids Using A Single Fiber Optic Point Sensor. Sensors and Actuators A 256: 84-88,
 7. Abdelhak, G., Assia, Guessoum., Nacer, E. D., Monsef, Z. dan Zaied, B. 2017. Fiber Optic Temperature and Pressure Sensor Based on a Deformable Concave Micro Mirror. Sensors and Actuators A. 1-13,
 8. Ika, P, W., Yossy, O. A. R. dan Tera, P. Y. 2014. Performansi Fiber Optic Hemicircular 1000rf dalam Aplikasi Sebagai Sensor Temperatur. BLI 3: 89-93.

Efisiensi Sintesis Daun Sirih Merah Pada Rakitan DSSC Berbasis Semikonduktor ZnO-SiO₂

Rahma Anugrahwidya*, Nurul Awaliyah Muhammad, Nurdiana, Dahlang Tahir

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Sekitar 89,5 % pembangkit tenaga listrik di Indonesia menggunakan energi fosil yang menghasilkan emisi gas buang. Salah satu alternatif energi yang dapat dikonversi adalah cahaya matahari dengan menggunakan sel fotovoltaik. DSSC itu sendiri merupakan salah satu kandidat potensial sel surya sebagai sumber energi listrik alternatif. Daun sirih merah digunakan sebagai sensitizer pada pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) menggunakan pelarut organik dari etanol, asam sitrat, dan aquades dengan perbandingan berturut-turut 5 : 1 : 4. Pelapisan pasta ZnO-SiO₂ pada kaca ITO yang dilakukan dengan *doctor blade*. Sifat fisis juga dianalisis. UV-Vis *Spectrophotometer* digunakan untuk menganalisis absorbansi dari larutan *dye* di rentang spectrum cahaya tampak. X-Ray *Diffractionmeter* (XRD) digunakan untuk menunjukkan struktur ZnO-SiO₂. Dari hasil penelitian diperoleh nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 3,25 %.

Kata Kunci: DSSC, Daun Sirih Merah, Semikonduktor ZnO-SiO₂

1. PENDAHULUAN

Saat ini, 89,5% sumber energi listrik ditopang oleh energi fosil. Namun penggunaan energi ini berdampak pada adanya emisi yang berlebihan [1]. Untuk mengatasi krisis energi dapat dilakukan konversi energi matahari menjadi energi listrik. Konversi energi ini berlangsung melalui sistem sel fotovoltaik. Salah satu mekanisme yang bekerja pada sel fotovoltaik adalah sel surya [2].

Sel surya menjadi alternatif yang sangat potensial untuk dijadikan sebagai sumber energi terbarukan, karena memiliki kemampuan untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik secara langsung [3]. DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) sebagai sel surya generasi ketiga telah menerima perhatian dari berbagai kalangan peneliti, hal ini dikarenakan biaya produksi terjangkau, dan menggunakan sintesis *dye* alami [4].

Selain *dye* alami, *dye* sintesis juga dapat digunakan sebagai sensitizer [5]. Daun sirih merah (*Piper Crocatum*) dikategorikan dalam jenis *dye* yang mudah didapat dan sangat ramah lingkungan. Daun sirih merah juga bisa digunakan sebagai *dye* pada DSSC karena memiliki kandungan antosianin dan nilai absorbansinya yaitu sebesar 3,821 dengan panjang gelombang 410 nm (Pradana *et al.*,

2013). Larutan *dye* nantinya digunakan untuk perendaman lapisan semikonduktor.

ZnO (*Zinc Oxide*) memiliki *band gap* lebar yaitu 3,37eV dan sangat efektif untuk penggunaannya sebagai lapisan semikonduktor pada sel surya [6]. Di sisi lain, silika ditambahkan ke dalam ZnO agar fotokatalitik menghambat degradasi yang berlebihan atau untuk mengendalikan durasi proses katalitik pada sel. Telah diperoleh sebelumnya bahwa dengan digunakannya lapisan oksida antara silika (SiO₂) dapat meningkatkan tegangan dan efisiensi sel surya. Sehingga penggabungan ZnO-SiO₂ dapat meningkatkan efisiensi suatu solar sel surya [7].

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini berfokus pada karakterisasi DSSC menggunakan sintesis daun sirih merah (*Piper crocatum*) berbasis lapisan semikonduktor ZnO-SiO₂ dengan variasi lama perendaman *dye* terhadap efisiensi yang dihasilkan DSSC, dan mengetahui besar arus listrik yang dihasilkan DSSC dari sumber cahaya matahari langsung untuk mendukung Indonesia *clean energy* 2030 dalam bidang energi terbarukan.

2. BAHAN DAN METODA

2.1 Pembuatan Pasta ZnO-SiO₂

Pasta dibuat menggunakan PVA 1,5 gram dan akuades sebanyak 15 ml yang digelkan menggunakan *magnetic stirrer* kemudian ditambahkan serbuk ZnO-SiO₂ masing-masing

*Email: rahmaanugrahwidya@gmail.com

0,75 gram, yang selanjutnya di homogenkan selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer*.

2.2 Deposisi Pasta ZnO-SiO₂

Menggunakan multimeter untuk menentukan sisi konduktif kaca ITO. Membatasi luasan pendeposisian pasta ZnO-SiO₂ dengan selotip di semua sisi dengan ukuran 2,5 x 2,5 cm. Melapisi kaca ITO dengan pasta ZnO-SiO₂ menggunakan metode *doctor blade* dan membiarkan kering di udara terbuka kemudian dipanaskan dengan suhu 120° selama 5 menit. Kemudian dikarakterisasi dengan XRD.

2.3 Pembuatan Dye

Bahan *dye* yang digunakan adalah daun sirih merah. Membersihkan daun sirih merah menggunakan akuades dan dikeringkan selama 2 jam dibawah sinar matahari yang selanjutnya dihancurkan kasar selanjutnya di *furnance* selama 10 menit dengan suhu 100°C. Setelah itu, digerus menggunakan mortar dan alu hingga menjadi bubuk. Membuat larutan dari etanol, asam asetat, dan akuades dengan perbandingan 5:1:4. Memasukkan 8 gram bubuk daun sirih merah ke dalam gelas kimia dan mencampurnya dengan larutan organik yang telah dibuat menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Selanjutnya menutup larutan dengan aluminium foil dan menyimpannya ditempat yang gelap selama 24 jam. Selanjutnya menyaring larutan menggunakan kertas saring Whatman. Mengkarakterisasi larutan *dye* menggunakan UV-Vis.

2.4 Absorbansi Dye Pada Lapisan ZnO-SiO₂

Merendam hasil deposisi pasta ZnO-SiO₂ yang telah dibuat dalam larutan *dye* masing-masing selama 40 menit, 50 menit, dan 60 menit. Kaca dibiarkan di udara terbuka hingga kering yang selanjutnya dikarakterisasi dengan XRD.

2.5 Pembuatan Elektrolit

Mencampurkan 0,8 gram KI ke dalam 10 mL PEG (*Polyethylene Glycol*). Kemudian menambahkan 0,12 gram *Iodine* (I₂). Selanjutnya dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit.

2.6 Pembuatan Karbon Elektroda Pemandang

Menggunakan multimeter untuk menentukan sisi konduktif kaca ITO dan melapisi sisi konduktif kaca ITO dengan karbon dengan melakukan pemanasan karbon menggunakan lilin.

2.7 Perakitan DSSC

Meneteskan larutan elektrolit pada elektroda kerja kaca ITO yang telah dilapisi pasta ZnO-SiO₂ dan direndam pada *dye* sampai seluruh permukaannya tertutupi elektrolit. Kemudian

menutup elektroda pemandang yang dilapisi oleh karbon dengan elektroda pembanding lapisan pasta ZnO-SiO₂ dan menjepit kedua sisinya dengan penjepit kertas untuk menyatukan dua elektroda.

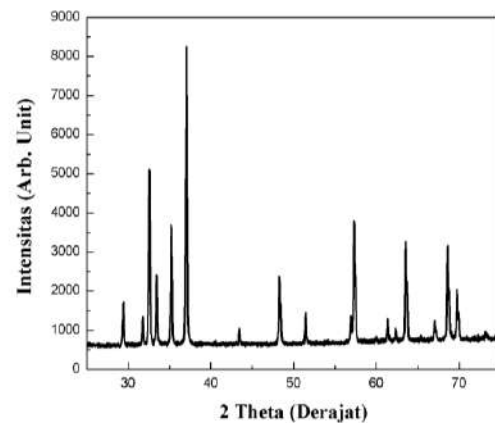
2.8 Pengujian Tegangan dan Arus

Melakukan perangkaian sel surya, resistor, dan voltmeter. Menempatkan rangkaian dibawah sinar matahari degan elektroda kerja yang mengarah pada sumber cahaya matahari. Mencatat nilai tegangan pada voltmeter dengan hambatan 100 Ω. Menghitung arus yang sesuai pada setiap tegangan yang dihasilkan dengan menggunakan pendekatan Hukum Ohm.

3. HASIL DAN BAHASAN

3.1 Karakterisasi

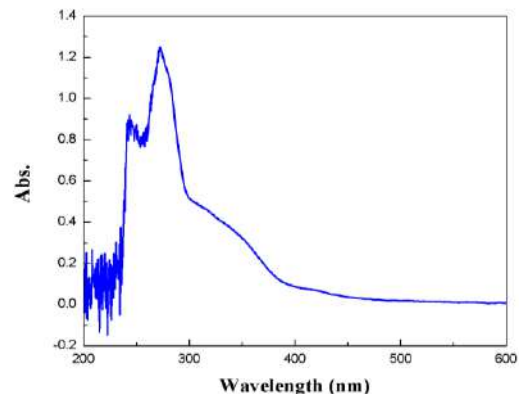
3.1.1 Karakterisasi XRD



Gambar 1. Hasil XRD lapisan semikonduktor ZnO-SiO₂

Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui Sudut-sudut kristal dan adanya serapan *dye* pada ZnO-SiO₂. Adapun sudut-sudut kristal yang terbentuk bentuk yaitu 32°, 37°, dan 57°.

3.1.2 Karakteristik UV-Vis



Gambar 2. Hasil UV-Vis larutan *dye* daun sirih merah.

Spektrum serapan ekstrak daun sirih merah yaitu maksimum (λ max) 275 nm, mengindikasikan adanya pigmen antosianin.

3.1.3 Pengujian Tegangan, Arus, dan Efisiensi DSSC

Tabel 1 . Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus

Bahan Dye	Perendaman	R (k Ω)	I (W/Cm ³)	V (Volt)	I (μ A)	P (μ W)	η (%)
	40 Menit	100	0.01158	0.130	0.0013	0.000169	3.25
	50 Menit	100	0.01291	0.004	0.0004	0.00000016	0.1
	60 Menit	100	0.01128	0.122	0.0012	0.0001488	3.0

Berdasarkan hasil pengukuran DSSC pada tabel.1 menunjukkan bahwa daun sirih merah memperoleh efisiensi sebesar 3,25% pada perendaman 40 menit. Lama perendaman lapisan SiO₂ dalam dye mempengaruhi nilai efisiensi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi DSSC menggunakan dye daun sirih merah yaitu sebesar 3,25 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kemenristekdikti, Universitas Hasanuddin, dan Pembimbing serta pihak terkait yang telah memberikan kontribusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Pradana IC, Susanti D. 2013. Analisa Pengaruh Komposisi Graphene- TiO₂ terhadap Unjuk Kerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Jurnal Teknik Pomits* 2(1): 83-88.
- Andari R. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) dengan Sensitizer Antosianin dari Bunga Rosella. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 13(2): 88-95.
- Mescia, Luciano & Massaro, Alessandro. 2014. *New Trends in Energy Harvesting from Earth Long-Wave Infrared Emission*. Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering.
- Suhaimi, S, Shahimin MM, Alahmed ZA, Chyský J, Reshak AH. 2015. Materials for enhanced dye-sensitized solar cell performance: Electrochemical application. *Int. J. Electrochem. Sci*, 10(4): 2859-2871.
- Sidik ML, Risanti DD, Sawitri D. 2015. Sintesis Zat Warna Komposit Berbasis Anthocyanin dari Ekstrak Kulit Manggis, Wortel, dan Kunyit sebagai Fotosensitizer pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Paper And Presentation of Physics Engineering*.
- Prasetya AN, Susanti D. 2013. Pengaruh Temperatur Kalsinasi pada Kaca FTO yang di-coating ZnO terhadap Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) yang Menggunakan Dye dari Buah Terung Belanda (*Solanum betaceum*). *Jurnal Teknik Pomits* 2 (2).
- Widiyastuti W, Siti Machmudah, Tantular Nurtono, Sugeng Winardi, Kikuo Okuyama. 2016. Synthesis of ZnO-SiO₂ Nanocomposite Particles and Their Characterization by Sonochemical Method. *International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering*.

Penyediaan Air Minum dari Air Payau Berbasis Tenaga Surya untuk Rumah Tambak

Bidayatul Armynah^{1*}, Syahir Mahmud²

¹Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar.

²Teknik Elektro Universitas Atmajaya Makassar, syahir@mut.co.id

Abstrak

Pada umumnya sebaran area tambak petani terletak di daerah pantai yang jauh dari perkampungan dan sumber air tawar. Dalam suatu area tambak bisa terdiri dari beberapa pemilik tambak. Setiap pemilik tambak masing masing membangun rumah tambak yang saling berjauhan satu dengan lainnya. Rumah tambak ini dimaksudkan sebagai rumah tinggal sementara selama masa proses penyemaian benih ikan, pemeliharaan hingga masa panen selesai. Topologi lokasi perumahan yang menyebar tanpa sumber air tawar seperti itu merupakan suatu kendala tersendiri dan menyebabkan sulitnya untuk mendapatkan suplai air bersih dari PDAM setempat. Oleh karena itu penerapan teknologi destilasi untuk memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia di lokasi tersebut merupakan solusi yang tepat. Dengan adanya instalasi penjernih air minum sederhana berbasis tenaga surya, pemilik rumah tambak sudah mampu mengatasi masalah kekurangan air minum selama dalam masa penyemaian benih hingga masa panen selesai. Yang merupakan tujuan penelitian ini. Adapun metodenya adalah : Mendesign sistem instalasi penjernih air payau berbasis tenaga surya sebagai penghasil air bersih atau air minum. Dalam hal ini petani tambak memerlukan air bersih sebesar 4-5 liter/hari. Alat yang akan diterapkan bisa menghasilkan air bersih sebanyak 4,48 liter/m². Dengan adanya alat tersebut petani tambak dapat mengurangi pengeluaran biaya, khususnya kebutuhan air bersih.

Kata Kunci: air payau, air minum, tenaga surya, prototype.

1. PENDAHULUAN

Masalah energi tampaknya akan tetap menjadi topik yang hangat diperbincangkan sepanjang peradaban umat manusia. Upaya mencari sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil masih tetap ramai dibicarakan. Di masa yang akan datang, kebutuhan energi yang makin besar dan beragam tampaknya tidak bisa dihindari. Oleh sebab itu, pengkajian terhadap berbagai sumber energi baru tidak akan menjadi langkah yang sia-sia¹.

Energi dari bahan bakar seperti minyak bumi dan batu bara masih menjadi primadona di Indonesia sampai saat ini. Sebagian besar penduduk Indonesia masih bergantung pada bahan bakar ini. Namun, energi ini memiliki beberapa kelemahan seperti sifatnya yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*) dan dapat mencemarkan lingkungan. Energi ini juga akan habis jika pemakaiannya dilakukan secara terus menerus².

Energi lain selain minyak bumi dan batubara yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah energi angin, nuklir, gelombang, biogas, uap dan energi surya.

Energi-energi tersebut sifatnya bersih, tidak berpolusi, aman dan persediaan yang tidak terbatas. Mengingat kebutuhan energi akhir-akhir ini sangat meningkat tajam, terutama dengan munculnya berbagai macam peralatan elektronika.

Disamping itu, kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau menyebabkan banyaknya daerah terpencil yang belum terjangkau PDAM. Oleh karena itu penggunaan teknologi Destilasi untuk memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia di daerah-daerah tersebut merupakan solusi yang tepat³⁻⁴.

Dengan berlimpahnya potensi sumber energi surya yang belum dimanfaatkan secara optimal dan masih ada sebagian wilayah Indonesia yang belum dijangkau PDAM. Salah satu daerah tersebut adalah lokasi pertambakan, Pada umumnya sebaran area tambak petani terletak di daerah pantai yang jauh dari perkampungan. Dalam suatu area tambak bisa terdiri dari beberapa pemilik tambak. Setiap pemilik tambak masing masing membangun rumah tambak yang saling berjauhan satu dengan lainnya. Rumah tambak ini dimaksudkan sebagai rumah tinggal sementara selama masa proses penyemaian

*Email : armynah63@gmail.com

benih ikan, pemeliharaan hingga masa panen selesai. Topologi lokasi perumahan yang menyebar seperti itu merupakan suatu kendala tersendiri dan menyebabkan sulitnya untuk mendapatkan Air bersih dari PDAM.

Dengan adanya sumber air bersih berbasis tenaga surya untuk rumah tambak akan mampu mengatasi masalah kebutuhan bersih yang dibutuhkan petani tambak selama dalam masa penyemaian benih hingga masa panen selesai. Adapun tujuan yang ingin dicapai ini adalah : Mendesign sistem instalasi penjernihan air payau berbasis tenaga surya sebagai penghasil air bersih atau air minum.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Peningkatan kebutuhan energi merupakan indikator peningkatan kemakmuran masyarakat. Salah satu energi yang bisa dikembangkan adalah energi surya. Namun kendala utama yang dihadapi dalam pengembangan energi surya adalah investasi awal yang besar dan yang dibangkitkan relatif tinggi.

Jika kita melihat tingkat konsumsi energi di seluruh dunia saat ini, penggunaan energi diprediksikan akan meningkat sebesar 70% antara tahun 2000 sampai 2030. Sumber energi yang berasal dari fosil, yang saat ini menyumbang 87,7% dari total kebutuhan energi dunia diperkirakan akan mengalami penurunan disebabkan tidak lagi ditemukannya sumber cadangan baru. Kondisi tersebut bertolak belakang dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi dunia dari tahun ke tahun. Sehingga kita dituntut untuk segera mencari sumber energi alternatif baru. Salah satu energi alternatif yang saat ini mulai dikembangkan adalah energi surya (energi matahari)¹.

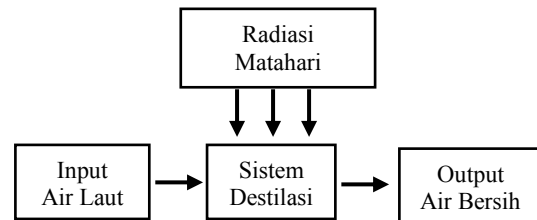
Makalah ini merupakan bagian dari Pengabdian Masyarakat tentang rekayasa peralatan yang dapat memproduksi air bersih dari air payau. Peralatan yang diteliti adalah distilasi surya tipe basin yang mempunyai konstruksi sederhana, mudah dioperasikan dan hemat energi karena energi yang digunakan adalah radiasi matahari. Peralatan ini sangat cocok digunakan pada daerah pesisir, yang air laut dan energi surya banyak.

Kaca penutup kolektor surya plat datar merupakan komponen terpenting dari distilasi surya, yang berfungsi untuk mengurangi kehilangan panas dari plat penyerap ke

lingkungan dan tempat kondensasi. Kaca tebal 5 mm dipilih sebagai penutup karena kaca dapat menyekat sinaran yang melebihi 3 μm dan tahan lama. Secara umum kaca mempunyai indeks bias 1,5 dan dapat meneruskan radiasi yang datang lebih kurang 88%.

2.1. Destilasi Tenaga Surya

Destilasi (penyulingan) air laut telah dilaksanakan bertahun-tahun. Teknologi penyulingan air bertujuan untuk mendapatkan air tawar dari air laut atau air payau yang diuapkan dengan cara dipanaskan kemudian diembunkan. Sumber panas yang dipergunakan berasal dari energi yang beragam seperti minyak, gas, listrik, surya/matahari dan lainnya¹.



Gambar 1. Proses kerja destilasi tenaga surya

Prinsip kerja destilasi surya yaitu : radiasi surya menembus kaca penutup dan mengenai permukaan dari plat penyerap, maka plat penyerap akan panas, dan energi panas tersebut akan memanasi air laut yang ada dalam kolam (basin). Air akan menguap dan berkumpul dibawah permukaan kaca penutup. Oleh karena temperature udara di dalam basin lebih tinggi dari temperature lingkungan, maka terjadi kondensasi yakni uap berubah menjadi cair dan melekat pada kaca penutup bagian dalam. Cairan (air bersih) akan mengalir mengikuti kemiringan kaca penutup dan masuk ke dalam kanal hingga mengalir ke tempat penampungan air bersih¹.

2.2. Tinjauan termal pada system destilasi surya

Dalam destilator surya akan terjadi perpindahan panas yang terdiri dari :

1. Konduksi

Panas mengalir secara konduksi dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Laju perpindahan panas dinyatakan dengan hokum Fourier berikut³:

$$Q = -k.A \left(\frac{dT}{dX} \right) \text{ (watt)} \quad 1$$

Dimana :

k = konduktivitas termal ($W/m \cdot ^\circ K$)

A = Luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m^2)

$\frac{dT}{dX}$ = Gradien temperature dalam arah aliran panas $^\circ K/m$

2. Konveksi

Udara yang mengalir di atas suatu permukaan panas, misalnya dalam saluran baja sebuah alat pemanas udara surya dipanasi secara konveksi. Apabila aliran udara disebabkan oleh sebuah blower, kita menyebutnya konveksi paksa dan apabila disebabkan oleh gradient massa jenis, maka disebut konveksi alamiah.

Pada umumnya, perpindahan panas konveksi dapat dinyatakan dengan hukum pendinginan Newton, sebagai berikut³ :

$$q = h \cdot A \cdot (T_w - T) \text{ (Watt)} \quad 2$$

Dimana :

h = Koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)

A = Luas permukaan (m^2)

T_w = Temperatur dinding ($^\circ K$)

T = Temperatur fluida ($^\circ K$)

Umumnya koefisien konveksi (h) dinyatakan dengan parameter tanpa dimensi yang disebut bilangan Nusselt, $Nu = h \cdot d/k$, dimana (k) adalah konduktivitas termal.

3. Radiasi

Berlainan dengan mekanisme konduksi dan konveksi dimana perpindahan energi terjadi melalui perantara, kalor juga dapat berpindah melalui daerah-daerah hampa. Mekanismenya disini adalah sinaran atau radiasi elektromagnetik. Pertukaran panas netto secara radiasi antara dua badan ideal (hitam) adalah³ :

$$q = \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4) \text{ (Watt)} \quad 3$$

Dimana :

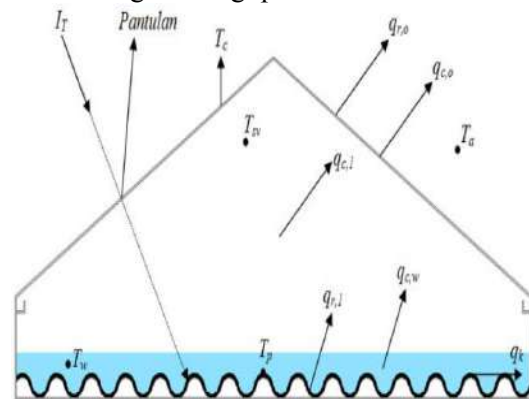
σ = konstanta Stefan-Boltzman,
 $5,67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ K^4)$

A = Luas bidang (m^2)

2.3. Kesetimbangan Energi

Efisiensi alat destilasi air merupakan perbandingan dari energy berguna dengan energy panas yang dihasilkan oleh plat penyerap. Energi berguna merupakan energi panas yang digunakan dalam proses

penguapan dan energi panas yang digunakan saat pengembunan. Untuk mengetahui efisiensi alat destilasi kita tinjau kesetimbangan energi pada alat destilasi.



Gambar 2. Diagram Aliran Energi

Keterangan gambar :

I_T = Intensitas matahari (W/m^2)

$q_{r,1}$ = Laju perpindahan panas radiasi dari kolektor ke permukaan dalam kaca ($Watt$)

$q_{c,1}$ = Laju perpindahan panas konveksi dari uap air ke permukaan dalam kaca ($Watt$)

$q_{c,w}$ = Laju perpindahan panas konveksi dari air ke uap air ($Watt$)

q_k = Laju perpindahan panas konduksi dari kolektor ke dinding luar ($Watt$)

$q_{r,0}$ = Laju perpindahan panas radiasi dari kaca ke lingkungan ($Watt$)

$q_{c,0}$ = Laju perpindahan panas konveksi dari permukaan kaca ke lingkungan ($Watt$)

T_a = Temperatur lingkungan ($^\circ C$)

T_w = Temperatur air ($^\circ C$)

T_c = Temperatur permukaan kaca ($^\circ C$)

T_{sw} = Temperatur uap air ($^\circ C$)

T_v = Temperatur plat penyerap ($^\circ C$)

Kesetimbangan energi dari sistem adalah sebagai berikut⁴:

$$q_{c,w} + q_{r,1} + q_{c,1} + (\alpha \cdot I_T \cdot A_c) + (\alpha \cdot I_T) = q_k + q_{c,0} + q_{r,0} \quad 4$$

3. METODELOGI

3.1. Desain Alat Penjernih Air

1. Mengadakan alat dan bahan yang akan digunakan
2. Medesain alat penjernih air berbasis tenaga surya yang akan diterapkan.
3. Merakit alat penyernih air berbasis tenaga surya yang akan dibuat

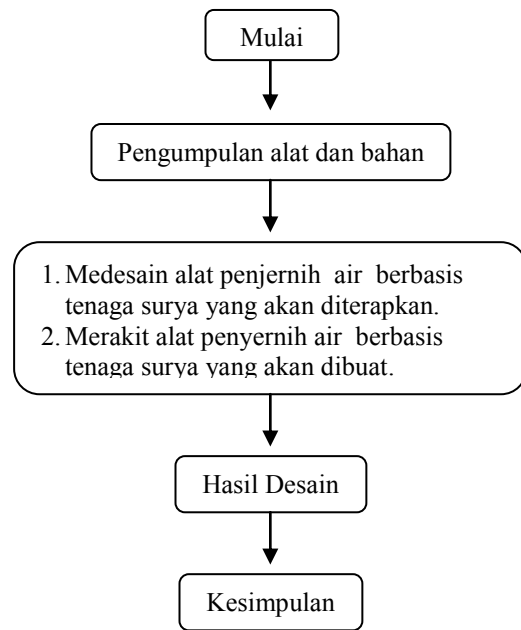
3.2. Bahan Dan Alat

1. Plat Penyerap, terbuat dari plat aluminium dengan luas 1 m² dan tebal 1 mm
2. Isolasi, terbuat dari sterofoam dengan tebal 1 cm
3. Kaca penutup, terbuat dari kaca bening dengan tebal 5 mm
4. Kerangka, terbuat dari kayu
5. Alat ukur, solarimeter, termometer digital, volt meter, termokopel.
6. Alat Penyerap Panas
7. Solar Cel
8. Inverter
9. baterai
10. Penampungan air
11. Pompa air

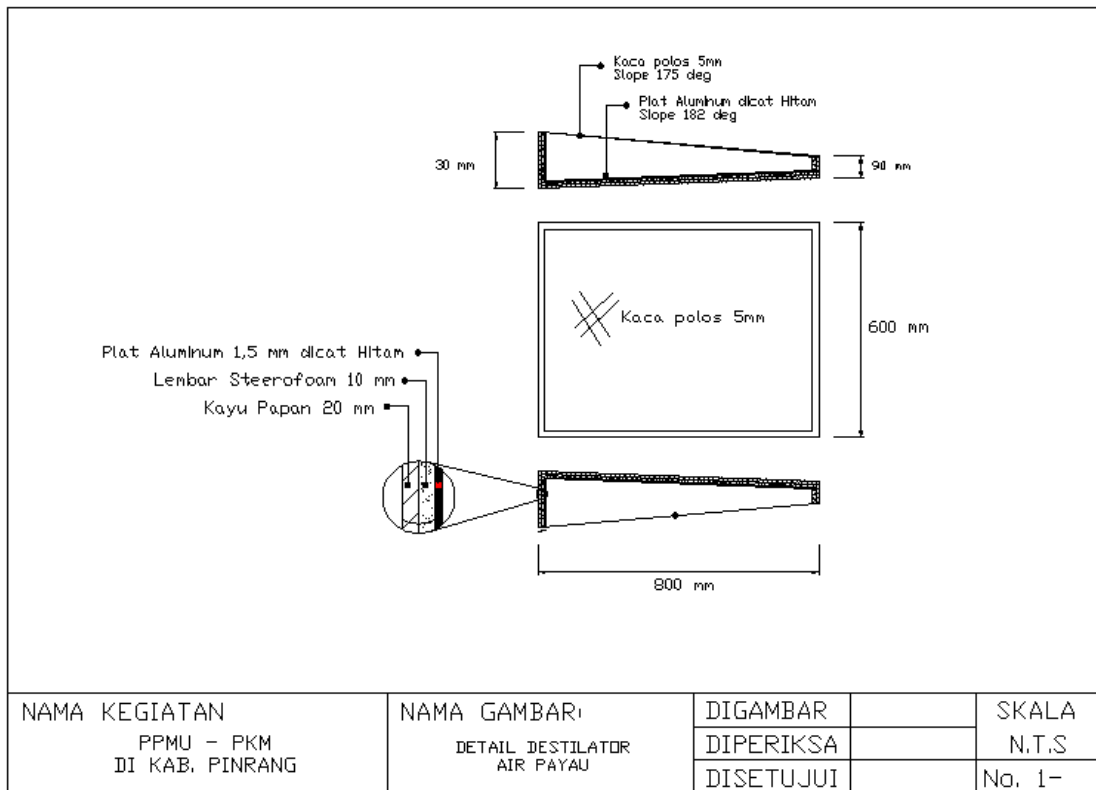
4. HASIL

4.1. Desain Alat Penjernih Air

3.3. Bagan Alir Penelitian

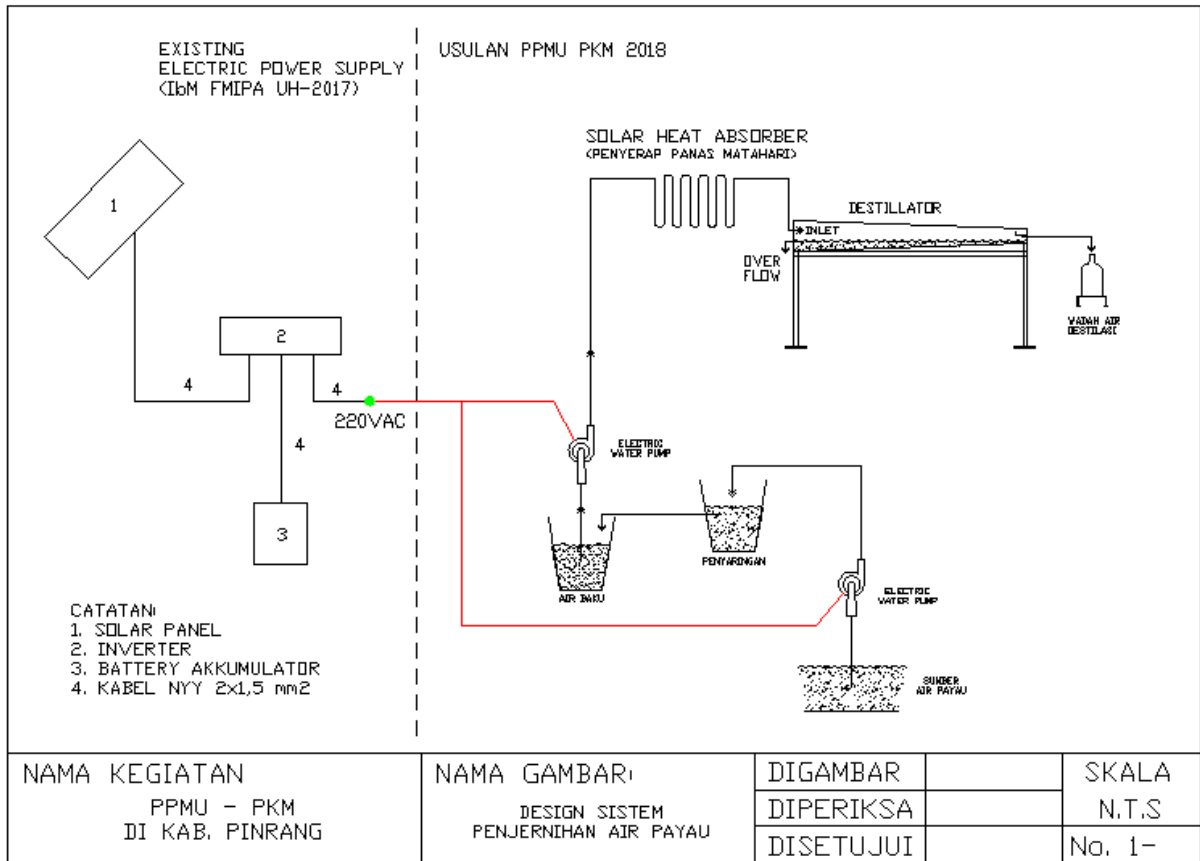


Gambar 3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. Desain Alat Penjernihan Air

4.2. Hasil Desain Alat Penjernih Air Berbasis Tenaga Surya



Gambar 5. Hasil Desain Alat Penjernihan Air Berbasis Tenaga Surya

5. KESIMPULAN

Dari hasil Desain secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa energi surya dapat diterapkan sebagai penjernih air dan diharapkan dapat memproduksi air bersih sebanyak 4-4.8 l/m².

UCAPAN TERIMAH KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LP2M UNHAS atas dana bantuan PPMU- PKM tahun 2018

DAFTAR PUSTAKA

1. Wallery, W.W. 1996. Teknologi Sel Surya : *Perkembangan Dewasa Ini dan Yang Akan Datang*. ITB. Bandung <http://www.energi.lipi.go.id>. Di akses 12 Juni 2009.
2. Iyang, dkk. 2008. *Pembangkit listrik tenaga surya*. EEPIS-ITS Surabaya. Di akses tgl 3 april 2009.
3. Young, Hugh D dan Freedman, Roger A, 2002, Fisika Universitas Jilid I, Jakarta, Erlangga.
4. Bernard, D W, 1998, *Penerapan Termodinamika Edisi Kedua*, Jakarta, Erlangga.

Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut dan Arus Laut Menggunakan Metode *Nozzle* dan Turbin *Savonius* Sebagai Sumber Energi Alternatif

A. S. Hanifa Wahyuni^{1*}, L. M. Aldin Haswari¹, Kasmita², Dahlang Tahir¹

¹Departemen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin

²Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10 Makassar, Indonesia

Abstrak

Sumber energi untuk pembangkit listrik berbasis fosil semakin menipis membuat manusia harus mencari sumber energi alternatif seperti arus laut. Oleh karena itu dirancanglah pembangkit listrik tenaga pasang surut dan arus laut menggunakan metode *nozzle* dan turbin *savonius* ini. *Nozzle* merupakan perangkat penentu arah dan karakteristik aliran, sementara turbin *savonius* merupakan alat konversi angin yang bekerja pada sumbu putar dengan arah vertikal. Tahap awal pembuatan pembangkit listrik ini dilakukan pengumpulan data kecepatan arus laut di Kabupaten Barru, selanjutnya pembuatan turbin *savonius*, pembuatan *nozzle*, penggabungan kedua komponen, dan pengujian pembangkit listrik. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai daya P rata-rata 33,9% dengan jumlah putaran turbin meningkat jika diberi *nozzle* sebesar 33,37%, dan ukuran diameter turbin $d = 0,20$ m. Kecepatan arus pada beberapa waktu sering berbeda-beda, sehingga putaran turbin persatuan waktupun akan berbeda-beda pula. Semakin besar kecepatan arus laut, semakin besar pula kecepatan turbin untuk berputar, dan daya yang didapat semakin besar. Pada kecepatan arus maksimum 1,6 m/s pembangkit listrik ini memiliki potensi yang baik untuk diterapkan sebagai sumber energi listrik pesisir pantai.

Kata Kunci: arus laut, energi alternatif, , *nozzle*, *savonius*.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan penting bagi masyarakat, khususnya di wilayah sekitar pesisir pantai yang tidak terjangkau jaringan listrik. Salah satu langkah kebijakan pemerintah untuk memenuhi kebutuhan tersebut yaitu melakukan upaya diversifikasi energi, berupa penyediaan dan pemanfaatan berbagai sumber energi baru, salah satunya berupa energi pasang surut dan arus laut¹.

Pasang surut merupakan fenomena naik turunnya air laut secara berkala akibat adanya gaya tarik benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Pasang surut juga merupakan fenomena gerakan air laut secara horizontal yang dikenal dengan arus laut²⁻³.

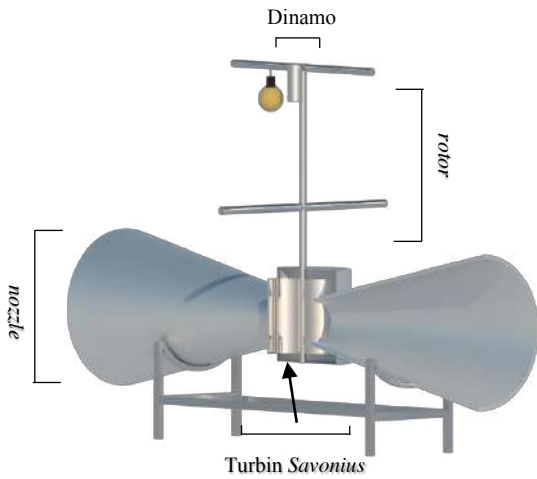
Berdasarkan hasil studi secara global, laut mempunyai sumber energi arus laut sebesar $2,8 \times 10^{14}$ Watt-jam. Pemanfaatan pasang surut dan arus laut di pesisir pantai belum maksimal, karena minimnya pengetahuan mengenai alat konversi arus laut menjadi energi listrik⁴⁻⁵.

Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah inovasi pembangkit listrik berbasis arus laut dengan metode *nozzle* dan turbin *savonius*. Metode *Nozzle* digunakan sebagai penentu arah dan karakteristik aliran arus laut untuk mengonversi energi dalam menjadi energi kinetik pada turbin. Sedangkan turbin *savonius* bekerja pada sumbu putar dengan arah vertikal⁶⁻⁸.

2. BAHAN DAN METODA

Pembuatan prototipe pembangkit listrik ini menggunakan bahan utama Dinamo/Generator mini 12 volt, berdaya 6 watt. Dinamo bekerja sebagai pengonversi energi dari gerak mekanik baling-baling turbin menjadi listrik. Kemudian, bahan yang digunakan untuk pembuatan baling-baling turbin, yaitu pipa plastik. Dengan bahan yang ringan, arus laut dapat dengan mudah memutar baling-baling turbin. Diameter baling-baling turbin yang dibuat, yaitu 20 cm. Sementara *nozzle* yang digunakan terbuat dari bahan besi plat, *nozzle* berfungsi untuk meningkatkan kecepatan aliran air sebelum menumbuk baling-baling turbin.

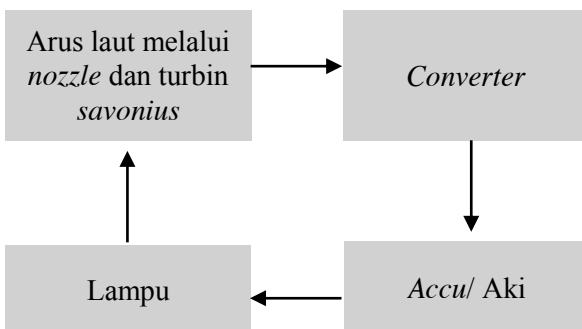
*Email : angraeniwahyuni@gmail.com



Gambar 1. Desain lengkap badan prototipe pembangkit listrik.

