DAFTAR KEGIATAN PELAKSANAAN PENELITIAN HIBAH KOMPETITIF SEBAGAI KETUA

1. PENELITIAN *WORLD CLASS RESEARCH"* DENGAN JUDUL: STRATEGI ALIRAN DAYA OPTIMAL SISTEM TENAGA LISTRIK TERINTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU TAHUN 2022
    - KONTRAK PENELITIAN
    - SURAT KETERANGAN KETUA LPPM UNHAS
    - LAPORAN LENGKAP PENELITIAN

2. PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI DENGAN JUDUL: PENINGKATAN EFISIENSI DAN KUALITAS DAYA LISTRIK MULTI-SUMBER ENERGI PRIMER MEMPERHITUNGKAN EFEK LOSSES DAN FAKTOR KONGESTI TRANSMISI SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI TAHUN 2021
    - KONTRAK PENELITIAN
    - SURAT KETERANGAN KETUA LPPM UNHAS
    - LAPORAN LENGKAP PENELITIAN

KONTRAK PENELITIAN WORLD CLASS RESEARCH
Tahun Anggaran 2022
Nomor : 956/UN4.22/PT.01.03/2022

Pada hari ini Jumat, Tanggal Delapan Belas bulan Maret tahun Dua ribu dua puluh dua, kami yang bertandatangan di bawah ini :

1. Prof. Dr. Andi Alimuddin, M.Si. : Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Hasanuddin, dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Universitas Hasanuddin yang berkedudukan di Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 10 Kampus Unhas Tamalanrea Makassar selanjutnya disebut PIHAK PERTAMA.

2. M. Bachtiar Nappu, ST.,MT.,M.Phil.,Ph.D. : Ketua Pelaksana/Dosen Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Penelitian Tahun Anggaran 2022 untuk selanjutnya disebut PIHAK KEDUA.

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA, secara bersama-sama mengikatkan diri dalam suatu kontrak Penelitian skema Penelitian World Class Research Tahun Anggaran 2022 dengan ketentuan dan syarat syarat sebagai berikut:

Pasal 1
Ruang Lingkup Kontrak

(1) PIHAK PERTAMA memberikan pekerjaan kepada PIHAK KEDUA dan PIHAK KEDUA menerima pekerjaan tersebut dari PIHAK PERTAMA, untuk melaksanakan dan menyelesaikan Penelitian Tahun Anggaran 2022 dengan judul Strategi Aliran Daya Optimal Sistem Tenaga Listrik Terintegrasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, sesuai Surat Nomor: 0054/E5/AK.04/2022 tentang Pengumuman Program Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Lanjutan (*on going*) Tahun Anggaran 2022 dan Kontrak Program Penelitian Lanjutan Tahun Anggaran 2022, Nomor: 020/E5/PG.02.00PT/2022 Tanggal 16 Maret 2022.

Pasal 2
Dana Penelitian

(1) Besarnya dana untuk melaksanakan penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 adalah sebesar Rp. 107.616.000 (Seratus Tujuh Juta Enam Ratus Enam Belas Ribu Rupiah) sudah termasuk pajak.
(2) Dana penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan kepada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Direltorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Tahun Anggaran 2022.

Pasal 3
Tata Cara Pembayaran Dana Penelitian

(1) PIHAK PERTAMA akan membayarkan dana Penelitian kepada PIHAK KEDUA secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut :
   a. Pembayaran tahap pertama sebesar 70% dari total dana penelitian yaitu 70% x Rp. 107.616.000 = Rp. 75.331.200 (Tujuh Puluh Lima Juta Tiga Ratus Tiga Puluh Satu Ribu Dua Ratus Rupiah) yang akan dibayarkan oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA setelah PIHAK KEDUA menyerahkan revisi proposal dan revisi anggaran (sesuai kontrak).
   b. Pembayaran tahap kedua sebesar 30% dari total dana penelitian yaitu 30% x Rp. 107.616.000 = Rp. 32.284.800 (Tiga Puluh Dua Juta Dua Ratus Delapan Puluh Empat Ribu Delapan Ratus Rupiah) dibayarkan oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA setelah PIHAK KEDUA menyerahkan laporan lengkap hasil penelitian, Catatan Harian, Luaran penelitian dan Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan yang sudah di validasi oleh PIHAK PERTAMA.
(2) Dana penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan disalurkan oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA ke rekening sebagai berikut :

Nama : M. Bachtiar Nappu, ST.,MT.,M.Phil.,Ph.D.
Nomor Rekening :
Nama Bank : Bank Negara Indonesia

Pasal 13
Pembatalan Perjanjian

(1) Apabila dikemudian hari terdapat judul penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran, itikad tidak baik, dan/atau perbuatan yang tidak sesuai dengan akidah ilmiah dari atau dilakukan oleh PIHAK KEDUA, maka perjanjian penelitian ini dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterima kepada PIHAK PERTAMA yang selanjutnya akan disetorkan ke kas Negara.
(2) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disimpan oleh PIHAK PERTAMA.

Pasal 14
Pajak-Pajak

Hal-hal dan/atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab PIHAK KEDUA dan harus dibayarkan oleh PIHAK KEDUA ke kantor pelayanan pajak setempat sesuai ketentuan yang berlaku.

Pasal 15
Peralatan dan/alat Hasil Penelitian

(1) Hasil penelitian berupa peralatan dan/atau peralatan yang dibeli dari kegiatan ini adalah milik negara, dan dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga/masyarakat melalui Berita Acara Serah Terima (BAST) setelah dilaporkan perolehannya ke Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.

(2) Berita Acara sebagaimana dimaksud pada ayat (2) wajib dilampiri dengan foto bukti serah terima barang/alat dari Ketua LPPM kepada mitra penelitian yang didampingi oleh pelaksana penelitian dan foto alat/atau barang yang diserahkan ke mitra.

Pasal 16
Penyelesaian Sengketa

Apabila terjadi perselisihan antara PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA dalam pelaksanaan Perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musayawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.

Pasal 17
Lain-lain

(1) PIHAK KEDUA menjamin bahwa penelitian dengan judul tersebut diatas belum pernah dibiayai dan/atau diikutsertakan pada pendanaan penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik dalam maupun luar negeri.
(2) Segala sesuatu yang belum cukup diatur dalam perjanjian ini dan dipandang perlu diatur lebih lanjut dan akan dilakukan perubahan oleh PARA PIHAK, maka perubahan-perubahan akan diatur dalam perjanjian tambahan atau perubahan yang merupakan satu kesatuan dan bagian yang tidak terpisahkan dari perjanjian ini.

Perjanjian ini dibuat dan ditandatangani oleh PARA PIHAK pada hari dan tanggal tersebut diatas, dibuat dalam rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing-masing mempunyai kekuatan hukum yang sama.

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA
Prof. Dr. Andi Alimuddin, M.Si.	M. Bachtiar Nappu, ST.,MT.,M.Phil.,Ph.D.
NIP 196201181987021001	NIP 197604062003121002

SEPULUH RIBU RUPIAH 10000 METERAI TEMPEL 288AFAJX343640024

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (LPPM)
Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10, Makassar 90245
Handphone.081242764200, WhatsApp.+6281242764200
Laman : http://lp2m.unhas.ac.id email : lp2m@unhas.ac.id

SURAT KETERANGAN

Nomor : 4927/UN4.22/PT.01.09/2022

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama	:	Prof. dr. Muh. Nasrum Massi, Ph.D., Sp.MK.
NIP	:	196709101996031001
Jabatan	:	Ketua
Unit Kerja	:	Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Hasanuddin
Alamat	:	Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 10 Tamalanrea, Makassar

Dengan ini menerangkan bahwa yang tersebut namanya pada lampiran surat keterangan ini sebagai Tim Penyusun Laporan Akhir kegiatan penelitian Hibah Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Tahun 2022.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 21 Desember 2022

Ketua,

Prof. dr. Muh. Nasrum Massi, Ph.D., Sp.MK.
NIP 196709101996031001

Lampiran : Surat Keterangan Ketua LPPM UNHAS

Nomor : 4927/UN4.22/PT.01.09/2022 Tanggal : 21 Desember 2022

No.	Judul Kegiatan	Pelaksana	Skim	JNS KEG	Mitra Kerja	Unit Kerja	Ket
1	Penerapan Model Kampanye Sosial Berbasis Kearifan Lokal Untuk Keberlanjutan Regenerasi Kakao Pada Anak Petani Di Sulawesi Selatan Dan Sulawesi Barat	Dr. Tuti Bahfiarti, S.Sos.,M.Si. Prof. Dr. Andi Alimuddin Unde, M.Si. Dr. Arianto, S.Sos.,M.Si.	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Ilmu Sosial dan Ilmu Politik	
2	Efisiensi Rantai Nilai dan Pengukuran Kinerja dalam Penerapan Model Supply Chain Management Usaha Gula Aren Untuk Mendukung Kemandirian Pangan Nasional	Dr. Makkarennu, S.Hut.,M.Si. Dr. Syahidah, S.Hut.,M.Si. Diyah Yumeina, STP.,M.Agr.,Ph.D.	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Kehutanan	
3	Aplikasi Biofertilizer untuk percepatan Perkecambahan Eboni	Prof. Dr. Ir. Muh. Restu, MP. Dr. Siti Halimah Larekeng, S.P., M.P. Gusmiaty, SP..MP.	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Kehutanan	
4	Pengembangan Desain Alat Bantu Ergonomis untuk Pekerja Rumput Laut	Yahya Thamrin, SKM., M.Kes.,MOHS.,Ph.D. Dr. dr. Masyita Muis, S.Ked., MS. Iin Karmila Yusri, S.ST, M.Eng, Ph D	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Kesehatan Masyarakat	
5	Pemanfaatan Ekstrak Kombinasi Rumput Laut (Padina sp) dan jeruk nipis (Citrus aurantifolia) sebagai Bahan Utama Suplemen Obat Anti Inflamasi Pada Ibu Pasca Melahirkan	Prof. Dr. Nunuk Hariani Soekamto, MS. Dr. dr. Siti Maisuri Tadjuddin Chalid, Sp.OG(K) Khadijah	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	MIPA	
6	Kombinasi cendawan entomopatogen dan antagonis untuk mengendalikan penggerek batang Xyloborus morstatti yang berasosiasi dengan cendawan patogen pada tanaman kakao	Prof. Dr. Ir. Ade Rosmana, M.Sc. Prof. Dr. Ir. Sylvia Sjam, MS. Asman, SP.,MP.	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Pertanian	
7	Pengembangan Edible Film Komposit Berbasis Essential Oils dan Hidrokoloid Untuk Mepertahankan Kualitas Aroma, Sensori Dan Memperpanjang Masa Simpan Daging	Dr. Adiansyah, STP.,M.Si. Andi Dirpan, STP.,M.Si., Ph.D. Prof. Dr. Ir. Abu Bakar	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Pertanian	
8	Pemanfaatan Limbah Kulit Mete Menjadi Bahan Pengendali Hama dan Penyakit Tanaman Kakao Serta Potensi Pengembangannya Sebagai Produk Berbasis Industri Ramah Lingkungan Untuk Mendukung Ketahanan Produksi Kakao Berkelanjutan	Prof. Dr. Ir. Ahdin Gassa, M.Sc. Prof. Dr. Ir. Andi Nasruddin, M.Sc. Muhammad Junaid, S.P., M.P., Ph.D.	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Pertanian	
9	Penerapan Teknologi Molekuler untuk Deteksi Dini Penyakit CVPD (Candidatus Liberobacter asiaticus) pada Pembibitan Jeruk Keprok Selayar	Prof. Dr. Ir. Baharuddin Prof. Dr.Sc.Agr. Ir. Tutik Kuswinanti, M.Sc.Agr. Dr. Ir. Melina, M.Si.	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Pertanian	
10	Introduksi dan Manajemen Tumpang-sari Lamtoro (Leucaena leucocephala) dan Gamal (Gliricidia sepium) dengan Rumput Gajah (Pennisetum purpureum) di Padang Pengembalaan	Prof. Dr. Ir. Muh. Rusdy, M.Agr. Prof. Dr. Ir. Ismartoyo, M.Agr.S. Dr. Ir. Syamsuddin Garantjang, M.Agr,	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Peternakan	

167	Simulasi numerik dari masalah enjiniring dengan material/media heterogen	Prof. Dr. Moh. Ivan AZ., M.Sc. Imam Solekhudin, S.Si, M.Si, Ph.D Professor Dr. David L. Clements	World Class Research - WCR	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	MIPA	
168	Analisa science co-production dalam tata kelola kehutanan dan reforma agraria di Indonesia.	Dr. forest. Muhammad Alif KS., S.Hut.,M.Si. Prof. Dr. Ir. Yusran, S.Hut., M.Si. IPU. Prof. Dr. Supratman, S.Hut.,MP. Ahmad Maryudi, S.Hut.	World Class Research - WCR	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Kehutanan	
169	Strategi Aliran Daya Optimal Sistem Tenaga Listrik Terintegrasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu	M. Bachtiar Nappu, ST.,MT.,M.Phil.,Ph.D. Ardiaty Arief, ST.,MTM.,Ph.D. Dr. Ir. Sri Mawar Said, MT.	World Class Research - WCR	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Teknik	
170	Maternal Environmental Enteric Dysfunction (EED) on Pregnant Women in Slum Areas in Makassar	Ansariadi, SKM.,M.Sc.PH.,Ph.D. dr. Rizalinda, M.Sc.,Ph.D. Eri Wijaya, S.KM.	Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul - PMDSU	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Kesehatan Masyarakat	
171	Bioaktivitas Antidiabetes, Antikanker dan Inhibitor Tirosinase serta Elusidasi Struktur Metabolit Sekunder Padina Sp. dan Sargassum Sp.	Prof. Dr. Nunuk Hariani Soekamto, MS. Dr. Firdaus, S.Si, M.Sc. Andi Akbar.	Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul - PMDSU	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	MIPA	
172	Isolasi dan Elusidasi Struktur Senyawa Metabolit Sekunder Bornetella sp dan Gracilaria sp serta uji bioaktivitasnya sebagai antibakteri, antioksidan dan antikanker	Prof. Dr. Nunuk Hariani Soekamto, MS. Dr. Firdaus, S.Si, M.Sc. Bahrun.	Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul - PMDSU	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	MIPA	
173	Perbaikan Retensi Air bagi Pertanaman Tebu Takalar Setelah Pengolahan Tanah, dan Signifikansinya Terhadap Produktivitas	Prof. Dr. Ir. Ambo Ala, MS. Prof. Dr. Ir. Sikstus Gusli, M.Sc. Wina Safitri.	Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul - PMDSU	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Pertanian	
174	Penapisan Toleransi Padi Terhadap Kekeringan dan atau Salinitas Melalui Pengembangan Metode Image-Based Phenotyping	Prof. Dr. Ir. Yunus Musa, M.Sc. Prof. Dr. Ir. Muh. Farid Bdr., M.P. Andi Isti Sakinah.	Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul - PMDSU	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Pertanian	
175	Pengembangan Hijauan Pakan Toleran Cekaman Abiotik Kekeringan dan Salinitas	Prof. Dr. Ir. Yunus Musa, M.Sc. Ir. Rinaldi Sjahril, M.Agr.,Ph.D. Purnama Isti Khaerani.	Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul - PMDSU	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Pertanian	
176	Kinerja Reproduksi Dan Daya Fertilitas Sapi Bali Bertanduk Dan Tidak Bertanduk (Polled)	Prof. Ir. Muhammad Yusuf, S.Pt., Ph.D., IPU. Prof. Dr. Ir. Abd. Latief Toleng, M.Sc. Dr. Muhammad Ihsan Andi Dagong, S.Pt.,MS.	Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul - PMDSU	R	Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi	Peternakan	

187	Model Pengembangan Kewirausahaan Pada Kelompok Usaha Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) untuk Pengembangan Ekonomi Kreatif di Kabupaten Maros Sulawesi Selatan	Dr. Makkarennu, S.Hut.,M.Si. Ir. Adrayanti Sabar, S. Hut., M.P., IPM Diyah Yumeina, STP.,M.Agr.,Ph.D.	Riset Keilmuan	R	Kementerian Pendidikan Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi	Kehutanan	
188	Adopsi Teknologi Seed Bank di Desa Kambuno, Kabupaten Bulukumba untuk Adaptasi Perubahan Iklim dan Ketahanan Pangan Akibat Pandemi Covid-19	Dr. Siti Halimah Larekeng, S.P., M.P. Dr. Herlina Rante, S.Si., M.Si., Apt. Dr. Sukmawati, SP., MP.	Riset Keilmuan	R	Kementerian Pendidikan Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi	Kehutanan	
189	Sistem Pembelajaran Kehutanan Merdeka Belajar ("Sikembar"): Model Pengembangan Ekonomi Lokal Desa Hutan yang Terintegrasi dengan Pembelajaran Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM)	Prof. Dr. Supratman, S.Hut.,MP. Prof. Dr. Ir. Syamsu Alam, MS. Prof. Muhammad Arsyad, SP.,M.Si.,Ph.D.	Riset Keilmuan	R	Kementerian Pendidikan Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi	Kehutanan	
190	Pengembangan Obat Antimalaria Berbasis Nanoteknologi dari Ekstrak Daun Pepaya dan Daun Kelor	dr. Yenni Yusuf, MInfectDis., Ph.D. Rangga Meidianto Asri, S.Si.,Apt. Hartono, S.Si., S.Pd., M.Biotech., PhD	Riset Keilmuan	R	Kementerian Pendidikan Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi	Kedokteran	
191	Peningkatan Efisiensi dan Profitabilitas Budidaya Ikan Nila pada bak Terpal Menggunakan Bioteknologi Herbal; Upaya Penumbuhan Wirausaha Baru Bidang Akuakultur	Prof. Dr. Ir. Yushinta Fujaya, M.Si. Dr. Nita Rukminasari, S.Pi., MP. Dr. Letty Fudjaja, SP.,M.Si.	Riset Keilmuan	R	Kementerian Pendidikan Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi	Ilmu Kelautan dan Perikanan	

Makassar, 21 Desember 2022

Ketua

Prof. dr. Muh. Nasrum Massi, Ph.D., Sp.MK.

NIP. 196709101996031001

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Gedung BPPT II Lantai 19, Jl. MH. Thamrin No. 8 Jakarta Pusat
https://simlitabmas.ristekdikti.go.id/

PROTEKSI ISI LAPORAN AKHIR PENELITIAN
Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi laporan ini dalam bentuk apapun kecuali oleh peneliti dan pengelola administrasi penelitian

LAPORAN AKHIR PENELITIAN MULTI TAHUN

ID Proposal: 243c0233-cd42-4c10-be41-f493160e5a81
laporan akhir Penelitian: tahun ke-2 dari 3 tahun

1. IDENTITAS PENELITIAN

A. JUDUL PENELITIAN

STRATEGI ALIRAN DAYA OPTIMAL SISTEM TENAGA LISTRIK TERINTEGRASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU

B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU

Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Energi	-		Teknik Tenaga Elektrik

C. KATEGORI, SKEMA, SBK, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN

Kategori (Kompetitif Nasional/ Desentralisasi/ Penugasan)	Skema Penelitian	Strata (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	SBK (Dasar, Terapan, Pengembangan)	Target Akhir TKT	Lama Penelitian (Tahun)
Penelitian Penugasan			SBK Riset Dasar	3	3

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama (Peran)	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
M. BACHTIAR NAPPU - Ketua Pengusul	Universitas Hasanuddin	Teknik Elektro		5974778	11
SRI MAWAR SAID - Anggota Pengusul	Universitas Hasanuddin	Teknik Elektro	• melakukan literature review • studi potensi energi terbarukan	6051043	1

			• melakukan simulasi • analisis data • pembuatan publikasi		
ARDIATY ARIEF - Anggota Pengusul	Universitas Hasanuddin	Teknik Elektro	• melakukan literature review • membuat listing perhitungan dengan metode IPSO-OPF • melakukan simulasi • analisis data • pembuatan publikasi	5983238	10

3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (JIKA ADA)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama, yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

Mitra	Nama Mitra

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Wajib

Tahun Luaran	Jenis Luaran	*Status target capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)*	*Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)*
3	Artikel ilmiah pada jurnal internasional bereputasi 200 terbaik (Q1) dengan status accepted		Applied Energy
1	Artikel ilmiah pada jurnal internasional bereputasi 200 terbaik (Q1) dengan status accepted	Draft	International Journal of Electrical Power & Energy Systems
1	Artikel ilmiah pada jurnal internasional bereputasi 200 terbaik (Q1) dengan status accepted	Tersedia	International Journal of Electrical Power & Energy Systems
2	Artikel ilmiah pada jurnal	Tersedia	International Journal of

	internasional bereputasi 200 terbaik (Q1) dengan status accepted		Electrical Power & Energy Systems

Luaran Tambahan

Tahun Luaran	Jenis Luaran	*Status target capaian (accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya)*	*Keterangan (url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya)*
1	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Published	International Conference on Science
2	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Accepted	International Conference on Science
2	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Submited	International Conference on Science
3	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi		International Conference on Science

5. ANGGARAN

Rencana anggaran biaya penelitian mengacu pada PMK yang berlaku dengan besaran minimum dan maksimum sebagaimana diatur pada buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

Total RAB 3 Tahun Rp. 364,681,000

Tahun 1 Total Rp. 124,060,000

Jenis Pembelanjaan	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Bahan	ATK	-	Paket	10	1,000,000	10,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Luaran KI (paten, hak cipta dll)	-	Paket	0	0	0
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	-	Unit	1	14,660,000	14,660,000
Pengumpulan Data	Penginapan	-	OH	0	0	0

Bahan	Barang Persediaan	-	Unit	0	0	0
Analisis Data	Penginapan	-	OH	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	-	Paket	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	-	Paket	1	20,000,000	20,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar nasional	-	Paket	0	0	0
Pengumpulan Data	Tiket	-	OK (kali)	0	0	0
Analisis Data	Biaya analisis sampel	-	Unit	0	0	0
Analisis Data	Tiket	-	OK (kali)	0	0	0
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	-	OH	80	35,000	2,800,000
Pengumpulan Data	Transport	-	OK (kali)	80	150,000	12,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya konsumsi rapat	-	OH	40	35,000	1,400,000
Analisis Data	Biaya konsumsi rapat	-	OH	120	35,000	4,200,000
Analisis Data	Transport Lokal	-	OK (kali)	120	150,000	18,000,000
Analisis Data	Uang Harian	-	OH	120	150,000	18,000,000
Pengumpulan Data	Uang Harian	-	OH	80	150,000	12,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya Luaran Iptek lainnya (purwa rupa, TTG dll)	-	Paket	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Uang harian rapat di dalam kantor	-	OH	40	150,000	6,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya penyusunan buku termasuk book chapter	-	Paket	0	0	0
Pengumpulan Data	Uang harian rapat di dalam kantor	-	OH	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya Publikasi artikel di Jurnal Nasional	-	Paket	0	0	0
Pengumpulan Data	FGD persiapan penelitian	-	Paket	1	5,000,000	5,000,000

Analisis Data	Honorarium narasumber	-	OJ	0	0	0
Pengumpulan Data	Uang harian rapat di luar kantor	-	OH	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Uang harian rapat di luar kantor	-	OH	0	0	0
Pengumpulan Data	HR Pembantu Lapangan	-	OH	0	0	0
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	-	OJ	0	0	0
Analisis Data	HR Pengolah Data	-	P (penelitian)	0	0	0
Pengumpulan Data	HR Petugas Survei	-	OH/OR	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	HR Sekretariat/ Administrasi Peneliti	-	OB	0	0	0
Analisis Data	HR Sekretariat/ Administrasi Peneliti	-	OB	0	0	0
Pengumpulan Data	HR Sekretariat/ Administrasi Peneliti	-	OB	0	0	0

Tahun 2 Total Rp. 107,616,000

Jenis Pembelanjaan	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Bahan	ATK	-	Paket	1	5,000,000	5,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Luaran KI (paten, hak cipta dll)	-	Paket	0	0	0
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	-	Unit	1	10,000,000	10,000,000
Bahan	Barang Persediaan	-	Unit	0	0	0
Analisis Data	Penginapan	-	OH	0	0	0
Pengumpulan Data	Penginapan	-	OH	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	-	Paket	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	-	Paket	1	10,000,000	10,000,000

Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar nasional	-	Paket	0	0	0
Analisis Data	Biaya analisis sampel	-	Unit	0	0	0
Analisis Data	Tiket	-	OK (kali)	0	0	0
Pengumpulan Data	Tiket	-	OK (kali)	0	0	0
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	-	OH	80	35,000	2,800,000
Pengumpulan Data	Transport	-	OK (kali)	80	150,000	12,000,000
Analisis Data	Biaya konsumsi rapat	-	OH	120	35,000	4,200,000
Analisis Data	Transport Lokal	-	OK (kali)	120	150,000	18,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya konsumsi rapat	-	OH	40	35,000	1,400,000
Pengumpulan Data	Uang Harian	-	OH	80	150,000	12,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya Luaran Iptek lainnya (purwa rupa, TTG dll)	-	Paket	0	0	0
Analisis Data	Uang Harian	-	OH	120	150,000	18,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Uang harian rapat di dalam kantor	-	OH	40	150,000	6,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya Publikasi artikel di Jurnal Nasional	-	Paket	0	0	0
Pengumpulan Data	FGD persiapan penelitian	-	Paket	1	8,216,000	8,216,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Uang harian rapat di luar kantor	-	OH	0	0	0
Pengumpulan Data	Uang harian rapat di luar kantor	-	OH	0	0	0
Analisis Data	Honorarium narasumber	-	OJ	0	0	0
Pengumpulan Data	HR Pembantu Lapangan	-	OH	0	0	0
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	-	OJ	0	0	0
Analisis Data	HR Pengolah Data	-	P (penelitian)	0	0	0
Pengumpulan Data	HR Petugas Survei	-	OH/OR	0	0	0

Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	HR Sekretariat/ Administrasi Peneliti	-	OB	0	0	0
Analisis Data	HR Sekretariat/ Administrasi Peneliti	-	OB	0	0	0

Tahun 3 Total Rp. 133,005,000

Jenis Pembelanjaan	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Bahan	ATK	-	Paket	1	7,000,000	7,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Luaran KI (paten, hak cipta dll)	-	Paket	0	0	0
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	-	Unit	1	13,000,000	13,000,000
Bahan	Barang Persediaan	-	Unit	0	0	0
Pengumpulan Data	Penginapan	-	OH	0	0	0
Analisis Data	Penginapan	-	OH	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	-	Paket	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	-	Paket	1	10,000,000	10,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar nasional	-	Paket	0	0	0
Analisis Data	Biaya analisis sampel	-	Unit	0	0	0
Pengumpulan Data	Tiket	-	OK (kali)	0	0	0
Analisis Data	Tiket	-	OK (kali)	0	0	0
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	-	OH	80	35,000	2,800,000
Pengumpulan Data	Transport	-	OK (kali)	80	150,000	12,000,000
Analisis Data	Transport Lokal	-	OK (kali)	160	150,000	24,000,000
Analisis Data	Biaya konsumsi rapat	-	OH	160	35,000	5,600,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya konsumsi rapat	-	OH	40	35,000	1,400,000
Pelaporan, Luaran Wajib,	Biaya Luaran Iptek	-	Paket	0	0	0

dan Luaran Tambahan	lainnya (purwa rupa, TTG dll)					
Pengumpulan Data	Uang Harian	-	OH	80	150,000	12,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya pembuatan dokumen feasibility study	-	Paket	0	0	0
Analisis Data	Uang Harian	-	OH	160	150,000	24,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya pembuatan dokumen uji produk	-	Paket	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya penyusunan buku termasuk book chapter	-	Paket	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya Publikasi artikel di Jurnal Nasional	-	Paket	0	0	0
Pengumpulan Data	Uang harian rapat di dalam kantor	-	OH	0	0	0
Pengumpulan Data	FGD persiapan penelitian	-	Paket	1	15,205,000	15,205,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Uang harian rapat di dalam kantor	-	OH	40	150,000	6,000,000
Pengumpulan Data	Uang harian rapat di luar kantor	-	OH	0	0	0
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Uang harian rapat di luar kantor	-	OH	0	0	0
Analisis Data	Honorarium narasumber	-	OJ	0	0	0
Pengumpulan Data	HR Pembantu Lapangan	-	OH	0	0	0
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	-	OJ	0	0	0
Analisis Data	HR Pengolah Data	-	P (penelitian)	0	0	0
Pengumpulan Data	HR Petugas Survei	-	OH/OR	0	0	0
Pengumpulan Data	HR Sekretariat/ Administrasi Peneliti	-	OB	0	0	0
Analisis Data	HR Sekretariat/ Administrasi Peneliti	-	OB	0	0	0

Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	HR Sekretariat/ Administrasi Peneliti	-	OB	0	0	0

6. KEMAJUAN PENELITIAN

A. RINGKASAN

Pengintegrasian pembangkit listrik tenaga angin pada sistem kelistrikan memberikan tantangan baru dalam mengoptimalkan aliran daya (Optimal Power Flow-OPF) dikarenakan hasil pembangkitannya yang tergantung pada kondisi alam (intermitensi angin). Metode OPF (Optimal Power Flow) akan menentukan kondisi operasi optimal dari jaringan listrik dengan mempertimbangkan hambatan fisik dan operasional. Faktor mana yang akan dicari titik optimalnya, akan dirumuskan dan diselesaikan dengan menggunakan algoritma optimasi yang sesuai. Tujuan utama dari metode OPF adalah untuk menentukan pengaturan variable kontrol dan sistem persamaan yang mengoptimalkan nilai fungsi objektif. Pemilihan fungsi ini harus didasarkan analisis yang cermat dari sistem daya listrik dan secara ekonomi.

Salah satu metode kecerdasan buatan yang merupakan pengembangan dari PSO adalah Incremental Particle Swarm Optimization (IPSO). IPSO merupakan teknik optimasi dimana setiap partikel merubah posisinya untuk menentukan posisi optimalnya. Keunggulan dari IPSO yaitu jumlah populasi meningkat setiap iterasi sehingga proses optimasi menjadi lebih cepat. Dengan keunggulan IPSO ini, maka diharapkan optimasi OPF sistem tenaga listrik bisa lebih cepat dan lebih optimal. Oleh karena itu, kami mengajukan proposal penelitian ini untuk merancang Incremental Particle Swarm Optimization-Optimal Power Flow (IPSO-OPF) pada optimasi sistem tenaga listrik dengan intermitensi pembangkit listrik tenaga angin, yang pada akhirnya akan dapat memberikan panduan penjadwalan pembangkit ekonomis pada PLN jika PLTB telah beroperasi sepenuhnya.

Penelitian ini berupa pemodelan, perancangan sistem IPSO- OPF, analisis dan simulasi sistem tenaga listrik terkait aliran daya optimal dengan IPSO-OPF untuk sistem tenaga tanpa dan dengan PLTB. Adapun uraian terperinci dalam pendekatan masalah dan relevansi metode yang digunakan untuk mencapai tujuan dan sasaran penelitian adalah sebagai berikut:

1. Studi pustaka
2. Pengambilan data
3. Perancangan/pemodelan sistem
4. Analisis IPSO-OPF tanpa PLTB
5. Analisis IPSO-OPF dengan PLTB
6. Evaluasi efektivitas IPSO-OPF
7. Penulisan hasil penelitian dalam bentuk jurnal internasional dan prosiding internasional.

Luaran yang ditargetkan dari penelitian ini adalah publikasi ilmiah jurnal internasional bereputasi (Q1) setiap tahunnya dan luaran tambahan yang ditargetkan adalah prosiding dalam seminar internasional setiap tahun.

Sementara level Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) yang ditargetkan dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

Tahun pertama: TKT 1

Tahun kedua : TKT 2

Tahun ketiga : TKT 3

B. KATA KUNCI

Incremental Particle Swarm Optimization; intermittensi; Optimal power flow; optimasi sistem tenaga listrik; pembangkit listrik tenaga bayu

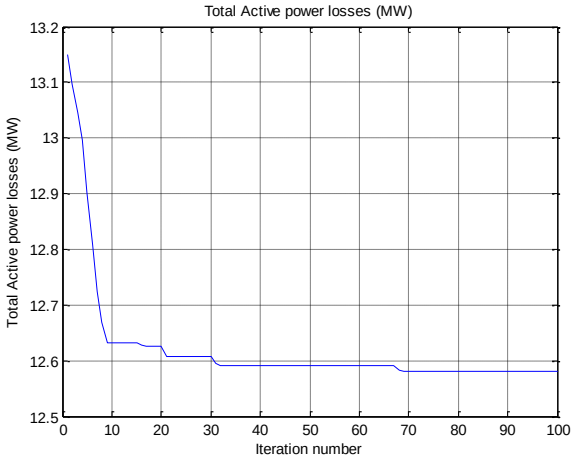
Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan seringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. **HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

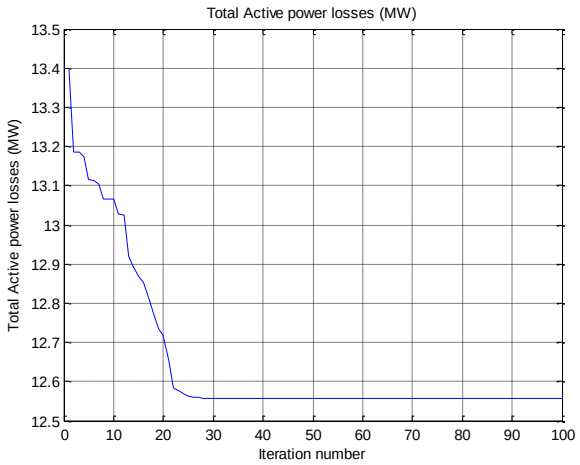
Sejak jaringan listrik tumbuh dan kebutuhan untuk efisiensi sistem yang lebih tinggi, operator sistem tenaga membutuhkan metode pengoperasian sistem tenaga yang cepat dan efisien. Salah satu masalah utama dalam pengoperasian sistem tenaga yang perlu diselesaikan adalah aliran daya optimal (OPF). OPF adalah metode penjadwalan generator yang efisien untuk memenuhi kebutuhan daya dengan tujuan meminimalkan total biaya produksi pembangkit listrik dengan tetap menjaga stabilitas, keamanan, dan keandalan sistem. Penelitian ini mengusulkan metode baru untuk menyelesaikan OPF dengan menggunakan incremental particle swarm optimization (IPSO). IPSO merupakan algoritma baru dari particle swarm optimization (PSO) yang memodifikasi struktur PSO dengan memperbesar ukuran partikel, dimana setiap partikel mengubah posisinya untuk menentukan posisi optimalnya. Kelebihan IPSO adalah populasinya bertambah setiap iterasi sehingga proses optimasi menjadi lebih cepat. Hasil penelitian aliran daya optimal untuk biaya pembangkitan, stabilitas tegangan sistem, dan rugi-rugi yang diperoleh dengan metode IPSO lebih unggul dibandingkan dengan metode PSO konvensional.

1. Perbandingan metode PSO dan IPSO

Gambar 1 menunjukkan perbandingan jumlah iterasi antara metode PSO dan IPSO pada aliran daya optimal pada sistem IEEE 30-bus. Terlihat bahwa penggunaan metode IPSO-OPF dalam optimasi aliran daya memiliki waktu konvergen yang lebih cepat dibandingkan dengan metode PSO-OPF. Selanjutnya metode IPSO-OPF diperoleh nilai konvergensi rugi daya aktif sistem 12,56 MW pada iterasi ke-25, sedangkan metode PSO-OPF konvergen pada iterasi ke-69 dengan hasil rugi daya aktif 12,58 MW. Sehingga dapat diketahui bahwa dalam menentukan rugi-rugi daya aktif diperoleh nilai minimum dengan menggunakan metode IPSO-OPF dengan iterasi yang lebih sedikit.



(a)



(b)

Gambar 1. Jumlah iterasi dengan menggunakan (a) PSO-OPF (b) IPSO-OPF

Tabel 1 menunjukkan ringkasan perbandingan hasil aliran daya optimal antara metode IPSO-OPF dan PSO-OPF dengan parameter iterasi, rugi-rugi daya aktif, dan biaya pembangkitan. Terlihat bahwa metode IPSO-OPF konvergen lebih cepat pada iterasi ke-25 dibandingkan metode PSO-OPF yang konvergen pada iterasi ke-69. Rugi-rugi daya aktif yang diperoleh dengan metode IPSO-OPF juga lebih kecil dibandingkan dengan metode PSO-OPF. Sedangkan untuk biaya pembangkitan, metode IPSO-OPF juga menghasilkan biaya pembangkitan yang lebih murah dibandingkan dengan biaya pembangkitan metode PSO-OPF. Oleh karena itu, secara keseluruhan kinerja IPSO-OPF lebih unggul dari PSO-OPF konvensional dalam menyelesaikan aliran daya yang optimal terutama karena IPSO-OPF konvergen lebih cepat daripada PSO-OPF konvensional.