Pada dasarnya, pembangkit listrik ini tersusun atas 4 komponen utama, yaitu *nozzle*, baling-baling *savonius*, rotor (penggerak), dan generator atau dinamo. Desain prototipe pembangkit listrik secara lengkap dapat dilihat pada gambar 1.

Pada prinsipnya, pembangkit listrik ini bekerja ketika arus laut yang melalui *nozzle* menggerakkan baling-baling turbin. Gerak baling-baling akan membuat rotor berputar. Putaran baling-baling kemudian dikonversikan oleh dinamo menjadi energi listrik. Energi listrik kemudian dimanfaatkan sebagai suplai energi. Blok diagram lengkap dari sistem pembangkit listrik pasang surut dan arus laut menggunakan metode *nozzle* dan turbin *savonius* ditampilkan seperti pada gambar 2 berikut.



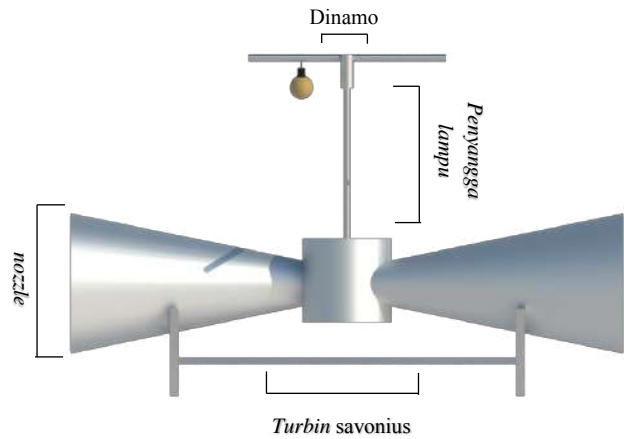
Gambar 2. Skema pembangkit listrik pasang surut dan arus laut dengan menggunakan metode *nozzle* dan turbin *savonius*.

3. HASIL DAN BAHASAN

3.1. Prototipe Pembangkit Listrik

Prototipe pembangkit listrik secara lengkap terdiri dari 3 bagian, yaitu: pipa *nozzle*, turbin *savonius*, dan tiang penyangga lampu.

Prototipe pembangkit listrik yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 3.

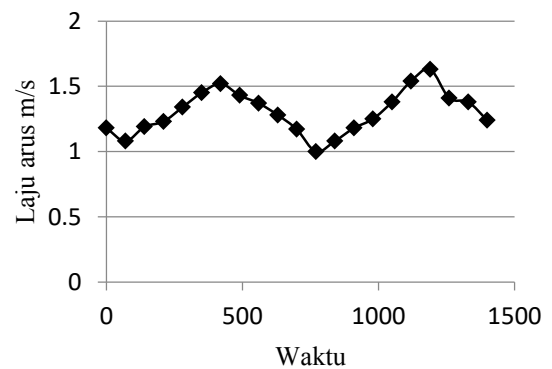


Gambar 3. Prototipe pembangkit listrik.

Dalam pengujian laboratorium, daya listrik yang dapat dihasilkan turbin cukup rendah, hanya mampu menghidupkan lampu LED 1,5 volt dengan intensitas cahaya yang cukup terang.

3.2. Laju Arus Pasang Surut

Pengujian pembangkit listrik dalam skala lapangan, memerlukan data mengenai laju arus laut di lokasi pengujian alat. Dari hasil observasi lapangan diperoleh data pada gambar 4 dimana arus yang terukur berubah terhadap waktu, dengan selang waktu yang diberikan yaitu 10 menit.



Gambar 4. Laju arus pasang surut.

Data yang diperoleh pada gambar 4 menunjukkan laju arus maksimum sekitar 1,52 m/s yang terjadi pada waktu sekitar pukul 19.00 saat terjadi fenomena pasang.

3.3. Jumlah Putaran Turbin dan Pegaruh *Nozzle*

Data laju arus laut pada gambar 4 diolah menggunakan persamaan (1) guna menghitung besarnya daya prediksi yang dapat dihasilkan oleh pembangkit listrik.

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad 1$$

$$A = \pi (r + R)^2 = \frac{\pi D t^2}{4} \quad 2$$

dimana P adalah daya yang dihasilkan oleh turbin dalam satuan watt, ρ merupakan densitas fluida dalam hal ini air laut 1029 kg/m³, A merupakan area yang dilalui oleh arus laut, dan Dt adalah diameter total dari baling-baling turbin dalam satuan meter, serta v adalah laju arus laut yang dinyatakan dalam m/s. Pengukuran daya dan jumlah putaran turbin dilakukan di pelabuhan Laut Garongkong, Kabupaten Barru. Waktu pengujian prototipe dimulai dari jam 11 sampai jam 2 siang saat terjadi surut maksimal. Pengukuran kecepatan putaran turbin dilakukan dengan menggunakan tachometer.

Tabel 1. Tabel kecepatan aliran arus laut dengan nozzle dan tanpa nozzle.

Tanpa Nozzle		Dengan Nozzle		%
v (m/s)	n (rpm)	v (m/s)	n (rpm)	
0,30	20	0,60	35	75
0,52	84	1,20	97	15,48
0,78	110	1,90	135	22,73
1,02	143	2,30	172	20,28

Pada Tabel 1, data yang diperoleh menunjukkan peningkatan jumlah rotasi turbin yang berbanding lurus dengan kecepatannya aliran air, hal ini karena gaya yang diberikan oleh aliran air kepada turbin bergantung pada kecepatan alirannya, semakin cepat aliran arus laut maka semakin tinggi jumlah putaran turbin yang dihasilkan. Kemudian nozzle yang bekerja sebagai penentu arah aliran arus laut juga menyebabkan peningkatan pada jumlah putaran turbin. Peningkatan tersebut disebabkan terdapat perbedaan luas penampang pada nozzle dengan sudut serang fluida air yang diarahkan menuju sudu turbin cekung sehingga kecepatan awal meningkat setelah melewati nozzle.

Tabel 2. Kecepatan putaran turbin terhadap daya keluaran generator mini.

Tanpa Nozzle		Dengan Nozzle		%
n (rpm)	P (Watt)	n (rpm)	P (Watt)	
20	0,00	35	0,00	0,00
84	0,44	97	0,76	72,73
110	1,01	135	1,27	25,74
143	1,67	172	2,29	37,13

Pada Tabel 2 menunjukkan peningkatan daya keluaran dari generator yang berbanding lurus dengan kecepatannya aliran air, disebabkan gaya yang diberikan oleh aliran air kepada turbin sesuai dengan kecepatan alirannya, semakin cepat aliran air maka semakin besar jumlah putaran pada turbin. Sementara nozzle menyebabkan peningkatan daya keluaran dari generator. Diperoleh daya keluaran maksimum generator sebesar 1,67 Watt, terjadi peningkatan daya sebesar 2,29 Watt.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian prototipe di lokasi, pembangkit listrik turbin savonius yang dikombinasikan dengan nozzle menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan putaran turbin rata-rata sebesar 33,37%, peningkatan daya keluaran rata-rata generator mini sebesar 33,9% dengan kecepatan arus maksimum 1,6 m/s. penerapan teknologi ini akan memberikan solusi mengenai keterbatasan sumber energi, khususnya daerah kepulauan Indonesia yang masih mengalami krisis energi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterimakasih kepada Kemenristek Dikti atas bantuan dana “Hibah PKM 2018” kerja sama dengan Universitas Hasanuddin.

DAFTAR PUSTAKA

- Rahmi, L.H., Dharmala S.B., Gediana, A., Yusuf, A., dan Septria W. 2015. Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Menggunakan Sistem Turbin Savonius Termodifikasi. *Jurnal Berkala Fisika*. **18**(2): 75-82.
- Thapar, V., Agnihotri, G. and Seti, V.K. 2011. Critical Analysis Of Methods For Mathematical Modelling Of Wind Turbines. *Renewable Energy*. **36**: 3166-3177.
- Yuningsih, A. 2011. Potensi Arus Laut Untuk Pembangkit Energi Baru Terbarukan di Selat Pantar, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi Kelautan*. **9**(1): 61-72.
- Primandani, E.R. 2008. Perancangan Dermaga Dan Trestle Tipe Deck on Pile Di Pelabuhan Garongkong, Propinsi Sulawesi Selatan. Laporan Tugas Akhir. ITB.

5. Duxbury, A. A. and Sverdup, K.A. 2000. *An Introduction to The World's Ocean*, Mc Craw-Hill, USA.
6. Sangari, Ferry Johnny. 2014. Perancangan Pembangkit Listrik Pasang Surut Air Laut. *Jurnal Teknologi dan Kejuruan* **37**(1): 187-196.
7. Fraenkel, P. 1999. *Power from Marine Currents*, Marine Currents Turbines Ltd.
8. Nainggolan, W.S. 1987. *Termodinamika*,. Edisi ke-3, CV. Armico. Bandung.

Analisis Efisiensi Turbin Angin Mikro Poros Horizontal Model *Airfoil* Bw3 Sebagai Penghasil Energi Listrik Dengan Metode *Wind-Funnel*

Indriani*, Nurhidayah, Kiki Rizkiyah Amaliyah, Dahlang Tahir

Departemen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin

Jl. Perintis Kemerdekaan KM 10 Makassar, Indonesia

Abstrak

Salah satu energi terbarukan yang paling banyak dikembangkan saat ini terutama sebagai pembangkit listrik, yaitu energi angin. Untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik digunakan turbin angin. Tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk mengetahui diameter *wind-funnel* yang optimal dalam menghasilkan energi angin, serta pengaruh *wind-funnel* dengan variasi diameter 60 cm, 65 cm dan 70 cm terhadap efisiensi turbin angin *airfoil* BW3 dalam menghasilkan energi listrik. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil rotasi per menit (RPM) dan *output* daya yang dihasilkan pada turbin angin tanpa menggunakan *wind-funnel* dan dengan menggunakan *wind-funnel* pada kecepatan angin rendah, yaitu 3.0 m/s, 3.5 m/s, dan 4.0 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan rotasi per menit dan *output* daya yang signifikan dengan menggunakan *wind-funnel* berbanding lurus dengan kecepatan angin. Pada kecepatan angin maksimum (4.0 m/s), turbin angin tanpa *wind-funnel* menghasilkan putaran 451 RPM dan *output* daya 10,9 mW, sedangkan turbin angin dengan menggunakan *wind-funnel* menghasilkan putaran 1100 RPM dan *output* daya 27,8 mW pada diameter 70 cm. Hasil ini menunjukkan adanya peningkatan daya listrik yang dihasilkan turbin sebesar 155 %.

Kata Kunci: *Airfoil* BW3, energi listrik, *wind-funnel*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi masyarakat Indonesia pada khususnya dan dunia pada umumnya terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi yang pesat dan pola konsumsi energi itu sendiri. Hal tersebut berbanding terbalik dengan jumlah energi fosil yang sangat terbatas dan terus menipis. “Penggunaan energi fosil juga sangat berdampak pada pencemaran lingkungan dan pemanasan global, karena itu banyak negara telah melakukan tindakan agar dapat mengurangi konsumsi energi dari bahan bakar fosil, salah satunya dengan kerjasama global dalam penggunaan dan adopsi energi terbarukan yang ramah lingkungan dan terjangkau (Pambudi, 2017).” Berdasarkan data Badan Energi Internasional pada tahun 2014, tingkat konsumsi energi terbarukan dunia sekitar 18% termasuk tenaga nuklir dan diperkirakan meningkat menjadi sekitar 41% pada tahun 2050.

Salah satu energi terbarukan yang paling banyak dikembangkan saat ini terutama sebagai pembangkit listrik, yaitu energi angin. “Beberapa kelebihan dari energi terbarukan

seperti angin adalah sumbernya relatif mudah didapat, dapat diperoleh dengan gratis, minim limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi secara global, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar (Androga, 2015).” Untuk mengubah energi angin, yaitu dari energi kinetik menjadi energi mekanik digunakan turbin angin. “Indonesia memiliki potensi energi angin yang cukup memadai karena kecepatan angin rata-rata berkisar 3,5 – 7 m/s (Pradana, 2013).” Berbagai upaya meningkatkan efisiensi turbin angin sebagai pembangkit energi listrik telah diuji untuk menghasilkan *output* daya yang maksimal seperti jumlah bilah, variasi sudut *pitch* tetap, detektor datar dan desain bilah.

Turbin angin mikro perlu diterapkan dalam skala luas untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian untuk meningkatkan efisiensi dari turbin angin mikro. Pada penelitian ini peningkatan efisiensi turbin angin menggunakan metode *wind-funnel* model bilah *airfoil* BW3 pada turbin angin mikro.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui diameter *wind-funnel* yang dapat menghasilkan energi angin maksimal pada turbin dan pengaruh *wind-funnel* terhadap terhadap

*Email : indriani170899@gmail.com

efisiensi turbin angin dalam menghasilkan energi listrik.

2. BAHAN DAN METODA

Model bilah airfoil BW3 pada turbin angin mikro poros horizontal dibuat dari bahan aluminium, terdiri dari 3 bilah dan mempunyai panjang 30 cm tiap bilahnya. Prototype dari airfoil BW3 dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Airfoil BW3

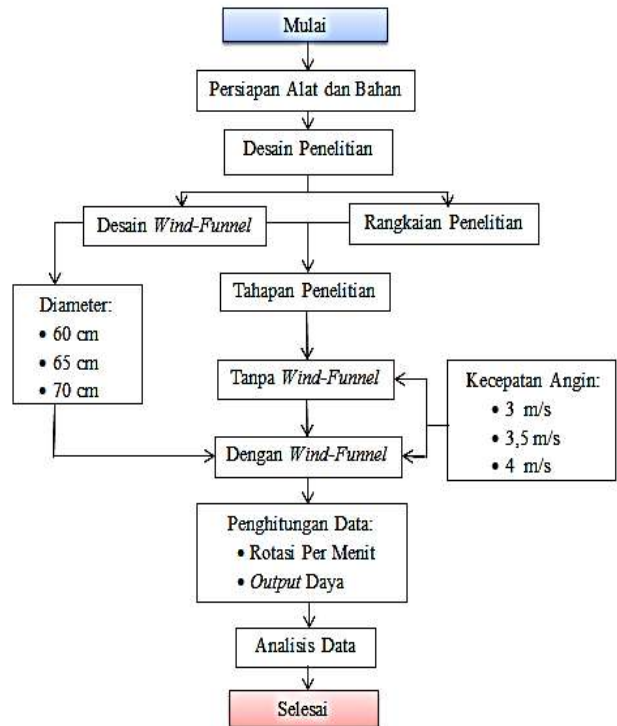
Wind-funnel dibuat dari bahan plat besi. Wind-funnel dibuat menjadi 3 diameter yang berbeda, yaitu 60 cm, 65 cm dan 70 cm seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Wind-funnel

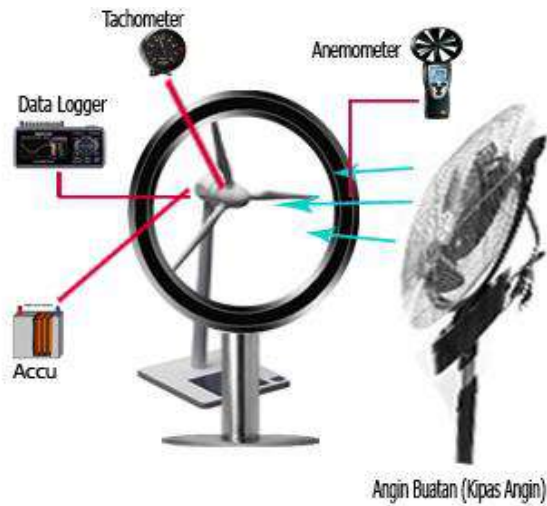
Komponen lain yang digunakan yaitu anemometer, tachometer, aki, kipas angin, kabel penghubung, generator DC, dan data logger.

Kerangka kerja pelaksanaan penelitian yang dilakukan, secara garis besar disajikan pada gambar gambar 3.



Gambar 3. Kerangka penelitian

Pengujian dilakukan dengan 2 tahap yaitu tanpa menggunakan *wind-funnel* dan dengan menggunakan *wind-funnel* pada diameter yang berbeda seperti pada gambar 4. Variabel yang diukur yaitu kecepatan rotasi turbin dan *output* daya yang dihasilkan. Adapun langkah-langkah pengujian, yaitu mengukur kecepatan angin buatan yang berasal dari kipas angin di arahkan pada bilah turbin. Kecepatan angin diatur sedemikian rupa dengan mengubah jarak kipas angin terhadap turbin dan mengatur tombol pada kipas angin untuk mendapatkan kecepatan angin 3 m/s, 3.5 m/s, dan 4 m/s yang diukur menggunakan anemometer. Kemudian energi angin akan memutar bilah turbin sehingga menghasilkan putaran pada poros turbin dan diukur menggunakan tachometer. Putaran poros turbin akan memutar generator. Energi mekanik yang dihasilkan turbin angin akan diubah menjadi energi listrik oleh generator. *Data logger* berfungsi mengukur kecepatan angin melalui tachometer dan *output* daya melalui generator untuk setiap kecepatan angin. Energi listrik yang dihasilkan kemudian disimpan pada aki. Selanjutnya percobaan dilakukan dengan menggunakan *wind-funnel* yang ditempatkan di depan turbin pada tiap diameter.

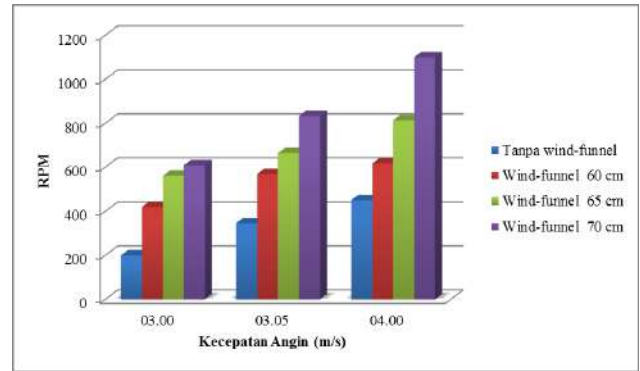


Gambar 4. Rangkaian Penelitian

3. HASIL DAN BAHASAN

a. Hubungan antara kecepatan angin dan kecepatan rotasi turbin

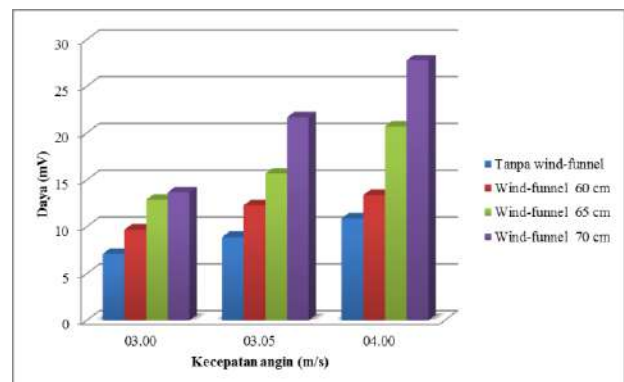
Setelah melakukan pengujian diperoleh data kecepatan rotasi turbin tanpa menggunakan *wind-funnel* dan dengan menggunakan *wind-funnel* pada diameter 60 cm, 65 cm dan 70 cm. Pada kecepatan angin 3.0 m/s turbin angin tanpa *wind-funnel* menghasilkan kecepatan rotasi 200 RPM, sedangkan dengan menggunakan *wind-funnel* menghasilkan kecepatan rotasi 420 RPM, 561 RPM, dan 609 RPM berturut-turut pada diameter 60 cm, 65 cm, dan 70 cm. Pada kecepatan angin 3.5 m/s, kecepatan rotasi meningkat, yaitu tanpa menggunakan *wind-funnel* menghasilkan putaran poros 346 RPM, sedangkan dengan menggunakan *wind-funnel* pada diameter 60 cm, 65 cm, dan 70 cm menghasilkan putaran poros masing-masing, yaitu 569 RPM, 664 RPM, dan 833 RPM. Pada kecepatan angin maksimum 4.0 m/s, turbin angin tanpa *wind-funnel* menghasilkan 451 RPM, sedangkan dengan menggunakan *wind-funnel* diperoleh 617 RPM, 814 RPM, dan 1100 RPM pada diameter 60 cm, 65 cm, dan 70 cm. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan rotasi yang berbanding lurus dengan kecepatan angin. Kecepatan rotasi turbin juga meningkat ketika menggunakan *wind-funnel*. Diameter *wind-funnel* yang optimal dalam menghasilkan energi angin yaitu 70 cm. Grafik hubungan antara kecepatan angin dan rotasi turbin dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan kecepatan angin dan rotasi turbin

b. Hubungan antara kecepatan angin dan output daya turbin

Dari hasil percobaan juga diperoleh data *output* daya turbin. Pada kecepatan angin 3.0 m/s diperoleh *output* daya turbin tanpa menggunakan *wind-funnel* 7.1 mW, sedangkan dengan menggunakan *wind-funnel* diameter 60 cm, 65 cm dan 70 cm menghasilkan *output* daya 9.7 mW, 12.9 mW, dan 13,7 mW. Pada kecepatan angin 3.5 m/s diperoleh *output* daya turbin tanpa menggunakan *wind-funnel* 8.9 mW, sedangkan dengan menggunakan *wind-funnel* diameter 60 cm, 65 cm dan 70 cm menghasilkan *output* daya 12.3 mW, 15.7 mW, dan 21.7 mW. Pada kecepatan angin 4.0 m/s diperoleh *output* daya turbin tanpa menggunakan *wind-funnel* 10.9 mW, sedangkan dengan menggunakan *wind-funnel* diameter 60 cm, 65 cm dan 70 cm menghasilkan *output* daya 13.4 mW, 15.7 mW, dan 27.8 mW. Dari hasil data dapat dilihat bahwa *output* daya berbanding lurus dengan kecepatan angin. *Wind-funnel* diameter 70 cm menghasilkan daya terbesar pada kecepatan angin 4.0 m/s, yaitu 27.8 mW. Grafik *output* daya yang dihasilkan turbin angin dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 6. Hubungan antara kecepatan angin dan *output* daya turbin

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa *wind-funnel* dapat meningkatkan kecepatan rotasi dan *output* daya turbin angin yang optimal pada diameter 70 cm, daya yang dihasilkan sebesar 27,8 mw dengan putaran 1100 RPM pada kecepatan angin 4.0 m/s. Peningkatan daya listrik maksimum dihasilkan turbin sebesar 155 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kemenristek Dikti atas bantuan dana hibah “PKM 2018” bekerjasama dengan Universitas Hasanuddin.

DAFTAR PUSTAKA

1. Androga, Frisco Merry dan Indra Herlamba S. 2015. Uji Eksperimental Model Turbin Angin Darrieus Tipe H2 Tingkat dengan Kombinasi 3 Bilah Naca 0018 dan 2 Bilah Savonius Per Tingkat. *Jurnal Teknik Mesin* 01(01): 126-131.
2. Akour, Salih N., Mohammed Al-Heymari, Talha Ahmed, Kamel Ali K. 2017. Experimental and Theoretical Investigation of Micro Wind Turbine for Low Wind Speed Regions. *Renewable Energy* 148: 1-31.
3. Latif, M. 2013. Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Rekayasa Elektrika* 10(3): 147-152.
4. Prasad, Navin, Janakiram S., Prabu T., dan Sivasubramaniam S. 2014. Design and Development of Horizontal Small Wind Turbine Blade For Low Wind Speeds. *International Journal of Engineering Science & Advanced Technology* 4(1): 075-084.
5. Pambudi, N. A., Danur Lambang Priandaru, Basori, Danar Susilo Wijayanto, Husin Bugis, Bambang Dwi Wahyudi, Cyrillus Sudibyoy, Karno M.W., Ngatou Rahman, Nyenyep Sriwardani, dan Subagsono. 2017. Experimental Investigation of Wind Turbine Using Nozzle-Lens at Low Wind Speed Condition. *The 8th International Conference on Applied Energy– ICAE2016* 105: 1063–1069.
6. Pradana, A. J., Gunawan N., dan Ali M. 2013. Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius dengan Variasi Profil Kurva Blade untuk Memperoleh Daya Maksimum. *Jurnal Teknik Pomits* 7(7): 1-6.
7. Sevvell dan Santhosh P. 2014. Innovative Multi Directional Wind Turbine. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3(3): 1237-1240.

Pengaruh Radiasi Cahaya Tampak pada Pertumbuhan Tanaman Pacar Air (*Impatiens Basalmina L.*) dan Jumlah Klorofil Tanaman Glodokan Tiang (*Polyalthea Longifolia*)

Sri Suryani^{1*}, Astrid Sri Wahyuni Sumah²

¹Departemen Fisika – Fak. MIPA – Universitas Hasanuddin
Jln. Perintis Kemerdekaan – Makassar 90245

²Program Pasca Sarjana – Prodi Pendidikan Biologi – Universitas Muhammadiyah Palembang
Jln. Jend. Ahmad Yani 13 Ulu, Plaju Palembang – Palembang 30263

Abstrak

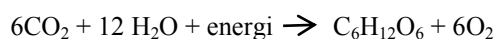
Pertumbuhan tanaman ditentukan oleh proses fotosintesis yang terjadi di daun. Proses fotosintesis terdiri dari dua tahap, yaitu tahap terang yang memerlukan cahaya matahari dan tahap gelap. Penelitian ini akan membuktikan bahwa ketiadaan beberapa jenis warna cahaya matahari dapat mempengaruhi proses fotosintesis. Sampel yang digunakan adalah tanaman pacar air (*Impatiens Basalmina L.*) dan glodokan tiang (*Polyalthea Longifolia*) yang berada di tempat terbuka. Daun ditutup dengan plastik dengan variasi warna, dan dilakukan pengukuran diameter batang, tinggi tanaman, jumlah daun, dan warna tanaman pada tanaman pacar air (*Impatiens Basalmina L.*) dan pengukuran panjang, lebar, massa daun, dan jumlah klorofil pada tanaman glodokan tiang (*Polyalthea Longifolia*) selama dua minggu. Hasil penelitian menunjukkan tanaman yang ditutup dengan penutup warna merah mempunyai masalah dengan pertumbuhannya (diameter batang, tinggi tanaman, dan jumlah daun mempunyai nilai terkecil). Pada daun glodokan tiang, daun yang merupakan kontrol mempunyai ukuran yang lebih besar dan jumlah klorofil yang lebih banyak dibandingkan dengan yang diberi penutup. Untuk daun yang diberi penutup diperoleh hasil bahwa daun yang diberi penutup berwarna hijau mempunyai pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan daun yang diberi penutup berwarna merah. Hal ini menunjukkan bahwa pada secara teori proses fotosintesis tidak memerlukan cahaya tampak warna hijau (karena pigmen klorofil adalah hijau), tetapi pada dasarnya proses fotosintesis memerlukan keseluruhan cahaya tampak.

Kata Kunci : *cahaya tampak, fotosintesis, pertumbuhan tanaman*

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan tanaman merupakan hal yang penting, khususnya pada bidang pertanian. Beberapa hasil pertanian bahkan menjadi komoditas utama bangsa, seperti misalnya padi, bawang merah dan putih, dan lain sebagainya. Oleh sebab itu, banyak penelitian dilakukan untuk meningkatkan produksi pertanian, atau dengan kata lain untuk meningkatkan laju fotosintesis.

Proses fotosintesis sendiri merupakan proses perubahan energi matahari menjadi energi kimia melalui reaksi biofisika dan biokimia yang kompleks yang dilakukan oleh klorofil, karotenoid, dan juga xantofil. Secara sederhana dapat ditulis sebagai



Proses ini melalui dua tahapan reaksi, yaitu tahap reaksi terang dan tahap reaksi gelap. Reaksi terang menggunakan energi matahari untuk memindahkan elektron pada posisi tereksitasi, yang selanjutnya elektron yang tereksitasi akan mentransfer energinya pada ATP dan NADPH untuk dipersiapkan memasuki tahap reaksi gelap. Pada tahap reaksi gelap, yaitu reaksi yang tidak memerlukan energi matahari, melainkan hanya menggunakan energi dari ATP dan NADPH, glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) dibentuk dari molekul CO_2 dan H_2O^{1-2} . Beberapa faktor yang mempengaruhi laju fotosintesis oleh tanaman adalah³:

1. Jumlah karbon dioksida

Walaupun karbon dioksida merupakan komponen utama fotosintesis, tetapi masing-masing tanaman mempunyai kapasitas sendiri dalam menggunakan karbon dioksida, sehingga konsentrasi yang tinggi

*Email : suryani@fmipa.unhas.ac.id

- karbon dioksida tidak semua dapat terserap tanaman⁴.
2. Jumlah air.
Air merupakan unsur utama dalam proses fotosintesis. Tanaman yang mengalami dehidrasi atau kekurangan air akan menyebabkan sel mesofil menjadi kering dan menurunkan kemampuannya menyerap CO₂.
 3. Suhu
Enzim yang terlibat pada fotosintesis bekerja optimal pada selang suhu 20°C hingga 30°C. Pada suhu 37°C, enzim menjadi tidak aktif, yang akan mengganggu jalannya reaksi gelap.
 4. Cahaya
Fotosintesis memerlukan cahaya untuk melakukan reaksi terang, khususnya pada panjang gelombang 400 nm hingga 700 nm, tetapi cahaya yang berperan aktif dalam fotosintesis adalah pada panjang gelombang 550 nm. Hal tersebut disebabkan klorofil a memantulkan cahaya dengan panjang gelombang 420 nm dan 670 nm, klorofil b memantulkan cahaya pada panjang gelombang 450 nm dan 650 nm, dan karotenoid memantulkan cahaya pada panjang gelombang 450 nm dan 500 nm⁵.
 5. Intensitas Cahaya
Penurunan intensitas cahaya membuat klorofil rentan terhadap foto-oksidasi, sehingga klorofil akan menyerap O₂ daripada CO₂.
 6. Elemen mineral
Beberapa mineral seperti Mg, Fe, Cu, Cl, Mn, dan P mempengaruhi reaksi gelap pada fotosintesis.
 7. Polutan udara
Polutan udara seperti SO₂, hidrogen fluorida, ozon, dan juga senyawa logam dapat menurunkan laju fotosintesis.
 8. Senyawa kimia
Adanya senyawa kimia seperti HCN, kloroform, eter, dapat menyebabkan tidak berfungsinya enzim, bahkan pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan sel mati.
 9. Jumlah klorofil
Proses fotosintesis terjadi pada daun yang mengandung klorofil, sehingga daun yang mempunyai banyak klorofil tentunya mempunyai laju fotosintesis yang lebih besar daripada daun yang sedikit jumlah fotosintesisnya.

Dari penjelasan di atas, tampak bahwa reaksi terang adalah reaksi yang terjadi pada tahap awal dan penting, karena pada tahap ini, klorofil akan mengambil sejumlah energi dari matahari yang akan digunakan untuk tahap reaksi gelap. Bila kebutuhan energi tersebut tidak tercukupi, maka akan timbul gangguan pada proses fotosintesis, khususnya pada tahap gelap, sehingga secara keseluruhan akan mempengaruhi kondisi tanaman (pertumbuhan, pembentukan buah, dan lain sebagainya). Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui pengaruh cahaya tampak pada proses pertumbuhan tanaman, melalui pengukuran lebar, panjang, massa daun, dan diameter batang dan tinggi tanaman, jumlah klorofil, dan pengamatan terhadap warna daun.

2. BAHAN DAN METODA

Pada penelitian ini digunakan dua jenis tanaman, yaitu tanaman glodokan tiang (*Polyalthea Longifolia*) dan tanaman pacar air (*Impatiens Basalmina L*). Kedua tanaman diberi penutup yang terbuat dari plastik berwarna (hijau, biru, dan merah), dan tanaman kontrol yang tidak diberi penutup, khusus pada tanaman glodokan tiang, hanya sebagian ranting daunnya saja yang tertutup plastik. Pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman dilakukan setiap hari selama dua minggu, yang meliputi:

- a. Tanaman pacar air. Pada tanaman ini dilakukan pengukuran diameter batang, jumlah daun, tinggi tanaman, dan warna daun
- b. Tanaman glodokan tiang. Pada tanaman ini dilakukan pengukuran massa daun, panjang, lebar, dan tebal daun, jumlah klorofil "a" dan klorofil "b" dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, dan warna daun.

Untuk pengukuran intensitas cahaya matahari dilakukan selama tiga kali sehari pada pagi, siang, dan sore hari dengan menggunakan lux meter. Demikian pula pengukuran suhu udara dilakukan tiga kali bersamaan pada saat pengukuran intensitas cahaya.

3. HASIL DAN BAHASAN

Hasil pengamatan selama dua minggu menunjukkan adanya perbedaan pada tanaman-tanaman tersebut yang dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini. Perubahan yang mudah terlihat adalah warna daun, yang lebih pucat dan kekuningan pada tanaman pacar air, dan daun berwarna lebih gelap atau kehitaman pada daun glodokan tiang.

Tabel 1: Perubahan fisik tanaman setelah ada hambatan pada paparan sinar matahari.

a. Pada tanaman pacar air (*Impatiens Basalmina L.*)

Indikator	Kedadaan Awal	Kontrol	Penutup Hijau	Penutup Merah	Penutup Biru
Diameter batang (cm)	0,62	1,23	1,04	0,82	0,91
Jumlah daun	15	25	21	16	18
Tinggi tanaman (cm)	10,00	20,91	19,09	16,27	17,71
Warna daun	Hijau terang	Hijau terang	Hijau pucat	Hijau - kuning	Hijau-kuning

b. Pada tanaman glodokan tiang (*Polyalthea Longifolia*)

Indikator		Kontrol	Penutup Hujau	Penutup Merah	Penutup Biru
Massa daun (g)		1,21	0,93	0,64	0,81
Panjang daun (cm)		25,0	22,5	20,2	20,2
Lebar daun (cm)		5,8	4,6	4,1	4,6
Tebal daun (µm)		11	10	13	12
Jumlah klorofil (mg/g)					
10. Klorofil "a"		18,44	15,19	9,76	8,57
11. Klorofil "b"		10,52	8,68	3,43	4,57
Warna daun		Hijau terang	Hijau tua	Hijau tua kehitaman	Hijau tua kehitaman

Perubahan warna ini, disebabkan adanya hambatan pada daun, khususnya klorofil untuk menyerap cahaya atau energi matahari. Hal ini dibuktikan melalui pengukuran intensitas cahaya matahari yang jatuh pada daun (tabel 2). Tanaman kontrol mendapatkan penuh cahaya matahari, sedangkan tanaman yang diberi penutup warna merah mendapatkan intensitas yang paling rendah. Tanaman yang diberi penutup hijau mendapatkan intensitas cahaya matahari yang hampir sama dengan tanaman dengan penutup biru.

Tabel 2 : Intensitas cahaya matahari yang jatuh pada tanaman (kLux)

Kontrol	Penutup Hijau	Penutup Merah	Penutup Biru
50,4 – 168,9	27,9 – 89,7	19,4 – 44,6	25,4 – 63,8

Akibat dari penurunan intensitas cahaya yang jatuh, maka produksi klorofil menurun, sehingga warna daun menjadi pucat. Hal ini sesuai dengan yang ditemukan oleh Weigufo,dkk⁶ yang mendapatkan bahwa pembentukan klorofil dipengaruhi oleh intensitas cahaya. Selain itu pertumbuhan tanaman menjadi terganggu, karena aktivitas fotosintesis menurun, sesuai dengan yang dikemukakan oleh Ping M.A dkk yang menunjukkan bahwa aktivitas Xantofil yang merupakan salah satu molekul yang berfungsi menyerap cahaya selain klorofil sangat

dipengaruhi oleh besarnya intensitas cahaya yang jatuh padanya,⁷⁻⁸ dan George Zervoudakis menemukan bahwa ada penurunan pertumbuhan sebesar 30 % tanaman yang hanya disinari 25 % cahaya⁹. Hal ini sesuai dengan pengamatan pada daun pacar air yang kondisi fisik (diameter, jumlah daun, tinggi tanaman) menurun pada tanaman yang ditutupi oleh penutup warna hijau, biru, dan merah. Hal yang sama juga teramati pada tanaman glodokan tiang (*Polyalthea Longifolia*). Klorofil a mempunyai kemampuan menyerap cahaya terkuat untuk warna merah, tetapi klorofil a juga menyerap warna lainnya, seperti biru, sedikit hijau dan kuning. Klorofil b mempunyai kemampuan menyerap kuat cahaya tampak pada daerah orange-merah dan menyerap warna lainnya, sehingga hanya warna hijau yang dipantulkan.

Penurunan kemampuan sel kloroplas dalam menyerap cahaya matahari akan menentukan laju reaksi gelap. Penurunan jumlah sel kloroplas umumnya diatasi atau diambil alih oleh ferredoksin, yaitu sejenis protein besi-sulfur. Protein ini berfungsi sebagai donor elektron pada reaksi gelap¹. Keadaan inilah yang teramati pada tanaman glodokan tiang (*Polyalthea Longifolia*), yaitu ketika jumlah klorofil menurun, warna daun menjadi kehitaman, karena daun mengandung protein ferredoksin.

4. KESIMPULAN

Dari uraian di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Pertumbuhan tanaman yang ditentukan oleh proses fotosintesis memerlukan cahaya tampak dari matahari yang digunakan untuk eksitasi elektron pada reaksi terang. Elektron yang tereksitasi selanjutnya digunakan pada reaksi gelap.
2. Walaupun secara teori cahaya dengan panjang gelombang tertentu yang berperan aktif dalam proses fotosintesis, tetapi ketiadaan cahaya tampak lainnya akan menurunkan intensitas cahaya yang jatuh pada daun.
3. Penurunan intensitas cahaya yang jatuh pada daun menurunkan laju fotosintesis yang dapat diamati dari adanya hambatan pada pertumbuhan tanaman. Akibatnya peletakan tanaman harus diperhatikan agar tanaman mendapatkan cukup intensitas cahaya tampak agar tidak ada hambatan pada proses fotosintesisnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arnon D.I. 1971, *The Light Reactions of Photosynthesis*. Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America (PNAS) **68** (11) : 2883-2892.
2. Whatley F.R., K. Tagawa, dan D. I. Arnon. 1963. *Separation of The Light and Dark Reactions in Electron Transfer During Photosynthesis*. Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America (PNAS) **49**(2) : 266–270.
3. Esteban R., Barrutia O., Artetxe U., Fernandez-Marin B., Hernandez A., dan Garcia-Plazaola J.I. 2014. *Internal and External Factors Affecting Photosynthetic Pigment Composition in Plants: a Meta-analytical Approach*. New Phytologist **206**(1) : 268 – 280.
4. Gonzalez-Meler, M.A., M. Ribas-Carbo, J.N. Siedow dan B.G.Drake. 1996. *Direct inhibition of plant mitochondrial respiration by elevated CO₂*. Plant Physiol. **112**:1349–1355.
5. Lichtenthaler H.K., Claus Buschmann. 2001. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. F4.3.1-F4.3.8, John Wiley & Sons, Inc.
6. Weigufo Fu, Pingping Li, dan Yanyou Wu. 2012. *Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce*. Scientia Horticulturae **135** : 45-51.
7. Ping M.A, Tuan-hui B.A.I., Xiao-qian, WANG Feng, dan Wang M.A. 2015. *Effects of Light Intensity on Photosynthesis And Photoprotective Mechanisms in Apple Under Progressive Drought*. Journal of Integrative Agriculture **14**(9) : 1755-1766.
8. Adamson HY, Chow WS, Anderson JM, Vesik M, dan Sutherland MW. 1991. *Photosynthetic Acclimation of Tradescantia Albiflora to Growth Irradiance: Morphological, Ultrastructural and Growth Responses*. Physiol. Plant. **82** : 353-359.
9. George Zervoudakis, George Salahas, George Kaspiris, dan Eleni Konstantopoulou. 2012. *Influence of Light Intensity on Growth and Physiological Characteristics of Common Sage (Salvia officinalis L.)*, Braz. arch. biol. technol. **55** (1).

Pengaruh Ukuran Slice Teknik Terhadap Nilai CTDI Dengan Menggunakan Detektor Ionisasi Chamber

Rostini Ali*, Bualkar Abdullah, Dahlang Tahir

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh slice teknik terhadap nilai CTDI dengan menggunakan detektor ionisasi chamber. Scanning Axial CT digunakan pada pantom kepala yang berisi detector ionisasi chamber dengan metode melakukan scanning pada masing-masing bagian yang telah ditentukan pada phantom yaitu dengan memasukan detector ke dalam lubang phantom yaitu bagian tengah phantom, tepi atas (jam 12), tepi kanan (jam 3), tepi bawah (jam 6) dan tepi bagian kiri (jam 9). Kondisi expose yang di gunakan adalah 120 kV, 100 mA dan variasi slice teknik yaitu 5 mm, 8 mm dan 10 mm. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ada perbedaan nilai CTDI masing – masing bagian pada phantom terhadap penggunaan ukuran slice teknik yang berbeda. Perbedaan antara slice teknik 5 cm dan 8 cm sebesar 37,4 % begitu pula perbedaan antara 8 cm dengan 10 cm sebesar 10,2 %. Jadi apabila terjadi kenaikan ukuran slice teknik maka nilai CTDI akan meningkat.

Kata kunci : *ctdi, detector, ionisasi, chamber, phantom, kepala.*

1. PENDAHULUAN

Pengukuran dosis CT Scan lebih besar dibandingkan modalitas radiologi yang lain. Contohnya, pemeriksaan thoraks, dosis efektif sebesar 5-7 mSv, pada pemeriksaan thoraks konvensional, dosis efektif sebesar 0,1-0,2 mSv.

Dosis pemeriksaan CT Scan cenderung tinggi, karena untuk mendapatkan gambar satu slice, objek harus discanning minimal 360 kali, yakni diproyeksikan dari 10 sampai 3600°. Tampilan proyeksi untuk satu derajat direkonstruksi sehingga bias menghasilkan citra *cross section*¹.

Dosis radiasi yang tinggi pada CT Scan dipengaruhi juga oleh radiasi hambur pada saat Scanning pasien. Oleh karena itu dosis radiasi CT Scan sangat kompleks². Disamping itu juga ada aspek lain yang mempengaruhi dosis pada CT yaitu seperti ukuran slice teknik. Di sarana pelayanan radiologi yang menggunakan CT scan penggunaan slice teknik untuk pemeriksaan kepala saja berbeda-beda. Berdasarkan temuan kami dilapangan penggunaan slice teknik itu ada 3 ukuran yaitu 5 cm, 8 cm dan 10 cm. oleh karena itu kami ingin melakukan penelitian tentang “Pengaruh ketebalan irisan terhadap dosis pada Daerah Tepi Dan Pusat Phantom memakai Detektor Ionisasi Chamber”. Dimana sebelumnya kami

telah melakukan penelitian tentang “Analisis Nilai CTDI Pada Daerah Tepi Dan Pusat Phantom memakai Detector Ionisasi Chamber”.

Pada mulanya, dosis CT Scan diperkirakan dengan menghitung dosis rata-rata yang diperoleh dari beberapa *scanning*. Namun, dosis rata-rata yang diperoleh menggunakan waktu lama, akhirnya kurang efisien. Selanjutnya digunakan konsep *CT dose index (CTDI)*²⁻⁴.

CTDI didapatkan dengan menggunakan persamaan integral dari *scanning tunggal*, dibagi dengan ukuran kolimasi³. Metode ini sangat efektif, dengan menggunakan detektor *ionisasi*, dengan alat bantu fantom standar PMAA untuk kepala⁵. Dengan adanya konsep CTDI, maka penentuan dosis untuk CT Scan dapat lebih mudah.

Bahkan semenjak tahun 2002, Pada display monitor console CT Scan nilai CTDI sudah harus ditampilkan.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran nilai CTDI pada pusat phantom dan tepi phantom, sehingga diketahui tingkat perbedaan dari kedua nilai tersebut.

*Email : rostinibpfbmks@gmail.com

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan dan Metode

Bahan CT Scan. CT yang dijadikan obyek adalah MSCT (Hitachi). Detektor yang digunakan adalah detektor *ionisasi*, dengan alat bantu fantom standar PMAA untuk kepala ⁴.



Gambar1. Phantom CTDI

Pengukuran dosis CT-Scan mutlak dilaksanakan pada pengukuran CTDI. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Detektor Ionisasi* dan metode *CTDI*. Metode Detektor Ionisasi paling mudah digunakan yang menghasilkan data yang akurat. Scanning menggunakan protokol kepala aksial dengan 120 kV, slice teknik 10 mm, pitch 1.0 dan FOV 22 cm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Hasil pengukuran dosis pada fantom kepala pada pusat dan tepi phantom ditunjukkan oleh tabel 1. Ini menunjukkan bahwa nilai CTDI untuk berbagai ukuran slice teknik sangat berbeda. Ini dapat dilihat pada bagian tengah, bagian pusat, tepi atas, tepi kanan, tepi bawah dan tepi kiri phantom kepala tidak seragam.

Tabel 1. Hasil pengukuran nilai CTDI pada berbagai slice teknik

No	Posisi Detektor	Hasil Uji CTDI ₁₀₀ (mGy/100 mAs)		
		ST 5 mm	ST 8 mm	ST 10 mm
1	Pusat	24.35	39.216	40,53
2	Tepi atas	24.66	41.147	44,78
3	Tepi kanan	24.13	38.334	43,95
4	Tepi bawah	23.51	35.869	43,10
5	Tepi kiri	24.29	38.789	43,08

Pada table diatas menunjukkan bahwa slice teknik 10 mm menghasilkan CTDI paling tinggi dan paling rendah dihasilkan oleh ukuran slice teknik 5 mm. Kemudian phantom tersebut mempunyai karakteristik tersendiri pencapaian dosis. Pada tepi atas untuk semua ukuran slice memiliki dosis yang paling tinggi dan paling rendah diperoleh tepi bawah, kecuali pada slice teknik 10 mm diperoleh pada tepi kiri.

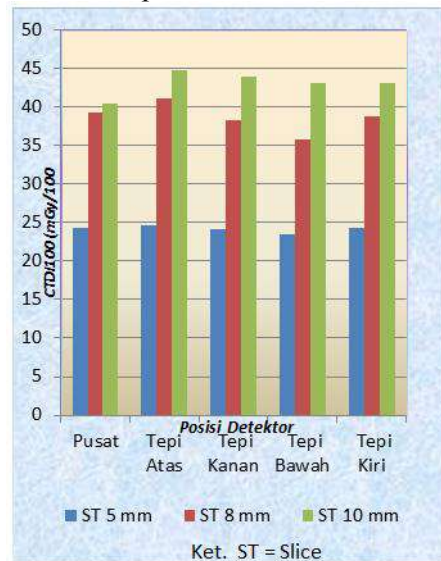
Tabel 2. Persentase perbedaan nilai CTDI

Posisi Detektor	% Deviasi (Slice Teknik 5 mm terhadap 8 mm)	% Deviasi (Slice Teknik 8 mm terhadap 10 mm)
Pusat	37.9	3,2
Tepi atas	40.1	8,1
Tepi kanan	37.0	12,8
Tepi bawah	34.4	16,8
Tepi kiri	37.4	10,0

Pada tabel 1 menunjukkan bahwa slice teknik 10 mm menghasilkan CTDI paling tinggi dan paling rendah dihasilkan oleh ukuran slice teknik 5 mm. Kemudian phantom tersebut mempunyai karakteristik tersendiri pencapaian dosisnya. Pada tepi atas untuk semua ukuran slice memiliki dosis yang paling tinggi dan paling rendah diperoleh tepi bawah, kecuali pada slice teknik 10 mm diperoleh pada tepi kiri. Pada table 2 dapat dikatakan perbedaan yang paling besar terjadi antara slice teknik 5 mm terhadap 8 mm yaitu 40,1 % pada tepi atas phantom, sedangkan perbedaan terkecil diperoleh antara slice teknik 8 mm terhadap 10 mm yaitu 3,2 % pada pusat phantom.

3.2. Pembahasan

Nilai slice thiknes dapat dipilih antara 1 mm sampai 10 mm sesuai dengan pemeriksaan klinis. Untuk lebih mempermudah analisis hasil penelitian, maka kami perlu membuat suatu grafik. Berikut grafik yang memperlihatkan karakteristik setiap nilai CTDI.



Gambar2. Grafik Nilai CTDI Uji

Pada grafik diatas nilai CTDI pada ukuran slice teknik 10 mm lebih besar daripada 8 mm dan 5 mm, ini disebabkan karena luasan intensitas sinar – X keluar lebih besar. Sedangkan CTDI pada tepi atas relative lebih besar jika dibandingkan dengan CTDI yang lain, karena pada bagian atas pintu pertama yang menerima radiasi. Untuk nilai CTDI pada posisi pusat phantom lebih besar daripada tepi bawah, ini disebabkan karena intensitas sinar – X berkurang setelah atenuasi sepanjang phantom. Sedangkan CTDI pada tepi atas relative lebih besar jika dibandingkan dengan CTDI yang lain, karena pada bagian atas pintu pertama yang menerima radiasi. Sehingga perbedaan rata – ratanya adalah 37,4 % antara slice teknik 5 mm terhadap 8 mm dan 10,2 % antara slice teknik 8 mm terhadap 10 mm.

4. KESIMPULAN

Informasi nilai CTDI sangat penting artinya untuk mengetahui output dari suatu scanning CT jika menggunakan beberapa ukuran slice teknik. Telah diketahui perbedaan nilai akibat penggunaan slice teknik tersebut. Yang pada intinya prosedur yang kita gunakan adalah prosedur low dose dengan kualitas gambar yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dwi Siwi Retnoningsih, dkk, 2012, Studi Uniformitas Dosis Radiasi CT Scan pada Fantom Kepala yang Terletak pada Sandaran Kepala. Semarang Jurnal Sains dan Matematika, Vol. 20 (2): 41-45
2. Dawson P. (2004): Patient Dose in Multislice CT: Why Is It Increasing and Does It Matter?, British Journal of Radiology, 77 S10–S13
3. Shope T.B., Gagne R.M. and Johnson G.C. (1981): A Method for Describing The Doses Delivered by Transmission X-ray Computed Tomography, Med. Phys. 8 (4) 488–495.
4. Kalender W.A. (2014): Dose in X-ray Computed Tomography, Phys. Med. Biol. 59 R129–R150
5. McCollough C.H., Leng S., Lifeng Y., Cody D.D., Boone J.M. and McNitt-Gray M.F. (2011): CT Dose Index and Patient Dose: They Are Not The Same Thing, Radiology, 259 (2) 311–316.

Pengaruh Tegangan Tabung Tinggi terhadap Kualitas Gambar, Dosis Radiasi, dan Deteksi Daya Kontras Rendah pada Multidetector CT Kepala : Studi Phantom

Jumriah^{1,2,*}, Syamsir Dewang², Bualkar Abdullah², Dahlang Tahir²

¹Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan, Makassar 90245 Indonesia

²Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Penelitian untuk mengetahui pengaruh tegangan tabung (140 kVp) yang tinggi terhadap kualitas gambar, dosis radiasi, dan kemampuan mendeteksi kontras rendah (CNR) pada CT Scan kepala. Metode yang digunakan adalah melakukan scanning phantom pada tegangan tabung 140 kVp dan 120 kVp, dengan pengaturan waktu arus tabung pada 200, 250 dan 300 mAs. Perbedaan antara noise gambar, kontras noise to ratio (CNR) yang diperoleh dengan 140 kVp dan 120 kVp ada 200, 250 dan 300 mAs kemudian masing-masing dibandingkan. Secara substansi noise gambar menurun dengan penggunaan tegangan tabung tinggi. Namun dosis mengalami kenaikan, nilai CNR antara 120 kVp pada 300 mAs dan 140 kVp pada 200, 250 dan 300 mAs ($P > 0,05$). Dosis relatif yang diberikan pada 140 kVp terhadap 200, 250 dan 300 mAs sama yaitu 61 %. Dengan penambahan tegangan tabung dari 120 kVp menjadi 140 kVp pada CT kepala, dosis radiasi meningkat sebesar 39% tanpa degradasi CNR.

1. PENDAHULUAN

Salah satu modalitas sinar-X yang sering digunakan dalam radiodiagnostik adalah CT Scan. Dalam perkembangannya CT Scan mengalami kemajuan yang cukup pesat mulai dari generasi pertama yang hanya memiliki satu detektor dan menggunakan berkas pensil, hingga saat ini sudah menggunakan Multi Slice detector (MSCT) dan Dual Source CT (DSCT)¹. CT telah mengalami evolusi yang mengarah kepeningkatan resolusi spasial dan resolusi temporal. Resolusi spasial sendiri merupakan salah satu parameter dari kualitas citra. Kualitas citra yang dihasilkan oleh CT Scan menjadi sangat penting untuk diperhatikan, karena citra tersebut akan digunakan untuk diagnosa sebuah penyakit. Jika citra yang dihasilkan tidak baik maka akan berdampak pada kesalahan diagnostik yang dapat mengakibatkan efek biologis pada pasien. Terlebih dari segi penggunaan faktor ekspose, ada sebagian pesawat CT scan yang tidak dilengkapi dengan penggunaan kVp 120 yang menjadi kVp standar untuk pemeriksaan CT scan. Oleh karena itu penulis tertarik untuk meneliti pengaruh penggunaan kVp tinggi

terhadap kualitas Gambar, dosis radiasi, dan deteksi daya kontras rendah.

Yang menjadi tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh tegangan tabung (140 kVp) yang tinggi terhadap kualitas gambar, dosis radiasi, dan kemampuan mendeteksi kontras rendah (CNR) pada CT Scan kepala. Bahan dan metode yang digunakan adalah sebuah phantom padat mengandung empat modul dengan scanning CT pada tegangan tabung 140 dan 120 kVp, dengan pengaturan waktu arus tabung pada 200, 250 dan 300 mAs. Perbedaan antara noise gambar, kontras noise to ratio (CNR) yang diperoleh dengan 140 kVp dan 120 kVp pada 200, 250 dan 300 mAs kemudian masing-masing dibandingkan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Deskripsi Phantom

Phantom ACR akreditasi CT (Gammex 464) adalah sebuah phantom padat yang berisi empat modul, dan terbuat dari bahan yang setara dengan air. Setiap modul berdiameter 4 cm dan 20 cm. Ada tanda pelurusan eksternal yang dicoret dan dicat putih (untuk merefleksikan lampu pelurus) pada setiap modul untuk memungkinkan pemantulan phantom di arah sumbu axial (sumbu z, kranial / kaudal), koronal (sumbu y, anterior /

*Email : jumriah.bpfk@gmail.com

posterior), dan sagital (sumbu x, kiri / kanan). Ada jugatanda "HEAD", "FOOT" dan "TOP" pada phantom untuk membantu penentuan posisi².

2.2. CT Scanning Phantom

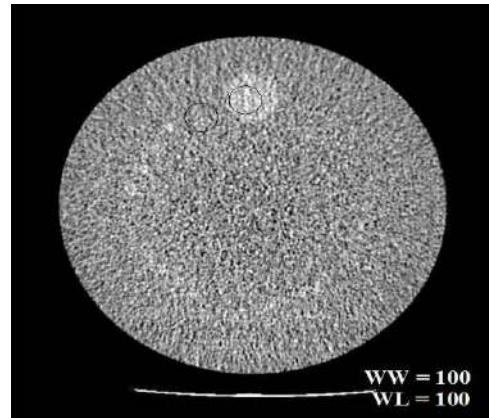
Penelitian ini menggunakan protokol kepala aksial. Scanning dilakukan pada tegangan tabung standar 120 kVp dan pada tegangan tabung tinggi 140 kVp, dengan pengaturan produk arus tabung yaitu 200, 250 dan 300 mAs.

2.3. Pengukuran Dosis Radiasi

Penelitian ini menggunakan indeks dosis CT (CTDIvol) berdasarkan data estimation dosis radiasi. CTDIvol masing-masing kondisi akuisisi yang ditunjukkan pada layar monitor telah dicatat. CTDIvol yang diperoleh pada protokol tegangan tabung standar dibandingkan dengan yang diperoleh pada protokol tegangan tabung tinggi.

2.4. Pengukuran CNR

Pada phantom ACR Modul 2 digunakan untuk menilai resolusi kontras rendah. Modul ini terdiri dari serangkaian silinder dengan diameter yang berbeda, semuanya memiliki perbedaan 0,6% (6 HU) dari bahan latarbelakang yang memiliki nilai CT rata-rata sekitar 90 HU. Kontras silinder ke latar belakang independen, Ada empat silinder untuk masing-masing diameter berikut: 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm dan 6 mm. Ruang antara masing-masing silinder sama dengan diameter silinder. Sebuah silinder 25 mm disertakan untuk memverifikasi tingkat kontras dari silinder ke latar belakang dan untuk menilai rasio kontras terhadap noise. ROI ditempatkan di atas silinder besar (diameter 25 mm) dan antara silinder besar dan silinder 6 mm^{4,5}. Kontras resolusi rendah (CNR) dihitung dengan rumus : $CNR = \frac{A - B}{SD}$, Dalam hal ini, A = Merekam sinyal ROI di dalam silinder 25 mm (target), B = Merekam sinyal ROI di luar silinder 25 mm (Latar belakang), SD = Standar Deviasi dari ROI di luar silinder 25 mm.



Gambar 1. Modul 2 – Resolusi Kontras Rendah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

3.1.1. Dosis Radiasi.

CTDIvol yang diperoleh dari setiap rangkaian kondisi akuisisi ditunjukkan pada Tabel 1. Pada pengaturan produk arus waktu tabung yang sama, CTDIvol yang diperoleh pada 120 kVp kira-kira 61% dari 140 kVp, sehingga dapat menambah radiasi yang diterima pasien sebesar 39 %.

Tabel 1. Nilai CTDIvol pada berbagai kVp dan mAs

Arus tabung – waktu (mAs)	CTDIvol (mGy)	
	120 kVp	140 kVp
200	30.69	54.62
250	38.36	61.81
300	45.86	67.84

3.1.2. Hasil Kualitas Gambar

Hasil dari nilai noise gambar dan CNR pada masing-masing teknik scanning dicantumkan pada Tabel 2. Seperti yang diharapkan, noise gambar berbanding terbalik dengan arus tabung. Pada arus tabung identik, noise terendah dan tertinggi terlihat pada 120 kVp dan 140 kVp (Tabel2). Jika dibandingkan dengan noise yang diperoleh pada 120 kVp dan 300 mAs, noise yang diperoleh dengan 140 kVp pada 200 - 300 mAs lebih rendah (P <0,001) (Tabel 2). Korelasi yang diperoleh sangat tinggi antara CNR dan mAs dengan koefisien korelasi Pearson $r = 0,9967$ (P <0,001) pada 140 kVp dan $r = 0,5192$ (P <0,001) pada 120 kVp. Identik CTDIvol, penggunaan tegangan tabung 140 kVp

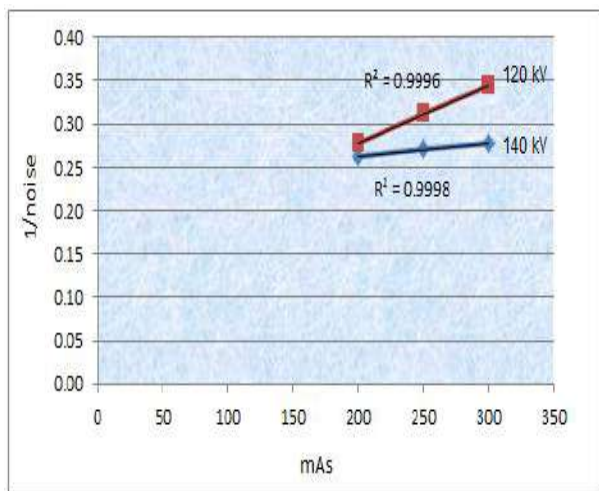
menghasilkan CNR sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan CNR di 120 kVp. Dengan menggunakan uji t Student two-tailed, CNR yang diperoleh pada 140 kVp dan 200-250 mAs secara signifikan lebih tinggi dari pada 120 kVp dan 300 mAs ($P < 0,05$) (Tabel 2). Namun, tidak ada perbedaan yang signifikan secara statistik antara CNR yang diperoleh dengan 140 kVp pada 300 mAs dan CNR diperoleh dengan 120 kVp pada 200 mAs dan 250 mAs ($P > 0,05$) (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai CT Number pada kondisi penyinaran CT Scan

Arus Tabung (mAs)	CT Number		P Value
	120 kVp	140 kVp	
200	-4.0	-3.9	< 0.001
250	-5.4	-5.2	< 0.001
300	-4.1	-4.0	< 0.001

Tabel 3. Nilai Image Noise pada kondisi penyinaran CT Scan

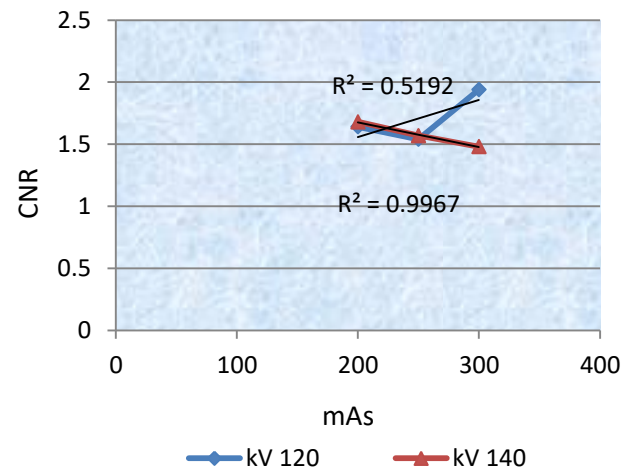
Arus Tabung (mAs)	Image noise		P Value
	120 kVp	140 kVp	
200	3.8	3.6	< 0.001
250	3.7	3.2	< 0.001
300	3.6	2.9	< 0.001



Gambar 2. Hubungan nilai noise dengan mAs

Tabel 4. Nilai CNR pada kondisi penyinaran CT Scan

Arus Tabung (mAs)	CNR		P Value
	120 kVp	140 kVp	
200	1.64	1.68	0.041
250	1.54	1.57	0.032
300	1.94	1.48	0.030



Gambar 3. Hubungan nilai CNR dengan mAs

4.2. Pembahasan

Perkembangan teknologi MSCT sekarang memungkinkan pemeriksaan CT dapat dilakukan dengan mudah dan cepat, yang menyebabkan kemungkinan peningkatan dosis radiasi pada pasien. Secara khusus, paparan radiasi dan risiko kematian akibat kanker dari pemeriksaan CT kepala secara akut meningkat pada beberapa tahap CT scan yang dinamis. Pengelolaan dosis pasien menjadi perhatian utama pada pemeriksaan MSCT kepala. Dalam penelitian ini, kami menggunakan indeks dosis CT (CTDIvol) berdasarkan data dosis pada monitor yang dinyatakan mGy. Adopsi CTDIvol sebagai intensitas dosis radiasi akan memudahkan perbandingan keakuratan dosis radiasi yang digunakan untuk tegangan tabung yang berbeda. Misalnya, dosis radiasi antara tegangan tabung 140 kVp dan 120 kVp. Hasil penelitian kami menunjukkan bahwa adalah mungkin untuk mengurangi radiasipaparan secara substansial

dengan mengurangi tegangan tabung dari 140 kVp sampai 120 kVp. Namun, itu memiliki keterbatasan. Karena CTDIvol adalah dosis rata-rata pada phantom silindris yang homogen, pengukurannya hanya merupakan perkiraan dosis pasien. Keterbatasan lain adalah bahwa phantom CTDIvol tidak memberikan gambaran yang cukup lama mengenai frekuensi karakteristik manusia. Oleh karena itu, pasien harus diestimasi dengan CTDIvol^[2], dan hasil dosis radiasi berdasarkan CTDIvol dalam penelitian kami tidak bisa akurat mewakili dosis pasien. Selanjutnya, perbedaan suhu pada lubang dari phantom juga tidak dapat dilihat dengan menggunakan CTDIvol sebagai perkiraan dosis radiasi. Dalam penelitian ini, temuan kami menunjukkan bahwa ada korelasi langsung antara CNR dan CTDIvol. Meskipun CNR rata-rata berkurang saat akuisisi CT dilakukan pada tegangan tabung 140 kVp dengan susunan arus tabung yang sama, CNR menurun secara substansial saat CTDIvol identik digunakan. Dibandingkan dengan CNR yang didapat pada 120 kVp dan 300 mAs, tidak ada perbedaan yang signifikan secara statistik pada 140 kVp dan 200 mAs dan 250 mAs ($P > 0,05$). Ini menunjukkan bahwa kualitas gambar termasuk CNR diperoleh pada 140 kVp 200 mAs setara yang diperoleh pada 120 kVp dan 300 mAs. Selanjutnya, dosis radiasi relatif yang diperoleh pada 140 kVp dengan 200, 250 mAs masing-masing 61% pada masing-masing 120 kVp dan 300 mAs. Oleh karena itu, kami mengatakan bahwa scanning dengan tegangan tabung tinggi 140 kVp sebaiknya tidak dilakukan (terjadi penambahan dosis sekitar 39 %), kecuali pesawat CT scan tersebut tidak memiliki 120 kVp, karena dengan kondisi 120 kVp gambaran optimal dapat diperoleh.

4.3. Keterbatasan Studi

Kami mengakui bahwa penelitian ini mengandung keterbatasan tertentu. Pertama, scanning CT dengan tegangan tabung tinggi pada 140 kVp hanya dilakukan dalam penelitian phantom, dan phantom tidak mempertimbangkan variabilitas komposisi tubuh, oleh karena itu, apakah hasil ini sesuai

untuk penggunaan klinis yang dilakukan sebelumnya. Namun, penggunaan teknik dengan tegangan tabung tinggi pada 140 kVp sedapat mungkin tidak dilakukan, karena dosis radiasi yang diterima pasien meningkat.

5. KESIMPULAN

Dalam penelitian phantom CT ini, kami telah menunjukkan bahwa walaupun noise gambar menurun pada penggunaan tegangan tabung tinggi tetapi dosis radiasi bertambah hingga 39%. Penurunan CNR dengan menambah tegangan tabung dari 120 kVp sampai 140 kVp tidak terlalu signifikan. Sebagai teknik yang efektif mengurangi dosis radiasi CT, hendaknya menggunakan tegangan tabung dibawah 140 kVp akan memberi manfaat kepada pasien dengan bobot yang relatif ringan, terutama mereka yang mungkin perlu menjalani pemeriksaan MSCT untuk tindak lanjut jangka panjang atau skrining berisiko tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. I. Castellano and J. Geleijns, 2007, *Computed Tomography, Physics for Medical Imaging Applications*, UK and Netherlands, Springer.
2. Weirna Yusanti, dkk, 2014, *Penentuan Quality Control (QC) Resolusi Spasial Pada Citra CT Scan Dengan Metode Line Spread Function (PSF) Menggunakan Phantom AAPM CT*
3. ACR, 2017., *American College of Radiology CT Accreditation Program Testing Instructions*, Revisid : 1- 06 – 2017.
4. Gulliksrud, K., dkk, 2014, *How to measure CT image quality: Variations in CT-numbers, uniformity and low contrast resolution for a CT quality assurance phantom, Committee Task Grup No. 30*, Medical Physics Jurnal, 30 (1-6) 1120 – 1797.
5. D. Marin, R. C. Nelson, E. Samei et al., "Hypervascular liver tumors: low tube voltage, high tube current multidetector CT during late hepatic arterial phase for detection—initial clinical experience," *Radiology*, vol. 251, no. 3, pp. 771–779, 2009.

Studi Linearitas Nomor CT dan Noise Pada Berbagai Ukuran Rekonstruksi Gambar CT Scan

Mulyadin*, Bualkar Abdullar, Dahlang Tahir
Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh ukuran rekonstruksi gambar atau disebut field of view (FOV) dari CT scan terhadap Linearitas nomor CT dan Noise dengan menggunakan phantom American College of Radiology (ACR). Gambar direkonstruksi pada 18, 20, 22 dan 24 cm FOV dengan metode melakukan scanning CT kepala pada phantom ACR. Hasil pengukuran diperoleh nilai keseragaman noise terjadi perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) antara FOV 18 cm dengan ukuran FOV yang lain. Pada nilai linearitas nomor CT, koefisien korelasi yang diperoleh masing – masing ukuran FOV diatas 0,99 yaitu nomor CT yang dihasilkan selaras dengan nilai kerapatan (densitas) electron material dalam phantom ACR. Penelitian ini mengacu pada standar yang dikeluarkan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nasional (BAPETEN).

Kata Kunci : Phantom ACR, Ukuran Rekonstruksi gambar.

1. PENDAHULUAN

Noise adalah keanekaragaman nomor CT pada jaringan atau materi yang sama. Noise dapat diperoleh dengan menghitung standar deviasi (σ) dari nilai nomor CT. Pada citra CT-Scan dengan material yang sama (misalnya air), maka nilai nomor CT yang diperoleh beranekaragam. Jika keanekaragaman nilai nomor CT kecil, maka noise yang dihasilkan kecil. Begitu pula hal sebaliknya yaitu jika keanekaragaman nomor CT besar, maka nilai noise yang dihasilkan akan tinggi pula¹.

Untuk memperoleh gambaran optimal dari CT scan sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter karakteristik citra. Karakteristik tersebut adalah spatial resolusi, kontras resolusi, noise, dan *artifact* (cacat gambar), Setiap karakteristik secara umum dipengaruhi oleh beberapa faktor misalnya dosis radiasi, piksel size, field of view (FOV), ketebalan irisan (*slice thickness*), filter rekonstruksi, ukuran pasien, kecepatan rotasi gantry. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh ukuran rekonstruksi gambar atau disebut field of (FOV) terhadap nilai CT number dan noise². Adapun metode dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah : scanning multi slice computed tomography (MSCT) digunakan untuk mengetahui nilai

nomor CT dan noise gambar menggunakan phantom ACR.

2. BAHAN DAN METODE

a. CT Scan.

CT yang dijadikan obyek adalah MSCT Scan.

b. Phantom ACR.

Phantom ACR adalah suatu alat serba guna yang memungkinkan pengujian beberapa parameter gambar CT scan secara efisien. Adapun parameter yang dapat dilakukan pengujian yaitu : akurasi nomor CT, ketebalan irisan, deteksi kontras rendah, deteksi kontras tinggi, keseragaman noise dan keakuratan tebal irisan minimal dari CT scan.

Ada juga tanda "HEAD", "FOOT" dan "TOP" pada phantom untuk membantu penentuan posisi³.



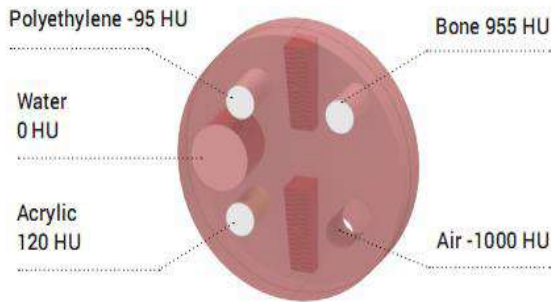
Gambar 1. Phantom ACR

Modul phantom ACR CT ada 4, namun yang dilakukan evaluasi ada 2 modul yaitu sebagai berikut :

1. Modul 1 : digunakan untuk menilai posisi dan keselarasan antara nomor CT dengan

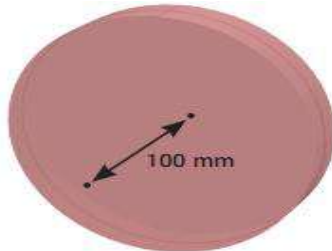
*Email : raihan_moelbr@yahoo.co.id

densitas elektron material dan ketebalan irisan.

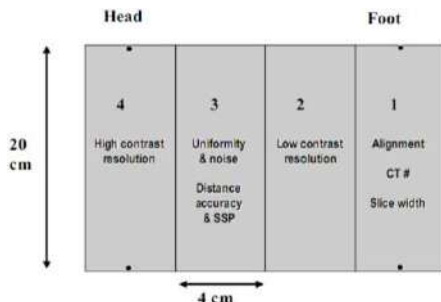


Gambar 2. Modul 1

2. Modul 3 : digunakan untuk menilai akurasi nomor CT, keseragaman nomor CT dan noise.



Gambar 3. Modul 3

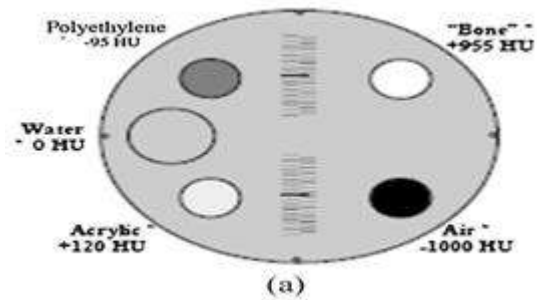


Gambar 4. "HEAD", "FOOT" dan "TOP" pada phantom

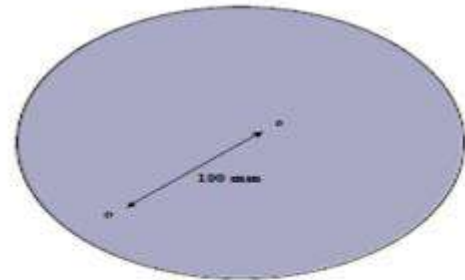
c. Metode

Kami melakukan scanning phantom ACR 464 dengan menggunakan protocol kepala aksial. phantom diatur sejajar dengan sumbu coronal, sagital dan pesawat CT Scan pada sumbu aksial kemudian dipusatkan pada titik tengah meja.^[4] scanning phantom dilakukan pada kondisi 120 kVp, 300 mAs dengan pengaturan field of view (FOV) bervariasi yaitu 18 cm, 20 cm, 22 cm dan 24 cm. Penentuan linearitas CT number dan noise pada monitor, citra diatur pada WW = 100 HU, WL = 0 HU, ROI = 200,01 mm². Untuk linearitas CT number tempatkan ROI pada gambar a : udara, polyethelene, air, acrilik dan tulang. Mencatat setiap nilai dari nomor CT pada lembar kerja. Kemudian dibuatkan kurva untuk mengetahui

keselarasan antara nomor CT dengan kerapatan elektron masing-masing material. sedangkan akurasi nomor CT tempatkan ROI pada gambar b yaitu ditengah, tepi 1 (jam 12), tepi 2 (jam 3), tepi 3 (jam 6) dan tepi 4 (jam 9). Mencatat nilai nomor CT dan noise kedalam lembar kerja. pada monitor, citra diatur pada WW = 100 HU, WL = 0 HU, ROI = 208,81 mm².



(a)



(b)

Gambar 5. Modul phantom ACR

- a) linearitas nomor CT dan ketebalan irisan
- b) keseragaman noise

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil

1. Linearitas nomor CT.

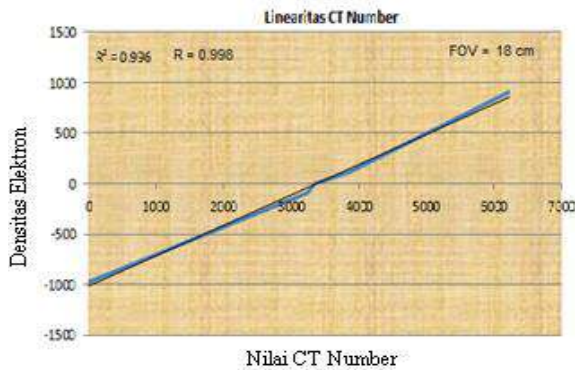
Pada uji ini diperoleh nilai nomor CT pada berbagai ukuran rekonstruksi gambar dari material obyek yang ada dalam phantom citra yaitu udara, polyethelene, air, acrilik dan tulang (tabel 1).

Tabel 1. Nilai CT Number pada berbagai ukuran FOV

No	Material Obyek	Densitas Elektron	Nilai nomor CT			
			FOV 18 cm	FOV 20 cm	FOV 22 cm	FOV 24 cm
1	Udara	4	976.49	975.78	976.22	976.03
2	Polyethelene	3235	92.28	91.72	92.07	91.87
3	Air	3345	1.925	2.57	2.283	2.235
4	Acrylic	3865	121.07	121.9	121.26	121.3

5	Tulang	6220	907. 1	961. 5	961. 1	961. 2
---	--------	------	-----------	-----------	-----------	-----------

Pada tabel diatas tampak nilai nomor CT dari berbagai material obyek terhadap penggunaan berbagai ukuran FOV. Kemudian membuat grafik untuk melihat tingkat korelasi antara nilai nomor CT yang dihasilkan dengan densitas electron material phantom. Adapun tingkat korelasinya yaitu untuk ukuran 18 cm sebesar = 0,998, 20 cm = 0.997, 22 cm = 0.997 dan 24 cm =0.997 (gambar 6). salah satu contoh grafik pada penggunaan FOV 18 cm



Gambar 6. Tingkat korelasi nomor CT dengan densitas electron

2. Keseragaman Noise

Nilai keseragaman noise dinormalisasi pada kondisi 300 mAs dan 8 mm slice teknik (tabel 2).

Tabel 2. Nilai keseragaman noise dari berbagai ukuran FOV

No	Ukuran FOV (cm)	Keseragaman noise
1	18	0,33
2	20	0,32
3	22	0,24
4	24	0.08

Pada tabel diatas menunjukkan bahwa nilai noise tertinggi diperoleh pada penggunaan FOV 18 cm, sedangkan terendah diperoleh pada penggunaan FOV 24 cm. berdasarkan uji statistik diperoleh nilai p value sebesar 0,002 dengan nilai p sebesar 0,05, artinya bahwa ada perbedaan signifikan pada penggunaan FOV 18 cm, 20 cm, 22 cm, 24 cm. Berarti ada pengaruh penggunaan ukuran FOV dengan keseragaman noise.

b. Pembahasan

Ukuran rekonstruksi gambar atau disebut Field of View (FOV) adalah ukuran maksimal dari gambar yang akan disusun. Pada protocol kepala penggunaannya bervariasi yaitu antara 18 cm s/d 24 cm.

Field of View (FOV) sedang, yaitu 20 cm diharapkan gambar yang dihasilkan memiliki spasial resolusi yang baik, noise serta artefak sedikit. Untuk hasil penelitian ini diperoleh nilai noise yang signifikan dari berbagai penggunaan FOV, namun tidak melebihi nilai batas yang diizinkan oleh BAPETEN yaitu ≤ 2 CT. sedangkan untuk linearitas CT number dari berbagai penggunaan FOV mempunyai korelasi yang sangat antara densitas electron dari obyek material dengan nilai CT number. Ini berarti tingkat kerapatan bahan atau obyek setara dengan intensitas yang diserap.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa : Ada hubungan antara ukuran FOV terhadap nilai keseragaman noise yaitu semakin tinggi ukuran FOV, maka nilai keseragaman noise semakin rendah begitu juga sebaliknya. namun linearitas CT number hampir semua ukuran FOV memberikan koefisien korelasi yang berdekatan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bushong, S.C.2001. *Radiologic Science for Technologist, Fourt Edition*, Mosby Company, Toronto.
2. Seerem, Euclid (2001), *Computed Tomography, Physical Principles, Clinical Application and Quality Control*. Philadelphia, W.B. Saunders Company.
3. ACR, 2017., *American College of Radiology CT Accreditation Program Testing Instructions*, Revisid : 1- 06 – 2017.
4. AAPM, 2002, *Quality Control in Diagnostic Radiologi, AAPM Report NO. 74, Medical Physics Publishing, Medison, USA.*

Evaluasi quality assurance parameter signal noise ratio (SNR) pada MRI 1.5 tesla di rumah sakit Awal Bros Makassar

Purwanto^{1,2}, Bualkar Abdullah³, and Dahlang Tahir³

¹Department Radiologi RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar

²Department Radiologi Rumah Sakit Awal Bros Makassar

³Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin Makassar

Abstrak

Penelitian bertujuan untuk mengetahui nilai Signal to Noise Ratio (SNR) dan factor yang mempengaruhi nilai SNR dalam pencitraan MRI sebagai implementasi pelaksanaan quality assurance. Variasi nilai TR (time repetition) dan TE (time echo) dilakukan untuk evaluasi kinerja alat MRI. Penelitian dilakukan di rumah sakit Awal Bros Makassar dengan menggunakan pesawat MRI dengan kuat medan magnet eksternal 1.5 Tesla dan phantom bawaan pabrikan dengan menggunakan parameter scanning standar dari *American College of Radiology* (ACR). Hasil penelitian diperoleh nilai SNR maksimal pada pembobotan tertimbang T1W 226.280 ± 7.758 sedangkan nilai rata-rata SNR pada pembobotan T2W sebesar 125.350 ± 4.478 sedangkan nilai noise masing-masing dari dua pembobotan tertimbang T1W dan T2W adalah 4.545 ± 0.1635 dan 4.527 ± 0.1272 . Nilai PUI (percent uniformity integral) pada pembobotan T1W sebesar 98.43% dan T2W sebesar 98.58%. Pada variasi nilai TR (time repetition) rentang 17ms – 43 ms dengan nilai TE 9 ms didapatkan nilai SNR sebesar 46.508 ± 11.694 sedangkan variasi nilai TE pada rentang 8 ms – 26 ms dengan TR 40 ms menghasilkan nilai SNR 58.910 ± 13.3819 dan nilai noise 5.08 ± 1.549 dan 4.120 ± 0.2974 . Hasil penelitian secara keseluruhan aspek parameter nilai Signal to Noise Ratio (SNR) alat MRI pada medan magnet eksternal 1.5 Tesla dalam kondisi yang layak.

Kata Kunci : *Magnetic Resonance Imaging (MRI), Signal to Noise Ratio (SNR), PUI (percent uniformity integral), Time Repetition (TR) dan Time Echo (TE).*

1. PENDAHULUAN

Magnetic Resonance Imaging (MRI) merupakan pencitraan peralatan medic yang sangat rumit dan kompleks, melibatkan multidisiplin keilmuan seperti fisika material, kimia, biologi, dan teknik. Cara tentang magnet superkonduktive, cryogenics, fisika kuantum, analisis signal, digital dan computer [1-2]. MRI yang utama menggunakan property atom hydrogen yang tersedia berlimpah ditubuh pada kisaran 70% hingga 90 % jaringan tubuh kita. Manfaat pencitraan MRI adalah dapat memberikan informasi anatomi secara detail jaringan tubuh dengan potongan irisan multiplanar (aksial, sagittal dan koronal) sekaligus hingga menjadi alat penagak diagnose penyakit yang sangat penting [3].

Pencitraan MRI menjadi prosedur pemeriksaan medis yang rumit dan kompleks dalam dunia kedokteran, standard yang digunakan adalah MRI harus menghasilkan akurasi diagnose yang tinggi.

Permasalahannya adalah kualitas citra (*image quality*) MRI sangat rentan berubah bergantung oleh beberapa factor seperti kondisi teknik alat maupun pemilihan parameter citra. Solusi dari masalah di atas adalah, departemen radiologi harus mempunyai suatu prosedur atau pedoman untuk menjamin konsistensi atau keajegan hasil citra yang sama dalam setiap procedure pemeriksaan MRI. Salah satu prosedur penjaminan mutu kualitas citra MRI dikenal dengan istilah *quality assurance* (QA) MRI yang harus dilakukan secara regular dan terus menerus [1,4-5].

Salah satu standard evaluasi *quality assurance* (MRI) dikeluarkan oleh American College of Radiology (ACR) dengan menggunakan phantom khusus. Ada tujuh parameter yang dievaluasi seperti akurasi geometrik, resolusi kontras tinggi, akurasi ketebalan irisan, akurasi posisi irisan, keseragaman intensitas citra, prosentase signal ghosting, dan deteksi objek dengan kontras yang rendah [5]. Ada banyak kesulitan yang

*Email : purwanto.wahidin@gmail.com

ditemui apabila menggunakan standard ACR pada pelaksanaan evaluasi *quality assurance* (MRI) seperti harga phantom yang sangat mahal sehingga tidak semua departemen radiologi mempunyai phantom tersebut.

Standar lain yang direkomendasikan untuk evaluasi *quality assurance* (MRI) direkomendasikan oleh *European Economic Communities* (EEC). Ada beberapa parameter evaluasi citra yang direkomendasikan mulai distorsi geometric, spatial resolusi, keseragaman signal, signal noise ratio (SNR), kontras noise ratio (CNR), dan ketebalan irisan. Parameter citra standard *European Economic Communities* (EEC) ini apabila kita teliti pada prinsipnya adalah evaluasi signal dalam pencitraan MRI. Oleh karena itu umumnya vendor produsen alat penyedia MRI mensertakan phantom khusus untuk evaluasi *quality assurance* (MRI) yang berhubungan dengan produksi signal MRI.

Berdasarkan hal tersebut di atas maka penelitian ini bertujuan untuk melihat kinerja alat MRI dengan kuat medan magnet eksternal 1.5 Tesla di departemen radiologi rumah sakit Awal Bros Makasar dari aspek parameter kualitas citra *Signal to Noise Ratio* (SNR) sebagai implementasi prosedur untuk menjamin kualitas citra MRI selalu baik.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. MRI Phantom *Signal Noise to Ratio* (SNR)

Penelitian ini bersifat eksperimen menggunakan objek phantom MRI dengan kuat medan magnet 1.5 Tesla merk GE (General Electric) type Brivo 355. Tempat penelitian di bagian departemen radiologi rumah sakit Awal Bros Makassar, periode bulan Mei-Juni 2018. Sebuah phantom bawaan alat MRI dengan spesifikasi material $\text{CuSO}_4\text{H}_2\text{O}$ MSDS 8363922 pabrikan *General Electric Company* USA. Nomor model 22744Ree5 dengan berat 18.48 kg sebagai ganti objek kepala. Akuisisi citra MRI dibuat pada sekuvens SE (*Spin Echo*) pada pembobotan TIW dan T2W sesuai dengan rekomendasi American College of Radiology (ACR) [5].

Berikut adalah parameter scanning untuk pembobotan TIW : TR (time repetition/waktu pengulangan gelombang RF(radiofrequency)) =500 ms, TE (waktu terjadinya echo/time echo)= 20 ms. Ketebalan potongan irisan 5 mm, tebal irisan gap 5 mm, jumlah eksitasi

(number of excitation /NEX) =1, luas pandang (field of view /FOV)= 25 cm, matrix 256x256, total jumlah potongan irisan 11 and total time scanning 2:16 (min:sec). Citra pembobotan T2W dengan menggunakan parameter TR 2000 ms, TE 80 ms, parameter lain sama total time scanning 8:56 (min:sec). Irisan awal sebagai locator digunakan potongan sagittal , pulse sequence spin echo TR 200 ms, TE 20 ms, FOV 25 cm, number of slice 1, slice thickness 20 mm, NEX 1, matrix 256 x 256 and total time scanning 0.56 (min:sec) [5].

Penelitian berikutnya dilakukan untuk mengevaluasi pemilihan parameter scanning yang mempunyai pengaruh dan kontribusi utama terhadap nilai signal pada pencitraan MRI dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$S_o = PD \left[1 - e^{-\frac{TR}{T_1}} \right] \cdot e^{-\frac{TE}{T_2}} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) signal MRI dipengaruhi oleh dua parameter utama. Parameter pertama disebut dengan variable parameter intrinsic dimana parameter ini tidak bias diubah karena melekat dalam objek jaringan. Parameter intrinsic pada persamaan (1) dipengaruhi oleh proton density (PD) jaringan. Proton density (PD) menentukan berapa banyak proton hydrogen dalam suatu sample jaringan. Parameter intrinsic berikutnya adalah T1 atau waktu relaksasi longitudinal dan T2 yang menunjukkan waktu relaksasi transversal dari suatu jaringan [1,6].

Variabel yang mempengaruhi signal yang dapat dilakukan manipulasi adalah TR (time repetition) dan TE (time echo). Nilai TR dan TE pada pencitraan MRI merupakan salah satu variable yang ditentukan oleh seorang operator MRI. Pada penelitian ini, jika ingin mengetahui pengaruh variable pengaturan TR terhadap signal MRI maka parameter lain mulai dari nilai TE= 9 ms, NEX = 1, FOV = 25x35 mm, tebal irisan = 5 mm, slice gap = 5 mm, jumlah potongan irisan = 11 irisan dan penggunaan matrik dipilih 256x192. Berikut adalah variasi parameter TR yang digunakan dalam penelitian mulai 17,20, 23, 26, 29, 31, 34, 37, 40, dan 43 ms dengan nilai TE 9 ms dibuat tetap. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh pengaturan nilai TE terhadap signal MRI, pengaturan TR dan parameter lain pada nilai tetap, nilai TR dipilih yaitu 40 ms . Parameter TE dalam penelitian dibuat pada

nilai TE 8 , 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 dan 24 ms.

2.2. Pengambilan dan Pengolahan Data

Dalam literature ada beberapa metode untuk mengukur nilai SNR (signal to noise ratio) pada citra MRI, Citra pada MRI pada prinsipnya terdiri dari nilai signal MRI dan noise. Noise pada citra MRI tidak mempunyai kontribusi terhadap nilai diagnostic citra MRI. Pada penelitian ini metode untuk mengukur nilai SNR (signal to noise ratio) dilakukan dengan cara mengukur signal dari dua area terpisah pada citra dalam satu gambar dengan menggunakan rumus [6-7] :

$$SNR = \frac{Signal}{Noise} \quad (2)$$

Kebanyakan peralatan MRI opsi Pengukuran nilai region of interest (ROI) dibagian pembrosesan gambar yang dapat mengukur nilai signal MRI. Untuk mengukur nilai SNR dalam penelitian ini tempatkan ROI pada citra MRI di lima titik berbeda pada tengah gambar pada area yang mempunyai kepadatan tinggi sebagai salah satu indicator nilai signal MRI yang tertinggi atau maksimum. Selanjutnya posisikan ROI kedua dengan area maksimum untuk menjangkau nilai noise paling maksimum yang ditempatkan diluar objek

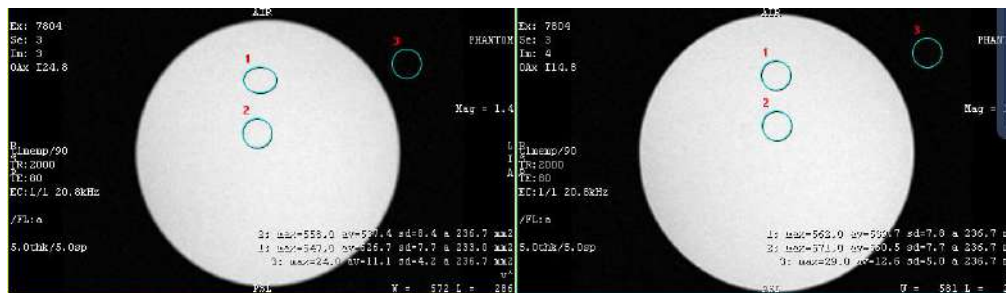
yang dicitrakan. Lakukan prosis ini pada 11 citra phantom MRI dan dicatat pada lembar kertas kerja. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan program Exel dan Ada empat pengukuran untuk setiap kelompok data. $P < 0,05$ dianggap signifikan secara statistik.

3. HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian untuk menilai kinerja performa alat MRI dengan kekuatan medan magnet eksternal 1.5 Tesla dari sisi parameter signal noise ratio (SNR) dilakukan dengan menggunakan phantom bawaan alat pabrik. Parameter scanning dibuat berdasarkan rekomendasi *American College of Radiology* (ACR). Scanning dibuat dengan sekuens spin echo (SE) dengan pembobotan tertimbang citra T1W dan T2W. Ada 11 potongan irisan, nilai signal dan noise diambil sampel pada potongan irisan ke-5 dan ke-6 pada pusat objek. Signal MRI diukur pada citra yang menunjukkan intensitas/kepadatan signal paling tinggi dengan membuat nilai ROI dengan ukuran luas 230.3 mm² di lima tempat berbeda pada area citra MRI. Berikut sampel hasil penelitian citra MRI pada potongan irisan tengah objek slice 5 dan 6



Gambar 1. Hasil citra MRI T1W potongan irisan 5 dan 6. Nilai signal MRI diukur dari nilai ROI diambil nilai rata-ratanya, sedangkan nilai noise diambil dari nilai signal ROI latar atau ROI diluar area objek



Gambar 2. Hasil citra MRI T2W potongan irisan 5 dan 6. Nilai signal MRI diukur dari nilai ROI diambil nilai rata-ratanya, sedangkan nilai noise diambil dari nilai signal ROI latar atau ROI diluar area

Tabel di bawah adalah table yang menunjukkan nilai signal MRI pada pembobotan T1W dan T2W parameter yang digunakan menggunakan

standard American College of Radiology (ACR).

Tabel 1. Nilai SNR dari citra phantom MRI dengan parameter scanning sesuai standar American College of Radiology (ACR).

Titik Pengukuran signal di dalam area objek	Nilai signal objek		Nilai signal noise latar		Nilai SNR	
	T1W	T2W	T1W	T2W	T1W	T2W
1 potongan irisan ke-5	960.7	540.5	4.5	4.3	213.4	125.7
2 potongan irisan ke-5	998.2	554.9	4.5	4.3	219.6	129.0
3 potongan irisan ke-5	1011.8	559.7	4.5	4.3	224.8	130.1
4 potongan irisan ke-5	1008.7	556.1	4.5	4.3	224.1	129.3
5 potongan irisan ke-5	977.8	544.1	4.5	4.3	221.7	126.5
1 potongan irisan ke-6	981.6	548.3	4.3	4.6	228.2	119.2
2 potongan irisan ke-6	1013.5	560.3	4.3	4.6	235.6	121.8
3 potongan irisan ke-6	1022.2	562.0	4.3	4.6	237.7	130.7
4 potongan irisan ke-6	1012.3	560.6	4.3	4.6	235.4	121.9
5 potongan irisan ke-6	978.5	548.8	4.3	4.6	227.7	119.3

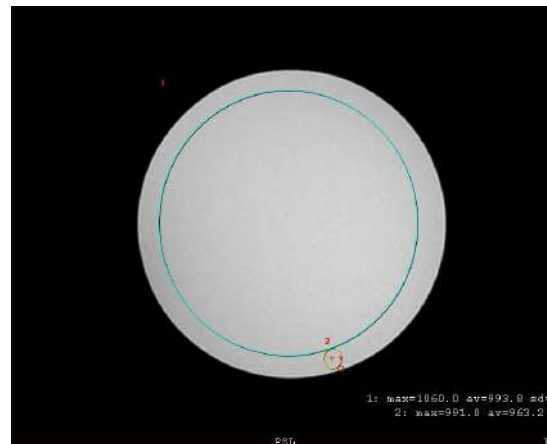
Keterangan : nilai signal noise ratio (SNR) pada table 1 didapat dari persamaan (2)

Tabel 1. Menunjukkan perbandingan nilai SNR dari pencitraan pembobotan T1W dan T2W objek phantom bawaan vendor MRI. Nilai SNR dari pembobotan citra T1W menghasilkan nilai rata-rata SNR 226.280 ± 7.7580 sedangkan nilai rata-rata SNR pada pembobotan T2W sebesar 125.350 ± 4.478 . Terdapat perbedaan nilai SNR pada pembobotan citra T2W bila dibandingkan dengan nilai rata-rata SNR pada pembobotan citra T1W. Hasil uji statistic paired sample t-test menunjukkan nilai $p < 0.05$ sehingga dua SNR dari T1W dan T2W berbeda secara signifikan. Demikian pula distribusi signal pada citra juga menunjukkan perbedaan signifikan berdasarkan uji t-test diperoleh nilai $p=0.000$ sehingga nilai $p < 0.05$. Meskipun secara statistik terdapat perbedaan nilai SNR yang berarti menunjukkan ketidakteraturan nilai signal MRI, American College of Radiology (ACR) membuat standar penilaian untuk uji keseragaman signal dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [5, 7-8] :

$$PUI = 100 \times (1 - (ROI \text{ high signal} - ROI \text{ low signal}) / (ROI \text{ high} + ROI \text{ low})) \quad (3)$$

Dimana adalah PUI (*percent uniformity integral*) yang diukur menggunakan phantom QA MRI standar American College of Radiology (ACR) pada potongan irisan/slice ke-7. Potongan citra irisan/slice ke-7 pada prinsipnya adalah sama dengan semua potongan irisan yang peneliti gunakan dalam

penelitian ini. Hasil perhitungan nilai PUI pada citra dengan pembobotan T1W menghasilkan nilai PUI sebesar 98.43% sedangkan PUI pada pembobotan T2W menghasilkan nilai PUI sebesar 98.58%.

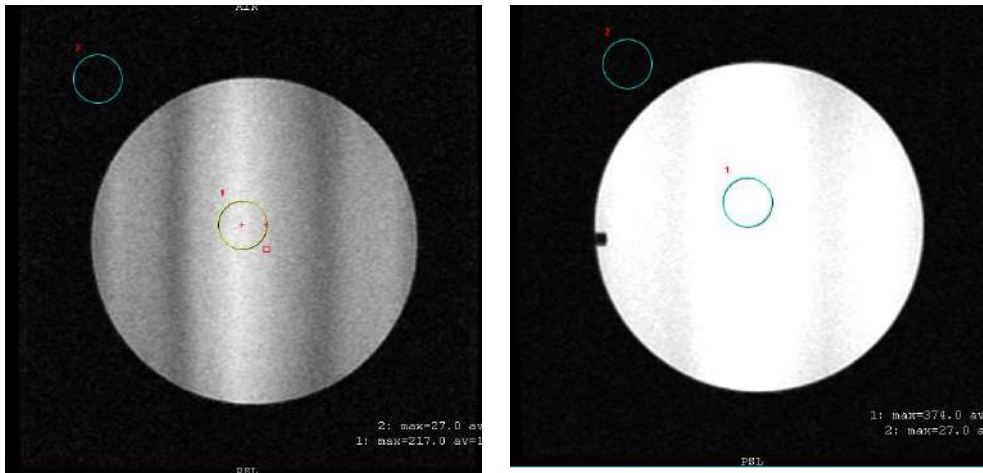


Gambar 3. Pengukuran keseragaman intensitas signal (percent uniformity integral) TIW

Penelitian dilanjutkan, untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter eksternal yang dapat dirubah oleh operator MRI terhadap nilai signal MRI dan noise. Parameter utama dalam pembuatan citra MRI adalah pengaturan nilai TR dan TE. Nilai TR yang disebut sebagai nilai time repetition. Parameter ini menunjukkan waktu pengulangan yang dibutuhkan dari aplikasi pulsa gelombang RF 90° ke gelombang RF 90° . Parameter TR mempunyai satuan dalam ms (milli second)

berpengaruh terhadap nilai signal MRI seperti dalam persamaan (1) utamanya disebabkan jumlah spin relaksasi longitudinal. Sedang parameter nilai TE yang disebut sebagai time echo adalah waktu yang dibutuhkan dari pusat gelombang RF ke pusat echo. TE diukur dalam satuan millisecond (ms). TE

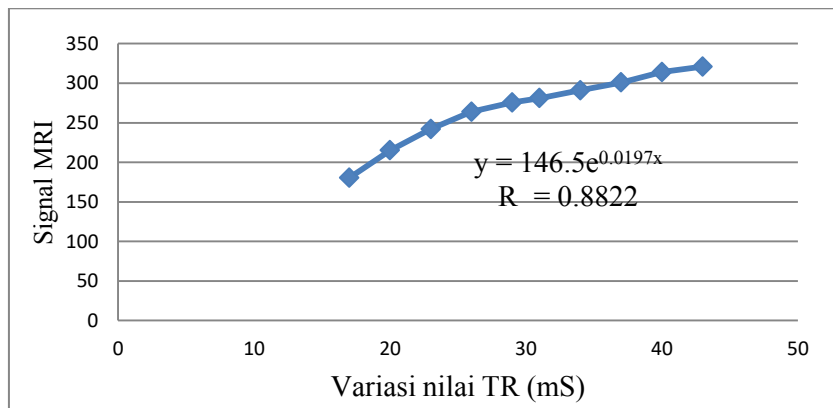
menentukan berapa magnitisasi transversal decay yang terjadi sebelum sinyal dibaca, oleh karena itu TE mengontrol T_2 relaksasi transversal. Berikut adalah hasil citra variasi nilai TR pada pencitraan MRI dengan objek phantom.



Gambar 4. Hasil citra MRI dengan variasi nilai TR 20 ms dan 40 ms dengan parameter nilai TE=9 ms

Hasil analisis citra MRI dengan variasi nilai parameter TR dengan nilai TE tetap, secara kualitatif dapat dilihat pada gambar 3. Nilai citra MRI pada TR 20 ms intensitas signal lebih rendah dari pada citra dengan nilai TR

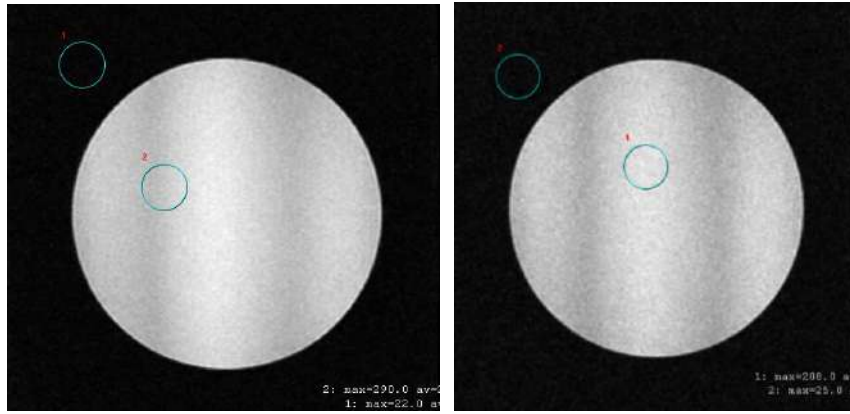
40 ms. Berikutnya citra MRI pada TR 20 ms juga terlihat homogenitas kurang, dari pada citra MRI dengan nilai TR 40 ms. Grafik hubungan nilai TR dan signal MRI dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 5. Grafik hubungan variasi nilai TR dengan signal MRI

Berdasarkan gambar 5. grafik hubungan kenaikan nilai TR pada pencitraan MRI seperti pada grafik di atas, tampak semakin meningkat nilai TR pada pencitraan MRI maka nilai intensitas signal MRI makin meningkat. Ada korelasi yang signifikan hubungan nilai TR

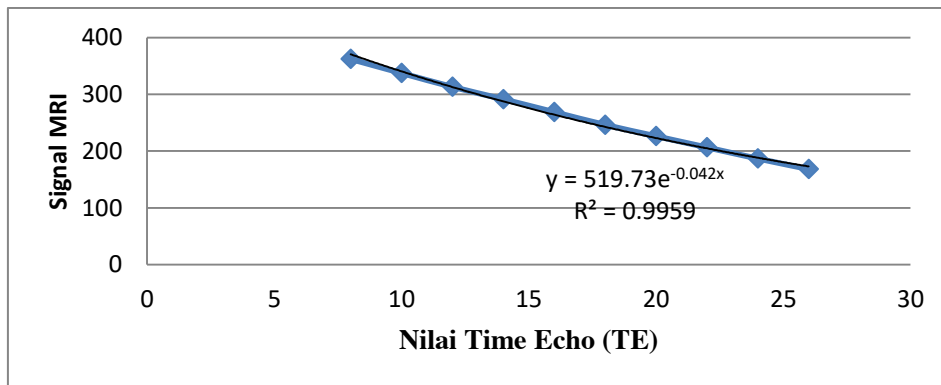
dengan kenaikan nilai signal MRI sebesar 88.22%. Hasil penelitian factor perubahan nilai parameter TE terhadap signal MRI dapat dilihat pada gambar hasil citra variasi nilai TE dengan TR tetap seperti tampak pada gambar di bawah ini :



Gambar 5. Citra MRI vareasi TE 14 ms dan 24 ms, pada nilai TR 40 ms

Gambar 5 menunjukkan citra MRI dengan variasi TE dengan TR tetap menunjukkan, secara kualitatif tampak citra TE rendah (14 ms) mempunyai intensitas signal lebih tinggi dari pada citra dengan nilai TE lebih tinggi (

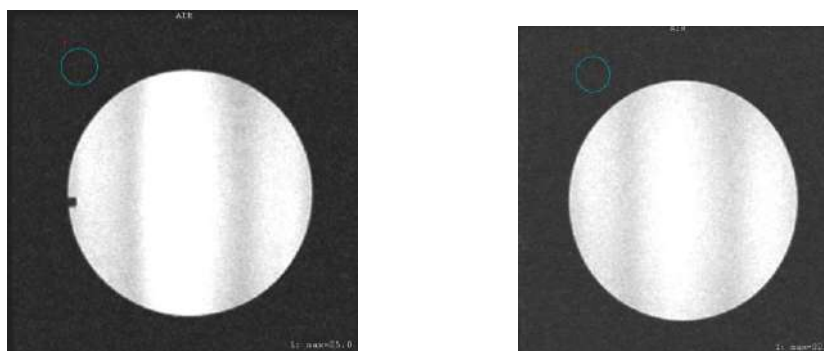
24 ms). Disini tampak semakin meningkat nilai TE maka intensitas signal MRI semakin turun. Berikut adalah grafik yang dapat menunjukkan hubungan kenaikan nilai TE terhadap signal MRI.



Gambar 6. Grafik hubungan variasi nilai TE dengan signal MRI

Berdasarkan grafik hubungan kenaikan nilai TE pada pencitraan MRI seperti pada grafik di atas, tampak semakin meningkat nilai TE pada pencitraan MRI maka nilai intensitas signal MRI makin menurun. Ada korelasi yang signifikan hubungan nilai TE dengan kenikan nilai signal MRI sebesar 99.59%. Penelitian terakhir peneliti juga ingin mengetahui besarnya noise pada alat MRI di department radiologi rumah sakit awal Broses Makassar

yang tidak bersumber pada objek pada pemeriksaan MRI. Sebagaimana kita tahu sumber noise dapat berasal dari luar objek dalam hal ini system alat MRI dan dalam objek itu sendiri. Noise pada prinsipnya adalah turun naiknya sinyal MRI dalam hal ini dapat dilihat pada besarnya nilai standard deviasi (SD) pada nilai ROI yang kita tetapkan diluar objek. Berikut adalah gambar besarnya nilai noise pada variasi nilai TR dan TE :



Gambar 7. Hasil citra citra latar pada pencitraan variasi nilai TR dan TE

Tabel 2. Nilai noise pada citra MRI variasi nilai TR dan TE

No	Noise variasi Nilai TR (ms)	Noise variasi Nilai TE (ms)
1	4.8	4.7
2	5.2	4.2
3	5.1	4.1
4	5.2	4.3
5	4.9	3.5
6	5.2	4.1
7	5.1	4.1
8	5,0	4.2
9	5,0	4.7
10	5.3	4.8

Penelitian terakhir juga dilakukan untuk mengukur nilai noise baik pada pembobotan citra TIW dan T2W dengan objek phantom, parameter scanning rekomendasi *American College of Radiology* (ACR) menghasilkan nilai noise TIW rata-rata 4.545 ± 0.1635 sedangkan pada pembobotan T2W menghasilkan nilai noise (standard deviasi signal latar) sebesar 4.527 ± 0.1272 . Hasil uji t-test antara nilai noise TIW dan T2W menghasilkan nilai $p=0.810$ yang artinya nilai $p > 0.05$ yang artinya noise pada uji phantom menggunakan parameter standard *American College of Radiology* (ACR) tidak menunjukkan nilai perbedaan yang signifikan. Nilai noise dengan variasi TR dengan nilai TE tetap menghasilkan nilai noise rata-rata sebesar 5.08 ± 1.549 sedangkan pada variasi nilai TE dengan TR tetap menghasilkan nilai noise rata-rata 4.120 ± 0.2974 . Hasil uji t-test antara nilai noise TIW dan T2W menghasilkan nilai $p=0.000$ yang artinya nilai $p < 0.05$ yang artinya nilai noise pada variasi TR dan TE terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Ini menunjukkan kinerja alat MRI yang dilakukan sebagai alat penelitian dalam kondisi sangat baik menghasilkan nilai signal MR yang besar sedangkan noise kecil

4. PEMBAHASAN

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan salah satu parameter terpenting dalam menentukan performa kinerja alat MRI. Nilai parameter SNR menjadi pelengkap indicator parameter uji quality assurance (QA) pada alat MRI yang telah direkomendasikan oleh American College of Radiology (ACR). Ada tujuh parameter dalam uji QA MRI meliputi akurasi geometrik, resolusi kontras tinggi, akurasi ketebalan irisan, akurasi posisi irisan, keseragaman intensitas citra, prosentase signal

ghosting. Pengukuran parameter nilai SNR sebagai pelengkap parameter uji quality assurance (QA) pada alat MRI. Pengukuran nilai parameter SNR cukup menggunakan phantom bawaan alat MRI dari pabrikan. Phantom berisi satu bahan material sebagai bahan sumber signal MRI dan dilakukan scanning pada pembobotan T1W dan T2W spin echo (SE) konvensional sesuai rekomendasi American College of Radiology (ACR) [4,6].

Penambahan pengukuran nilai SNR menjadi penting oleh karena pengukuran nilai SNR mudah untuk dilakukan dan phantom uji biasanya tersedia. Alasan lain *Signal to Noise Ratio* (SNR) merupakan hal yang paling menjadi perhatian utama pada aspek kualitas citra MRI. Parameter yang dapat mempengaruhi SNR yang memungkinkan operator untuk mengatur atau memilihnya adalah volume *voxel*, jenis pulsa sekuens, NEX/NSA, pengaturan TR dan TE, jumlah phase-encoding (PE), jumlah sampel data dan *bandwidth*. Selain itu pasien sebagai objek juga menjadi sumber utama yang menyumbang nilai SNR. Optimisasi parameter tersebut dapat dilakukan untuk mendapatkan citra MRI yang lebih bagus. Dengan menaikkan SNR juga akan memperlihatkan perbedaan yang kecil pada jaringan, sehingga dapat meningkatkan contrast to noise ratio (CNR) pada citra MRI. Nilai noise yang tinggi pada citra MRI berakibat menurunkan nilai SNR hingga dapat mempengaruhi citra untuk mendeteksi kelainan yang kecil yang mempunyai tingkat perbedaan nilai kontras yang rendah.

Hasil penelitian pada alat MRI di department radiology rumah sakit Awal Bros Makassar dengan pesawat MRI 1.5 Tesla memberikan nilai SNR yang cukup tinggi pada

pembobotan nilai TIW sebesar 226.280 ± 7.7580 sedangkan nilai rata-rata SNR pada pembobotan T2W sebesar 125.350 ± 4.478 . Sedangkan keseragaman nilai SNR yang dihitung nilai PUI pada pembobotan sebesar 98.43% sedangkan PUI pada pembobotan T2W menghasilkan nilai sebesar 98.58%. Nilai-nilai ini masih dalam rentang yang direkomendasikan oleh American College of Radiology (ACR). nilai percent uniformity integral (PUI) untuk kuat medan magnet dibawah 3.0 Tesla adalah lebih dari 87.5%. Kondisi ini menunjukkan performa kinerja alat masih dalam kondisi sangat baik, sehingga apabila digunakan untuk kepentingan diagnostic mempunyai akurasi yang tinggi.

Salah satu cara untuk meningkatkan dan mengurangi signal MRI adalah pengaturan parameter citra MRI. Penelitian berikutnya dilakukan untuk mengetahui factor yang mempengaruhi nilai signal MRI yang berhubungan dengan pengaturan parameter citra MRI yang dilakukan oleh operator MRI. Ada dua parameter yang berpengaruh terhadap signal MRI seperti pada persamaan (1) yaitu parameter pengaturan TR (time repetition) dan TE (time echo). Hasil uji variasi nilai TR pada rentang (17 ms sampai 43 ms), memperlihatkan peningkatan nilai TR meningkatkan nilai signal MRI. Nilai factor korelasi kenaikan nilai TR dan nilai signal MR mencapai 88.22%, kenaikan mengikuti persamaan eksponensial $y = 146.5 \exp 0.0197x$. Sedangkan hasil uji variasi pengaturan nilai TE pada rentang nilai TE 8 ms hingga 24 ms dengan interval 2 ms, menunjukkan kenaikan nilai TE menurunkan nilai signal MRI. Nilai korelasi atau hubungan kenaikan nilai TE dengan penurunan signal MRI sebesar 99.59% yang mengikuti persamaan eksponensial $y = 519.73 \exp -0.0024x$. Pada pencitraan MRI spin echo (SE) pengaturan nilai TR dan TE selain berpengaruh terhadap naik dan turunnya signal MRI juga nantinya mengontrol nilai kontras citra MRI yang dikenal dengan pembobotan tertimbang. Nilai TR dan TE akan mengontrol nilai T1, T2 dan proton density (kepadatan atom hydrogen) dari jaringan yang bersifat intrinsic [2, 7]. Nantinya hanya ada tiga pembobotan tertimbang citra yang menghasilkan nilai SNR dan CNR yang baik pada citra MRI yang dipakai dalam kepentingan diagnostic medic. Variasi pengaturan nilai TR dan TE tersebut diperoleh dengan konfigurasi TR dan TE pendek

menghasilkan pembobotan tertimbang TIW (T1 weighted), konfigurasi pemelihan TR dan TE panjang menghasilkan pembobotan T2W (T2 weighted) dan yang terakhir konfigurasi nilai TR yang panjang dan nilai TE yang pendek menghasilkan pembobotan PDW (proton density weighted). Konfigurasi pengaturan nilai TR pendek dengan TE panjang tidak digunakan dalam aplikasi medic oleh karena menghasilkan SNR dan CNR yang buruk [2].

Rentang referensi yang tepat umumnya tidak ditentukan, tetapi biasanya panjang TR atau TE kurang lebih 3-5x T1 atau T2 masing-masing jaringan, sementara TR dan TE pendek menyiratkan TR atau TE \ll T1 atau T2. Ketika TE dibuat pendek dibandingkan dengan T2, rasio $TE / T2 \rightarrow 0$, sehingga T2-pembobotan istilah $e^{-TE / T2} \rightarrow e^{-0} \rightarrow 1$. Dengan kata lain, efek T2 sebagian besar hilang. Sebaliknya, ketika TE dibuat lama dibandingkan dengan T2, pentingnya eksponensial pembobotan istilah meningkat.

Cara lain untuk memahami efek TE pada T2-pembobotan adalah untuk mempertimbangkan sinyal yang dihasilkan oleh dua jaringan dengan nilai T2 yang berbeda. Ketika TE pendek, gema atau echo terjadi ketika ada sedikit waktu untuk T2-peluruhan/decay telah terjadi dan karenanya jaringan tidak dibedakan. Jika TE panjang, perbedaan relatif dalam sinyal peluruhan antara dua jaringan menjadi lebih terlihat, dan karenanya lebih T2-berbobot.

Argumen atau alasan serupa dapat dibuat untuk interaksi antara TR dan T1. Ketika TR sudah lama dibandingkan dengan T1, T1-pembobotan istilah $e^{-TR / T1} \rightarrow 0$, sehingga efek T1 menghilang. Pada jaringan TR dunia lama dengan nilai T1 yang berbeda semua memiliki waktu untuk pulih dari pulsa 90° eksitasi, sehingga sinyal mereka tidak berbeda secara dramatis. Sebaliknya, kondisi ini menghasilkan pembobotan T1 dengan pengaturan TR yang singkat TR ini. Akhirnya, ketika TR panjang dan TE pendek, baik T1 dan T2 efek diminimalkan. Faktor-satunya yang tersisa adalah spin-density [PD], yang menjadi bobot dominan untuk itu kombinasi parameter sesuai dengan persamaan (1).

Penelitian terakhir juga dilakukan untuk mengukur nilai noise baik pada pembobotan citra TIW dan T2W dengan objek phantom, parameter scanning rekomendasi *American College of Radiology (ACR)* menghasilkan nilai

noise TIW rata-rata 4.545 ± 0.1635 sedangkan pada pembobotan T2W menghasilkan nilai noise (standard deviasi signal latar) sebesar 4.527 ± 0.1272 . Hasil uji t-test antara nilai noise TIW dan T2W menghasilkan nilai $p=0.810$ yang artinya nilai $p > 0.05$ yang artinya noise pada uji phantom menggunakan parameter standard *American College of Radiology (ACR)* tidak menunjukkan nilai perbedaan yang signifikan. Kondisi ini memperlihatkan signal MR pada penggunaan parameter pembobotan TIW dan T2W tinggi, sedangkan nilai noise relative tidak berubah. Nilai noise dengan variasi TR dengan nilai TE tetap menghasilkan nilai noise rata-rata sebesar 5.08 ± 1.549 sedangkan pada variasi nilai TE dengan TR tetap menghasilkan nilai noise rata-rata 4.120 ± 0.2974 . Hasil uji t-test antara nilai noise TIW dan T2W menghasilkan nilai $p=0.000$ yang artinya nilai $p < 0.05$ yang artinya nilai noise pada variasi TR dan TE terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Kondisi ini sangat dimungkinkan oleh karena penggunaan nilai TR yang sangat rendah sehingga inhomogenitas magnet terjadi. Semakin naik nilai TR maka signal MR akan meningkat sehingga pada kondisi nilai TR 500 ms akan terjadi kondisi nilai signal MR maksimal sementara nilai noise tidak terlalu berubah. Oleh sebab itu perhitungan nilai PUI (*percent uniformity integral*) menunjukkan nilai yang tinggi yang menunjukkan nilai signal MR maksimum sementara nilai noise minimum.

Nilai noise salah satu sumbernya berasal dari komponen perangkat keras (*hardware*) system alat MRI seperti magnet utama, *shim coil* ataupun *gradient coil*. Apabila beberapa *hardware* tadi tidak terawat dan terkalibrasi dengan baik, maka kemungkinan kekuatan medan magnet yang dihasilkan dan tingkat homogenitas medan magnet akan menurun. Sehingga *signal* akan menurun. Apabila penurunan *signal* tidak diikuti dengan penurunan *noise* secara bersamaan, maka SNR juga akan menurun.

5. KESIMPULAN

Pengukuran nilai Signal to Noise Ratio (SNR) pada alat pencitraan Magnetic Resonance Imaging (MRI) merupakan bagian yang penting untuk menilai kinerja system MRI menjadi bagian dari implementasi pelaksanaan quality assurance di bagian radiologi. Nilai SNR menjadi parameter yang sangat penting dalam evaluasi kualitas citra MRI, yang sangat berpengaruh terhadap nilai contrast to noise ration (CNR) yang berfungsi deteksi kelainan patologis terkecil. Pelaksanaanya sangat mungkin untuk dilakukan oleh karena ketersediaan phantom uji bawaan dari pabrikan alat, yang menjadi pelengkap atas pelaksanaan quality assurance yang menggunakan phantom dan tujuh parameter yang direkomendasikan oleh *American College of Radiology (ACR)*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bourel P, Gibon D, Coste E, et al. Automatic quality assessment protocol for MRI equipment. *Med Phys.* 1999;26:2693–2700
- [2] Hashemi, H. Ray and Bradley, G. William, 1997, *MRI : The Basic*, Williams & Wilkins, USA
- [3] Rasad, Sjahrial, dkk, 1992, *Radiologi Diagnostik*, Balai penerbit FKUI, Jakarta
- [4] Chen, C.-C., et al. (2004). "Quality assurance of clinical MRI scanners using ACR MRI phantom: preliminary results." *Journal of digital imaging* 17(4): 279-284.
- [5] Weinreb, J., et al. (2004). "Magnetic Resonance Imaging (MRI) Quality Control Manual." ACR, Reston, VA, Revised
- [6] Bushberg, J. T. and J. M. Boone (2011). *The essential physics of medical imaging*, Lippincott Williams & Wilkins.
- [7] NessAiver, 1996, *All you really need to know About MRI Physics*, University of Maryland Medical Center, USA
- [8] Radiology, A. C. o. (2015). "Magnetic resonance imaging quality control manual." Reston, VA, Revised

Analisis Dosis Radiasi CT Scan Fantom Kepala pada Posisi Titik yang Berbeda

Asmiati Amir*, Sri Suryani, Bualkar Abdullah, Dahlang Tahir
Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Penelitian ini dilakukan dengan cara pengukuran mengukur nilai dosis pada fantom kepala yang diletakkan diatas sandaran kepala CT Scan. Parameter yang divariasikan adalah arus dan tegangan tabung. Untuk arus tabung divariasikan 250 mAs, 300 mAs dan 350 mAs, sedangkan tegangan tabung divariasikan 100 kV dan 120 kV. Pengukuran dosis pada fantom dilakukan di lima titik, yaitu titik 1, 2, 3, 4, dan 5. Pada penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa dosis pada fantom kepala yang diletakkan diatas sandaran kepala menyebabkan dosis di fantom tidak homogen. Diperoleh bahwa dosis dibagian titik tengah fantom lebih rendah 0.15 % jika dibandingkan titik yang lain. Dari riset ini diperoleh bahwa dengan adanya perbedaan jangkauan energi foton pada fantom kepala, maka dosis dibagian tengah fantom lebih kecil dibanding bagian posisi luar fantom .

Kata Kunci : CT Scan, Dosis Radiasi, Dosis Titik, CTDI

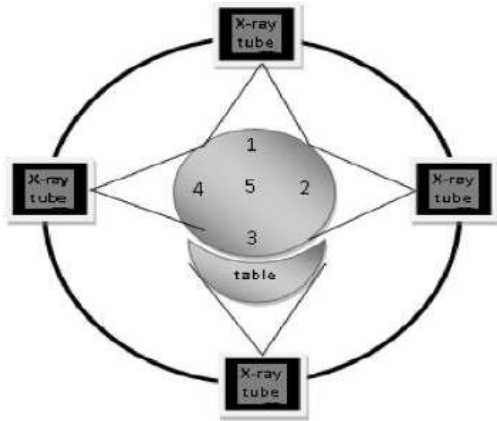
1. PENDAHULUAN

Pada awalnya dosis CT Scan diestimasi dengan suatu besaran yang dinamakan *Multiple Scan Average Dose* (MSAD). MSAD dihitung dari profil dosis beberapa *scanning* sepanjang umur *scanning*, kemudian dilakukan perata-rataan dibagian tengah profil dosis. Namun MSAD ini dibutuhkan waktu yang cukup lama sehingga kurang efektif. Berikutnya dikenal konsep *CT Doses Index* (CTDI) [1,2]. Pada pencitraan thorax dosis efektif CT Scan sebesar 5-7 mSv, sedangkan pada pencitraan thorax radiografi konvensional dosis efektif sebesar 0,1-0,2 mSv [3]. Dosis yang tinggi pada CT Scan bukan hanya berasal dari radiasi primer pada setiap *slice*, tetapi juga berasal dari radiasi hambur di samping *slice* kanan dan kirinya [3]. Pengukuran dosis CT dan CTDI ini biasanya dilakukan pada fantom standar yang berada di udara, bukan fantom yang diletakkan di atas meja [4]. CTDI diperoleh dengan cara mengintegrasikan profil dosis untuk sekali *scanning*, dibagi dengan lebar kolimasi [5]. Semenjak diperkenalkan konsep CTDI ini kemudian menjadi standar konsep dosimetri di seluruh dunia. Riset ini berupaya melakukan dosimetri CT Scan pada fantom kepala, sehingga diharapkan nilai dosis radiasi yang berbeda pada setiap titik pengamatan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara pengukuran mengukur nilai dosis pada fantom kepala yang diletakkan diatas sandaran kepala. Pesawat CT Scan yang digunakan adalah Hitachi 16 *Slice* yang di instal di rumah sakit umum Dadi daerah Makassar. Detektor yang digunakan adalah alat ukur *CT dose profiler analyzer* yang meliputi *CT dose analyzer* dan elektrometer. Peralatan ini digunakan untuk metode *scanning* aksial, sehingga yang diperoleh adalah dosis titik. Fantom yang digunakan adalah fantom *acrylic* silindris PMMA yang berdiameter 16 cm. Parameter yang divariasikan adalah arus dan tegangan tabung. Untuk arus tabung divariasikan 250 mAs, 300 mAs dan 350 mAs, sedangkan tegangan tabung divariasikan 100 kV dan 120 kV. Pengukuran dosis pada fantom dilakukan di lima titik, yaitu titik 1, 2, 3, 4, dan 5. Dari dosis lima titik ini dapat diketahui uniformitas dosis pada fantom kepala.

*Email : asmiatiamir712@gmail.com



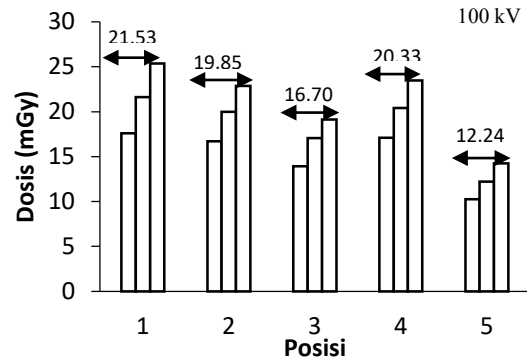
Gambar 1. Posisi penempatan detektor pada fantom kepala.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

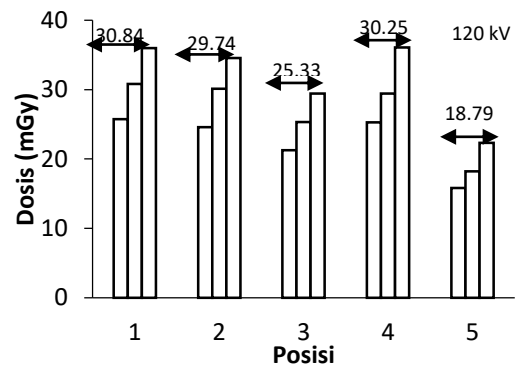
1. Homogenitas Dosis pada Tegangan (kV)
 Hasil pengukuran titik pada fantom kepala untuk variasi arus ditunjukkan jumlah radiasi foton meningkat dengan kenaikan arus yang kemudian meningkatkan dosis. Tampak juga bahwa kenaikan tegangan juga meningkatkan nilai dosis. Hal ini karena, kenaikan dosis juga menyebabkan kenaikan jumlah foton. Tabel 1 merupakan hasil pengukuran pada tegangan 100 kV dan 120 kV. Tampak bahwa kenaikan tegangan menyebabkan kenaikan dosis, hal ini karena energi rerata foton. Kenaikan jumlah foton ini menyebabkan kenaikan jumlah dosis.

Tabel 1. Dosis pada 5 titik (fantom) - tegangan tabung.

Tegangan (kV)	Dosis (mGy) pada Posisi				
	1	2	3	4	5
100	17,59	16,72	13,92	17,09	10,25
	21,64	19,98	17,07	20,42	12,22
	25,36	22,86	19,12	23,48	14,26
120	25,74	24,59	21,25	25,29	15,82
	30,79	30,1	25,32	29,41	18,23
	36	34,53	29,43	36,07	22,33

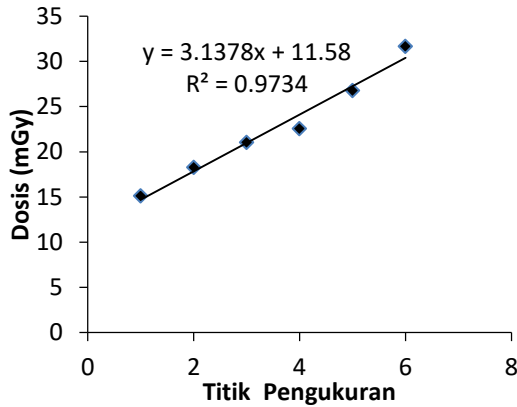


Gambar 2. Pola dosis terhadap 100 kV.



Gambar 3. Pola dosis terhadap 120 kV.

Pada gambar 2 dan 3 terlihat bahwa nilai dosis tidak homogen, sehingga timbul nilai perbedaan rerata dosis yang ditunjukkan oleh masing-masing bagan terhadap posisi yang berbeda. Perbedaan tersebut tampak posisi 1 lebih besar nilai dosis rerata (21,53) mGy untuk tegangan 100 kV dan (30,84) mGy untuk tegangan 120 kV. Sementara titik 5 untuk masing-masing tegangan merupakan dosis paling rendah. Tampak nilai (12,24) mGy untuk tegangan 100 kV dan (18,79) mGy untuk 120 kV. Perbedaan ini terjadi karena daya jangkauan energi foton yang berbeda pada masing-masing titik. Pada posisi titik 2, 3, dan 4 memperlihatkan besarnya dosis relatif sama, sehingga perbedaan reratanya tidak jauh signifikan.



Gambar 4. Relasi dosis terhadap titik pengukuran.

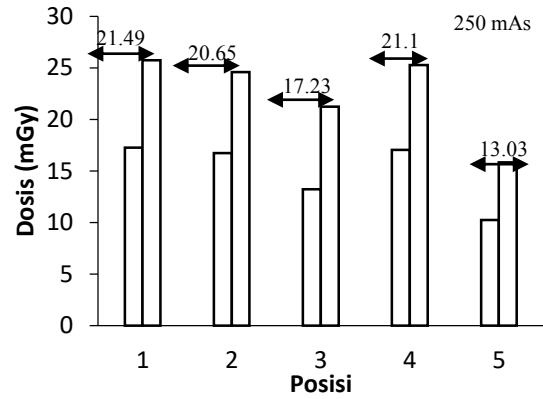
Pada riset diperoleh bahwa adanya perbedaan titik pengukuran, maka memperlihatkan nilai rerata dosis yang berbeda. Sehingga pada titik pengukuran yang berbeda mempresentasikan nilai yang berpengaruh terhadap kenaikan jumlah dosis. Gambar 4 merupakan pengaruh jumlah titik poin pengukuran terhadap nilai perubahan dosis sehingga tampak linieritas sebesar ($y = 3,1378x + 11,58$). Nilai ini menunjukkan akar perubahan tegangan yang mempengaruhi jumlah dosis yang dihasilkan pada pengukuran. Oleh sebab itu pemeriksaan kepala, terutama bagian mata adalah organ yang dianggap paling sensitif yang harus dilindungi dan diusahakan mendapatkan dosis radiasi serendah mungkin. Sedangkan pada bagian tengah isi kepala harus mengikuti aturan pemberian dosis yang lebih efektif, sehingga bisa menjangkau titik fokus penyakit yang menjadi sasaran energi radiasi.

2. Homogenitas Dosis pada Arus (mAs)

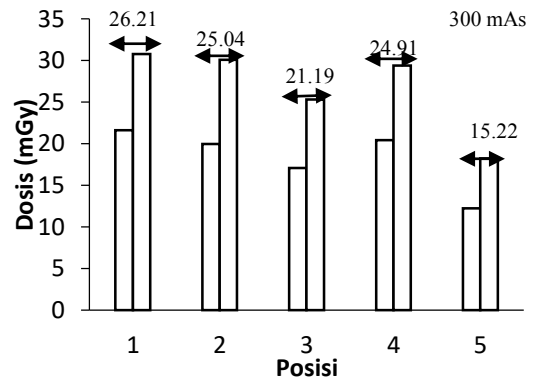
Hasil pengukuran pada fantom kepala untuk variasi arus ditunjukkan oleh tabel 2.

Tabel 2. Dosis pada 5 titik (fantom) – arus tabung.

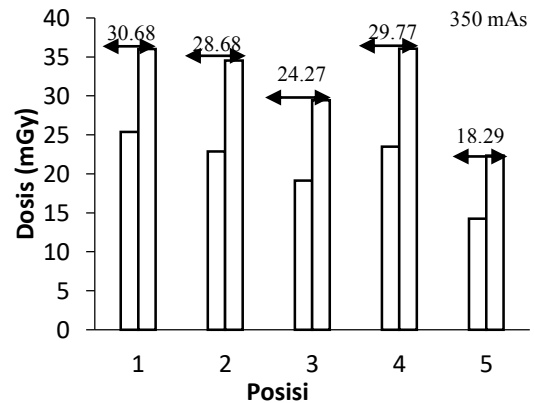
Arus Listrik (mAs)	Dosis (mGy) pada Posisi				
	1	2	3	4	5
250	17,2	16,7	13,2	17,0	10,2
	5	2	1	5	5
300	25,7	24,5	21,2	25,2	15,8
	4	9	5	9	2
350	21,6	19,9	17,0	20,4	12,2
	4	8	7	2	2
350	30,7	30,1	25,3	29,4	18,2
	9	3	2	1	3
350	25,3	22,8	19,1	23,4	14,2
	6	6	2	8	6
350	36	34,5	29,4	36,0	22,3
	3	3	3	7	3



Gambar 5. Pola dosis terhadap 120 kV.

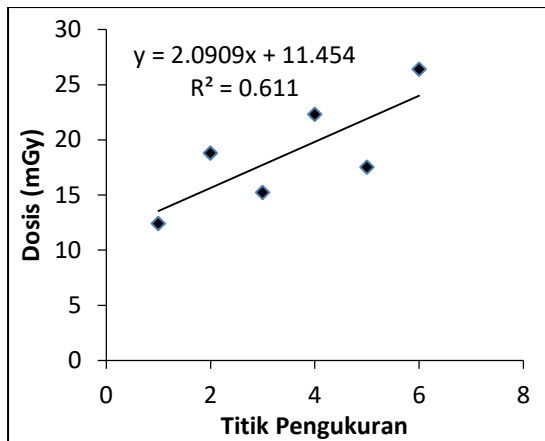


Gambar 6. Pola dosis terhadap 300 mAs.



Gambar 7. Pola dosis terhadap 350 mAs.

Pada gambar 5, 6 dan 7 merupakan nilai rerata dosis terhadap perubahan arus listrik. Tampak bahwa perbedaan posisi dan arus listrik menunjukkan nilai rerata dosis yang berbeda, sehingga posisi pada titik 5 memiliki nilai dosis yang paling rendah jika dibandingkan dengan titik yang lain. Terlihat pada bagan masing-masing pada titik 5 (250, 300 dan 350) mAs beturut-turut dosis (13,03 – 15,22 – 18,29) mGy.



Gambar 8. Relasi dosis terhadap titik pengukuran.

Data relasi dosis pada gambar 8 memperlihatkan perbedaan antara beberapa titik pengukuran berdasarkan perubahan nilai kuat arus listrik sehingga menghasilkan dosis yang berbeda. Hasil akumulasi nilai dosis menunjukkan pengaruh secara linieritas ($R^2 = 0,611$). Untuk memperkuat hasil riset, perlu dilakukan pengukuran CDTI secara langsung pada lima titik tersebut.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini diperoleh bahwa pengukuran dosis menggunakan fantom kepala menyebabkan dosis di fantom tidak homogen. Diperoleh dosis di bagian titik tengah fantom lebih kecil (titik 5) daripada bagian titik fantom yang lain. Nilai tegangan (kV) dan arus listrik (mAs) sangat berpengaruh terhadap perubahan dosis, sehingga menghasilkan rentang masing-masing dosis yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shope T.B., Gagne R.M and Johnson G.C. (1981): A Methode for Dscibing The Doses Delivered by Transmission X-Ray Computed Tomography, *Med. Phys.* 8 (4) 488-495.
- [2] Kalender W.A. (2014): Dose in X-Ray Computed Tomography, *Phys. Med. Biol.* 59 R129-R150.
- [3] Baush J. A., Vrieze T. J., Primak A.N., Bruesewitz M. R., dan McCollough C. H., 2008, *CT Dosimetry: Comparison of Measurement Techniques and Devices*, *Radio Graphys*, 28 (1) 245-253.
- [4] Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt E. M., and Boone, J. M. (2002): *The Essential Physics of Medical Imaging*, Lippicott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- [5] Seram E. (2001): *Computed Tomography: Physical Principles, Clinical Application and Quality Control*, W.B. Saunders Company.

Pengaruh Faktor Ekspose Terhadap Derau Citra Berbasis Citra CT Scan

Nur Hafni Zain*, Bualkar Abdullah, Halmar Halide

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Telah dilakukan penelitian dalam menganalisa kualitas berupa derau untuk mengetahui pengaruh faktor ekspose terhadap derau citra. Pada penelitian ini menggunakan CT scan multislice merk GE, fantom merk gammex dengan faktor eksposi berupa arus tabung 100 mA, waktu 1 sekon, ketebalan irisan 5 mm dan tegangan tabung yaitu 80 dan 140 kVp. Selanjutnya citra hasil rekonstruksi dianalisis kualitas citranya dengan pengukuran pada daerah ROI pusat dan tepi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada tegangan tabung 140 kVp nilai derau citranya lebih kecil dibandingkan pada 80 kVp. Dari kisaran data, menunjukkan semakin tingginya tegangan tabung diikuti dengan menurunnya derau citra, hal ini karena energy sinar-x yang dihasilkan tinggi sehingga daya tembus foton terhadap jaringannya tinggi

Kata Kunci: CT Scan, Derau Citra, Faktor eksposi Multi Slice.

1. PENDAHULUAN

Computed tomography scan (CT) adalah teknologi pencitraan medis cross-sectional diperkenalkan pada tahun 1972 oleh insinyur Inggris Godfrey Hounsfield. Computed tomography adalah modalitas radiologi pertama yang membutuhkan penggunaan komputer untuk memindai organ internal tubuh. Teknologi ini menciptakan data berdasarkan tingkat atenuasi yang berbeda dari area dipindai¹.

Pengukuran citra CT scan sedikit berbeda dengan radiografi biasa, karena memiliki cara tersendiri. Kemudian artefak, spasial resolusi, kontras dan derau (noise) merupakan parameter penilaian kualitas pada citra CT. Derau citra (noise) merupakan fluktuasi nilai CTN untuk jaringan yang homogen dan merupakan salah satu parameter dalam penilaian kualitas gambar CT scan CT scan yang baik atau tidak diukur dalam parameter dan cara tersendiri yang sedikit berbeda dengan radiografi biasa. Kualitas citra CT scan biasanya dinilai berdasarkan parameter kontras, resolusi spasial, derau (noise) dan artefak pada citra yang diperoleh²⁻³.

Derau citra (noise) merupakan fluktuasi nilai CT number pada jaringan yang homogen dan merupakan salah satu parameter dalam penilaian kualitas gambar CT scan. Semakin rendah index derau citra, maka kualitas gambar yang dihasilkan pada CT Scan akan semakin baik.

Semakin rendah index derau citra, maka gambar yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik. Sedangkan index derau citra yang semakin tinggi maka gambar akan semakin menurun kualitasnya. Terlalu besarnya nilai noise akan menimbulkan artefak, hal ini berarti resolusi kontras dari gambaran CT Scan dapat terganggu yang akhirnya akan mempengaruhi keakuratan diagnosa. Dalam menjaga kualitas dan kestabilan pengukuran maka dari itu perlu adanya control kualitas sebagai evaluasi. Derau dapat didefinisikan sebagai standar deviasi (s) suatu matrik citra (piksel) menggunakan persamaan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad 1$$

Dimana x_i merupakan CT number masing-masing, dan \bar{x} nilai rata-rata dari semua nilai CT number dan n adalah jumlah dari nilai-nilai CT number yang dirata-ratakan.

Derau pada citra CT Scan dapat diketahui dengan cara uji cross field uniformity CT number (CTN). Uniformity CTN didefinisikan sebagai nilai keseragaman CT number air yang terlihat pada citra. Oleh karena itu, derau citra diartikan sebagai standar deviasi dari CTN dengan satuan Hounsfield Unit (HU) atau jumlah intensitas piksel dari citra.

derau CT juga disebutkan tergantung pada jumlah foton yang diterima oleh detector (derau quantum). Derau citra menurun, ketika

*Email: nurhafnizain@gmail.com

jumlah foton yang diterima oleh detector meningkat⁴⁻⁵.

Pengukuran derau dengan cara scanning phantom yang memiliki diameter sekitar 20 cm, kemudian pemberian tanda ROI (Region of Interest) pada daerah pusat dan tepi citra.

Hasil mean CTN untuk setiap ROI diharapkan memiliki nilai yang seragam. kriteria mean CTN air menurut American College of Radiology bahwa jika nilai tersebut masih dalam standar dengan nilai di dalam rentang 0 ± 5 HU maka nilai tersebut masih dalam batas toleransi. Di atas rentang nilai tersebut dapat terjadi noise dan artefak. *Image quality* dalam hal ini kontras resolusi dan derau (noise) tergantung pada produksi sinar-X yang berarti pula dipengaruhi oleh mili ampere (mA), waktu (S) dan *tube voltage* (kV). Tegangan tabung merupakan pembangkit sinar-x, sehingga berpengaruh pada intensitas radiasi dan kualitas suatu citra. Pemilihan tegangan tabung yaitu untuk mengacu pada efektivitas energi adanya perubahan pada daya tembus dari sinar-x⁶⁻⁷.

Menurut seeram⁶ evaluasi sebaiknya dilakukan setiap hari yang merupakan salah satu upaya untuk mengurangi derau pada ct scan, seperti yang dilaporkan oleh the American aapm⁵ bahwa pengukuran derau merupakan salah satu tes/uji yang sangat penting dilakukan. Pada pengukuran HU citra CT scan untuk air telah ditentukan besarnya adalah nol dan nilai dari noise dipresentasikan sebagai besarnya angka nilai standar deviasi yang dihasilkan dalam pengukuran ROI⁷⁻⁸.

Bertitik tolak pada uraian tersebut maka penulis tertarik melakukan suatu penelitian dengan tujuan untuk menganalisis adanya pengaruh faktor eksposi variasi tegangan tabung terhadap derau citra CT scan yang dihasilkan.

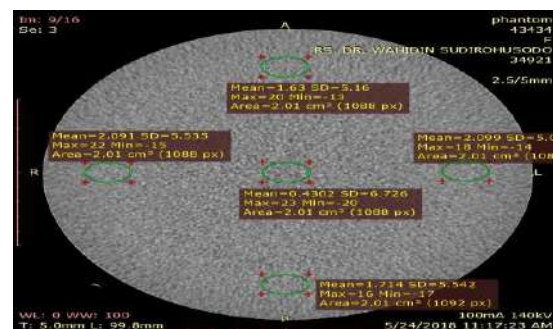
2. BAHAN DAN METODA

Penelitian ini menggunakan pesawat MSCT GE 64 slice, phantom yang berdiameter 20 cm dengan merk pabrikan Gammex. Parameter pemindaian atau faktor eksposi yang diberikan yaitu arus tabung yang sama sebesar 100 mA, ketebalan slice 5 mm dan waktu ekspos 1 sekon. Sedangkan tegangan tabung yang diberikan yaitu 80 dan 140 kV dengan variasi WL dan WD. Tabel 1 menunjukkan parameter utama yang dilakukan dalam penelitian ini

Tabel 1. Parameter Scan

Parameter	GE
Scan mode	Axial
Arus Tabung (mA)	100 mA
Tegangan Tabung (kVp)	80 dan 140 kVp
Waktu	1 Second
Ketebalan slice	5 mm

Setelah pengolahan dan merekonstruksi dilakukan pemindaian dan menghasilkan citra yang akan tersimpan secara otomatis di file DICOM CT. Citra yang didapatkan kemudian diukur dan dianalisa, meliputi keakuratan CTN dan derau. Penganalisaan citra dengan menggunakan aplikasi *Radiant*.



Gambar 1. Posisi dari ROI (region of Interest)

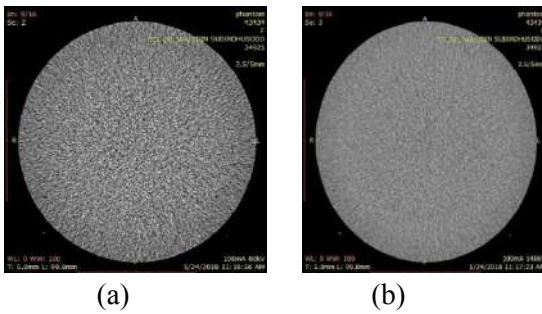
Pada citra DICOM ditarik daerah berbentuk elips yang luasnya $\pm 2 \text{ mm}^2$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Setiap slicenya diambil 5 lokasi ROI (Region of interest) yaitu pusat, tepi atas, tepi kanan, tepi bawah dan tepi kiri. Ini dilakukan pada beberapa citra dan akan mendapatkan nilai intensitas piksel dari citra phantom pada tegangan 80 dan 140 kVp.

Pada penelitian ini variasi nilai derau level ditentukan dari fasilitas ROI yang terdapat pada perangkat monitor pada pesawat CT Scan. Dan data yang diperoleh akan dihitung nilai derau. penelitian ini akan mendapatkan besarnya nilai standar deviasi dari CT number yang diartikan sebagai nilai derau terukur. Berdasarkan variasi tegangan tabung yang digunakan maka akan terlihat perbedaannya yang nantinya akan dianalisa sebagaimana interval perbedaan atau kesergaman yang dihasilkan

3. HASIL DAN BAHASAN

Bananimemuatkeseluruhan data termasuk data yang Derau mengacu pada variasi antara nilai-nilai intensitas piksel (standar deviasi) di wilayah yang homogen. Gambar 2 a dan b

menunjukkan derau gambar pada CT scan pada nilai-nilai tegangan tabung yang berbeda.

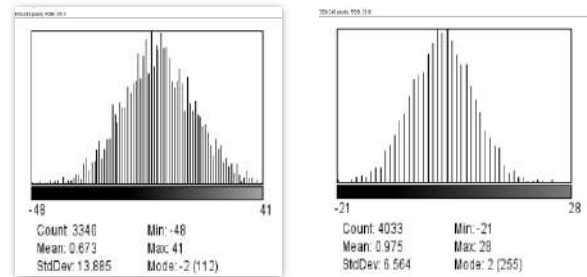


(a) 80 kV (b) 140 kV
Gambar 2.

Dengan menggunakan ROI berdiameter sekitar 200 mm, nilai HU citra A sebesar -1.57 ± 11.89 HU sedangkan citra B 1.77 ± 5.59 HU. Dari perbandingan nilai CT number, dengan tegangan tabung yang diberikan sebesar 80 kV citra A mendapatkan nilai -2.80 HU memiliki derau yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan citra B dengan 140 kV menghasilkan nilai 0.43 HU. Banyaknya derau yang dihasilkan oleh citra A dinilai dari besarnya nilai standar deviasi pada CTN kedua citra, sedangkan citra B memiliki standar deviasi sebesar $5,59$ HU yang lebih rendah dari citra A dengan standar deviasi 11.89 HU. Perbedaan tegangan tabung yang diberikan pada kedua citra menunjukkan adanya kesesuaian bahwa nilai derau berbanding terbalik terhadap besar energi yang digunakan, dimana derau yang lebih sedikit dihasilkan dari tegangan tabung yang lebih besar.

Penggunaan energi yang besar dapat mengurangi ketergantungan koefisien atenuasi pada energi foton, guna mengurangi kontras pada jaringan untuk memproduksi radiasi tinggi pada detector. Dari gambar (3) dapat dilihat bahwa kedua citra (gambar 1) memiliki nilai pixel yang terhitung (*count*) untuk tiap-tiap citra berbeda. Citra A memiliki histogram dengan rata-rata intensitas keabuan (*mean*) sebesar 0.975 , sedangkan citra B dengan rata-rata intensitas keabuan sebesar 0.673 . Hal ini dikarenakan citra B menghasilkan grayscale yang lebih tinggi dibanding citra B sehingga citra A memiliki skala keabuan yang kurang luas dibandingkan dengan citra B dengan intensitas yang tinggi pada setiap level keabuan mendekati nol. Standar deviasi (*Std Dev*) citra A didapat sebesar 13.88 sedang citra B sebesar 6.56 , hal ini menunjukkan bahwa citra B memiliki variasi nilai intensitas

skala keabuan yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan citra A karena skala keabuan citra B lebih homogen dari citra A.



Gambar 3. Histogram citra pada tegangan tabung 80 dan 140 kV

Tingginya standar deviasi dari citra A dipengaruhi oleh banyak derau yang muncul pada citra sehingga menurunkan keseragaman grayscale dari citra tersebut, Intensitas sinar X berpengaruh terhadap tinggi rendahnya densitas suatu citra, hal itu diterima oleh detektor setelah menembus bahan yang dilaluinya. semakin besar intensitas yang dicapai oleh detektor maka densitas citra yang dapat diperoleh semakin baik, semakin sedikit pula derau yang muncul pada citra.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, pada histogram citra fantom homogen yang dipindai dapat dikatakan bahwa skala keabuan citra dengan energi tinggi memiliki nilai rata-rata dan variasi nilai intensitas level keabuan yang lebih kecil dibandingkan dengan citra dengan tegangan tabung yang rendah. Tegangan tabung memudahkan penembusan jaringan oleh foton sinar x sehingga detektor dapat merespon secara optimum

KESIMPULAN

Bagian Hasil analisa yang meliputi analisa keakuratan CT number, derau menunjukkan semakin tingginya tegangan tabung maka derau citra juga ikut menurun, hal ini karena energi sinar-x yang dihasilkan tinggi sehingga daya tembus foton dari sinar x terhadap jaringannya juga tinggi

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak yang membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jacobs, R. and Quiryren M.2014. *Dental cone beam computed tomography: justification for use in planning oral implant*

- placement. *Periodontology* 2000, **66**(1): 203-213.
2. Goldman. Lee W., 2007, *Prinsiples of CT: Radiation Dose And Image Quality*, Journal of Nuclear Medicine Technology.
 3. CIRS, 2012, *AAPM CT Performance Phantom Model 610: User Guide*. CIRS Inc, Virginia.
 4. Gutjahr, R., et al. 2016. *Human Imaging With Photon Counting-Based Computed Tomography at Clinical Dose Levels: Contrast-to-Noise Ratio and Cadaver Studies*. *Investigative radiology*, **51**(7): 421-429.
 5. Goldman, L.W., 2007. *Principles of CT: radiation dose and image quality*. *Journal of nuclear medicine technology*. **35**:213-225; quiz 226-228.
 6. Dabukke H. 2017. Pengaruh Perubahan Tegangan Terhadap Kontras Resolusi pada CT Scan. *Jurnal Mutiara Elektromedik*. Vol 1 No 1.
 7. Lestari AA, Susanto dan Arifin Z. 2014. Analisis Noise Level Hasil Citra Scan Pada Tegangan Tabung 120 dan 135 kV dengan Variasi Ketebalan Irisan (Slice Shticknes). *Youngster Physics Journal*. Vol 3. No 3: 189-196.
 8. Seeram, Euclid, 2001. *Computed Tomography Physical Prinsiples, Clinical Applications, and Quality Control*, W.B Saunders Company.
 9. AAPM Report No 39, 1993, "Specification and Acceptance Testing of Computed Tomography Scanner".
 10. Bushong SC. 2001. *Radiologic Science for Technologist Physisx, Biologic and Protection*, The CV. Mosby Company, United States of America.

Analisa Nilai Penyimpangan Parameter Uji Pesawat Sinar-X Konvensional di Rumah Sakit Wilayah Provinsi Sulawesi Selatan

Ilham Bachtiar*, Bualkar Abdullah, Dahlang Tahir

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Makalah ini menganalisa mengenai parameter uji pesawat sinar-X konvensional di rumah sakit di wilayah Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui nilai penyimpangan parameter uji pesawat sinar-X konvensional. Parameter uji dianalisis menggunakan metode *observasi*, dimana metode ini digunakan untuk mendapatkan sebaran nilai penyimpangan dari tiap parameter. Parameter uji meliputi selisih lapangan kolimasi dan estimasi dosis radiasi, diperoleh dengan menggunakan alat ukur kolimasi dan x-ray multimeter. Hasil analisis menunjukkan dua parameter uji pesawat sinar-X konvensional memiliki sebaran data nilai penyimpangan masih dibawah standar nasional (SNI).

Kata Kunci : dosis radiasi, kolimasi, pesawat sinar-X

1. PENDAHULUAN

Quality Assurance (QA) merupakan jaminan mutu dari seluruh program manajemen yang diselenggarakan untuk tercapainya pelayanan kesehatan radiologi yang prima dengan cara pengumpulan data dan melakukan evaluasi secara sistematis. Kendali mutu atau yang lebih dikenal Quality Control (QC) merupakan program jaminan mutu yang berpusat pada kegiatan teknik dalam perawatan, dan pengawasan sistem peralatan radiologi yang dapat mempengaruhi kualitas suatu gambaran radiografi. Bentuk program *quality control* salah satunya adalah pengujian pesawat sinar-X. Pengujian pesawat sinar-X adalah uji untuk memastikan pesawat radiologi diagnostik tersebut dalam kondisi laik atau tidak laik pakai dan memenuhi standar nasional.

Dalam peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2011, uji kolimasi dan estimasi dosis radiasi merupakan parameter utama. Parameter utama ini merupakan parameter yang mempengaruhi estimasi dosis radiasi dan menentukan laik tidaknya pesawat Sinar-X. Uji kolimasi meliputi 2 (dua) bagian, yaitu: iluminasi dan selisih cahaya kolimasi dengan lapangan berkas sinar-X.

Kolimasi berfungsi untuk mengatur luas lapangan radiasi. Komponen kolimasi paling sedikit berupa plat timbal, lampu kolimasi, cermin, tombol on/off, meteran, dan Aluminium

(Al) atau Tembaga (Cu). Pada umumnya jenis kolimator setiap pesawat berbeda-beda namun pada prinsip kerjanya hampir sama.



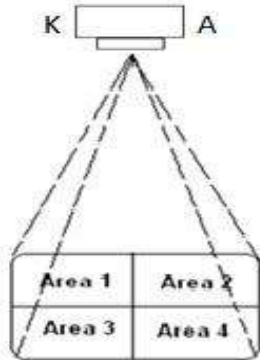
Gambar 1. Kolimator Pesawat Sinar-X Konvensional

2. BAHAN DAN METODA

Pengujian kuat cahaya (iluminasi) untuk memastikan bahwa lampu kolimator mempunyai tingkat iluminasi yang cukup untuk menunjukkan luas lapangan radiasi dan jelas terlihat walaupun cahaya ruangan menyala. Dalam peraturan Kepala BAPETEN No. 9 tahun 2011, tingkat iluminasi yang dipersyaratkan tidak boleh kurang dari atau sama dengan 100 lux pada jarak 100 cm dari fokus- film dengan menggunakan light meter/iluminasi meter terkalibrasi. Metode pengukuran dengan posisikan kolimator (tabung) menghadap (tegak lurus) terhadap meja.. Mengatur jarak antara fokus tabung sinar-X dengan detektor sejauh 100 cm. Nyalakan dan atur cahaya kolimator

*Email: liseilham@gmail.com

dengan luas area $25 \times 25 \text{ cm}^2$ pada meja. Tetapkan empat area (kuadran) imajiner pada berkas cahaya kolimasi di atas meja seperti pada gambar 2, Letakkan light meter tepat di tengah-tengah salah satu area, nyalakan cahaya kolimator, ukur iluminasi berkas cahaya kolimasi dan catat hasilnya dalam kolom Iluminasi terbaca. Matikan cahaya kolimasi, ukur iluminasi cahaya latar (tanpa memindahkan Lightmeter dari posisi semula) dan catat hasilnya dalam kolom iluminasi latar terbaca.



Gambar 2. Area (kuadran) imajiner

Pengujian selisih cahaya kolimasi dengan lapangan berkas sinar-X bertujuan untuk mengetahui kongruen selisih cahaya kolimasi dengan lapangan berkas sinar-X (Δ). Syarat laik tidaknya parameter ini adalah apabila berkas sinar-X sisi horizontal (Δx) maupun vertikal (Δy) $\leq 2\%$ dari jarak fokus ke film (FFD) dan total penyimpangan sisi horizontal dan vertical ($|\Delta x| + |\Delta y|$) $\leq 3\%$ dari FFD. Metode pengukuran dengan menggunakan *collimator test tool* berupa satu plat dengan garis berbentuk empat persegi panjang yang tidak tembus radiasi dan *beam alignment* berupa sebuah silinder. Kaset berisi film diletakkan pada permukaan yang datar (meja). Posisikan tabung sinar-X tegak lurus dengan kaset dan atur jarak antara fokus dengan permukaan kaset (SID) sepanjang 100 cm. Pastikan bahwa kolimator, permukaan meja/lantai, dan tabung dalam posisi horisontal dengan menggunakan *waterpass*. Pastikan bahwa sumbu anoda dan katoda adalah paralel dengan kaset. Tempatkan *Collimator test tool* di atas kaset pada posisi tengah (center). Beri penanda pada area kosong dalam *Collimator test tool* untuk posisi anoda, kode peserta dan tanggal uji. Atur berkas cahaya kolimasi seluas $14 \times 18 \text{ cm}^2$ pada area *Collimator test tool*. Lakukan ekposi pada kondisi tegangan dan kuat arus waktu yang sesuai. Lakukan pencetakan

film. Posisi *Collimator Test Tool* seperti pada Gambar 3 di bawah ini.



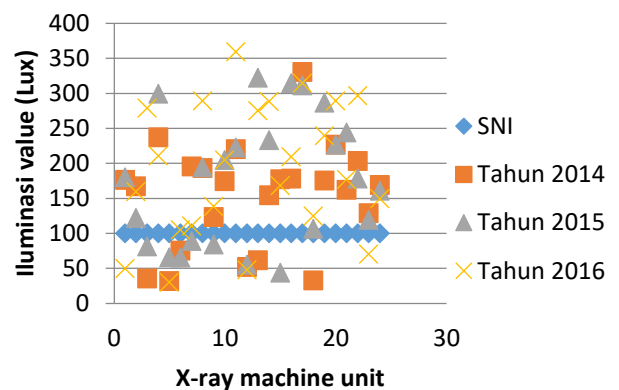
Gambar 3. Posisi *Collimator Test Tool*

Pengujian estimasi dosis radiasi bertujuan untuk memperkirakan dosis permukaan kulit di udara yang diterima pasien pada kondisi normal yang dipakai. Nilai lolos uji estimasi dosis pasien (ESD) pada pemeriksaan thorax adalah lebih kecil 0,4 mGy. Letakkan detektor di atas penyangga pada jarak 23 cm dari atas permukaan meja. Ukur jarak sumber ke detektor (SDD). Atur seluas area aktif detektor. Lakukan penyinaran dengan menggunakan kondisi penyinaran klinis untuk proyeksi tertentu yang biasa digunakan.

3. HASIL DAN BAHASAN

Penelitian menggunakan tiga parameter yakni iluminasi kolimator (Lux), selisih berkas kolimator (%) dan perkiraan dosis pasien (mGy) yang akan dievaluasi menggunakan pendekatan metode kuantitatif dimana hasil akan diuraikan dibawah :

Iluminasi Kolimator



Gambar 4. Nilai iluminasi kolimator

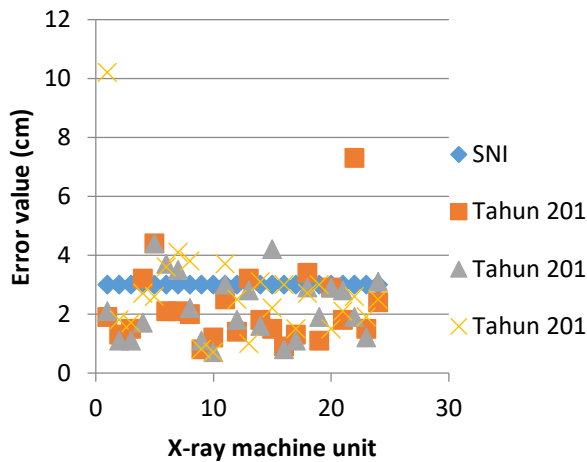
Dari gambar 4 memperlihatkan nilai pengujian iluminasi terhadap pesawat sinar-X konvensional sebanyak 24 unit dari tahun 2014, 2015 dan 2016. Dimana dari grafik memperlihatkan nilai rata-rata lux untuk pengujian sinar-X konvensional untuk setiap

unitnya masih memenuhi nilai batas yang diijinkan sesuai regulasi standar nasional yang ada yakni 100 lux. Dari hasil komputasi didapatkan nilai dumping ratio (DR) untuk tahun 2014 sebesar 53.23 pu dan rata rata nilai iluminasi sebesar 153.23 lux. Untuk tahun 2015 nilai dumping sebesar 75.16 pu dan rata rata nilai iluminasi 175.16 lux. Tahun 2016 nilai iluminasi lux setiap pesawatnya mengalami kenaikan nilai rata rata sebesar 190.81 lux dengan dumping ratio sebesar 90.81 pu yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Iluminasi Kolimator

Tahun	Iluminasi Kolimator		
	Mean (Lux)	DR (pu)	SNI (Lux)
2014	153.23	53.23	100
2015	175.16	75.16	100
2016	190.81	90.81	100

Selisih Berkas Kolimator



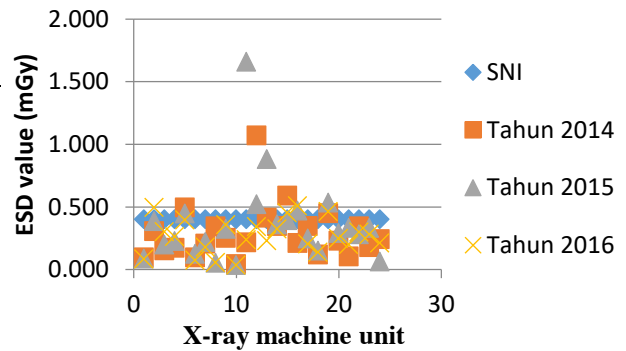
Gambar 4. Distribusi sebaran nilai selisih berkas kolimator

Dari gambar 4 menunjukkan bahwa perbandingan nilai error terhadap pesawat pesawat sinar-X konvensional. Grafik diatas terlihat bahwa nilai error dari tahun 2014, 2015, dan 2016 sebagian besar masuk dalam batas toleransi yang diijinkan yakni dibawah atau sama dengan 3 mm. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kolimasi setiap alat dari tahun 2014-2016 dalam keadaan baik yang ditandai dari nilai error value yang sebagian besar masih berada dalam batas toleransi. Pada tabel 2 merupakan nilai kolimasi error value dari setiap pesawat. Dimana

nilai dumping ratio (DR) dari tahun 2014 hingga 2016 masing-masing adalah -0.77 pu pada tahun 2014, -0.77 pu pada tahun 2015 dan -0.28 pu pada tahun 2016. Untuk tahun 2016 terjadi kenaikan nilai eror dikarenakan sifat mekanis pada alat X-ray akibat penurunan performa dari selector dari tiap unitnya. Namun, kenaikan ini masih masuk dalam toleransi yang diijinkan yakni sebesar 3 mm.

Tabel 2. Selisih Berkas Kolimator

Tahun	Selisih Berkas Kolimator		
	Mean (%)	SD	SNI (%)
2014	2.23	1.40	3
2015	2.23	1.08	3
2016	2.72	1.84	3



Gambar 5. Nilai dosis radiasi

Gambar 5 menunjukkan nilai dosis terhadap keluaran unit mesin x-ray. dimana menunjukkan nilai dosis pasien untuk setiap alat x-ray pada tahun 2014, 2015 dan 2016 masih dalam batas toleransi yang diijinkan yakni di bawah atau sama dengan 0.4 mGy. Sementara Tabel 3 menunjukkan nilai rata-rata estimasi dosis setiap tahunnya oleh setiap pesawat x-ray. dimana dapat diamati bahwa nilai rata-rata dosis pada tahun 2014 sebesar 0.29 mGy dengan penyimpangan dosis 4.76%. di tahun 2015 nilai rata-rata dosis sebesar 0.36 mGy dengan penyimpangan dosis sebesar 4.76% mGy. tahun 2016 penyimpangan dosis menurun yakni sebesar 3.76 % dengan nilai rata-rata dosis sebesar 0.26 mGy.

Tabel 3. Tabel Estimasi Dosis Radiasi (ESD) [4]

Tahun	Estimasi Dosis (ESD)		
	Mean (mGy)	Error (%)	SNI (mGy)
2014	0.29	4.76	0.40
2015	0.36	4.76	0.40
2016	0.26	3.76	0.40

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis data nilai penyimpangan ketiga parameter uji yakni iluminasi kolimator, selisih berkas kolimator dan perkiraan dosis pasien masih memenuhi ambang batas yang diijinkan oleh regulasi nasional. Hasil iluminasi pada tahun 2014 menunjukkan nilai iluminasi rata-rata sebesar 153.2 lux, lebih kecil dibanding nilai Iluminasi rata-rata tahun 2016 sebesar 190.8 Lux. Parameter selisih berkas kolimator diperoleh nilai terendah rata-rata pada tahun 2014 sebesar 2.23 % sedang nilai tertinggi rata-rata piada tahun 2016 sebesar 2.72 %

Parameter Estimasi Dosis Pasien pada tahun 2015 diperoleh nilai tertinggi rata-rata sebesar 0.36 mGy sedangkan tahun 2016 mengalami penurunan sebesar 0.26 mGy.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Taha, M.T., 2011, *Study the Quality Assurance of Conventional X-ray Machines Using Non Invasive KV meter*, Int. J. Sci. Res., vol. 4, no. November, pp. 27–30.

[2] Al-Kinani., Yasin M, 2013, *Study the quality uality assurance of conventional onventional x-ray machines ines at medical city in Baghdad*, Merit Res. Journals, vol. 1, no. December, pp. 194–200.

[3] H. A. Ismail, O. A. Ali, M. A. Omer, M. E. Garelnabi, and N. S. Mustafa, 2013, *Evaluation of Diagnostic Radiology Department in Term of Quality Control (QC) of X-Ray Units at Khartoum State Hospitals*, Int. J. Sci. Res., vol. 4, no. 1, pp. 1875–1878.

[4] Perka BAPETEN, 2011, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2011: Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional, pp. 2–3. Indonesia.

[5] E. Babikir, H. A. Hasan, A. Abdelrazig, M. A. Alkhorayef, E. Manssor, and A. Sulieman, 2015, *Radiation dose levels for conventional chestand abdominal X-ray procedures in elected hospitals in Sudan*, Radiat. Prot. Dosimetry, vol. 165, no. 1–4, pp. 102–106.

[6] A. M. Costa, R. S. Badin, M. S. Leite, and L. V. E. Caldas, 2008, *Constancy check of beam quality in conventional diagnostic X-ray equipment*, Appl. Radiat. Isot., vol. 66, no. 10, pp. 1403–1405.

[7] P. M. C. de Oliveira, P. do Carmo Santana, M. A. de Sousa Lacerda, and T. A. da Silva, 2016, *Radiation levels and image quality in patients undergoing chest X-ray examinations*, Radiat. Phys. Chem., no. December, pp. 0–1.

[8] C. T. Equipment, Radiation Safety Act 1975 Diagnostic X-Ray Equipment Compliance Testing, 2006, no. 8. Australia.

[9] IAEA, 2014, *Dosimetry in Diagnostic Radiology: an Internaciona Code of Practice*,” in Igarss 2014, no. 1, , pp. 1–5, Austria.

[10] A. Sulieman et al., 2017, *Assessment of medical radiation exposure to patients and ambient doses in several diagnostic radiology departments*, Radiat. Phys. Chem., no. April, pp. 1–5.

[11] H. Gholamhosseinian-Najjar, M. T. Bahreyni-Toosi, M. H. Zare, H. R. Sadeghi, and H. R. Sadoughi, 2014, *Quality control status of radiology centers of hospitals associated with mashhad university of medical sciences*, Iran. J. Med. Phys., vol. 10–11, no. 1–4, pp. 182–187.

Pengukuran Intensitas Gelombang Ultrasonik Yang Terserap Pada Pemeriksaan Kehamilan

Siti Nurul Rahma, Sri Suryani*, Wira Bahari Nurdin, Normawati

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Pemakaian gelombang ultrasonik pada bidang medis sudah bukan merupakan hal baru, Hampir semua gangguan yang terjadi pada abdomen selalu didahului pemeriksaan menggunakan gelombang ultrasonik, termasuk pemeriksaan kehamilan. Kelebihan dari pemeriksaan ini adalah gelombang ultrasonik bukan merupakan radiasi pengion, sehingga efek radiasi diasumsikan sangat kecil. Penelitian ini mencoba mengetahui berapa besar intensitas gelombang ultrasonik yang terserap pada abdomen ibu hamil pada saat dilakukan pemeriksaan kehamilan dengan gelombang ultrasonik. Penelitian ini menggunakan sampel ibu hamil dengan variasi usia kehamilan. Salah satu efek paparan gelombang ultrasonik adalah kontraksi otot, yang pada ibu hamil dapat merangsang terjadinya percepatan kehamilan. Walaupun ada sejumlah intensitas gelombang ultrasonik yang terserap jaringan abdomen ibu hamil, tetapi secara statistik menunjukkan tidak ada pengaruhnya terhadap percepatan waktu persalinan.

Kata Kunci : gelombang ultrasonik; intensitas; kehamilan.

1. PENDAHULUAN

Tubuh manusia merupakan suatu sistem yang unik, dimana organ-organ di dalam tubuh bekerjasama dengan baik. Gangguan yang terjadi pada salah satu organ akan berdampak pada organ lainnya. Untuk mengetahui adanya gangguan pada organ, awalnya dideteksi melalui pengamatan yang terjadi di bagian luar tubuh, seperti kenaikan suhu tubuh, perubahan warna kulit, perubahan warna rambut, dan lain sebagainya. Hal ini dilakukan, karena letak organ berada di dalam tubuh, sehingga sulit untuk dilihat.

Perpanjangan mata manusia untuk mengetahui adanya gangguan pada organ tubuh bagian dalam digunakan instrumen. Instrumen ini umumnya menggunakan radiasi nuklir, seperti radiasi gamma atau sinar X, karena radiasi nuklir mempunyai daya tembus yang besar. Kelemahan dari instrumen ini adalah radiasi nuklir merupakan radiasi pengion. Radiasi pengion merupakan radiasi dengan energi tinggi yang dapat memutuskan ikatan kimia molekul, sehingga akan menimbulkan masalah lain yang mungkin akan lebih berat.

Oleh sebab itu, diperlukan suatu radiasi yang bukan radiasi pengion, tetapi mempunyai daya tembus besar. Radiasi yang mempunyai sifat seperti yang disebutkan di atas adalah

gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik adalah gelombang suara yang merupakan gelombang tekanan, dan mempunyai energi rendah, sehingga tidak mampu mengionisasi molekul. Frekuensi gelombang ultrasonik lebih besar dari 20 kHz, dan pada bidang medis, daerah frekuensi gelombang ultrasonik yang digunakan adalah 3 hingga 10 MHz dengan daya tembus 1 mm pada obyek. Pada pertengahan tahun 1980, muncul transducer yang menggunakan frekuensi tinggi (30 hingga 100 MHz) untuk citra klinis pada bawah permukaan kulit¹.

Daya tembus gelombang ultrasonik, bergantung pada besar energi yang terserap oleh bahan. Besar penyerapan atau atenuasi gelombang ultrasonik oleh bahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Atenuasi} = a_c \times d \times f \quad 1$$

dengan a_c adalah koefisien atenuasi, d adalah tebal medium, dan f adalah frekuensi gelombang ultrasonik yang keluar dari transducer. Besar intensitas yang diserap dapat diketahui melalui persamaan:

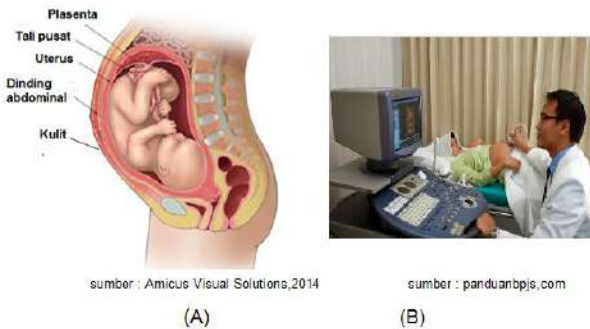
$$I_f = I_0 \times 10^{-\frac{\text{atenuasi}}{10}} \quad 2$$

dengan I_f adalah intensitas yang telah melalui medium, dan I_0 adalah intensitas awal yang

*Email : suryani@fmipa.unhas.ac.id

keluar dari transduser. Dari persamaan di atas, dapat diketahui bahwa semakin tinggi frekuensi, maka energi yang diserap juga akan semakin besar, sehingga jarak tembus ke jaringan akan semakin kecil. Oleh sebab itu, untuk diagnosa organ dalam digunakan frekuensi rendah, misalkan frekuensi 2,5 hingga 3,5 MHz untuk diagnosa abdomen, dan frekuensi tinggi 5 hingga 7,5 MHz untuk diagnosa permukaan².

Salah satu pemakaian gelombang ultrasonik adalah pada pemeriksaan kehamilan. Pemeriksaan kehamilan minimal dilakukan tiga kali selama masa kehamilan, pada awal kehamilan untuk memastikan kehamilan, pada trimester dua untuk melihat perkembangan janin, dan trimester tiga atau masa akhir kehamilan, untuk melihat posisi janin dan kelainan panggul ibu untuk persiapan pertolongan persalinan³. Dari sudut pandang anatomi, janin berada di sebelah depan (lihat gambar 1A), sehingga bila dilakukan pemeriksaan kehamilan dengan menggunakan gelombang ultrasonik (gambar 1B), maka gelombang ultrasonik akan melalui lapisan kulit, dinding abdomen, uterus, air ketuban, dan tiba di badan janin.



Gambar 1. Anatomi abdomen ibu hamil (A) dan pemeriksaan kehamilan (B).

Pada masa akhir kehamilan atau trimester tiga, uterus akan berkontraksi yang akan mendorong janin keluar. Uterus merupakan otot, sehingga otot bila terkena rangsangan, akan berkontraksi. Rangsangan tersebut dapat berupa panas atau tekanan, seperti yang dilakukan gelombang ultrasonik. Oleh sebab itu, secara teori, gelombang ultrasonik dapat menyebabkan timbulnya kontraksi uterus, yang akan mempercepat keluarnya janin.

Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan intensitas gelombang ultrasonik yang tiba di uterus pada pemeriksaan kehamilan, dan selanjutnya dilakukan analisa statistik untuk mengetahui apakah ada pengaruh seringnya pemeriksaan kehamilan dengan gelombang

ultrasonik terhadap percepatan terjadinya persalinan.

2. BAHAN DAN METODA

Pengukuran dilakukan di RS Bakti Kasih - Polewali Mandar di bagian Radiologi dengan menggunakan instrumen Ultrasonografi dengan batas frekuensi 2 – 5 Hz. Jumlah pasien sebanyak 17 orang yang merupakan ibu hamil dengan usia kehamilan yang bervariasi (7 – 36 minggu)

3. HASIL DAN BAHASAN

Frekuensi gelombang ultrasonik yang digunakan pada pemeriksaan abdomen secara umum dan kandungan adalah pada daerah 2,5 MHz hingga 3,5 MHz². Besar intensitas yang dikeluarkan oleh transduser adalah 1,5 W/cm²⁴. Jumlah gelombang ultrasonik yang diserap oleh jaringan abdomen tubuh dapat dilihat di tabel 1 berikut ini.

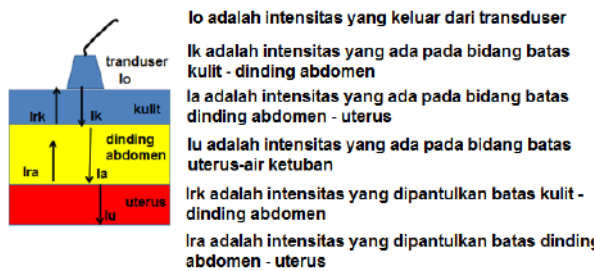
Tabel 1. Besar intensitas gelombang ultrasonik yang diserap jaringan

Parameter	Frekuensi (MHz)	Tebal (mm)	Koefisien serapan (dB/cm MHz)	Serapan (dB)	Intensitas gelombang ultrasonik yang diserap (mW/cm ²)
Kulit					
- Epidermis		0,061 ⁵	1,55 ⁸	0,00024	0,082
- Dermis	2,5	16,7	1,69	0,07056	24,173
Dinding abdomen		10 ⁶	1,39	0,03475	11,954
Uterus		17,2 ⁷	0,14	0,00602	2,078
Kulit					
- Epidermis		0,061	1,55	0,00028	0,097
- Dermis	3,0	16,7	1,69	0,08467	28,960
Dinding abdomen		10	1,39	0,0417	14,334
Uterus		17,2	0,14	0,00722	2,493
Kulit					
- Epidermis		0,061	1,55	0,00033	0,114
- Dermis	3,5	16,7	,69	0,09878	33,733
Dinding abdomen		10	1,39	0,04865	16,709
Uterus		17,2	0,14	0,00843	2,908

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa jaringan yang paling besar menyerap gelombang ultrasonik adalah jaringan kulit bagian dermis, dan yang paling sedikit menyerap gelombang ultrasonik adalah jaringan epidermis. Dinding abdomen dan uterus yang keduanya merupakan jaringan otot, tetapi mempunyai komposisi berbeda, yang ditandai dengan nilai koefisien serapan yang berbeda. Akibatnya, jumlah intensitas gelombang ultrasonik yang diserap berbeda, atau dinding abdomen lebih banyak menyerap gelombang ultrasonik dibandingkan dengan uterus. Selain itu,

tampak bahwa semakin besar frekuensi gelombang ultrasonik, maka besar penyerapannya semakin besar, akibatnya kemampuan menembus gelombang ultrasonik pada jaringan akan semakin rendah. Hal ini sesuai dengan yang dituliskan oleh Morgan², yang mengatakan bahwa kemampuan menembus gelombang ultrasonik berbanding terbalik dengan besar frekuensi.

Susunan jaringan abdomen pada ibu hamil dapat dilihat pada gambar 2. Gambar 2 juga menunjukkan jalannya gelombang ultrasonik pada pemeriksaan kehamilan.



Gambar 2. Jalannya gelombang ultrasonik pada pemeriksaan ibu hamil.

Untuk mengetahui besar intensitas gelombang ultrasonik yang ada pada batas uterus – air ketuban (Iu) dapat dihitung dengan menggunakan parameter impedansi (Z) yaitu⁹ :

$$Z = \rho \times v \quad 3$$

dengan ρ adalah rapat massa medium, dan v adalah laju penjarangan gelombang suara di dalam medium yang bersangkutan. Besar intensitas gelombang ultrasonik yang dipantulkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Koefisien pantul } (A_r) = \left| \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right|^2 \quad \text{dan} \quad 4$$

$$\begin{aligned} \text{Intensitas gelombang suara yang dipantulkan } (I_r) \\ = A_r \times \text{Intensitas awal } (I_0) \end{aligned}$$

Hasil perhitungan intensitas gelombang ultrasonik yang dipantulkan maupun yang ada pada batas dua jaringan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa besar intensitas yang ada pada batas dermis – dinding abdomen adalah 1475,41 mW/cm² atau dikatakan sebagai

intensitas yang diteruskan, sehingga terdapat pengurangan sebesar 24,588 mW/cm² akibat penyerapan dan pemantulan yang terjadi pada kulit (epidermis dan dermis). Setelah gelombang ultrasonik melalui dinding abdomen dan mencapai dinding luar uterus, besar intensitas yang ada atau yang ditransmisikan ke uterus adalah 1441,03 mW/cm², atau ada pengurangan intensitas sebesar 58,972 mW/cm² sejak keluar dari transducer. Dari hasil perhitungan di atas, dapat dikatakan bahwa intensitas gelombang ultrasonik sebagian besar ditransmisikan, dan hanya sebagian kecil diserap (pada kasus di atas hanya lebih kurang 4 % yang diserap oleh kulit dan dinding abdomen).

Tabel 2. Besar intensitas yang dipantulkan dan diserap oleh jaringan (pada frekuensi 3,5 MHz)

Parameter	Frekuensi (MHz)	Tebal (mm)	Impedansi Akustik (MRayl)	Intensitas yang dipantulkan (mW/cm ²)	Intensitas yang ada pada batas pertemuan dua jaringan (mW/cm ²)
Kulit - Epidermis		0,061	1,708	-	
- Dermis	3,5	16,7	1,752	0,335	1475,41
Dinding abdomen		10	1,700	1,204	1441,03
Uterus		17,2	1,800	-	-

Walaupun hasil perhitungan menunjukkan bahwa intensitas gelombang ultrasonik yang terserap sangat kecil, tetapi gelombang ultrasonik dapat mempunyai efek lain, yaitu gelombang ini dapat menyebabkan pemanasan.^{2,10} Efek pemanasan jaringan yang dilakukan oleh gelombang ultrasonik ini, yang selanjutnya digunakan dalam bidang terapi.

Pada ibu hamil, gelombang ultrasonik akan melalui lapisan abdomen ibu sebelum tiba di janin. Walaupun yang sering dikuatirkan adalah efek gelombang ultrasonik terhadap janin, tetapi yang pertama menyerap gelombang ultrasonik adalah dinding abdomen ibu hamil dan juga uterus. Dari tabel 1 di atas, terlihat bahwa kemampuan penyerapan uterus terhadap gelombang ultrasonik cukup kecil. Bila hal ini dihubungkan dengan kontraksi uterus yang akan menyebabkan percepatan persalinan, maka hal ini tidak teramati. Dari 17 ibu hamil yang menjadi sampel dalam penelitian ini, hanya 6 ibu hamil yang waktu persalinannya lebih cepat dari perkiraan. Walaupun tampak cukup besar yaitu hampir 30 % yang waktu persalinannya lebih cepat, tetapi percepatan waktu persalinan diperkirakan dipengaruhi oleh faktor lain, seperti

usia ibu hamil yang lebih dari 30 tahun, bukan merupakan persalinan pertama, dan keadaan kesehatan ibu. Hal ini didukung dengan perhitungan secara statistik dengan menggunakan uji chi-square dengan tingkat kemaknaan $\alpha = 0,05$ diperoleh hasil hitung $p > 0,10$ antara variabel independen dengan variabel dependen. Hal ini menunjukkan tidak ada hubungan antar variabel atau besar frekuensi pemeriksaan kehamilan dengan menggunakan gelombang ultrasonik tidak mempengaruhi percepatan waktu persalinan,

4. KESIMPULAN

Dari uraian di atas dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Pemeriksaan gangguan organ yang ada di dalam tubuh dapat dilakukan dengan menggunakan gelombang ultrasonik.
2. Semakin tinggi frekuensi gelombang ultrasonik, kemampuan menembus jaringan semakin menurun.
3. Semakin besar frekuensi gelombang ultrasonik, semakin besar intensitas yang diserap.
4. Pemeriksaan kehamilan dengan menggunakan gelombang ultrasonik secara statistik tidak mempengaruhi usia kehamilan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Lockwood G.R., D.H. Turnbull; D.A. Christopher dan F.S. Foster. 1996. *Beyond 30 MHz [Applications of High-Frequency Ultrasound Imaging]*. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine **15**: 6 : 60 – 71.
2. Morgan M.A, et al. 2018. *Ultrasound (Introduction)*, [Internet] dapat diakses di <https://radiopaedia.org/articles/ultrasoun>

d-introduction, diakses tanggal 30 Juni 2018.

3. Hanifa Wiknyosastro, 2007. *Ilmu Kebidanan*, edisi 3, editor : Abdul Bari Saifuddin dkk., Penerbit Yayasan Bina Pustaka Sarwono Prawirohardjo.
4. Wilkens V. dan Hans-Peter Reimann. 2004. *Output intensity measurement on a diagnostic ultrasound*, Journal of Physics: Conference Series 1: 140–145.
5. Derraik. J.G.B. dkk. 2014. *Effects of Age, Gender, BMI, and Anatomical Site on Skin Thickness in Children and Adults with Diabetes*, Journal PLOS, 9(1) : 1- 6
6. Bigeow T.M. dan William D. O'Brien Jr. 2005.. *A model for estimating ultrasound attenuation along the propagation path to the fetus from backscattered waveforms*, J Acoust Soc Am.118(2): 1210–1220.
7. Moschos E. dan D.M. Twickler,. 2008. *Endometrial thickness predicts intrauterine pregnancy in patients with pregnancy of unknown location*, Ultrasound in Obstetrics & Gynecology, volume 32 (7) : 929 -934
8. Moran C.M., Bush N.L., dan Bamber J.C. 1995. *Ultrasonic Propagation Properties of Excised Human Skin*, Ultrasound. Med. Biol. 21(9) : 1177-90
9. Joo Ha Hwang dan Michael B. Kimmey. 2011. *Principles of Ultrasound, Endosonography*, Second Edition : 2 – 12.
10. E. L. Carstensen, M. W. Miller, C. A. Linke. 1974. *Biological effects of ultrasound*, Journal of Biological Physics 2 (4) : 173–192

Kontur Sederhana Distribusi Fluks Partikel Radiasi Brakiterapi untuk Geometri Sumber berbentuk Garis pada Program Aplikasi *Scilab*

Hafazhahniah Ibrahim, Eko Juarlin, Nur Hasanah, Agustina Yahya, Tasrief Surungan*

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Telah dilakukan perhitungan distribusi fluks partikel radiasi dari brakiterapi yang mengikuti aturan sistem paris dan menggunakan sumber dengan geometri berbentuk garis. Perhitungan dilakukan secara analitik melalui program aplikasi scilab. Hasil yang didapatkan dalam bentuk kontur distribusi dan dapat ditinjau secara tiga dimensi dalam koordinat x , y dan z . Kontur yang dihasilkan serupa dengan rujukan dan menunjukkan bahwa nilai distribusi fluks radiasi simetris dan berkurang seiring dengan jarak yang menjauhi sumber.

Kata Kunci : brakiterapi, fluks radiasi, geometri sumber garis, scilab

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan radiasi di bidang kesehatan untuk mendiagnosis dan mengobati penyakit dikenal sebagai radioterapi¹. Pemanfaatan radiasi ini terdiri atas dua jenis yaitu teleterapi dan brakiterapi. Sebagai pengobatan, brakiterapi lebih dipilih karena dapat memberikan keseragaman dosis pada suatu jaringan yang diobati. Selain itu, brakiterapi didasarkan atas hukum kuadrat terbalik dimana semakin besar jarak suatu titik dari sumber radiasi, maka akan semakin kecil dosis yang diterima².

Faktor penting yang harus diperhatikan dalam *treatment* brakiterapi adalah penggunaan geometri dan jenis sumber brakiterapi. Geometri sumber terbagi menjadi empat yaitu geometri berbentuk titik, garis, luasan dan volume, dimana masing-masing geometri sumber memberikan nilai distribusi fluks radiasi yang berbeda³.

Pada tahap perencanaan perawatan untuk brakiterapi, dilakukan suatu *scan* tomografi terkomputerisasi (*CT scan*) dengan perhitungan dosimetri terhadap titik tumor dan jaringan sekitar yang normal. Hal tersebut berguna untuk melihat jaringan yang terkena pengaruh radiasi⁴. Perencanaan perawatan juga ditujukan untuk memberikan distribusi yang optimal dan lengkap di volume yang diradiasi. Sehingga dikenal sebagai sistem perencanaan

dosimeter. Pada brakiterapi salah satu sistem perencanaan dosimeter adalah sistem paris⁵. Teknik dalam penggunaan sistem paris, yaitu sumber yang aktif diletakkan pada kondisi yang sejajar dan lurus dengan jarak yang sama antar sumber⁶.

Brakiterapi sebagai salah satu cara untuk mengoptimalkan terapi, tetap memiliki resiko yang tinggi terhadap keselamatan pasien. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman mengenai konsep dasar dari perhitungan distribusi fluks radiasi brakiterapi⁷.

Perhitungan sederhana terkait distribusi fluks partikel radiasi brakiterapi telah dilakukan oleh Kamilah dan Haryanto (2015) Menggunakan program aplikasi *Microsoft Excel*. Hasilnya didapatkan kontur sederhana dalam bentuk dua dimensi. Adapun salah satu pengkajian tentang brakiterapi untuk melihat pengaruh distribusi dosis dari sumber Iridium dalam pengobatan brakiterapi pada jaringan yang heterogen, telah dilakukan oleh Zabihzadeh, dkk (2013).

Berdasarkan uraian tersebut, pada penelitian ini dilakukan simulasi sederhana dari perhitungan distribusi fluks radiasi brakiterapi dengan menggunakan geometri sumber berbentuk garis dan mengikuti aturan sistem paris. Penelitian ini dilakukan secara komputasi menggunakan program aplikasi *Scilab*.

*Email : tasrief@unhas.ac.id

2. METODOLOGI

Pemodelan kontur distribusi fluks partikel radiasi brakiterapi dilakukan secara analitik dan komputasi pada program aplikasi *scilab*. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu menentukan domain / koordinat peletakkan sumber dan pembuatan program perhitungan distribusi fluks partikel radiasi brakiterapi.

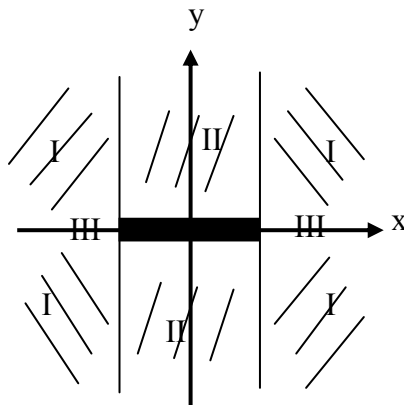
Penentuan Domain

Peletakkan sumber mengikuti aturan paris dengan kisi pola segi empat, dimana untuk sumber radioaktif yang berjumlah lebih dari satu, diletakkan pada posisi yang sejajar dan lurus dengan jarak yang sama antar sumber⁶.

Pemodelan kontur dibuat pada matriks 51 x 51 untuk kontur 2D dan digunakan domain awal $0 \leq x \leq 10$ dan $0 \leq y \leq 10$, dengan peletakkan satu sumber pada $x = 3$ dan $4,5 \leq y \leq 5,5$. Pemodelan tiga dimensi dibuat pada matriks 21 x 21 dengan domain awal $-2 \leq x \leq 2$; $0 \leq y \leq 8$ dan $0 \leq z \leq 2$, dengan penggunaan 6 sumber dan diletakkan pada $x = 0,5$; $x = -0,5$; $y = 3$; $y = 4$; $y = 5$ dan $0,5 \leq z \leq 1,5$.

Perhitungan Distribusi Fluks Radiasi Brakiterapi

Penggunaan sumber garis memberikan tiga kemungkinan posisi sumber radioaktif yang mempengaruhi nilai distribusi fluks radiasi brakiterapi, yaitu arah vertikal, horizontal dan miring. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1⁷.



Gambar 1. Pembagian tiga wilayah distribusi dari sumber brakiterapi dengan geometri berbentuk garis⁷.

Nilai kerapatan fluks partikel radiasi untuk masing-masing wilayah akan bergantung pada panjang sumber radioaktif, jarak serta sudut yang terbentuk antara sumber dan titik acuan. Sehingga nilai kerapatan fluks partikel radiasi

untuk masing-masing wilayah diberikan oleh persamaan³.

Daerah I

$$\phi_1 = \frac{S_L}{4\pi} \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{r^2} = \frac{S_L}{4\pi h} (|\theta_2| - |\theta_1|) \tag{1}$$

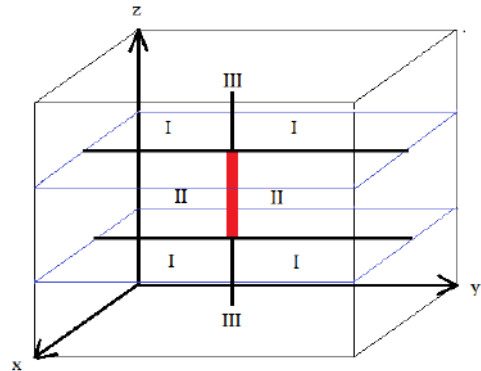
Daerah II

$$\phi_2 = \frac{S_L}{4\pi} \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{r^2} = \frac{S_L}{4\pi h} (|\theta_2| + |\theta_1|) \tag{2}$$

Daerah III

$$\phi_3 = \frac{S_L}{4\pi} \int_l^{nl} \frac{dy}{y^2} = \frac{S_L}{4\pi l} (n - 1) \tag{3}$$

Jika ditinjau secara tiga dimensi, wilayah distribusi fluks radiasi brakiterapi untuk masing-masing posisi I, II dan III akan tersebar dalam arah x, y dan z serta membentuk wilayah dalam bentuk luasan dan ruang. Penggambaran wilayah tersebut dapat dilihat pada gambar 2.

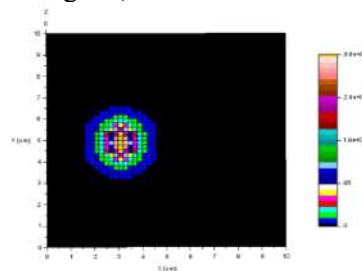


Gambar 2. Pembagian wilayah menjadi tiga bagian ruang koordinat dalam distribusi fluks radiasi untuk sumber radioaktif berbentuk garis

3. HASIL DAN BAHASAN

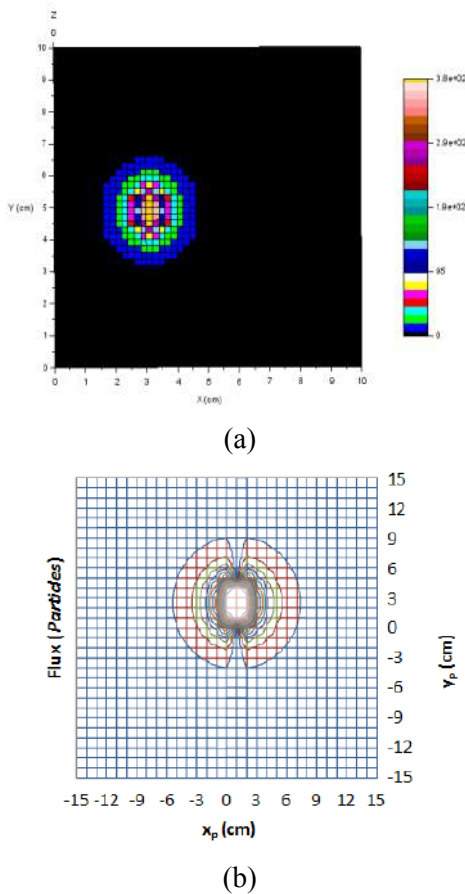
Satu sumber garis untuk kontur 2D

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai distribusi fluks radiasi brakiterapi berkurang seiring dengan jarak yang menjauhi sumber radioaktif. Gambar 3 menunjukkan pemodelan kontur distribusi fluks radiasi brakiterapi untuk satu sumber garis, secara dua dimensi.



Gambar 3. satu sumber garis pada kontur 2D

Kontur pada Gambar 3, jika dibandingkan dengan kontur yang dihasilkan pada perhitungan Microsoft excel akan didapatkan kemiripan.



Gambar 4. (a) kontur distribusi fluks partikel radiasi brakiterapi dengan satu sumber geometri berbentuk garis dari perhitungan menggunakan (a) *Scilab* (b) dan *Microsoft Excel*⁷

Jika dimasukkan nilai variabel utama $S_i = 380$ keV, yang merupakan energi Iridium sebagai sumber radioaktif yang digunakan pada brakiterapi, maka akan didapatkan nilai distribusi fluks radiasi pada daerah disekitar sumber yaitu pada domain $x = 3$ dan $4,2 \leq y \leq 5,8$ sesuai dengan tabel 1

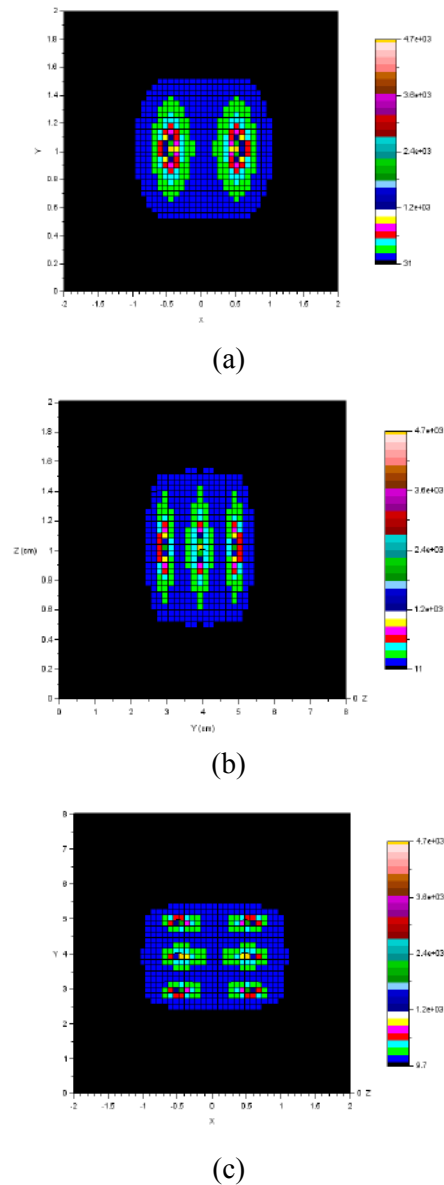
Tabel 1. Nilai distribusi untuk satu sumber garis

x,y	2.6	2.8	3	3.2	3.4
4.2	47.52	65.80	77.51	65.80	47.52
4.4	73.83	140.15	274.79	140.15	73.83
4.6	105.61	274.43	380.00	274.43	105.61
4.8	128.10	343.88	380.00	343.88	128.10
5	135.43	359.79	380.00	359.79	135.43
5.2	128.10	343.88	380.00	343.88	128.10
5.4	105.61	274.43	380.00	274.43	105.61
5.6	73.83	140.15	274.79	140.15	73.83
5.8	47.52	65.80	77.51	65.80	47.52

Enam sumber garis untuk kontur 3D

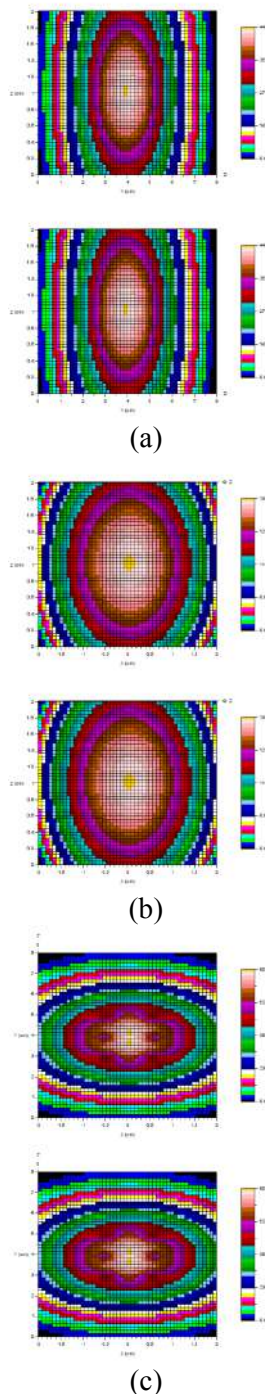
Penggunaan enam sumber radioaktif pada pemodelan kontur digunakan untuk menggambarkan pola kisi segi empat dalam aturan sistem paris.. salah satu penerapan aturan sistem paris ini adalah pada *treatment* kanker lidah.

Pemodelan kontur 3D memungkinkan untuk melihat kontur distribusi fluks radiasi brakiterapi dari tiga arah, yaitu searah x, y dan z serta dapat menampilkan hasil simetris per *slice* untuk masing-masing arah tersebut.



Gambar 5. Kontur Distribusi fluks radiasi brakiterapi untuk enam sumber radioaktif, ditinjau dari (a) sumbu x pada *slice* ke-20, (b) sumbu y pada *slice* ke-26 dan (c) sumbu z pada *slice* ke-26

Kontur hasil perhitungan distribusi fluks radiasi pada daerah dengan jarak terjauh (*slice* 1 dan 51) dengan sumber dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kontur Distribusi fluks radiasi brakiterapi untuk enam sumber radioaktif, pada *slice* ke- 1 dan 51 ditinjau dari (a) sumbu x, (b) sumbu y dan (c) sumbu z

4. KESIMPULAN

Nilai dosis distribusi fluks radiasi brakiterapi dipengaruhi oleh besar jarak dan sudut antara suatu titik acuan dengan titik peletakkan sumber, dimana semakin jauh jarak maka nilai fluks yang diterima akan semakin berkurang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik tidak terlepas dari kemurahan rahmat dan rezeki dari Allah SWT serta bantuan berbagai pihak. Peneliti mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. M. R. Putra, D. Milivita dan H. Prasetyo. "Karakterisasi Dosimetri Sumber Brakiterapi IR-192 Menggunakan Metode Absolut". *Jurnal Fisika Unand*, vol. 4, no. 2: 129, 2015.
2. M. Zabihzadeh, A. Yadollahpour dan L. Kargar. "The Effect of Tissue Heterogenetieson Dose Distribution of Iridium-192 Source in Brachytherapy Treatments". *Biomedical & Pharmacology Journal*, vol.6 no.2:205, 2013.
3. K. R. Kase dan W. R. Nelson. *Concept of Radiation Dosimetry*, Stanford Linear Accelerator Center Stanford University, California, 2014.
4. R. H. Hinduja. "Dose Escalation with Brachytherapy in Nasopharyngeal Cancers-an Under-Utilized Tool". *Cancer Therapy & Oncology International Journal*, vol.4, no.4: 003, 2017
5. F. M. Khan. *The Physics of Radiation Therapy Third Edition*. A Wolters Kluwer, Philadelphia USA, 2003
6. B. Pierqui n, et. al. *The Paris System in Interstitial Radiation Therapy*. Taylor & Francis Group, Paris, 2017
7. S. I. Kamilah dan F. Haryanto. "Simple Calculation of The Radiation Flux Distribution for Brachytherapy Using Microsoft Excel". *Journal of Medical Physics and Biophysics*, vol. 2, no. 1: 36-39, 2015

Rancang Bangun Algoritma Deteksi Penyakit Kulit Menggunakan Metode Segmentasi Warna

M. Arief Dian Ramadan^{1*}, Nurkhaliq Futra Maulana¹, Said Syamil Amas², Eko Juarlin¹

¹Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

²Departemen Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pembuatan algoritma yang digunakan deteksi penyakit kulit. Algoritma ini dirancang untuk menganalisis sebuah citra sehingga mampu mendeteksi citra kulit berpenyakit. Metode analisis citra yang digunakan adalah segmentasi warna berbasis konsep ruang warna RGB. Algoritma dibuat dengan memanfaatkan nilai indeks Red, Green dan Blue untuk setiap piksel yang tersusun pada citra. Sebanyak 15 citra yang digunakan untuk memperoleh range nilai indeks Red, Green dan Blue sebagai basis data untuk menjadi standar keputusan menentukan jenis penyakit penderita. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma yang dibuat telah mampu membedakan citra kulit cacar air, dermatitis, dan kusta sesuai dengan diagnosa dokter. Algoritma ini berpotensi dikembangkan menjadi aplikasi android yang mampu mendeteksi penyakit kulit dengan mudah dan berakurasi tinggi sehingga dapat membantu penderita tanpa harus kedokter.

Kata Kunci : *Cacar Air, Dermatitis, Kusta, RGB, Segmentasi warna*

1. PENDAHULUAN

Telah dikembangkan algoritma deteksi penyakit kulit menggunakan bahasa JAVA. Algoritma yang telah dibuat bermanfaat bagi dunia medis khususnya dapat membantu masyarakat dalam deteksi dini penyakit kulit. Keunggulan algoritma ini adalah dapat dikembangkan menjadi aplikasi android deteksi penyakit kulit yang mudah diakses dan simple dalam penggunaan. Penyakit kulit yang dideteksi dibatasi 3 penyakit yaitu kusta, dermatitis dan cacar air.

Penyakit kulit merupakan masalah yang perlu menjadi perhatian khusus karena lebih dari 60% dalam suatu populasi memiliki setidaknya satu atau dua jenis penyakit kulit, khususnya golongan usia anak. Berbagai penyakit dan gangguan pada kulit disebabkan oleh beberapa faktor seperti perubahan iklim, lingkungan dan kesehatan yang buruk, virus, bakteri dan subkutan lainnya. Dampak dari penyakit kulit dapat berupa disabilitas dan gangguan estetika yang akhirnya berujung pada penurunan kualitas hidup¹. Umumnya penyakit kulit memang bukan penyakit mematikan, maka keberadaannya seringkali diabaikan oleh penderita dan dianggap tidak serius. Perilaku masyarakat sehubungan dengan persepsi sakit meliputi beberapa

tindakan meliputi mencari pengobatan ke fasilitas-fasilitas pengobatan tradisional (*tradisional remedy*), swamedikasi, sampai ke tindakan paling rendah tidak melakukan apa-apa (*no action*)². Dari fakta tersebut sangat perlu mengembangkan teknologi yang dapat meniru kerja dokter salah satunya program deteksi penyakit kulit.

Penelitian tentang deteksi penyakit kulit menggunakan *image processing* telah dilakukan oleh beberapa penelitian diantaranya deteksi penyakit kulit menggunakan metode *expert sistem*, yaitu mendeteksi penyakit kulit eczema, impetigo dan melanoma³. Penelitian selanjutnya oleh Fetti Sahria (2016) menggunakan metode segmentasi warna untuk mengenali citra kulit berpenyakit⁴. Pada penelitian ini menggunakan metode segmentasi warna berbasis ruang warna Red, Green, dan Blue. Basis data dirampung dari 15 citra yang terdiri atas 5 citra cacar air, 5 citra dermatitis dan 5 citra kusta.

2. METODOLOGI

Alat utama dari pembuatan algoritma ini adalah software JAVA, adapun bahan utama dalam pembuatan algoritma citra kulit berpenyakit yang akan diekstrak dalam piksel-piksel yang berisi ruang warna RGB. Citra kulit terbagi atas dua yaitu citra uji dan citra latih. Sebanyak 30 citra uji digunakan sebagai

*Email : arifdianramadan@gmail.com

basis data sedangkan 15 citra latih digunakan sebagai uji kecocokan

Rancang bangun algoritma terbagi dalam 2 rancangan: 1). Rancang bangun algoritma basis data. Basis data diperoleh menggunakan fungsi algoritma pembangkit warna dalam setiap citra. Citra latih didefinisikan dalam bentuk piksel berisi indek nilai RGB dalam rentang 0-255. Nilai yang tertera dalam setiap piksel diekstrak kemudian dilakukan pengolahan data seperti mean, perhitungan standar deviasi dan *training error*. 2). Rancang bangun *main program*. Algoritma main program menggunakan metode segmentasi (alur pengelompokan). Setiap basis data dikelompokan sesuai jenis penyakit yaitu cacar air, dermatitis dan kusta. Penentuan penyakit kulit berdasarkan tingkat kecocokan citra uji terhadap data base yang diperoleh.

3. HASIL DAN BAHASAN

Tahapan pengujian dilakukan setelah program telah dibuat untuk menilai akurasi program. Sebanyak 30 citra uji yang terdiri dari 10 citra cacar air, 10 citra dermatitis dan 10 citra kusta. Citra uji tersebut satu per satu akan melalui ekstraksi indeks nilai RGB menggunakan algoritma fungsi pembangkit yang telah dibuat, kemudian hasil ekstraksi dibandingkan dengan basis data yang diperoleh untuk menentukan jenis penyakit citra tersebut.

Tabel 1. Uji kecocokan algoritma terhadap citra cacar air.

Kode Citra	Cacar Air (%)	Dermat itis (%)	Kusta (%)	Hasil identifikasi
CA1	43,8	14	20	√
CA2	47,9	25,6	29,6	√
CA3	47,3	5,0	10,0	√
CA4	43,1	17,1	32,2	√
CA5	37,7	5,1	8	√
CA6	45,4	25,6	39,47	√
CA7	41,14	14,68	12,21	√
CA8	95,36	5,68	23,3	√
CA9	0,8	0,3	2,5	×
CA10	5,49	2,4	10,7	√

Pengujian algoritma terhadap 10 citra uji menunjukkan pada citra kode CA9 teridentifikasi tidak memenuhi standar presentase cacar air yaitu $\leq 35\%$, hal ini disebabkan karena rendahnya kualitas citra ataupun teknik *cropping* yang tidak tepat. Akurasi algoritma terhadap citra cacar air sebesar 90%

Tabel 2. Uji kecocokan algoritma terhadap citra dermatitis

Kode Citra	Cacar Air (%)	Dermatitis (%)	Kusta (%)	Hasil identifikasi
D1	1,35	18,1	14,8	×
D2	2,27	28,33	9,45	√
D3	21,7	57,5	25,29	√
D4	23,78	55,84	25,66	√
D5	23,13	49,76	14,06	√
D6	10,97	25,25	9,1	√
D7	25,91	28,61	9,6	√
D8	18,5	24,46	19,8	√
D9	18,003	36,46	21,25	√
D10	0,52	11,77	4,21	×

Pengujian algoritma terhadap 10 citra uji menunjukkan pada citra kode D1 dan D10 teridentifikasi tidak memenuhi standar presentase dermatitis yaitu $\leq 25\%$. Kegagalan algoritma Akurasi algoritma kemungkinan disebabkan kualitas citra yang rendah. Akurasi terhadap citra dermatitis sebesar 80%

Tabel 3. Uji kecocokan algoritma terhadap citra kusta

Kode Citra	Cacar Air (%)	Dermatitis (%)	Kusta (%)	Hasil identifikasi
K1	8,3	8,2	30,5	√
K2	2,8	15,71	20,63	√
K3	9,44	21,4	19,69	×
K4	14,84	13,96	34,81	×
K5	1,04	8,2	31,14	√
K6	1,4	19,8	23,09	√
K7	25,49	16,29	14,68	×
K8	7,19	18,85	26,82	√
K9	0,0012	7,041	4,29	×
K10	0,8579	9,107	29,51	√

Tabel 3 menunjukkan kode citra K3, K4, K7 dan K9 teridentifikasi tidak memenuhi standar persentase kusta yaitu $\leq 20\%$. Indeks nilai RGB citra tersebut mempunyai sedikit kesamaan dengan basis data yang telah dibuat, hal ini disebabkan karena kualitas citra yang tidak bagus atau teknik *cropping* citra yang tidak sesuai. Akurasi algoritma terhadap citra cacar air sebesar 60%

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Algoritma yang telah dibuat dapat membedakan jenis citra kulit berpenyakit seperti cacar air, dermatitis dan kusta.

2. Akurasi uji kecocokan terhadap 30 citra uji menunjukkan bahwa 7 citra yang tidak teridentifikasi. Presentase akurasi terhadap citra cacar air, dermatitis dan kusta masing-masing 90%, 80% dan 60%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Eko Juarlin, S.Si., M.Si selaku pembimbing, dan rekan-rekan yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sasongko, dr. Humangko. 2014. Prevalensi 10 Penyakit Terbanyak Di Indonesia. Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Indonesia.
2. Nindya, N. 2009. Prevalensi Penyakit Kulit dan Pengobatannya Pada Beberapa RW di Kelurahan Petamburan Jakarta Pusat. Skripsi, Universitas Indonesia, Depok.
3. A.A.L.C. Amarathunga et al. 2015. Expert System For Diagnosis Of Skin Diseases. International Journal Of Scientific & Technology Research 4(01):271-278
4. S. Fetti, J. Eko S. 2016. Analisis Citra Dengan Metode Segmentasi Warna Untuk Identifikasi Jenis Penyakit Kulit. Fisika FMIPA UNHAS, Makassar.

Pengaruh Koefisien Atenuasi Jaringan Terhadap Sebaran Fluks Radiasi dari Brakiterapi pada Program Aplikasi *Scilab* untuk Kasus *Breast Cancer*

Agustina Yahya, Eko Juarlin, Nur Hasanah, Hafazhahniah Ibrahim, Tasrief Surungan*

Departemen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Brakiterapi merupakan salah satu metode terapi radiasi dengan cara mendekatkan sumber radiasi ke jaringan kanker dengan posisi tepat atau mendekati sel kanker. Brakiteapi diaplikasikan pada berbagai jenis kanker, salah satunya adalah *breast cancer* yang merupakan jenis kanker yang paling banyak diderita oleh wanita di dunia. Dalam mengoptimalkan proses terapi, maka pemberian dosis harus sesuai dengan volume target agar sel kanker hancur dengan tepat. Salah satu cara yang digunakan untuk mengoptimalkan hal tersebut adalah dengan melakukan perhitungan distribusi dosis radiasi yang diupayakan semaksimal mungkin pada daerah jaringan tumor/kanker dan meminimalkan dosis yang diterima pada jaringan sekitar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu transformasi kordinat untuk menghasilkan formulasi fluks radiasi, perhitungan ini juga berdasarkan geometri dari berbagai sumber radioaktif serta pengaruh koefisien atenuasi linier jaringan disekitar tumor/kanker. Kurva kontur distribusi dosis radiasi dibuat dengan komputasi sederhana di program aplikasi *Scilab*. Kurva kontur isodosis dari distribusi fluks partikel radiasi ini berbentuk dua dimensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi dosis radiasi yang diterima oleh jaringan abnormal sangat maksimal dan dosis yang diterima jaringan disekitar hanya sedikit.

Kata Kunci: *brakiterapi, breast cancer, fluks, isodosis, koefisien atenuasi, scilab*

1. PENDAHULUAN

Kanker merupakan satu penyakit yang paling mematikan di dunia. Jenis kanker yang paling umum diderita oleh kalangan wanita adalah *breast cancer* (kanker payudara) dengan persentase kemungkinan diderita yaitu sekitar 25-30% dari semua jenis kanker¹.

Salah satu terapi yang digunakan untuk mengobati kanker adalah radioterapi yang merupakan teknik terapi kanker yang memanfaatkan berkas energi tinggi dari radiasi dalam pengobatannya². Keuntungan dari radioterapi dapat dilihat pada satu jenis radioterapi, seperti brakiterapi. Dimana brakiterapi merupakan terapi radiasi jarak dekat yang langsung didekatkan pada lokasi tumor/kanker.

Dalam brakiterapi, radioaktif dikemas dalam jarum, kawat, atau biji berukuran milimeter yang dimasukkan ke dalam tubuh. Radiasi dipancarkan dari kawat tersebut yang

berada di sekitar daerah tumor/sel kanker³. Pengaplikasian brakiterapi dikelompokkan sesuai dengan rongga tubuh atau jaringan yang diradiasi. Adapun bentuk brakiterapi sering digunakan yaitu intrakaviter, interstitial, intraluminal dan endovascular yang dipilih berdasarkan kesesuaian dengan penyakit yang diderita, ukuran dan lokasi tumor³.

Dalam pengaplikasian brakiterapi, selalu ada resiko paparan radiasi yang berlebih pada jaringan. Sehingga diperlukan perhitungan mendasar mengenai distribusi fluks radiasi untuk brakiterapi. Dalam penelitian ini, kasus yang diamati yaitu menggunakan *breast cancer* dengan sistem Paris.

2. METODOLOGI

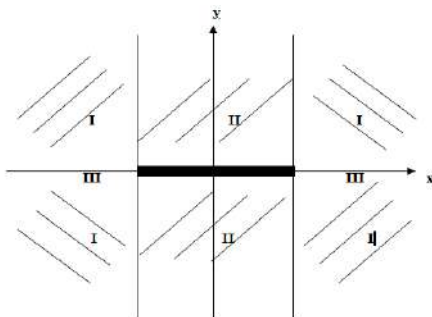
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan transformasi koordinat untuk menghasilkan formulasi distribusi fluks partikel radiasi, Kurva kontur dalam pendistribusian partikel radiasi dihasilkan dengan menggunakan komputasi sederhana pada program aplikasi *scilab*.

*Email: tasrief@unhas.ac.id

Kerapatan fluks radiasi tergantung pada dosis serap dari sumber radiasi eksternal dan berbagai sumber geometri, kemudian sumber geometri yang digunakan mendekati sumber garis dengan menggunakan brakiterapi sistem Paris pola kisi segitiga.

Penggunaan geometri garis untuk menghasilkan kurva kontur radiasi harus tetap memperhatikan pembagian daerah untuk setiap kemungkinan posisi sumber radioaktifnya. Dimana terdapat tiga kemungkinan posisi sumber radioaktifnya, yaitu vertikal, horisontal dan miring, seperti ditunjukkan pada gambar 1⁴.

Berikut adalah perhitungan sederhana untuk menentukan distribusi fluks radiasi dari sumber radioaktif dengan geometri garis.



Gambar 1. Membagi ruang kordinat di-tiga wilayah untuk sumber radioaktif dengan geometri garis⁴.

Pada wilayah I (P_1) differensial kerapatan fluks dari sumber garis diberikan oleh⁴:

$$d\phi_1 = \frac{S_L}{4\pi r^2} dy \quad 1$$

Sehingga⁵:

$$\phi_1 = \frac{S_L}{4\pi} \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{r^2} = \frac{S_L}{4\pi h} (|\theta_2| - |\theta_1|) \quad 2$$

Demikian pula untuk wilayah II (P_2)⁵:

$$\phi_2 = \frac{S_L}{4\pi} \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{r^2} = \frac{S_L}{4\pi} \int_{|\theta_2|}^{|\theta_1|} \frac{h \sec^2 \theta}{h^2 \sec^2 \theta} d\theta = \frac{S_L}{4\pi h} (|\theta_2| + |\theta_1|) \quad 3$$

Untuk Wiliyah III (P_3)⁵:

$$\phi_3 = \frac{S_L}{4\pi} \int_l^{nl} \frac{dy}{y^2} = \frac{S_L}{4\pi} \left[-\frac{1}{y} \right]_l^{nl} = \frac{S_L}{4\pi} \left[\frac{1}{l} - \frac{1}{nl} \right] = \frac{S_L}{4\pi} (n-1) \quad 4$$

Dengan mempertimbangkan koefisien atenuasi linier jaringan sekitar tumor, maka⁵:

$$\phi = \frac{S}{4\pi r^2} e^{-\mu t} \quad 5$$

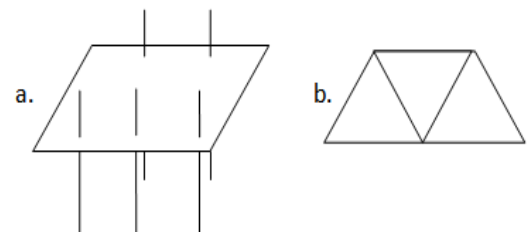
Dimana, μ adalah koefisien atenuasi massa dan t adalah ketebalan *absorber* dalam (cm^2 / g). Nilai μ/ρ yang diperoleh dari jaringan sekitar objek disajikan dalam tabel 1. Dimana nilai tersebut diambil dari data khusus perhitungan jaringan *breast*.

Tabel 1. Nilai koefisien atenuasi linier jaringan *breast*⁶.

Energi (keV)	μ^{ph}/ρ	μ^{coh}/ρ	μ^{incoh}/ρ	μ/ρ	Densitas ρ
Intensitas (%)	(cm^2/g)	(cm^2/g)	(cm^2/g)	(cm^2/g)	(g/cm^3)
308,46 (29,68)	$6,03 \cdot 10^{-5}$	$6,03 \cdot 10^{-4}$	$1,16 \cdot 10^{-1}$	$1,17 \cdot 10^{-1}$	
316,51 (82,71)	$5,88 \cdot 10^{-5}$	$4,84 \cdot 10^{-4}$	$1,15 \cdot 10^{-1}$	$1,16 \cdot 10^{-1}$	1.020
468,07 (47,81)	$1,81 \cdot 10^{-5}$	$2,22 \cdot 10^{-4}$	$9,87 \cdot 10^{-2}$	$9,91 \cdot 10^{-2}$	

Untuk menentukan distribusi sumber dari pusat bidang *implant*, digunakan sistem Paris pola kisi segitiga selama penempatan garisnya sejajar dan berada pada sudut yang sesuai. dengan bentuk/model *breast*. Seperti pada gambar 2 disajikan pemodelan sumber pola kisi segitiga untuk mengetahui letak sumber dalam *treatment* brakiterapi untuk kasus *breast cancer*.

Pemodelan dengan pola kisi segitiga pada gambar 2 memungkinkan dosis dari sumber radioaktif tersebar merata untuk seluruh jaringan abnormal atau sesuai dengan model objek yang diradiasi



Gambar 2. Bidang 2 dimensi untuk sumber yang membentuk bangun segitiga dan harus sama sisi atau setiap panjang sisinya saling mendekati⁷.

3. HASIL DAN BAHASAN

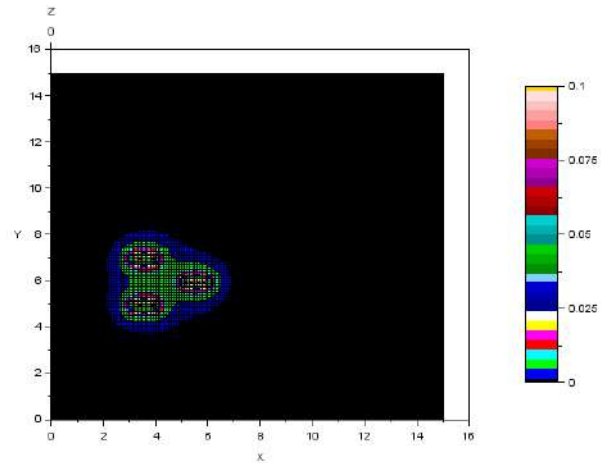
Kontur awal yang dibuat adalah pemodelan *breast*, yaitu dengan memperhitungkan seluruh aspek dari *breast*, seperti ketebalan, panjang maupun diameter *breast* pada umumnya. Ukuran *breast* yang digunakan yaitu dengan diameter 13 cm, dengan panjang 10 cm, dengan domain untuk ketebalan yaitu $0 \leq x \leq 10$ dan domain untuk diameter yaitu $2 \leq y \leq 15$. Kurva kontur distribusi fluks partikel radiasi yang dihasilkan dari program aplikasi Scilab dibuat dengan memasukkan nilai koefisien atenuasi jaringan dan juga tanpa nilai koefisien atenuasi jaringan sekitar objek yang ditinjau untuk mengamati perbedaan jumlah dosis yang diterima oleh jaringan dengan pertimbangan koefisien atenuasi tersebut.

Setiap sumber yang dimasukkan ke dalam jaringan harus memiliki jarak yang sama satu sama lain. Peletakan sumber radiasi di dalam jaringan dapat dilihat dalam tabel 2 untuk setiap *input* geometri sumber.

Tabel 2. *Input* geometri sumber

Sumber ke-	Sumbu-x	Sumbu-y
1	$3 \leq x \leq 4$	$y = 7$
2	$3 \leq x \leq 4$	$y = 5$
3	$5 \leq x \leq 6$	$y = 6$

Kurva kontur distribusi fluks partikel radiasi tanpa koefisien atenuasi dapat dilihat dalam gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. Kurva kontur sebaran distribusi fluks partikel radiasi tanpa koefisien atenuasi jaringan *breast* menggunakan interval 0,1.

Kurva kontur yang dihasilkan dalam gambar 3. menunjukkan tanpa adanya unsur *breast* untuk sebaran dosis radiasi, sehingga yang ditampilkan hanya sebatas untuk sebaran distribusi fluks radiasinya saja. Nilai partikel radiasi untuk sumber ke-1 pada titik $3 \leq x \leq 4$ dan $y = 7$ disajikan di dalam tabel 3 yang mewakili matriks di bagian atas dan bagian bawah sumber dan tabel 4 untuk yang mewakili bagian terjauh dari letak sumber yaitu dengan geometri $1 \leq x \leq 2$ dan $14 \leq y \leq 15$

Tabel 3. Matriks sebaran distribusi fluks radiasi pada daerah bagian atas dan bawah sumber radioaktif

y \ x	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4
7,5	78,262	87,904	96,199	102,484	106,452	108,018	107,175	103,932	98,377	90,817	81,919
7,4	101,915	117,944	131,407	141,183	147,088	149,289	147,886	142,783	133,818	121,173	105,977
7,3	141,561	171,329	194,833	210,490	219,291	222,375	220,172	212,258	197,499	174,907	146,071
7,2	220,981	288,280	333,379	358,631	371,323	375,486	372,294	360,581	336,322	292,239	225,985
7,1	458,914	693,481	787,087	825,175	841,862	847,022	842,929	827,320	790,331	697,854	464,459
7	395,137	395,669	396,207	396,753	397,311	397,885	398,481	399,107	399,772	400,488	401,267
6,9	460,818	695,487	789,195	827,383	844,170	849,432	845,447	829,955	793,100	700,781	467,577
6,8	224,819	292,326	337,630	363,084	375,976	380,343	377,365	365,884	341,889	298,118	232,244
6,7	147,398	177,484	201,301	217,263	226,365	229,754	227,867	220,295	205,923	183,790	155,515
6,6	109,852	126,319	140,209	150,398	156,707	159,311	158,321	153,661	145,195	133,142	118,673
6,5	88,445	98,658	107,505	114,319	118,796	120,860	120,519	117,807	112,845	105,987	97,962

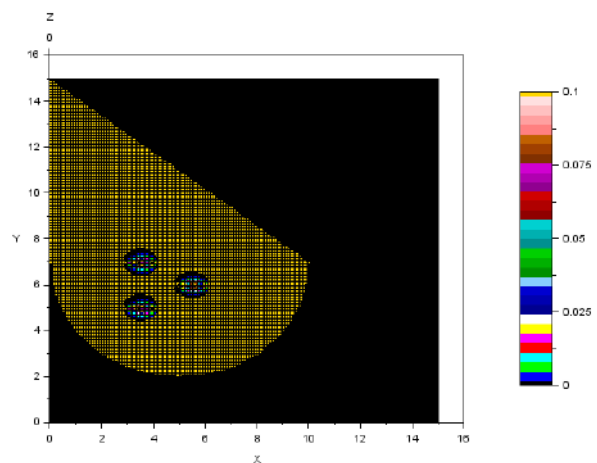
Keterangan : Warna kuning mewakili letak sumber radioaktif

Tabel 4. Matriks sebaran distribusi fluks radiasi pada daerah yang terjauh dari letak sumber dengan geometri $1 \leq x \leq 2$ dan $14 \leq y \leq 15$

y \ x	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
15	1,428	1,437	1,446	1,454	1,463	1,471	1,479	1,487	1,494	1,501	1,509
14,9	1,455	1,464	1,474	1,483	1,491	1,500	1,508	1,516	1,524	1,532	1,539
14,8	1,483	1,493	1,503	1,512	1,521	1,530	1,538	1,547	1,555	1,563	1,571
14,7	1,512	1,522	1,532	1,542	1,551	1,561	1,570	1,578	1,587	1,595	1,603
14,6	1,542	1,553	1,563	1,573	1,583	1,592	1,602	1,611	1,620	1,628	1,637
14,5	1,573	1,584	1,594	1,605	1,615	1,625	1,635	1,644	1,654	1,663	1,671
14,4	1,604	1,616	1,627	1,638	1,648	1,659	1,669	1,679	1,689	1,698	1,707
14,3	1,637	1,649	1,660	1,672	1,683	1,694	1,704	1,715	1,725	1,735	1,744
14,2	1,670	1,683	1,695	1,707	1,718	1,730	1,741	1,752	1,762	1,772	1,782
14,1	1,705	1,718	1,730	1,743	1,755	1,767	1,778	1,790	1,801	1,811	1,822
14	1,740	1,754	1,767	1,780	1,793	1,805	1,817	1,829	1,840	1,852	1,862

Setiap nilai-nilai yang disajikan dalam tabel 3 mewakili setiap nilai partikel radiasi yang diterima oleh jaringan abnormal dan sekitarnya. Semakin dekat dengan sumber, maka jaringan mendapatkan dosis radioaktif yang tinggi, bahkan dosisnya akan lebih besar dibandingkan dengan dosis awal yang diberikan (hanya sebatas pada daerah target). Hal tersebut terjadi karena daerah yang terdekat dengan sumber yang satu akan menerima dosis radiasi dari sumber yang lain, sehingga jaringan abnormal yang memang diinginkan untuk menerima dosis yang besar akan hancur lebih cepat, dan distribusi fluks partikel radiasi yang diterima jaringan disekitarnya hanya bernilai kecil/sedikit. Sedangkan tabel 4 menunjukkan bahwa semakin jauh jarak dari sumber maka partikel radiasi yang diterima juga akan semakin sedikit.

Kurva kontur distribusi fluks partikel radiasi dengan pengaruh koefisien atenuasi dapat dilihat dalam gambar 4. Pola distribusi fluks partikel radiasi per-sumber menyesuaikan dengan bentuk organ tubuh yang terkena kanker, sehingga distribusi fluks partikel radiasi yang dihasilkan akan tersebar merata pada daerah tepat atau dekat sel kanker berada. Penyimulasian partikel radiasi dilakukan dengan perhitungan nilai koefisien atenuasi jaringan *breast* (adanya unsur *breast*). Penempatan sumber radioaktif di dalam jaringan *breast* telah disesuaikan dengan volume target yang akan dihancurkan, sehingga dosis yang diberikan hanya akan berpengaruh pada jaringan abnormal itu sendiri



Gambar 4. Kurva kontur distribusi fluks partikel radiasi dengan pengaruh koefisien atenuasi jaringan *breast* menggunakan interval 0,1.

Nilai partikel radiasi dengan adanya pengaruh koefisien atenuasi untuk sumber ke-1 pada titik $3 \leq x \leq 4$ dan $y = 7$ disajikan di dalam tabel 5 yang mewakili matriks di bagian atas dan bagian bawah sumber dan tabel 6. Untuk bagian yang terjauh dari letak sumber yaitu dengan geometri $1 \leq x \leq 2$ dan $14 \leq y \leq 15$.

Tabel 5. Matriks sebaran distribusi fluks radiasi pada daerah di atas dan di bawah sumber radioaktif

y \ x	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4
7,5	3,249	4,929	6,978	9,085	10,733	11,388	10,807	9,215	7,139	5,097	3,407
7,4	5,715	9,253	13,853	18,874	23,008	24,683	23,135	19,092	14,113	9,514	5,953
7,3	10,270	18,063	28,881	41,560	52,856	57,661	53,072	41,917	29,288	18,456	10,616
7,2	19,594	38,545	65,829	100,456	135,779	152,691	136,142	101,019	66,436	39,109	20,077
7,1	46,291	108,505	189,740	301,754	445,595	540,181	446,184	302,588	190,601	109,296	46,956
7	380,039	380,044	380,049	380,054	380,060	380,066	380,074	380,085	380,101	380,124	380,158
6,9	46,523	108,886	190,333	302,658	446,922	541,830	447,635	303,677	191,401	109,890	47,381
6,8	19,977	39,148	66,747	101,796	137,583	154,775	138,111	102,623	67,656	40,016	20,746
6,7	10,741	18,778	29,922	42,994	54,667	59,688	55,045	43,624	30,658	19,513	11,422
6,6	6,217	9,984	14,873	20,214	24,631	26,466	24,897	20,677	15,443	10,583	6,798
6,5	3,744	5,623	7,909	10,262	12,120	12,891	12,306	10,597	8,338	6,096	4,225

Keterangan : Warna kuning mewakili letak sumber radioaktif

Tabel 6. Matriks sebaran distribusi fluks radiasi pada daerah yang terjauh dari letak sumber dengan geometri $1 \leq x \leq 2$ dan $14 \leq y \leq 15$.

y \ x	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
15	6,0E-17	6,8E-17	7,8E-17	8,9E-17	1,0E-16	1,1E-16	1,3E-16	1,4E-16	1,6E-16	1,7E-16	1,9E-16
14,9	9,3E-17	1,1E-16	1,2E-16	1,4E-16	1,6E-16	1,8E-16	2,0E-16	2,2E-16	2,5E-16	2,7E-16	3,0E-16
14,8	1,5E-16	1,7E-16	1,9E-16	2,2E-16	2,5E-16	2,8E-16	3,1E-16	3,5E-16	3,9E-16	4,3E-16	4,7E-16
14,7	2,3E-16	2,6E-16	3,0E-16	3,5E-16	3,9E-16	4,4E-16	5,0E-16	5,6E-16	6,2E-16	6,8E-16	7,5E-16
14,6	3,6E-16	4,1E-16	4,7E-16	5,4E-16	6,2E-16	7,0E-16	7,9E-16	8,8E-16	9,8E-16	1,1E-15	1,2E-15
14,5	5,6E-16	6,5E-16	7,4E-16	8,5E-16	9,7E-16	1,1E-15	1,2E-15	1,4E-15	1,5E-15	1,7E-15	1,9E-15
14,4	8,7E-16	1,0E-15	1,2E-15	1,3E-15	1,5E-15	1,7E-15	2,0E-15	2,2E-15	2,5E-15	2,7E-15	3,0E-15
14,3	1,4E-15	1,6E-15	1,8E-15	2,1E-15	2,4E-15	2,7E-15	3,1E-15	3,5E-15	3,9E-15	4,3E-15	4,8E-15
14,2	2,1E-15	2,5E-15	2,9E-15	3,3E-15	3,8E-15	4,3E-15	4,9E-15	5,5E-15	6,1E-15	6,8E-15	7,6E-15
14,1	3,3E-15	3,9E-15	4,5E-15	5,2E-15	6,0E-15	6,8E-15	7,7E-15	8,7E-15	9,7E-15	1,1E-14	1,2E-14
14	5,2E-15	6,1E-15	7,0E-15	8,1E-15	9,4E-15	1,1E-14	1,2E-14	1,4E-14	1,5E-14	1,7E-14	1,9E-14

Sebaran nilai dosis yang disajikan dalam tabel 5 menunjukkan bahwa dengan adanya perhitungan koefisien atenuasi jaringan *breast* (lemak dan udara) maka dosis yang diterima jauh lebih kecil dibandingkan dengan dosis yang diterima jika tanpa pengaruh koefisien atenuasi jaringan *breast*. Hal ini menunjukkan bahwa jaringan lemak yang ada pada *breast* mempengaruhi jumlah dosis yang diterima. Sehingga pada tabel 6 menunjukkan jumlah dosis yang diterima oleh jaringan terluar hampir mendekati nilai nol (0).

4. KESIMPULAN

Jika dibandingkan antara penyimulasian fluks partikel radiasi dengan perhitungan nilai koefisien atenuasi dan tanpa pengaruh nilai koefisien atenuasi jaringan *breast*, maka diketahui bahwa dalam penyimulasian dosis radiasi jika terdapat jaringan lain yang

berperan, maka partikel radiasi yang diterima oleh volume target juga akan berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Limbergen, E. V. 2002. *Breast Cancer. The GEC ESTRO Handbook of Brakiterapi*. ACCO, Leuven, Belgium.
2. Wirawan, S. dan Gondhowiardjo, S. A. 2014. Peranan Radioterapi Terhadap Soft Tissue Sarcoma (STS) di Ekstremitas. *Journal Of The Indonesian Radiation Oncology Society*. Vol 5, ISSN: 2086-9223, Hal. 34-41.
3. Mishra, R. and Mishra, H. 2015. *Brachytherapy A Brief Review with focus*

- on Carcinoma Cervix. IOSR Journal of Dental and Medical Sciences. Vol 14, e-ISSN: 2279-0853, p-ISSN: 2279-0861, Hal. 1-4.
4. Kamilah, S. I. and Haryanto, F. 2015. Simple Calculation of The Radiation Flux Distribution for Brachytherapy Using Microsoft Excel. Journal of Medical Physics and Biophysics, Vol 2, Hal. 36-39.
 5. Kase, K. R. and Nelson, W. R. 1972. Concepts of Radiation Dosimetry. Stanford Linear Accelerator Center Stanford University, California.
 6. Baltas, D., Sakelliou, L. and Zamboglou, N.. 2007. The Physics of Modern Brachytherapy for Oncology. Taylor & Francis Group, United States of America.
 7. Pierquin, B., Dutrei, A., Paine, C. H., Chassagne, D., Marinello, G. and Ash, D. 2009. The Paris Sistem in Interstitial Radiation Therapy. Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/ionc18>. ISSN: 0348-5196, Hal. 32-48.

Uji Karakteristik Fungsi *Black White* pada Pendeteksian Tepi menggunakan *Fuzzy Logic*

Uvi Damayanti*, Eko Juarlin, Tasrief Surungan

Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

Abstrak

Penggunaan metode *fuzzy logic* telah dilakukan untuk menghasilkan batas tepi dari nilai piksel citra. Uji karakteristik fungsi *black white* bertujuan untuk mengetahui rentang nilai piksel citra *edge* atau *non edge*. Penelitian ini terdapat beberapa tahapan, yaitu : fuzzifikasi terdiri dari fungsi *black* dan fungsi *white* yang divariasikan, aturan dasar terdiri dari 30 aturan, fungsi *edge* dan fungsi *non edge* dan defuzzifikasi dihasilkan berdasarkan perhitungan *center of area*. Diperoleh rentang *edge* atau *non edge* yang berbeda berkaitan dengan fungsi *black* dan fungsi *white* yang berbeda.

Kata Kunci: deteksi tepi, *fuzzy logic*, piksel.

1. PENDAHULUAN

Piksel adalah kumpulan titik-titik yang menggambarkan suatu citra atau objek. Titik-titik tersebut merupakan bagian terkecil dari suatu citra atau objek tersebut¹.

Tepi (*edge*) adalah perubahan nilai variabel keabu-abuan dalam jarak yang kecil. Tujuan dari deteksi tepi adalah untuk membatasi bagian citra dengan *background* dan menandai bagian terkecil dari citra serta memperbaiki citra yang kabur karena adanya gangguan (*noise*). Deteksi tepi biasanya digunakan untuk menganalisis suatu citra².

Pendeteksian tepi merupakan salah satu tahap dari analisis citra. Tahap awal dalam analisis citra dimulai dengan pengenalan pola. Salah satu metode yang biasa digunakan dalam deteksi tepi yaitu metode *Laplacian*. Selain metode tersebut juga terdapat metode pendeteksian tepi dengan menggunakan *fuzzy logic*. *Fuzzy logic* dapat memperbaiki kekaburan *image* dengan baik seperti menandai bagian tepi dari suatu citra. Maka *fuzzy logic* dianggap mampu dalam pendeteksian tepi².

Logika fuzzy (*fuzzy logic*) merupakan suatu logika yang memiliki nilai keabu-abuan antara benar dan salah. Teori *fuzzy logic* bisa bernilai hitam atau putih secara bersamaan. Contoh lainnya adalah bisa bernilai panas atau dingin pada waktu yang sama, bisa bernilai tua atau muda pada umur yang sama, dan sebagainya. Sebelum munculnya teori logika fuzzy dikenal sebuah logika yang dinamakan

logika tegas (*crisp logic*) yang memiliki nilai hitam atau putih dengan jelas³.

Sistem Inferensi Fuzzi atau biasa disebut *Fuzzy Inference System (FIS)* adalah suatu proses yang terdiri dari beberapa himpunan *fuzzy* kemudian di *input* dan akan menghasilkan *output* baru sebagai hasil dari metode *fuzzy logic*. *FIS* ini terdiri dari beberapa macam tahapan yang menjadi tahapan pengambilan keputusan dari metode tersebut⁴.

Proses-proses dari *FIS* pada penelitian ini meliputi tiga tahap utama : pertama, fuzzifikasi yaitu suatu tahapan untuk menentukan *input* berdasarkan himpunan *fuzzy* yang sesuai. Tahap ini adalah proses perubahan atau transformasi seluruh variabel *input* dan *output* ke himpunan *fuzzy* yang telah dibuat sebelumnya. Nilai variabel-variabel tersebut dikelompokkan ke dalam beberapa himpunan *fuzzy* dan tiap himpunan mempunyai derajat keanggotaan tertentu⁵.

Kedua, mengubah derajat keanggotaan tersebut menggunakan aturan dasar yang sesuai. Aturan dasar pada *fuzzy logic* merupakan suatu tahap pengambilan keputusan yang berbentuk jika-maka yang terdiri dari implikasi dan agregasi⁶. *Input* pada tahapan ini adalah hasil dari fuzzifikasi berdasarkan aturan dasar yang telah ditetapkan⁷. Aturan dasar pada penelitian ini terdiri dari 30 aturan¹⁰.

Terakhir, defuzzifikasi yaitu suatu tahap untuk mengubah kembali himpunan *fuzzy* menjadi himpunan *crisp*. *Input* dari

*Email: uvi.damayanti@gmail.com

defuzzifikasi adalah hasil implikasi dan agregasi yang merupakan komposisi aturan dasar yang dihasilkan dari pada tahap sebelumnya⁸. Contoh metode penyelesaian defuzzifikasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *Center of Area (CoA)*. Metode *CoA* ini diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy*. Secara umum dirumuskan sebagai berikut⁹:

$$z = \frac{\int_z z \mu(z) dz}{\int_z \mu(z) dz} \quad (1)$$

2. BAHAN DAN METODA

- a. *Input* piksel 3x3
- b. Operasi fuzzifikasi yaitu mengubah nilai *real* menjadi nilai *fuzzy*.
- c. *Input* setiap piksel yang terdiri dari P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 dan P9 ke dalam fungsi *black/white* dan fungsi *edge/non edge*.
- d. *Input* setiap nilai *fuzzy* ke tabel *rules*. Tabel *rules* memiliki 30 *rules* yang terdiri dari 8 *fuzzy input* yaitu *black* atau *white* dan 1 *fuzzy output* yaitu *edge* atau *non edge*.
- e. Melakukan operasi MIN-MAX pada tabel *rules*.
- f. Melakukan operasi defuzzifikasi yaitu mengubah kembali nilai *fuzzy* menjadi nilai *real*.

a. Matriks

Matriks yang digunakan pada penelitian ini yaitu matriks dengan ukuran 3x3. Dimana titik tengah yaitu P5 sebagai *output* dan memiliki 8 tetangga yaitu P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8 dan P9 sebagai *input* seperti pada tabel 1 berikut.

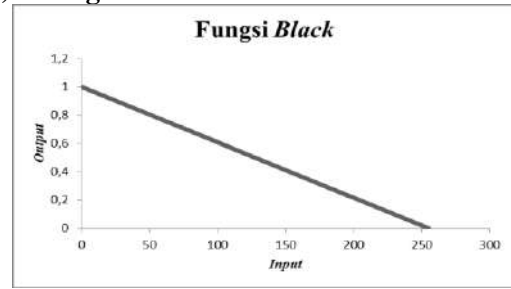
Tabel 1. Matriks 3x3

P1	P2	P3
P4	P5	P6
P7	P8	P9

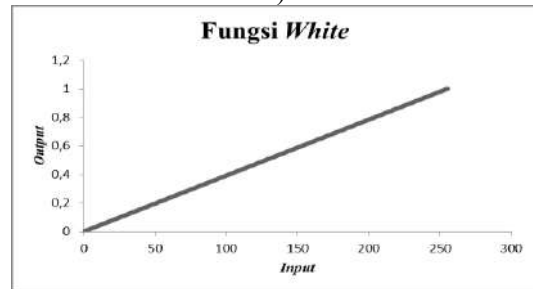
b. Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy

Fuzzy input terdiri dari dua himpunan *fuzzy* yaitu fungsi *black* dan fungsi *white*. Sedangkan *fuzzy output* terdiri dari dua himpunan *fuzzy* juga yaitu fungsi *edge* dan fungsi *non edge* seperti digambarkan pada gambar 1, gambar 2 dan gambar 3 berikut.

1) Fungsi Black White 1



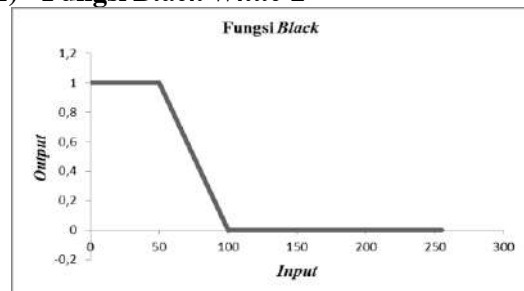
a)



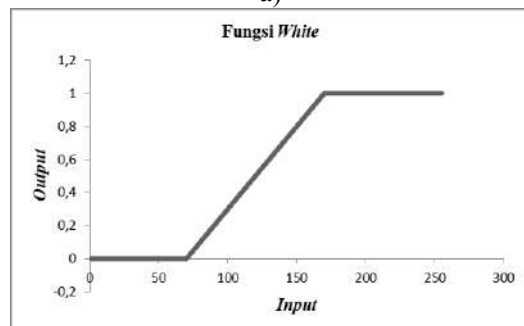
b)

Gambar 1. a) Fungsi black b) Fungsi white

2) Fungsi Black White 2



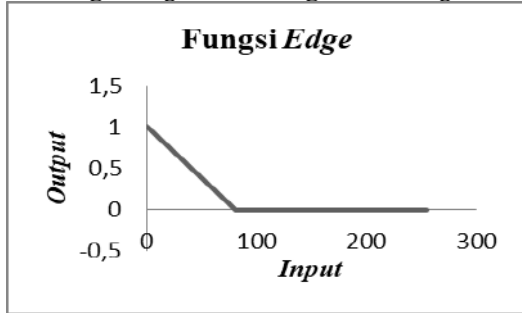
a)



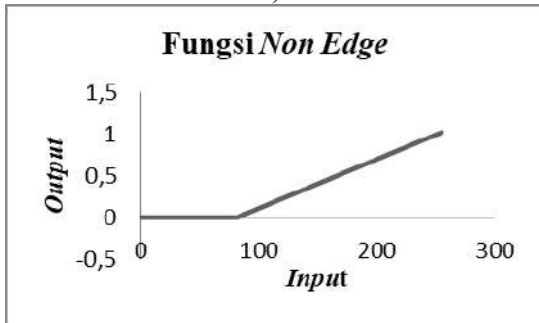
b)

Gambar 2. a) Fungsi black b) Fungsi white

3) Fungsi Edge dan Fungsi Non Edge



a)



b)

Gambar 3. a) Fungsi edge b) Fungsi non edge

3. HASIL DAN BAHASAN

a. Karakteristik Simetri Putar Nilai Pixel

Tabel 2. Simetri Putar Nilai Pixel

No	Piksel	BW 1	BW 2
1.	10 20 180 10 20 180 10 20 180	Edge	Non Edge
2.	180 20 10 180 20 10 180 20 10	Edge	Non Edge
3.	180 180 180 20 20 20 10 10 10	Edge	Non Edge
4.	10 10 10 20 20 20 180 180 180	Edge	Non Edge
5.	100 110 120 100 110 120 100 110 120	Non Edge	Non Edge

6.	120 110 100 120 110 100 120 110 100	Non Edge	Non Edge
7.	120 120 120 110 110 110 100 100 100	Non Edge	Non Edge
8.	100 100 100 110 110 110 120 120 120	Non Edge	Non Edge

Keterangan :

BW 1 : Fungsi Black White 1

BW 2 : Fungsi Black White 2

Tabel 2 menunjukkan bahwa simetri putar dari nilai piksel tidak memengaruhi penentuan edge dan non edge untuk masing-masing fungsi black white yang divariasikan.

b. Karakteristik Batas Nilai Pixel

Tabel 3. Batas Nilai Pixel

No	Piksel	BW 1	BW 2
1.	0 1 99 0 1 99 0 1 99	Non Edge	Non Edge
2.	0 1 100 0 1 100 0 1 100	Edge	Non Edge
3.	0 1 254 0 1 254 0 1 254	Edge	Non Edge
4.	0 1 255 0 1 255 0 1 255	Edge	Edge
5.	180 190 71 180 190 71 180 190 71	Non Edge	Non Edge

6.	180	190	70	Edge	Non Edge
	180	190	70		
	180	190	70		
7.	254	10	0	Edge	Non Edge
	254	10	0		
	254	10	0		
8.	255	10	0	Edge	Edge
	255	10	0		
	255	10	0		

Keterangan :

BW 1 : Fungsi *Black White 1*

BW 2 : Fungsi *Black White 2*

Tabel 3 menunjukkan bahwa batas untuk penentuan *edge* dan *non edge* dari nilai piksel yang divariasikan memiliki rentang batas yang berbeda dari kedua fungsi *black white* tersebut.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada tabel 2 dan tabel 3 didapatkan bahwa hasil untuk *edge* atau *non edge* akan berbeda jika menggunakan fungsi *black white* yang berbeda pula.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Simetri putar dari nilai piksel tidak memengaruhi penentuan *edge* dan *non edge* untuk masing-masing fungsi *black* dan fungsi *white* yang divariasikan
2. Batas untuk penentuan *edge* dan *non edge* dari nilai piksel yang divariasikan memiliki rentang batas yang berbeda dari kedua fungsi *black* dan fungsi *white* tersebut.
3. Deteksi tepi menggunakan metode *fuzzy logic* adalah metode deteksi tepi yang mampu menghasilkan garis batas tepi sehingga batas tepi dari suatu citra dapat dilihat dengan jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sigit dan Agung. *Pengertian – Pengertian Dasar Image Processing*. Diktat. Grafika Komputer dan Pengolahan Citra (*Image Processing*), Universitas Gunadarma, Depok. 2013.

- [2] D. K. H. Putra, Kushartantya dan A. Sugiharto. “ Pendeteksian Tepi Citra Digital dengan Logika Fuzzy”. *Jurnal Masyarakat Informatika*, Vol.4, No.7:11-21, 2017.
- [3] Anonim. *Handout Mata Kuliah Artificial Intelegence Logika Fuzzy*. Diktat, Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Widyagama, Malang, 2017.
- [4] Ernawati, K. Anggriani dan F. F. Coantera. “Deteksi Tepi Citra Batik Besurek Motif Gabungan menggunakan Fuzzy Inferences System (FIS)”.
- [5] S. J. P. Yulianto, Y. Nataliani dan A. Kurniawan.”Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Deteksi Tepi Aplikasi *Computer Assistant Diagnosis* Kanker Payudara”. *Jurnal Teknologi Informasi*, Vol.6, No.1;Hal.1-100, 2009.
- [6] E. Prasetyo. *Pengolahan Citra Digital dan Aplikasinya menggunakan Matlab*. Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2011.
- [7] H. Thendean dan M. Sugiarto. “Penerapan Fuzzy If-Then Rules untuk Peningkatan Kontras pada Citra Hasil Mammografi”. *Jurnal Informatika*, Vol.9, No.1:1-7, 2008.
- [8] H. Nasution. “Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan”. *Jurnal ELKHA*, Vol.4, No.2:4-8, 2012.
- [9] Sutikno dan I. Waspada. “Perbandingan Metode Defuzzifikasi Sistem Kendali Logika Fuzzy Model Mamdani pada Motor DC”. *Jurnal Masyarakat Informatika*, Vol.2, No.3:27-37, 2016.
- [10] B. S. Nikitha dan A. N. Myan., 2015. Fuzzy Logic based Edge Detection in Color Image. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering dan Technology*, Vol.2, 65-69.

Pengukuran Radio Aktivitas Alam dalam Gua Menggunakan Detektor Jejak Nuklir CR-39

Syamsir Dewang^{1*}, Martono Manda¹, Bualkar Abdullah¹, Bannu¹, dan Syarbaini²

¹Departemen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin

Jalan Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar

²Pusat Teknologi Kalibrasi dan Metrologi radiasi (PTKMR), Badan Tenaga Nuklir (BATAN).

Abstrak

Gua atau lubang besar di pegunungan diisi oleh radiasi alam yang terkungkung di dalamnya untuk jangka panjang dan waktu yang lama, jika tidak terdapat sirkulasi udara dalam gua tersebut. Hal ini menyebabkan radiasi alam dalam bentuk radio aktif berupa gas mulia yang banyak mengisi lubang besar tersebut. Untuk mengukur kandungan radiasi dari radio aktif alam, penelitian ini menggunakan alat ukur detektor jejak nuklir model CR – 39, bekerja sama dengan Pusat Teknologi Kalibrasi dan Metrologi radiasi (PTKMR), Badan Tenaga Nuklir (BATAN). Pengukuran radiasi dalam Gua dilakukan di daerah Ke'te' Kesu Kabupaten Toraja Utara. Metode pengukuran radiasi alam ini menggunakan dosimeter radon-thoron yang dipasang di sepanjang lintasan dalam gua, mulai dari mulut Gua sampai pada bagian dalam Gua yang terkungkung dengan tidak memiliki lubang pembuangan udara ke luar Gua. Dengan demikian kandungan gas Radon dan Thoron yang terukur merupakan gas mulia dan bersifat zat radio aktif. Hasil pengukuran diperoleh konsentrasi tertinggi dari radon ^{222}Rn sebesar 21. 247 Bq/m³ dan thoron (*Th*) atau ^{220}Rn sebesar 19. 815 Bq/m³. Hasil pengukuran radiasi Radon dan Thoron tersebut menunjukkan bahwa kandungan radio aktivitas alam pada Gua Ke'te' Kesu mengandung radiasi yang cukup tinggi.

Kata Kunci: Radiasi alam, Gua, Detektor Jejak nuklir CR-39, radon dan thoron.

1. PENDAHULUAN

Radiasi alam merupakan radiasi terbesar diterima oleh manusia yang tidak bekerja pada tempat yang menggunakan radioaktif atau yang tidak menerima radiasi berkaitan dengan peralatan medis. Adapun sumber utama radiasi alam adalah radiasi terrestrial, yakni radiasi yang berasal dari dalam dan permukaan bumi, dilepaskan oleh radionuklida primordial pada kerak bumi. Radiasi primordial ini adalah nuklida-nuklida yang memancarkan radiasi semenjak pembentukan bumi dengan waktu paro berorde 1 milyar (10^9) tahun. Sumber radiasi ini terdapat di dalam tanah, batuan, dan gua, dengan kuantitas tergantung pada kondisi geologi tiap daerah.

Unsur radioaktif alam, yang paling banyak adalah radon (^{222}Rn) dan thoron (^{220}Rn) merupakan zat radioaktif yang dapat menimbulkan masalah radiologi yang cukup signifikan.¹ Menurut laporan UNSCEAR tahun 2000 radon merupakan radiasi alam terbesar dan dapat mencapai 55%. Radon merupakan radionuklida yang berumur pendek yang dapat

menempel pada partikel halus di udara dan akan terhirup serta meradiasi paru-paru dengan partikel alfa sehingga dapat menaikkan resiko kanker paru-paru. Isotop radon yaitu thoron (^{220}Rn) juga memiliki sifat yang sama tetapi derajat paparan radiasinya terhadap paru-paru lebih kecil.

Efek radiasi yang ditimbulkan oleh radionuklida dari unsur radon dan thoron khususnya yang dihasilkan dari lubang atau Gua, namun memiliki waktu paruh yang pendek yakni Thoron memiliki waktu paruh 55,6 s dan sangat kecil bila dibandingkan dengan radon (^{222}Rn) dengan waktu paruh 3,82 hari. Dengan demikian perlu dilakukan pengukuran kandungan radio aktivitas alam di Gua Ke'te Kesu' yang berlokasi di Kabupaten Toraja Utara mengingat daerah tersebut sebagai daerah wisata.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Unsur Radio nuklida dalam Gua

Unsur radio nuklida seperti Radon merupakan ancaman besar bagi kesehatan manusia ketika berada di ruang yang sempit seperti rumah, tambang, dan gua, yang terpapar dalam waktu yang cukup lama. Dosis radiasi yang diterima dari paparan radon per tahun dari gua

*Email: dewang1163@gmail.com

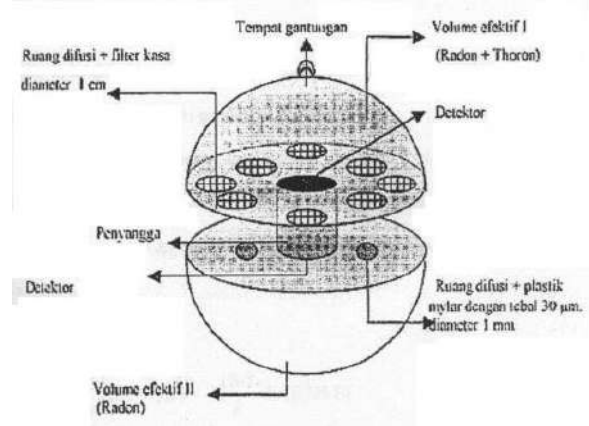
diperkirakan 1 nSv (0,1 mrem)³, meskipun *cavers* dan pekerja gua diperkirakan menerima dosis yang lebih tinggi dari itu. Bahaya dari paparan radon tidak dapat diketahui oleh para pekerja (pemandu wisata, staff pemeliharaan gua, di sekitar pintu masuk gua) tanpa alat pengukur² di dalam gua, gas radon yang tinggi tidak mudah untuk direhabilitasi karena lingkungan gua dijaga agar tetap dalam keadaan alami.

Radon belum dianggap sebagai ancaman yang serius bagi para pekerja gua walaupun peningkatan konsentrasi radon di dalam gua naik, karena hal itu masih dianggap rendah dalam hal radiasi pengion. Namun para pekerja di Inggris (pemandu wisata, pekerja gua) tidak diizinkan untuk bekerja di sekitar lokasi ketika menerima dosis efektif diatas 50 mSv per tahun (10 WLM/tahun). Batas dosis efektif 50 mSv per tahun ini juga berlaku di Amerika Serikat walaupun yang berlaku secara umum adalah 20 mSv per tahun (4 WLM/tahun) sementara NCRP menyarankan untuk lebih fleksibel dalam mengendalikan paparan terhadap pekerja. Dosis radiasi yang dianggap rendah berkisar 0-100 mGy (0-10 rad), dosis menengah antara 100 mGy -1 Gy (10-100 rad) dan dosis tinggi dari 1Gy ke 20-60 Gy (100 sampai 2,000-6,000 rad)³

2.2. Dosimeter Pasif Radon-Thoron

Dosimeter radon-thoron pasif dibuat dari bahan plastik polikarbonat yang dicampur dengan karbon hitam tipe FD-9054 F yang merupakan bahan plastik anti statik. Desain dosimeter radon-thoron pasif berbentuk setengah bola yang masing-masing berdiameter 50 mm yang dihubungkan dengan pipa sebagai penyangga dengan panjang 15 mm dan diameter 20 mm (Gambar 1). Bagian bawah setengah bola merah diberi 8 lubang berdiameter 10 mm dan ditutup dengan filter kasa (volume efektif I). Setengah bola berwarna putih diberi 2 lubang dengan diameter masing-masing 1 mm dan dilapisi dengan milar dengan tebal 30 µm (volume efektif II). Detektor film CR-39 (diameter 14 mm) dipasang pada pipa penyangga bagian atas untuk memantau gas radon dan thoron dan pipa penyangga bagian bawah dipasang detektor film CR-39 (diameter 18 mm) untuk memantau gas radon saja, karena radon mempunyai waktu paroh relatif besar dibandingkan thoron. Pada desain dosimeter radon thoron pasif, parameter penting yang harus diperhatikan yaitu pemilihan filter, agar

luruhan radon maupun thoron yang berupa partikel padat di udara tidak masuk ke ruang difusi. Namun perlu dipilih jenis filter yang tepat, sehingga gas radon – thoron yang masuk ke ruang difusi (volume efektif) optimal dengan jalan memperbesar laju pertukaran udara⁴.



Gambar 1. Dosimeter Pasif Radon-Thoron

2.3. Menghitung Konsentrasi

Hasil bacaan jejak setiap tempat penelitian dihitung konsentrasinya menggunakan persamaan sebagai berikut.⁵

$$CRn = \frac{NT - NB}{ERn \times T} \quad 1$$

Dengan,

- CRn : Konsentrasi Radon/Thoron
- NT dan NB : Jumlah jejak total dan jejak latar (jejak / 5,0625 mm²)
- E : Efisiensi detektor/faktor kalibrasi
- T : Waktu pemaparan (hari)

Angka 5,0625 mm² sebanyak 25 kali pandang pembacaan di bawah mikroskop pada pembesaran 400 kali. Bila konsentrasi Radon berdasarkan pengukuran diketahui, maka dapat diperkirakan dosis efektif yang diterima oleh para pekerja dengan menggunakan persamaan sebagai berikut⁶:

$$DE = FKD \times F \times T \times CRn \quad (2)$$

Dengan:

- DE : Dosis efektif akibat menghirup Radon dan luruhannya yang berumur pendek (mSv/tahun).
- FKD : Faktor konversi dosis (mSv/WML = mSv/Bqm⁻³ jam). 9 nSv/Bqm⁻³jam untuk radon dan 40 nSv/Bqm⁻³jam thoron

- F : Faktor kesetimbangan antara Radon dan hasil luruhannya. (0,4 untuk radon dan 0,1 untuk thoron).
- T : Waktu berada di dalam gua (jam/tahun).
- CRn : Konsentrasi gas radon/thoron (Bq/m³)

3. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pasif dimana detektor jejak nuklir Cr-39 diletakkan di dalam dosimeter pasif dan bagian lubang ditutup dengan filter sehingga hanya gas radon dapat masuk ke dalam dosimeter pasif. Metode tertutup ini lebih baik karena kualitas detektor lebih terjamin dengan berada dalam dosimeter pasif tersebut. Pengukuran dengan metode ini tidak digunakan untuk lingkungan yang tingkat radiasinya rendah, sehingga memerlukan waktu pemasangan yang cukup lama tetapi cukup baik pada daerah pertambangan gua dan di dalam ruangan⁷ jika suatu bahan dikenai partikel dengan kecepatan tertentu, maka energi partikel akan diberikan kepada bahan dan membentuk jejak. Jejak yang ada pada detektor belum kelihatan bila diamati secara langsung di bawah mikroskop optik. Untuk memperlihatkan adanya jejak, maka detektor dietsa terlebih dahulu dengan larutan kimia. Ukuran jejak yang terbentuk bergantung pada beberapa parameter, yaitu parameter partikel pengion, parameter detektor, parameter etsa dan teknik pembacaan yang digunakan. Temperatur dan konsentrasi yang tinggi akan mempercepat etsa, tetapi pada umumnya jejak latarnya akan lebih tinggi.⁸

Adapun alur penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut ;

1. Pemasangan Dosimeter Pasif. Detektor jejak nuklir diletakkan pada bagian tengah mangkok kemudian dirapatkan menggunakan karet busa ketika dosimeter ditutup. Hal ini dilakukan pada sepuluh buah dosimeter pasif. Kemudian Dosimeter dipasang di dalam gua selama 14 hari. Setelah penyimpanan dosimeter telah mencapai waktu yang telah ditentukan, maka dosimeter tersebut diambil dan melepas detektor Cr-39 dari dosimeter pasif untuk selanjutnya dilakukan pengetsaan.
2. Pengetsaan Detektor Cr-39 yang telah terpapar radiasi segera dietsa menggunakan larutan NaOH 6N selama 7 jam pada suhu 70°C. Berikut uraian proses pengetsaan Menyiapkan larutan.

Dibutuhkan larutan NaOH 6 N sebanyak 250 ml Na= 23 ;O=16; H=1, $M = \frac{n}{V}$

$$6 \text{ mol/liter} = \frac{n}{0,25 \text{ liter}} \quad n = 1,5 \text{ mol}$$

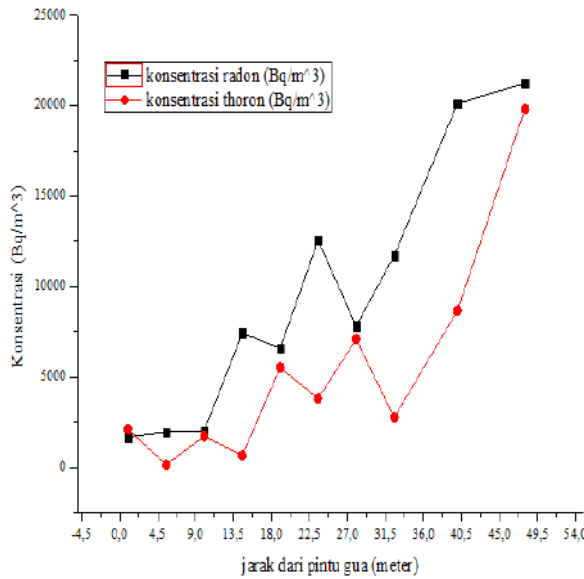
Natrium hidoroxide yang dibutuhkan adalah $n = \frac{\text{massa}}{\text{massa molar}}$, 1,5 mol = $\frac{\text{massa}}{40 \text{ gr/mol}}$ Massa = 60 gram NaOH

dilarutkan dengan aquadest 250 ml. Menyalakan inkubator dan mengatur suhu pada 70 °C

3. Menyiapkan detektor:¹⁰
 - a. Memberi nomor pada detektor.
 - b. Menjepit detektor pada klem penjepit dan meletakkannya pada wadah khusus sehingga posisi detector tidak berubah.
 - c. Menuangkan larutan NaOH 6 N yang telah dipanaskan pada wadah yang berisidetektor dan segera memasukkannya kedalam incubator bersuhu 70 °C selama 7 jam.
4. Pencucian detector
Detektor yang telah dietsa dipindahkan ke dalam wadah yang bersih yang berisi aquades, kemudian dicuci menggunakan alat sun cleaner selama 5 menit. Setelah dicuci, detektor ditiriskan sampai kering.⁹
5. Pembacaan Jejak
Setelah pengetsaan selesai, jejak laten pada detektor yang disebabkan oleh radiasi partikel alfa dihitung di bawah mikroskop dengan pembesaran 400 kali dengan 25 kali sudut pandang. Jejak yang terbentuk pada detektor berbeda-beda bergantung dari energi dan sudut datangnya partikel alfa tersebut. Jumlah bacaan jejak yang diperoleh dapat menunjukkan konsentrasi gas radon dan thoron.¹¹
6. Menghitung konsentrasi berdasarkan jumlah jejak kemudian menentukan dosis efektif.

4. HASIL DAN BAHASAN

Hasil pengetsaan dan analisis detektor CR-39 yang telah dipasang di gua Ke'te' Kesu kemudian dihitung menggunakan persamaan (1) untuk menentukan konsentrasi radon dan thoron. Adapun hasil perhitungan konsentrasi radon dan thoron di gua Ke'te' Kesu ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 2 berikut.

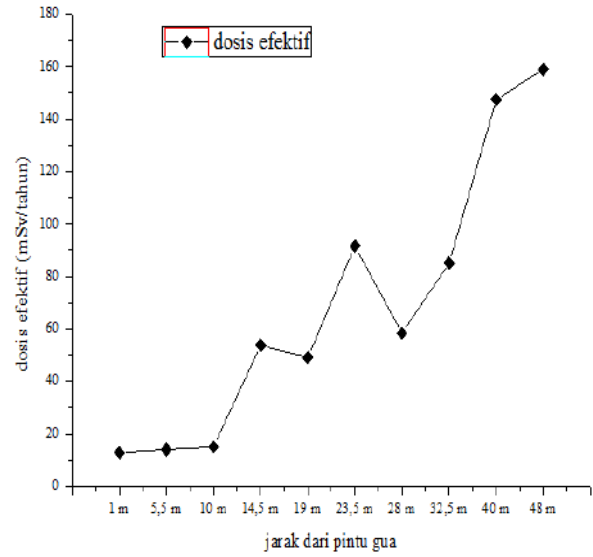


Gambar 2. Grafik pengukuran konsentrasi radon dan thoron di gu Ke'te' Kesu'

Hasil pengukuran di gua Ke'te' Kesu' menunjukkan konsentrasi radon 1683 Bq/m³ sampai dengan 21247 Bq/m³. Sebagai pembandingan, dua buah dosimeter diletakkan di luar gua yang masing-masing menunjukkan konsentrasi sebesar 68 Bq/m³. Konsentrasi thoron dari grafik di atas menunjukkan konsentrasi dari 131 Bq/m³ sampai dengan 19815 Bq/m³. Pembandingnya terpasang di luar gua yang masing-masing detektor menunjukkan konsentrasi sebesar 82 Bq/m³ dan 90 Bq/m³.

Pengukuran dengan metode jejak alfa menggunakan detektor jejak nuklir CR-39 menunjukkan konsentrasi radon 1683 Bq/m³ sampai dengan 21247 Bq/m³ (dapat dilihat pada gambar 2. grafik pengukuran radon dan thoron di gua Ke'te' Kesu).

Hasil pengukuran konsentrasi thoron adalah 131 Bq/m³ sampai dengan 19815 Bq/m³. Kecuali titik yang berjarak 5,5 meter berada di bawah 600 Bq/m³. Jika dibandingkan dengan detektor yang berada di luar gua, konsentrasi radon dan thoron di dalam gua jauh lebih besar. Sirkulasi udara dalam gua yang kurang baik menjadi penyebab radon dan thoron sebagian besar menumpuk di udara dan terperangkap dalam gua. Kondisi gua yang hanya satu jalur menuju ke arah udara bebas membuat kandungan konsentrasi radon dan thoron lebih besar.



Gambar 3. Grafik dosis efektif paparan radon dan thoron di gua Ke'te' Kesu

Peningkatan dosis efektif bertambah seiring dengan pertambahan jarak ke dalam gua (12,76; 14,09; 15,11; 53,77; 49,10; 91,61; 58,36; 85,14; 147,54; 159,02) mSv/tahun.

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian maka dapat disimpulkan bahwa: Jumlah jejak pada detektor mewakili konsentrasi radon/thoron. Semakin banyak jumlah jejak maka semakin besar konsentrasi radon dan thoron.

- Pengukuran konsentrasi radon dan thoron di gua Ke'te' Kesu' diperoleh konsentrasi radon tertinggi berada pada jarak 48 meter yakni sebesar 21247 Bq/m³ dan konsentrasi rendah pada jarak 1 meter 1683 Bq/m³ dari pintu gua. Konsentrasi thoron tertinggi pada jarak 48 meter dari pintu gua yakni sebesar 19815 Bq/m³ dan terendah pada jarak 5,5 meter sebesar 131 Bq/m³. Konsentrasi radon dan thoron di gua Ke'te' Kesu melebihi ambang batas yang direkomendasikan ICRP, radon sebesar 200 Bq/m³ dan thoron sebesar 600 Bq/m³.
- Dosis efektif tahunan di gua Ke'te' Kesu' tertinggi pada jarak 48 meter sebesar 159,02 mSv/tahun dan terendah pada jarak 1 meter sebesar 12,76 mSv/tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pusat Teknologi Kalibrasi, Metrologi Radiasi (PTKMR) Badan Tenaga Nuklir, atas kerja samanya sehingga penelitian bersama ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Unsear report volume:2, 2006. Sources-to-effect assessment for radon in home and workplace, Annex, E UNSCEAR.)
2. Beiser dan Liang, T. H. 1987, Konsep Fisika Modern, edisi iv, Penerbit Erlangga.
3. Sutarman, Wahyudi. 2003. Konsentrasi Gas Radon di Udara diluar dan didalam rumah sekitar nyala-api kawasan tambang minyak. *Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan Pada Industri Non- Nuklir*. Jakarta : 76-77.
4. Miller, G. T. (2000). *Living in the environment: principles, connections, and solutions* (11th ed.) (116pp.). USA: Brooks/Cole 116 pp)
5. Thompson, A., Hine, P.D., Poole, J.S., & Greig, J.R. (1998). *Environmental Geology in Land Use Planning:A Guide to Good Practice*. Report to the Department of the Environment, Transport and the Regions. Symonds Travers Morgan, East Grinstead, 80 pp.
6. G.K. Gillmore, 2001, Radon in the Creswell Crags Permian limestone Caves, *Journal of invironmental Radioactivity* 62 (2002) 165–179, *Department of Environmental Science, University of Bradford, Bradford, West Yorkshire, BD7 1DP,UK*
7. Dixon D. W., Exposure to radon in cave and abandoned mines, national radiological board, oxfordshire, united kingdom.
8. Wilkening, M, 1990, Radon in the environment, Department of physics, New Mexico Instute of Mining and Technology, Elsevier science publishing company inc : USA
9. Dewang S, Akmal AS, Abdullah B, and Sarbaini. “Measurement of radiation distribution for radon (Rn) and thoron (Th) concentrations in heritage Gua Batu and Gua mimpi of maros regency”, South Sulawesi, American Institute of Physics, Vol. 2, 2017, (terindeks scopus).
10. Purba, Veronika. 1992. *Pengukuran Konsentrasi Radon-222 Menggunakan Detektor Jejak Nuklir Cr-39.Sifat-Sifat Fisika Radon-222 dan radon sebagai sumber radiasi*. Sumatra: Universitas Sumatra Utara.

INDEKS

A

- A. Arifin, 62 (PEO-FB05), 66 (PEO-FB06),
71 (PEO-FB07), 77 (PEO-FB08),
80 (PEO-FB09), 83 (PEO-FB10),
87 (PEO-FB11)
A. S. Hanifa Wahyuni, 99 (PEO-FB14)
Agustina Yahya, 146 (BML-FC10), 153
(BML-FC12)
Anas, 54 (PEO-FB01)
Andi Iktiar Bakti, 33 (TMG-FA08)
Ariansyah, 9 (TMG-FA04)
Asmiati Amir, 130 (BML-FC06)
Asri, 62 (PEO-FB05)
Astrid Sri Wahyuni Sumah, 107 (BML-FC01)

B

- Bannu Syarbaini, 163 (BML-FC14)
Bansawang B.J., 42 (TMG-FA11), 47 (TMG-
FA12), 59 (PEO-FB04)
Bidayatul Arminah, 71 (PEO-FB07), 94
(PEO-FB13)
Bualkar Abdullah, 111 (BML-FC02), 114
(BML-FC03), 118 (BML-FC04),
121 (BML-FC05), 130 (BML-
FC06), 134 (BML-FC07), 138
(BML-FC08), 163 (BML-FC14)

D

- Dahlang Tahir, 1 (TMG-FA01), 37 (TMG-
FA09), 50 (TMG-FA13), 91 (PEO-
FB12), 99 (PEO-FB14), 103 (PEO-
FB15), 111 (BML-FC02), 114
(BML-FC03), 118 (BML-FC04),
121 (BML-FC05), 130 (BML-
FC06), 138 (BML-FC08)

E

- Eko Juarlin, 37 (TMG-FA09), 47 (TMG-
FA12), 59 (PEO-FB04), 146 (BML-
FC10), 150 (BML-FC11), 153
(BML-FC12), 159 (BML-FC13)

F

- Faradiba, 21 (TMG-FA06)

H

- Habibi HS, 6 (TMG-FA02)
Hafazhahniah Ibrahim, 50 (TMG-FA13), 146
(BML-FC10), 153 (BML-FC12)
Halmar Halide, 134 (BML-FC07)

- Hardianti, 83 (PEO-FB10)
Hardianti, 50 (TMG-FA13)

I

- Ilham Bahtiar, 138 (BML-FC08)
Indriani, 103 (PEO-FB15)
Isnaeni, 1 (TMG-FA01)

J

- Jumriah, 114 (BML-FC03)

K

- Kasmita, 99 (PEO-FB14)
Kiki Rizkiyah Amaliyah, 103 (PEO-FB15)

L

- L. M. Aldin Haswari, 42 (TMG-FA11), 99
(PEO-FB14)
Lisdayanti, 54 (PEO-FB01)

M

- M. Arif Dian Ramadhan, 150 (BML-FC11)
M. N. Gazali Yunus, 42 (TMG-FA11)
Maria, 28 (TMG-FA07)
Martono Manda, 163 (BML-FC14)
Metusalach, 62 (PEO-FB05)
Muh. Fachrul Latief, 37 (TMG-FA09)
Muhammad Altin Massinai, 28 (TMG-FA07)
Muhammad Fawzy Ismullah Massinai, 28
(TMG-FA07)
Muhammad Yunus, 62 (PEO-FB05), 71
(PEO-FB07)
Mulyadin, 118 (BML-FC04)

N

- Normawati, 142 (BML-FC09)
Noviana, 80 (PEO-FB09)
Nur Afni Saharuddin, 87 (PEO-FB11)
Nur Hafni Zain, 134 (BML-FC07)
Nur Hasanah, 59 (PEO-FB04), 146 (BML-
FC10), 153 (BML-FC12)
Nurdiana, 91 (PEO-FB12)
Nurhidayah, 103 (PEO-FB15)
Nurkhaliq Putra Maulana, 150 (BML-FC11)
Nurlaela Rauf, 6 (TMG-FA02), 33 (TMG-
FA08), 59 (PEO-FB04)
Nurul Awaliyah Muhammad, 91 (PEO-
FB12)

P

P. L. Gareso, 33 (TMG-FA08), 59 (PEO-FB04)
Purwanto, 121 (BML-FC05)

R

Radha Hartina Putri, 66 (PEO-FB06)
Rafiqah, 54 (PEO-FB01)
Rahma Anugrahwidya, 50 (TMG-FA13), 91 (PEO-FB12)
Rostini Ali, 111 (BML-FC02)
Ruwaidah IL, 77 (PEO-FB08)

S

Sahril, 71 (PEO-FB07)
Said Syamil Amas, 150 (BML-FC11)
Silma Maulana Bilqis, 1 (TMG-FA01)
Siti Fatimah, 1 (TMG-FA01)
Sitti Nurul Rahma, 142 (BML-FC09)
Sri Suryani, 59 (PEO-FB04), 107 (BML-FC01), 130 (BML-FC06), 142 (BML-FC09)

Suhardiman, 54 (PEO-FB01)

Syahril Mahmud, 94 (PEO-FB13)

Syamsir Dewang, 62 (PEO-FB05), 114 (BML-FC03), 163 (BML-FC14)

T

Tasrief Surungan, 59 (PEO-FB04), 146 (BML-FC10), 153 (BML-FC12), 159 (BML-FC13)

U

U. Al Qaerany, 42 (TMG-FA11)
Uyi Damayanti, 159 (BML-FC13)

W

Wira Bahari Nurdin, 59 (PEO-FB04), 142 (BML-FC09)

Y

Yuniar P. Ismail, 47 (TMG-FA12)



PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA MAKASSAR 2018

ISBN : 978-602-52468-3-8

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin