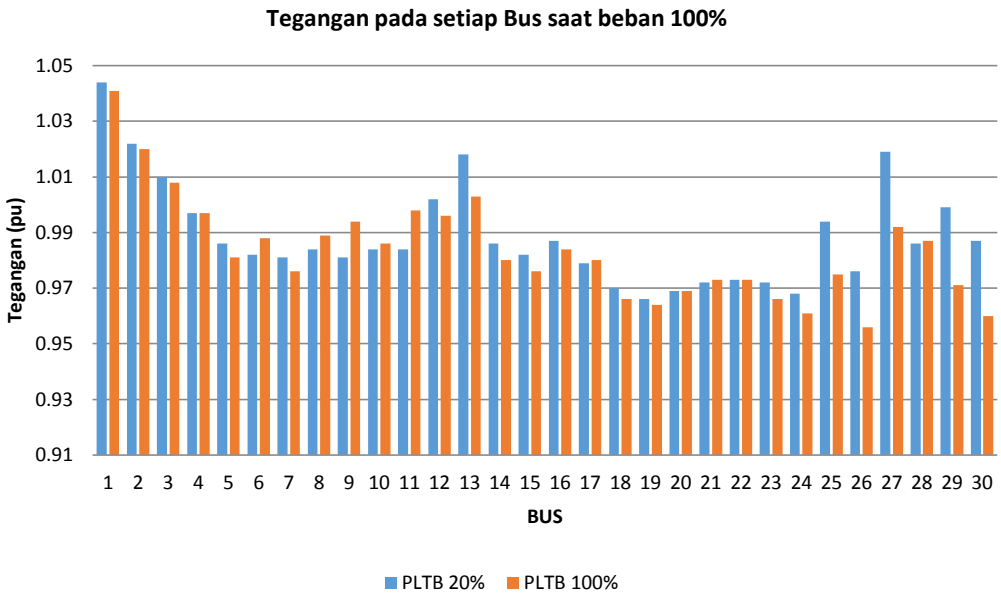
TABLE 1. Perbandingan antara PSO-OPF and the IPSO-OPF

Parameter	PSO	IPSO
Number of iterations	69	25
Active power losses	12.58 MW	12.56 MW
Generation cost	$ 14,331/h	$ 14,330/h

2. Simulasi metode IPSO-OPF dengan adanya PLTB

2.1 Tegangan

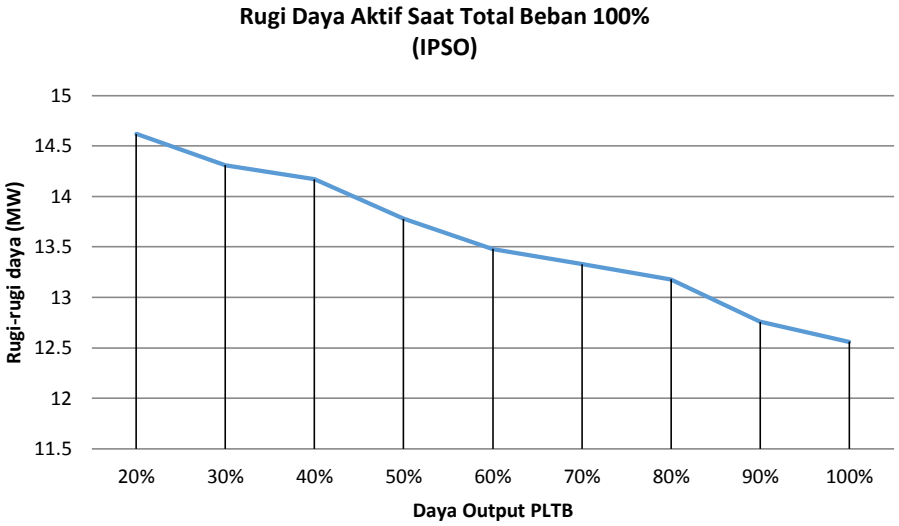
Gambar 2 memperlihatkan grafik tegangan pada setiap bus sistem pada kondisi beban puncak 100% dengan menggunakan metode IPSO-OPF. Terlihat bahwa, pada saat daya keluaran PLTB sebesar 20%, tegangan tegangan bus yang paling kecil yaitu pada bus sebesar 0,966 pu sedangkan tegangan bus paling tinggi yaitu pada bus generator bus-1 sebesar 1,037 pu. Ketika daya keluaran PLTB diperbesar menjadi 100%, tegangan setiap bus pada sistem mengalami peningkatan dan penurunan.



Gambar 2. Tegangan Bus sistem

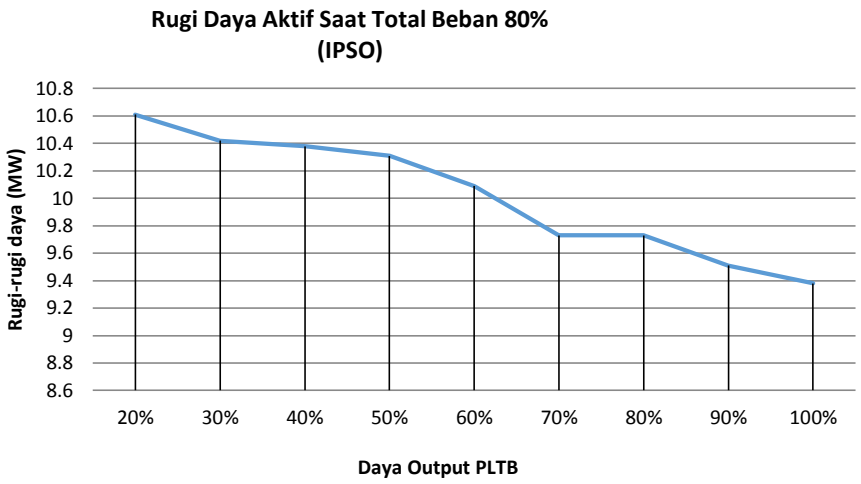
2.2 Rugi-rugi daya aktif

Gambar 3 memperlihatkan grafik perubahan jumlah rugi daya aktif pada sistem pada kondisi beban 100% dengan perubahan daya keluaran dari PLTB. Pada saat daya keluaran PLTB sebesar 20%, jumlah rugi daya aktif pada sistem sebesar 14,62 MW. Ketika daya keluaran PLTB bertambah, jumlah rugi daya aktif pada sistem berkurang. Jumlah rugi daya aktif pada sistem sebesar 12,56 MW ketika daya keluaran PLTB sebesar 100%.



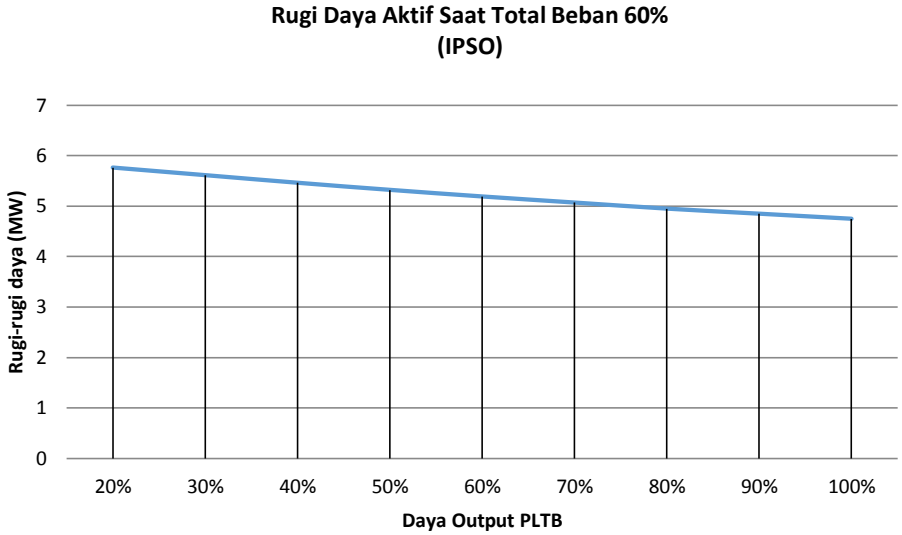
Gambar 3 Rugi daya aktif pada total beban 100% menggunakan IPSO

Gambar 4 memperlihatkan grafik perubahan jumlah rugi daya reaktif pada sistem saat jumlah beban 80% dengan perubahan nilai daya keluaran PLTB. Saat daya keluaran PLTB sebesar 20%, jumlah rugi daya aktif pada sistem sebesar 10,61 MW. Saat daya keluaran PLTB diperbesar, jumlah rugi daya aktif pada sistem berkurang. Ketika daya keluaran PLTB sebesar 100%, jumlah rugi daya aktif menjadi 9,38 MW.



Gambar 4 Grafik rugi daya aktif pada total beban 80% menggunakan IPSO

Gambar 5 memperlihatkan grafik perubahan jumlah rugi daya aktif pada sistem saat total beban 60% menggunakan IPSO. pada saat daya keluaran dari PLTB sebesar 20%, jumlah rugi daya aktif pada sistem sebesar 5,49 MW. Ketika daya keluaran PLTB sebesar 100%, jumlah rugi daya aktif mengalami penurunan menjadi 4,62 MW.



Gambar 5 Grafik rugi daya aktif saat total beban 60% menggunakan OPF IPSO

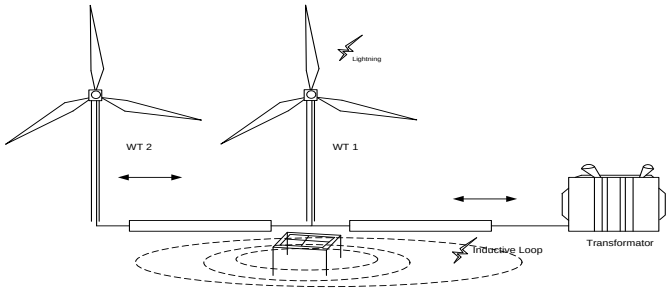
3. Rancangan sistem proteksi PLTB

Energi angin merupakan energi bersih dan terbarukan yang sangat ideal untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dalam pembangkitan listrik yang sangat berperan penting dalam kehidupan di era modern ini. Salah satu permasalahan yang dihadapi oleh pembangkit energi terbarukan ini adalah fenomena alam yang tidak dapat diprediksi seperti sambaran petir. Dengan mempertimbangkan kondisi pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) yang biasanya berada di atas pegunungan, ketahanan tanah yang tinggi dan lokasi yang terbuka sehingga sangat rentan terkena sambaran petir langsung dan selanjutnya dapat menyebabkan potensi ketidakstabilan sistem.

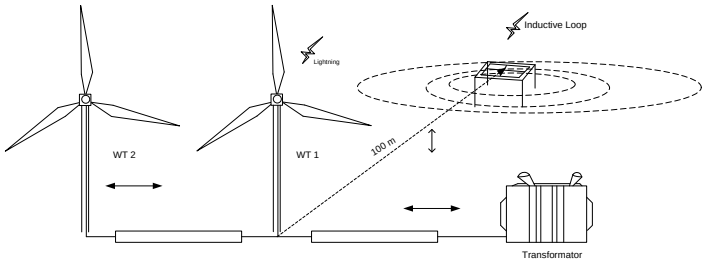
Umumnya, ketika turbin angin terkena arus transien langsung yang melewati setiap bagian turbin, ia merambat ke seluruh peralatan dengan kapasitas tegangan dan arus yang tinggi. Kejadian tersebut dapat memperburuk sistem distribusi energi dan menyebabkan kerusakan total pada peralatan PLTB. Oleh karena itu perlu dirancang proteksi yang unggul.

Masalah lain yang muncul adalah ketika arus tinggi melewati sudu dan menara. Tegangan dan arus yang terakumulasi di bawah kaki menara turbin angin merambat ke suatu arah dan dapat mempengaruhi turbin angin lain yang berdekatan. Induksi yang dihasilkan petir dengan kapasitas yang sangat besar menyebabkan peningkatan potensi tanah yang dapat memicu terjadinya arus balik. Situasi ini dapat diperparah karena *surge arrester* (SA) yang dibumikan di sekitar turbin angin dapat beroperasi dalam arah sebaliknya. Untuk menghindari hal tersebut, sistem proteksi harus dirancang secara efektif dengan memprioritaskan ground yang terpisah, meredam umpan balik *voltage surge protector* (VSP) serta penggunaan model arester yang tepat. Dalam penelitian ini diasumsikan perilaku transien dengan penggabungan berbagai metode pendekatan saluran transmisi, cincin ferit, model Pincetti, dan VSP. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang kombinasi cincin ferit, model pinceti, VSP untuk mengurangi kegagalan peralatan akibat sambaran langsung petir, meredam tegangan lebih dan membatasi arus balik dengan metode pentanahan terpisah.

Simulasi ini dilakukan pada 1 generator angin yang didistribusikan pada gardu akhir yang ditunjukkan pada Gambar 6 (a), dengan nilai tanah 10 Ohm dan 100 Ohm dan penempatan turbin angin diasumsikan di lokasi pegunungan dan berbatu. Semua turbin angin terhubung dengan trafo grid 6,6 kV/66 kV, dengan SA disisipkan di antara sisi primer dan sekunder. Gambar 6 (b) menunjukkan metode rute yang dibuat (diusulkan) secara khusus untuk menghilangkan lebih banyak tegangan ketika sambaran langsung terjadi oleh petir. Metode ini diusulkan karena besarnya arus cahaya pada petir yang dapat menginduksi induksi besar pada sistem pentanahan turbin angin di bawah kaki menara.



(a)

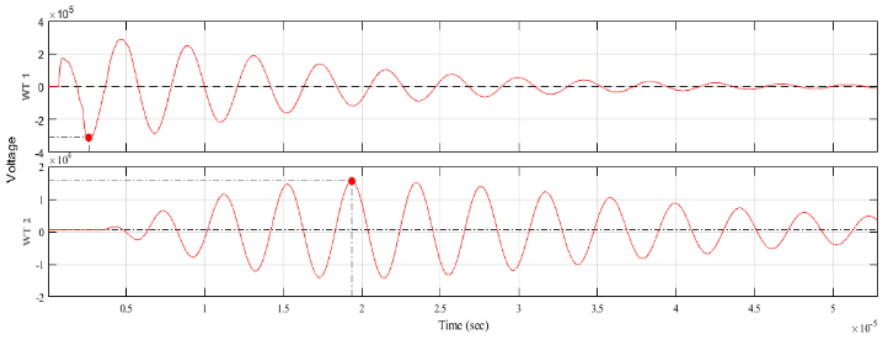


(b)

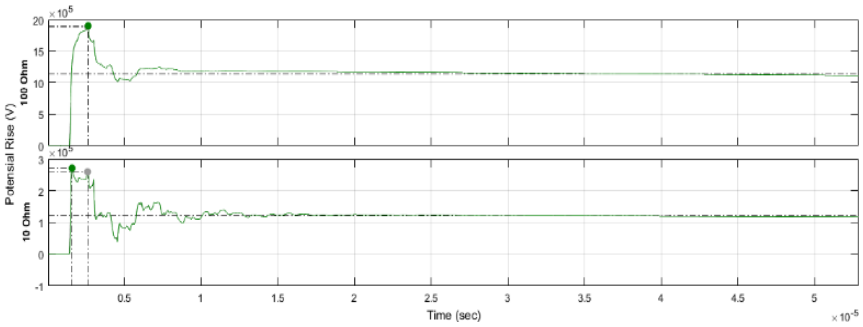
Gambar 6 (a) Sambaran petir langsung menyebabkan tegangan lebih pada pondasi dasar turbin angin (b) Pelaksanaan pemisahan lahan dari turbin angin

Penelitian ini membandingkan hasil simulasi antara desain konvensional dan metode desain yang diusulkan. Respon yang disimulasikan adalah sambaran petir langsung 51 kA yang mengenai trafo antara turbin angin 1 dan turbin angin 2, kemudian mengamati respon potensial tanah setelah sambaran dengan asumsi tahanan tanah 10 Ohm dan 100 Ohm.

Hasil simulasi menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan dengan menggunakan kombinasi proteksi, seperti terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Gambar 7 (a) dan (b) menunjukkan hasil simulasi menggunakan desain konvensional dengan kombinasi proteksi yang hanya menggunakan SA dan VSP. Tegangan pada sistem peralatan yang terekam untuk turbin angin 1 mencapai 300 kV dan untuk turbin angin 2 mencapai 17 kV. Dengan pembumian yang berpusat pada kaki menara, nilai potensial tanah akibat petir yang terekam mencapai 1,9 MV pada 100 Ohm dan nilai tahanan tanah 270 kV pada nilai tahanan tanah 10 Ohm. Hal ini dapat memicu arus balik untuk kasus pentanahan antara proteksi turbin angin dalam satu segmen.



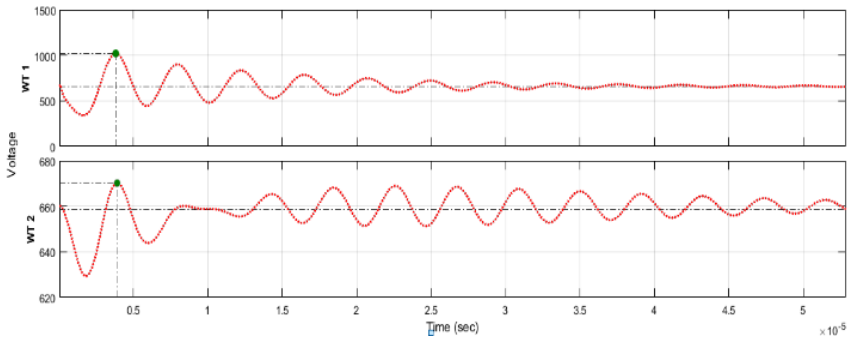
(a)



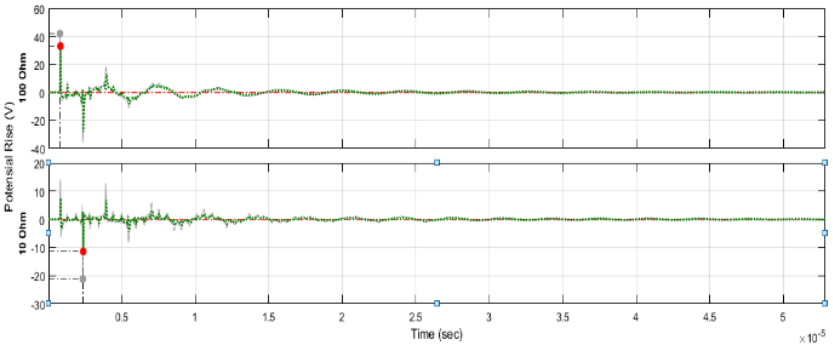
(b)

Gambar 7 (a) reaksi sambaran petir pada peralatan kontrol turbin (b) kenaikan potensial tanah di sekitar turbin angin

Gambar 8 (a) dan (b) menunjukkan rekaman tegangan lebih pada turbin angin 1 yang hanya mencapai 1,1 kV dan untuk turbin angin 2 menjadi 670 V. Potensial tanah turun dari 1,9 MV menjadi 40 V jika nilai tahanan tanah sebesar 100 Ohm dan 270 kV sampai 15 V pada hambatan 10 Ohm. Hasil yang dicapai didasarkan pada kombinasi kemampuan perlindungan yang terdiri dari ferit, VSP, SA, dan sistem pentanahan terpisah. Hasil yang menarik adalah bahwa kegagalan masing-masing proteksi untuk menutupi satu sama lain dan melayani sesuai dengan kemampuan masing-masing sistem pembumian yang terpisah diharapkan sebagai titik utama untuk mengatasi efek arus balik yang disebabkan oleh petir.



(a)



(b)

Gambar 8 (a) reaksi sambaran petir pada peralatan kendali turbin angin dengan menggunakan kombinasi proteksi (b) Respon proteksi tanah menggunakan kombinasi proteksi

D. **STATUS LUARAN**: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta mengunggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas.

Luaran wajib: Jurnal dengan judul ”A Specific Modelling of Ground Protection System for Wind Power Plants” telah diterima jurnal Energy Report, Elsevier (Q1).

Luaran tambahan: Makalah dengan judul ”Optimization of Location Determination of Distributed Generation Using Hybrid Flower Pollination and β-Hill Climbing Methods” telah dipresentasikan pada The International Conference on Computer Science and Engineering Technology Universitas Muria Kudus (ICCSET UMK), 26 November 2022.

E**. PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUPT). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Tidak ada mitra

F. **KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN**: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Kendala yang ditemui selama pelaksanaan penelitian adalah sulitnya memperoleh data-data yang akurat yang dibutuhkan serta dalam pembuatan program/pemodelan terdapat beberapa kesalahan/kekeliruan yang menyebabkan program tidak dapat berfungsi sehingga harus dicari letak kesalahan sampai program benar dan dapat beroperasi.

G**. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA:** Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan

termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Melanjutkan ke penelitian tahap 3 dengan mengembangkan model yang telah dikembangkan.

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Energy Reports 8 (2022) 647–651
www.elsevier.com/locate/egyr

A specific modeling of ground protection system for wind power plants

Muhammad Bachtiar Nappu[a,b,*], Ardiaty Arief[a,b], Muhammad Galvanir Noor[c]

[a] *Centre for Research and Development on Energy and Electricity, Hasanuddin University, Makassar 90245, Indonesia*
[b] *Electricity Market and Power Systems Research Group, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa 92119, Indonesia*
[c] *Department of Metal Industry Electrical Technology, Tridaya Virtu Morosi Polytechnic, Konawe 93354, Indonesia*

Received 6 October 2022; accepted 9 October 2022
Available online xxxx

Abstract

This paper presents specific combined protection of grounding systems that can be applied for wind power plants. The proposed prototype design is a combination of the ferrite ring technique, surge arrester models, as well as voltage surge protector, which impacts dampen tension more effectively by building a dedicated line with a separate model. The proposed model is 100 m in width with a depth of 2 m from the soil which is based on the IEC-61643-12 study. The transmission line approach model is used to obtain a description of the behavior of lightning occurring in the soil. The simulation results show the proposed design can be applied effectively.
© 2022 The Author(s). Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Keywords: Wind power plants; Wind turbine; Transmission line; Voltage surge protection; Surge arrester; System grounding; Ground potential rise

1. Introduction

Wind energy is clean and renewable energy that is ideal for reducing the use of fossil fuels in electricity generation, which plays a very important role in life in this modern era [1]. One of the problems faced by this renewable energy generation is a natural phenomenon that cannot be predicted such as lightning strikes. By taking into consideration the condition of wind power plants (WPPs) that are usually located up in the mountains, high earth resistance and an open location that makes it very vulnerable to be hit by a direct lightning strike and may further cause system instability. In addition, if the system is currently working on its stability limit, more attention should be given to avoid potential transmission congestion [2].

* Corresponding author at: Centre for Research and Development on Energy and Electricity, Hasanuddin University, Makassar 90245, Indonesia.
E-mail address: bachtiar@eng.unhas.ac.id (M.B. Nappu).

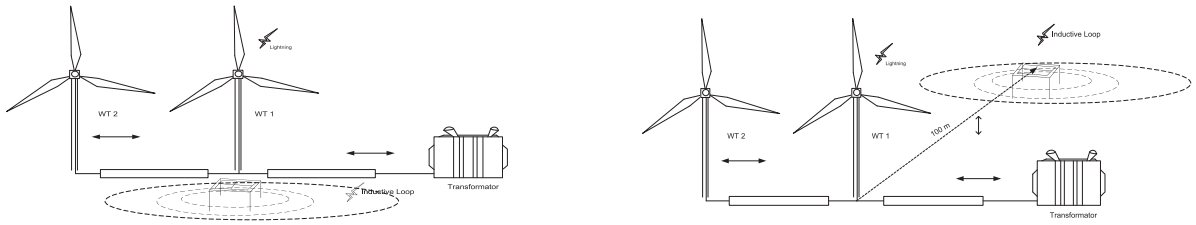
https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.221
2352-4847/© 2022 The Author(s). Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Generally, when a wind turbine is hit by a direct transient current that passes through each part of the turbine, it propagates throughout the equipment with a high voltage and current capacity. These events can aggravate the energy distribution system and cause total damage to WPP equipment [3]. Therefore it is necessary to design superior protection.

Another problem that arises is when the high current passes through the blade and tower. Voltages and currents accumulated beneath the feet of the wind turbine (WT) tower propagate in a direction and can infect other adjacent WTs. Induction produced by lightning with a very large capacity leads to an increase in the soil potential that can trigger a backflow. This situation can be worsened since the surge arrester (SA) that is earthed around the WT can operate in a reverse direction. To avoid this, the protection system should be designed effectively by prioritizing the separate ground, dampening the voltage surge protector (VSP) feedback as well as the proper use of the arrester model. In the literature, many authors have been discussing the risk of direct strikes on WPPs and the evaluation of grounding systems [4,5]. In this research, the transient behavior with the incorporation of various methods of transmission line (TL) approach, Ferrite ring, Pinceti model, and VSP is assumed. The purpose of this research is to design the combination of ferrite ring, Pinceti model, VSP to reduce equipment failure due to direct strike of lightning, dampen over-voltage and limit backflow with separated grounding method.

2. Problem formulations

This simulation is performed on 1 wind generator distributed on the final substation shown in Fig. 1(a), with a ground value of 10 Ω, and 100 Ω and WPP placements are assumed in mountainous and rocky locations. All WPPs are connected with a 6.6 kV/ 66 kV grid transformer [6], with SAs inserted between the primary and secondary sides. Fig. 1(b) shows a specially constructed (proposed) route method to remove more voltage when a direct strike occurs by lightning. This method is proposed because of the magnitude of the light current at lightning which can induce a large induction of the WPP grounding system beneath the foot of the tower.



(a) (b)

Fig. 1. (a) The lightning direct strike lightning causes more stress on the basic foundation of WPP [7] (b) Implementation of separated land from WT [7].

As an approach to strengthening the lightning phenomenon protection in the case of strikes, for the first case usually more tension can be absorbed without much damage, in the second case after the occurrence of an over-voltage strike which is reversed due to the integrated grounding system around the WT and the more discharged high voltage this can be expressed in the equation.

$$U = M \times \frac{di}{dt} \tag{1}$$

2.1. Voltage surge protector (VSP) for WPP

This equipment is used as part of WPP protection, for additional special grounding combinations that are proposed as protection methods. Usually, this tool is used to provide installation protection on high buildings. Because of its ability to work as a breaker circuit (CB), hence this tool serves as an over-voltage breaker when there is a lightning strike [8]. The performance of VSP can be seen in Fig. 2.

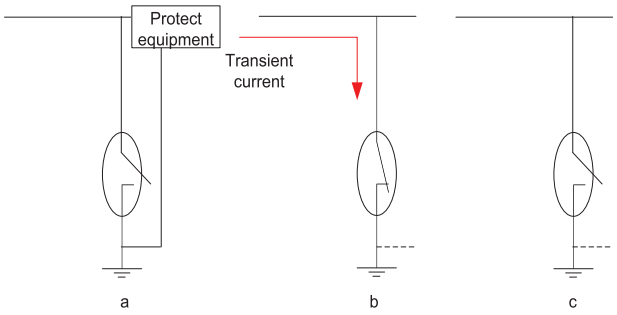


Fig. 2. VSP working system. (a) before transient overvoltage (b) during overvoltage (c) after overvoltage [8].

2.2. The arrester model

The arrester's selection to be used is based on its maximum operating voltage which can be seen in the electrical data of the ASEA Brown Boveri (ABB) [9]. Is expected to work continuously to protect the transformer from over-voltage [10]. The modified Pinceti et al. model of the IEEE is employed in the form of an equivalent circuit consisting of 2 non-linear resistances A_0 and A_1, separated by 2 inductances arranged in series with L_1 and L_0 [11]. Parallel resistance is added as a function of avoiding numerical errors in the circuit system, where R is 1 MΩ [12]. To calculate the value of L_1 and L_0, we use the following equations.

$$L_1 = \frac{1}{4}\frac{V_{r(\frac{1}{T2})} - V_{r(\frac{8}{20})}}{V_{r(\frac{8}{20})}} V_n \mu H \tag{2}$$

$$L_0 = \frac{1}{4}\frac{V_{r(\frac{1}{T2})} - V_{r(\frac{8}{20})}}{V_{r(\frac{8}{20})}} V_n \mu H \tag{3}$$

Where is V_n is the voltage of the arrester in kV, $V_{r(\frac{1}{T2})}$ is the 10 kA fast front current surge $\left(\frac{1}{T2}\right)$ residual voltage. $V_{r(\frac{8}{20})}$ is the residual voltage at 10 kA current surge with 8/20 μs time referring to $V_{r(\frac{8}{20})}$ selected based on electrical data of the ASEA Brown Boveri (ABB) [9].

2.3. WPP grounding model system

The main basis of the WPP grounding system consists of conductors buried in the ground with a very strong concrete foundation. The outline of the conductor is connected to the electrical system in WPP as the grounding system [13]. The simplified transmission line (TL) approach used is shown in Fig. 3.

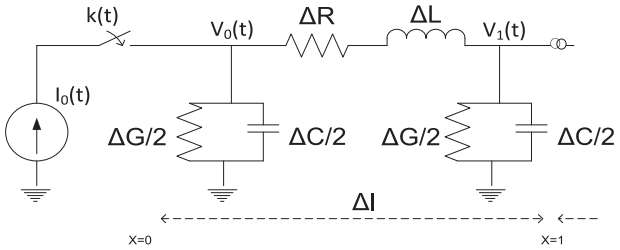


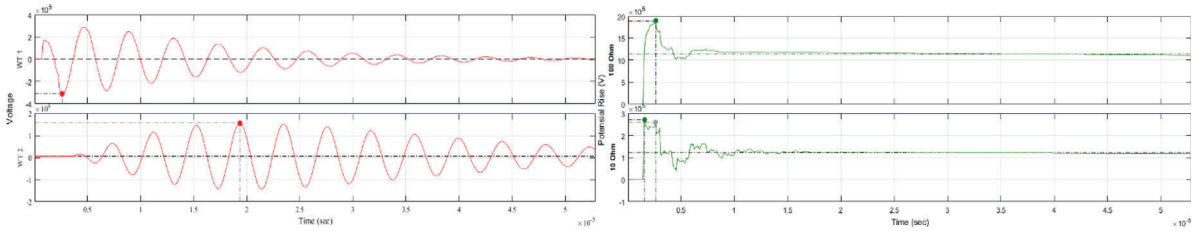
Fig. 3. Equivalent circuit of each conductor segment of Δl length [4].

Where ΔR is horizontal resistance in per-unit, ΔL is horizontal the inductance in per-unit, ΔG and ΔC is the conductance with capacitance in per-unit. The distributions of the parameter are based on the state of the location and space. More details of the expression of the distributed parameters can be seen in [4] and the cable parameters are referring to [14].

3. Results and discussions

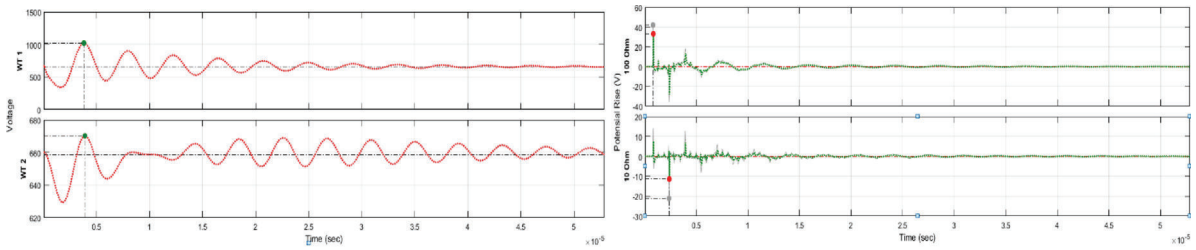
This study compares the simulation results between the conventional design and the proposed design method. The simulated response is a 51 kA direct lightning strike hit the transformer between WT 1 and WT 2, then observing the ground potential response after the strike by assuming the soil resistance of 10 Ω and 100 Ω.

The simulation results showed a very significant difference by using the combination of protection, as can be seen in Figs. 4 and 5. Fig. 4(a) and (b) show the simulation results using the conventional design with a combination of protection, which only uses SA and VSP. The voltage on the recorded equipment system for WT 1 reaches up to 300 kV and for WT 2 reaches 17 kV. With earthing-centered at the foot of the tower, the potential value of soil caused by lightning recorded reaches 1.9 MV at 100 Ω and 270 kV soil resistance values at soil resistance value 10 Ω. This may trigger a backflow for the grounding case between WT protections in one segment.



(a) (b)

Fig. 4. (a) lightning strike reaction to turbine control equipment (b) ground potential rises stricken around WPP.



(a) (b)

Fig. 5. (a) lightning strike reaction to WT's control equipment by using protection combination (b) Response GPR using a combination of protection.

Fig. 5 (a) and (b) show the recorded over-voltage on WT 1 that reaches only 1.1 kV and for WT 2 to 670 V. The soil potential drops from 1.9 MV to 40 V in case of the soil resistance value of 100 Ω and 270 kV to 15 V at resistance 10 Ω. The results achieved are based on the combination of protection capabilities consisting of ferrite, VSP, SA's, and separate grounding systems. The interesting result is that the failure of each protection to cover each other and serve according to the capabilities of each separate earth system is expected as the main point to overcome the effects of backflow caused by lightning.

4. Conclusions

This combination of protection is designed to protect all existing equipment in WPP against overcurrent voltage and current well as the lightning reverse currents from the soil. The proposed soil resistance role leads to a soil resistivity response and refers to a high voltage wave peak increase with some fluctuations in the grounding system that may cause transient radiation effects to some nearby point. Restricting this separate earth path in line with VSP based on Eq. (1) can reduce the 99% radiation effects of transients. Other planned protection such as ferrite rings and SAs can reduce the voltage and current by about 98%. With this combination technique the performance of the protection is not emphasized on the SA's alone but rather centered to a more effective transient disposal line.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Data availability

The data that has been used is confidential.

Acknowledgment

M.B. Nappu and A. Arief gratefully acknowledge the Indonesian Ministry of Education, Culture, Research and Technology, Indonesia for providing the research grant and support in this work.

References

[1] Kaldellis John K, Zafirakis D. The wind energy (r)evolution: A short review of a long history. Renewable Energy 2011;36(7):1887–901. http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.01.002.

[2] Nappu Muhammad Bachtiar, Arief Ardiaty, Bansal Ramesh C. Transmission management for congested power system: A review of concepts, technical challenges and development of a new methodology. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2014;38:572–80. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.089.

[3] Rodrigues RB, Mendes VMF, Catalão JPS. Electromagnetic transients study due to lightning strikes on two interconnected wind turbines, in: 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, 25–28 March 2012, pp. 1103–1106, doi: http://dx.doi.org/10.1109/MELCON.2012.6196621.

[4] Kherif O, Chiheb M, Teguar S, Mekhaldi A. On the analysis of lightning response of interconnected wind turbine grounding systems, in: 5th International Conference on Electrical Engineering - Boumerdes (ICEE-B), 29–31 Oct. 2017, pp, 1-4. doi: http://dx.doi.org/10.1109/icee-b.2017.8192137.

[5] Yoh Yasuda. Lightning surge analysis of a wind farm. In: Wind Energy Conversion Systems: Technology and Trends. London: Springer; 2012, p. 243–65. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-2201-2_11.

[6] Abd_Elhady AM, Sabiha NA, Izzularab MA. Overvoltage investigation of wind farm under lightning strokes. In: IET Conference on Renewable Power Generation, 6–8 Sept. 2011, p. 1–6. http://dx.doi.org/10.1049/cp.2011.0236.

[7] Das JC. Transients in electrical systems: analysis, recognition, and mitigation. New York, NY, United States: McGraw-Hill Education - Europe; 2010, https://books.google.co.id/books?id=ugxVjgEACAAJ.

[8] Legrand. Protection against lightning effects. Power Guide 2009/ Book 07. Legrand; 2009, https://www.legrand.be/sites/default/files/guides_techniques/Power_book_07_0.pdf.

[9] ABB. ASEA Brown Boveri, 2006. Data Sheet Surge arrester MWK, ABB Switzerland Ltd./PTHA 3210.2006-04E.

[10] Porrino A, Alexandri I, Clement M, Finlay GS, Henriksen T, Hoeffelman J, et al. Lightning protection of distribution networks. II. Application to MV networks. in: 14th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution. Part 1. Contributions (IEE Conf. Publ. No. 438), 2–5 June 1997, 28/1-28/8, vol. 2, doi: http://dx.doi.org/10.1049/cp:19970495.

[11] Magro MC, Giannettoni M, Pinceti P. Validation of ZnO surge arresters model for overvoltage studies. IEEE Trans. Power Deliv. 2004;19(4):1692–5. http://dx.doi.org/10.1109/tpwrd.2004.832354.

[12] Mousa Abdullah, Ali Mahmoud, Said A. Towards an accurate modeling of frequency-dependent wind farm components under transient conditions. WSEAS Trans. Power Syst. 2014;9:395–407.

[13] Malcolm N, Aggarwal R. Analysis of transient overvoltage phenomena due to direct lightning strikes on wind turbine blade. in: 2014 IEEE PES General Meeting — Conference & Exposition, 27–31 July 2014, pp 1–5. http://dx.doi.org/10.1109/pesgm.2014.6938780.

[14] Li Xianqiang, Wang Jianguo, Yu Wang, Fan Yadong, Baoquan Zhang, Shunchao Wang, et al. Lightning transient characteristics of cable power collection system in wind power plants. IET Renewable Power Generation 2015;9:1025–32.

KONTRAK PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI
Tahun Anggaran 2021
Nomor : 752/UN4.22/PT.01.03/2021

Pada hari ini Jumat, Tanggal Dua Puluh Enam bulan Maret tahun Dua ribu dua puluh satu, kami yang bertandatangan di bawah ini :

1. Prof. Dr. Andi Alimuddin, M.Si. : Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Hasanuddin, dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Universitas Hasanuddin yang berkedudukan di Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 10 Kampus Unhas Tamalanrea Makassar selanjutnya disebut PIHAK PERTAMA.

2. M. Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D. : Ketua Pelaksana/Dosen Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Penelitian Tahun Anggaran 2021 untuk selanjutnya disebut PIHAK KEDUA.

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA, secara bersama-sama mengikatkan diri dalam suatu kontrak Penelitian skema Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2021 dengan ketentuan dan syarat syarat sebagai berikut:

Pasal 1
Ruang Lingkup Kontrak

(1) PIHAK PERTAMA memberikan pekerjaan kepada PIHAK KEDUA dan PIHAK KEDUA menerima pekerjaan tersebut dari PIHAK PERTAMA, untuk melaksanakan dan menyelesaikan Penelitian Tahun Anggaran 2021 dengan judul Peningkatan Efisiensi dan Kualitas Daya Listrik Multi-Sumber Energi Primer Memperhitungkan Efek Losses dan Faktor Kongesti Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi, sesuai Surat Keputusan Nomor: 8/E1/KPT/ 2021 tentang Penetapan Pendanaan Penelitian untuk Perguruan Tinggi Badan Hukum Tahun Anggaran 2021, Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2021 Nomor: 7/E1/KP.PTNBH/2021Tanggal 8 Maret 2021 dan Surat Perjanjian Pelaksanaan Pekerjaan Nomor: 8044/UN4.1.2.3/PL.02.00/2021 Tanggal 22 Maret 2021.

Pasal 2
Dana Penelitian

(1) Besarnya dana untuk melaksanakan penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 adalah sebesar Rp. 200.000.000,- (Dua Ratus Juta Rupiah) sudah termasuk pajak.
(2) Dana penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan kepada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional Tahun Anggaran 2021.

Pasal 3
Tata Cara Pembayaran Dana Penelitian

(1) PIHAK PERTAMA akan membayarkan dana Penelitian kepada PIHAK KEDUA secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut :
   a. Pembayaran tahap pertama sebesar 70% dari total dana penelitian yaitu 70% x Rp. 200.000.000,- = Rp. 140.000.000,- (Seratus Empat Puluh Juta Rupiah) yang akan dibayarkan oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA setelah PIHAK KEDUA menyerahkan revisi proposal dan revisi anggaran (sesuai kontrak).
   b. Pembayaran tahap kedua sebesar 30% dari total dana penelitian yaitu 30% x Rp. 200.000.000,- = Rp. 60.000.000,- (Enam Puluh Juta Rupiah) dibayarkan oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA setelah PIHAK KEDUA menyerahkan laporan lengkap hasil penelitian, surat pernyataan kesanggupan penyusunan laporan penelitian, Catatan Harian, Luaran penelitian dan Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan yang sudah di validasi oleh PIHAK PERTAMA.

(2) Dana penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan disalurkan oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA ke rekening sebagai berikut :

Nama : M. Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D.
Nomor Rekening :
Nama Bank : Bank Negara Indonesia

Peneliti (2)

Pasal 13
Pembatalan Perjanjian

(1) Apabila dikemudian hari terdapat judul penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran, itikad tidak baik, dan/atau perbuatan yang tidak sesuai dengan akidah ilmiah dari atau dilakukan oleh PIHAK KEDUA, maka perjanjian penelitian ini dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterima kepada PIHAK PERTAMA yang selanjutnya akan disetorkan ke kas Negara.
(2) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disimpan oleh PIHAK PERTAMA.

Pasal 14
Pajak-Pajak

Hal-hal dan/atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab PIHAK KEDUA dan harus dibayarkan oleh PIHAK KEDUA ke kantor pelayanan pajak setempat sesuai ketentuan yang berlaku.

Pasal 15
Peralatan dan/alat Hasil Penelitian

(1) Hasil penelitian berupa peralatan dan/atau peralatan yang dibeli dari kegiatan ini adalah milik negara, dan diserahkan kepada PIHAK PERTAMA melalui Berita Acara Serah Terima (BAST) dan selanjutnya diserahkan kepada Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional.
(2) Berita Acara sebagaimana dimaksud pada ayat (2) wajib dilampiri dengan foto bukti serah terima barang/alat.

Pasal 16
Penyelesaian Sengketa

Apabila terjadi perselisihan antara PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA dalam pelaksanaan Perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musayawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.

Pasal 17
Lain-lain

(1) PIHAK KEDUA menjamin bahwa penelitian dengan judul tersebut diatas belum pernah dibiayai dan/atau diikutsertakan pada pendanaan penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik dalam maupun luar negeri.

(2) Segala sesuatu yang belum cukup diatur dalam perjanjian ini dan dipandang perlu diatur lebih lanjut dan akan dilakukan perubahan oleh PARA PIHAK, maka perubahan-perubahan akan diatur dalam perjanjian tambahan atau perubahan yang merupakan satu kesatuan dan bagian yang tidak terpisahkan dari perjanjian ini.

Perjanjian ini dibuat dan ditandatangani oleh PARA PIHAK pada hari dan tanggal tersebut diatas, dibuat dalam rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing-masing mempunyai kekuatan hukum yang sama.

IHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA
SEPULUH RIBU RUPIAH 10000 METERAI TEMPEL TGL. 20 8E598AKX349923573	
Prof. Dr. Andi Alimuddin, M.Si.	M. Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D.
NIP 196201181987021001	NIP 197604062003121002

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10, Makassar 90245
Telp.(0411) 587032, 582500, 588888 Fax.(0411) 587032, 584024
Laman : http://lp2m.unhas.ac.id email : lp2m@unhas.ac.id

SURAT KETERANGAN

Nomor : 3842/UN4.22/PT.01.09/2021

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama	:	Prof. Dr. Andi Alimuddin, M.Si
NIP	:	196201181987021001
Jabatan	:	Ketua
Unit Kerja	:	Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Hasanuddin
Alamat	:	Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 10 Tamalanrea, Makassar

Dengan ini menerangkan bahwa yang tersebut namanya pada lampiran surat keterangan ini sebagai Tim Penyusun Laporan Akhir kegiatan penelitian Hibah Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional Tahun 2021.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 6 Desember 2021

Ketua,

Prof. Dr. Andi Alimuddin, M.Si
NIP 196201181987021001

Lampiran : Surat Keterangan Ketua LPPM UNHAS

Nomor : 3482/UN4.22/PT.01.09/2021 Tanggal : 6 Desember 2021

NO	JUDUL KEGIATAN	PELAKSANA	SKIM	JNS KEG	MITRA KERJA	UNIT KERJA	KET.
1	Fermentasi Alga Spirogyra peipingensis Menggunakan Yeast Pichia kudriavzevii untuk Menghasilkan Bioetanol dan Biodiesel	Dr. Sulfahri, S.Si.,M.Si. Prof. Dr. Dirayah Rauf Husain, M.Sc.	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	MIPA	
2	Deni Briokansis (Detektor Dini Embrio Ikan Oryzias celebensis) Pencemaran Plastik untuk Analisis Resiko Lingkungan	Dr. Ir. Khusnul Yaqin, M.Sc. Dr. Sriwahyuni Rahim, ST., M.Si. Dr. drh. Dwi Kesuma Sari	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	Ilmu Kelautan dan Perikanan	
3	Isolasi dan Pengembangan Konsorsium Bakteri dari Sedimen untuk Aplikasi Pada Bioreaktor Pengolahan Limbah Air Asam Tambang	Dr. Fahruddin, M.Si. Dr. Nursiah La Nafie, M.Sc. Drs. Asadi, M.Si.	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	MIPA	
4	Studi Mikromorfologi Tanah Pada Beberapa Tutupan Lahan Di Wilayah Rentan Longsor Sub-Das Kelara Kabupaten Jeneponto	Dr. Asmita Ahmad, ST.,M.Si. Dr.Eng Meutia Farida S.T, M.T Nirmala Juita S.P, M.Si	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	Pertanian	
5	Evaluasi Daya Dukung Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor dan Seismik Gelombang Permukaan	Dr. Erfan, M.Si. Dr. Eng. Muhammad Alimuddin Hamzah Assagaf	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	MIPA	
6	Gradients of Marine Biodiversity and Linkages with eDNA Across The wallacea Region	Prof. Dr. Ir. Jamaluddin, M.Sc. Asmi Citra Malina, S.Pi., M.Agr., Ph.D Dr. Syafyudin, ST., M.Si.	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	Ilmu Kelautan dan Perikanan	
7	Struktur species dari kista Dinoflagellate dan kelimpahannya di tiga muara Selat Makassar: Mendeteksi dan memetakan spesies alga yang berbahaya	Dr. Nita Rukminasari, S.Pi., MP. Prof. Dr. Akbar Tahir, M.Sc.	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	Ilmu Kelautan dan Perikanan	
8	Instrumentasi Sensor Berbasis Serat Optik Untuk Mengukur Kadar Urea & Glukosa Pada Urin Penderita Ginjal & Diabetes	Dr. Arifin, MT. Prof. Dr. Dahlang T., S.Si.,M.Si. Dr. dr. Irfan Idris, M.Kes.	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	MIPA	
9	Evaluasi potensi Senyawa Aktif beberapa Rumput Laut sebagai Inhibitor Sars-Cov-2 Penyebab COVID-19	Dr. Ir. Elmi Nurhaidah Z., Dess. Dr. Ir. Arniati, M.Si. Dr. Ir. Rustam, M.Si.	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	Ilmu Kelautan dan Perikanan	
10	Pengembangan Model Perawatan Penyakit Diabetes Mellitus Melalui Principal Component Analysis Pada Model Regresi Nonparametrik Spline Multirespon Multiprediktor	Anna Islamiyati, S.Si.,M.Si. Anisa, S.Si.,M.Si. Dr. Nurtiti Sunusi, S.Si., M.Si	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	MIPA	
11	Analisis Ekspresi Gen dan Kadar Protein Natural ResistanceAssociated Macrophage 1 (NRAMP-1) dan Vitamin D Receptor (VDR) terhadap Respon Terapi dengan Virgin Coconut Oil (VCO) dan Berjemur terhadap Penderita Limfadenitis Tuberkulosis	Prof. dr. Muh. Nasrum Massi, Ph.D. Fathul Jannah	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	Kedokteran	
12	Scenario Intervensi Penanggulangan Risiko Pajanan Partikulat Matter (PM 2.5) Terhadap Kejadian Penyakit Paru-Paru pada Anak Sekolah di Maros, Provinsi Sulawesi Selatan	Prof. Anwar, SKM., M.Sc.,Ph.D. Prof. Dr. Stang, M.Kes.	Penelitian Dasar	R	Kemenristek/BRIN	Kesehatan Masyarakat	

114	Pengembangan Kriteria Stabilitas Kapal Nonkonvensi Sebagai Pendukung Sistem Keselamatan Transportasi Laut Nasional	Dr. Daeng Paroka, ST., MT. Andi haris Muhammad, ST., MT., Ph.D Dr. Eng. Sabaruddim Rahmam, ST., MT	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi - PDUPT	R	Kemenristek/BRIN	Teknik	
115	Analisis Point-of-Connection Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Beserta Dampak Intermittensi-nya Dalam Melayani Jaringan Distribusi Primer 20 KV: Studi Kasus PLTB Jeneponto	M. Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D. Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Teknik	
116	Penerapan Mini Underwater Robot untuk Deteksi Kebocoran Reaktor	Rafiuddin Syam, ST., M.Eng., Ph.D. Prof. Dr.-Ing. Faizal Arya Samman, ST., MT. Dr. Azwar Hayat, ST.,M.Sc.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Teknik	
117	Model "Teh Celup" Nanokomposit Berbasis $CoFeO_3$ Sebagai Material Multifungsi	Prof. Dr. Dahlang T., S.Si., M.Si. Prof. Dr. Bualkar Abdullah Heryanto, S.Si., M.Si.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	MIPA	
118	Produksi bioaktivator dari mikroba unggul dan ekstrak daun jabon untuk meningkatkan keragaman dan mengendalikan penyakit mati pucuk pada Jabon Merah endemik Sulawesi	Dr. Siti Halimah Larekeng, S.P., M.P Prof. Dr. Ir. Muh. Restu, MP.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Kehutanan	
119	Inovasi Desain Lambung Berbentuk Bertangga (Stepped) pada Kapal Penumpang Cepat (High Speed Ferry) Antar Pulau di Perairan Indonesia	Dr. Eng Suandar Baso, ST.,MT. Ir. R o s m a n i, MT. A. Ardianti, , ST., MT, Ph.D	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Teknik	
120	Pathogen exchange at the human-wildlife interface - a comprehensive molecular study on vector-borne disease in rural Sulawesi	dr. Isra Wahid, S.Ked., Ph.D. Dr. dr. Irfan Idris, M.Kes. Dr. drh. Dwi Kesuma Sari, S.K.H.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Kedokteran	
121	Overproduksi Protein dan Peptida Bioaktif Dari Bakteri Eksofit yang Bersimbion dengan Alga Laut Sargassum sp. Sebagai Antiviral Dengue	Prof. Dr. Ahyar Prof. dr. Muh. Nasrum Massi, Ph.D Dr. Isra Wahid, S.Ked., Ph.D., Med.Sc	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	MIPA	
122	Pengembangan Ekstrak Buah Buni (Antidesma Bunius) Sebagai Suplemen Kesehatan Untuk Memperbaiki Profil Lipid Darah Dan Menghambat Proses Aterosklerosis Dalam Rangka Pencegahan Penyakit Jantung Dan Stroke	Dr. dr. Suryani, MPH. Yusnita Rifai, S.Si., Apt dr. Agussalim Bukhari, M.Med, Ph.D, Sp.GK(K)	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Kedokteran	
123	Model Kolaborasi Peran Suami Dengan Petugas Kesehatan Untuk Mneingkatkan Perilaku Ibu Dalam Pemberian ASI Ekslusif di Kabupaten Barru	Prof. Dr. Stang, M.Kes. Prof. Dr. dr. H.M. Tahir Abdullah, M.Sc., MSPH Sumarni, S.St., SKM., M.Kes	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Kesehatan Masyarakat	
124	Desain, Kloning dan Produksi Antigen Rekombinan Fusi MPT83 dan CFP21 yang Imunodominant dari Mycobacterium tuberculosis sebagai Bahan Baku Vaksin Tuberkulosis	Prof. Dr. Ahyar Dr. Rosana Agus, M.Si. Prof. dr. Muh. Nasrum Massi, Ph.D.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	MIPA	
125	Pengembangan Beras Analog untuk Ibu Hamil dan Menyusui Berbasis Bahan Baku Lokal	Prof. Dr. Ir. Meta Mahendradatta Prof. Dr. Ir. Abu Bakar Dr. Ir. Jumriah Langkong, MP.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Pertanian	
126	Modifikasi Ubi Jalar Ungu Secara Enzimatik Guna Meningkatkan Nilai Fungsionalnya dalam Industri	Prof. Dr. Ir. Amran, M.Si. Dr. Adiansyah Syarifuddin, STP, M.Si. Tuflika P. Putri, STP, M.Biotech, Ph.D.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Pertanian	
127	Penerapan Teknologi Light Fishing dengan lampu Light Emitting Diode (LED) pada alat tangkap bagan tancap di Perairan Pangkep Selat Makassar	Muhammad Kurnia, S.Pi., M.Sc., Ph.D Prof. Dr. Ir. Musbir, M.Sc.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Ilmu Kelautan dan Perikanan	

128	Aplikasi dan Optimalisasi Zero Energy Cool Chamber (ZECC) Berbasis Automatic Control Yang Murah dan Ramah Lingkungan Untuk Memperpanjang Masa Simpan Buah dan Sayur Setelah Panen	Dr. Andi Dirpan, STP.,M.Si. Prof. Dr. Ir. Hj. Mulyati M. Tahir, MS Muhammad Tahir Sapsal, STP., M.Si.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Pertanian	
129	Tracking Sumber Induk Unggul Tahan Penyakit Dan Tumbuh Cepat Berbasis Teknologi Genotyping Bagi Pengelolaan Pemanfaatan Dan Budidaya Ikan Kakap Putih (Lates sp.)	Dr. Irmawati, S.Pi., M.Si. Dr. Asmi Citra Malina, S.Pi., M.Sc. Dr. Alimuddin, S.Pi., M.Sc.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Ilmu Kelautan dan Perikanan	
130	Sistem User Friendly Lahan Pertanian Pulau-Pulau Kecil untuk Mendukung Ketahanan Pangan	Prof. Ir. Sumbangan Baja, M.Phill., Ph.D. Dr. Samsu Arif, M.Si.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Pertanian	
131	Fermentasi ulang untuk meningkatkan aroma dan cita rasa pada kopi robusta terdekafeinasi menggunakan mucilage analog	Februadi Bastian, STP.,M.Si. Prof. Dr. Ir. Amran, M.Si. Prof. Dr. Ir. Abu Bakar	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Pertanian	
132	Pengembangan Sinbiotik Untuk Bioprocessing Pakan Fungsional Dalam Mendukung Intensifikasi Budidaya Ikan bandeng (Chanos chanos Forskal)	Dr. Ir. Siti Aslamyah, MP. Dr. Ir. Zainuddin, M.Si. Ir. Badraeni, MP.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Ilmu Kelautan dan Perikanan	
133	Pemanfaatan Tepung Beras Termodifikasi sebagai Bahan Baku Subtitusi Tepung Terigu pada Pembuatan Aneka Produk Olahan Pangan	Dr. Andi Nurfaidah Rahman, STP., M.Si. Dr. Eng. Jalaluddin, ST.,MT. Dr. Ir. Jumriah Langkong, MP.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Pertanian	
134	Upgrading Edible Film Biodegradable yang Bersifat Fungsional	Dr. Fatma, S.Pt.,MP. drh. Kusumandari Indah Prahesti, M.Si. Dr. Hasnawati Amqam, SKM.,M.Sc.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Peternakan	
135	Pengembangan Produk Pangan Fungsional Hewani Kaya Antioksidan melalui Fortifikasi Senyawa Bioaktif Ekstrak Kolagen Ceker Broiler	Prof. Dr. Ir. Muhammad Irfan Said, S.Pt., MP., IPM	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Peternakan	
136	Kebijakan Alternatif Penanganan Kemiskinan Petani Kakao dan Penguatan Kelembagaan di Wilayah Perbatasan Terluar Indonesia dan Antisipasi Menghadapi Revolusi Industri 4.0	Muhammad Arsyad, SP., M.Si., Ph.D. Dr. Andi Nuddin, M.Si. Dr. Syarifuddin Yusuf, M.Si.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Pertanian	
137	Pemodelan Risk-Based Budgeting Guna Meningkatkan Tata Kelola Dan Pelayanan Publik Yang Efektif Di Pemerintah Daerah Indonesia	Dr. Ratna Ayu Damayanti, M.Sos., Ak. Prof. Dr. Syarifuddin, M.Soc.Sc.Ak. Prof. Dr. Haliah, SE.,M.Si.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Ekonomi dan Bisnis	
138	Desain Kebijakan dan Pengembangan Model Penguatan Kelembagaan Pertanian untuk Menopang Sentra Produksi Kakao Nasional di Berbagai Tipologi Wilayah Sulawesi Selatan	Muhammad Arsyad, SP., M.Si., Ph.D. Dr. Muh. Hatta Jamil, SP.,M.Si.	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Pertanian	
139	Purwarupa Unit Kendali Motor Listrik untuk Pengembangan Suku Cadang Kendaraan Listrik	Dr. Ing. Faizal Arya Samman, ST., MT. Rafiuddim Syam, ST., M.Eng., Ph.D Prof. Dr. Eng, Syafaruddin, ST., M.Eng	Penelitian Terapan	R	Kemenristek/BRIN	Teknik	
140	Rancangbangun Sistem Pendinginan Ikan Termoelektrik berbasis Sistem Elektrokimia Sel Volta	Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT. Prof. Dr. Ing. Wahyu Haryadi Piarah, MSME. Dr. Djabal Nur Basir, S.Si.,M.Si.	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kemenristek/BRIN	Teknik	
141	Peningkatan Efisiensi dan Kualitas Daya Listrik Multi-Sumber Energi Primer Memperhitungkan Efek Losses dan Faktor Kongesti Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi	M. Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D. Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kemenristek/BRIN	Teknik	
142	Penerapan Strategi Pengontrolan Daya Reaktif untuk Mencegah Kondisi Under-Voltage dan Over-Voltage Sistem Tenaga Listrik	Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D M. Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D.	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi - PTUPT	R	Kemenristek/BRIN	Teknik	

226	Pengembangan Hijauan Pakan Toleran Cekaman Abiotik Kekeringan dan Salinitas	Prof. Dr. Ir. Yunus Musa, M.Sc.	Penelitian Pendidikan Magister Menuju Doktor untuk Sarjana Unggul - PMDSU	R	Kemenristek/BRIN	Pertanian	
227	Model Kebutuhan Perjalanan Komuter Terhadap Rencana Penerapan Moda Transportasi Publik Berbasis Rel di Wilayah Perkotaan Mamminasata	Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.	Penelitian Pendidikan Magister Menuju Doktor untuk Sarjana Unggul - PMDSU	R	Kemenristek/BRIN	Teknik	
228	Strategi Aliran Daya Optimal Sistem Tenaga Listrik Terintegrasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu	M. Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D. Ardiaty Arief, ST.,MTM.,Ph.D. Dr. Ir. Sri Mawar Said, MT.	World Class Research	R	Kemenristek/BRIN	Teknik	
229	Pengembangan bahan obat alam dalam penemuan obat baru untuk dermatitis atopic melalui penghambatan NfkB sebagai target	Prof. Subehan, S.Si., M.Pharm.,Sc., Ph.D., Apt. Dr. Yulia Yusrini Djabir, S.Si.MBMSc., M.Si., Apt. Dr. Muhammad Aswad, S.Si.,M.Si.,Apt.	World Class Research	R	Kemenristek/BRIN	Farmasi	
230	Simulasi numerik dari masalah enjiniring dengan material/media heterogen	Prof. Dr. Moh. Ivan AZ., M.Sc.	World Class Research	R	Kemenristek/BRIN	MIPA	
231	Analisa science co-production dalam tata kelola kehutanan dan reforma agraria di Indonesia.	Dr. forest. Muhammad Alif KS., S.Hut.,M.Si. Prof. Dr. Supratman, S.Hut.,MP. Prof. Dr. Ir. Yusran, S.Hut., M.Si. IPU	World Class Research	R	Kemenristek/BRIN	Kehutanan	
232	Teorema Konvolusi dan Korelasi Pada Transformasi Kanonik Linier Quarternion Dua Sisi	Prof. Dr. Mawardi, S.Si.,M.Si. Prof. Dr. Amir Kamal Amir, M.Sc. Dr. Amran, S.Si.,M.Si.	World Class Research	R	Kemenristek/BRIN	MIPA	

Makassar, 6 Desember 2021

Ketua

Prof. Dr. Andi. Alimuddin, M. Si

NIP. 196201181987021001

PROTEKSI ISI LAPORAN AKHIR PENELITIAN
Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi laporan ini dalam bentuk apapun kecuali oleh peneliti dan pengelola administrasi penelitian

LAPORAN AKHIR PENELITIAN MULTI TAHUN

ID Proposal: d6efcc53-9988-484f-aa09-9aceaf796ec7
Laporan Akhir Penelitian: tahun ke-3 dari 3 tahun

1. IDENTITAS PENELITIAN

A. JUDUL PENELITIAN

PENINGKATAN EFISIENSI DAN KUALITAS DAYA LISTRIK MULTI-SUMBER ENERGI PRIMER MEMPERHITUNGKAN EFEK LOSSES DAN FAKTOR KONGESTI TRANSMISI SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI

B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU

Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Inovasi Teknologi dalam Pengelolaan Energi, Kesehatan , Sumber Daya Alam dan lingkungan	-	Pengelolaan Energi, Sumberdaya Alam dan lingkungan	Teknik Tenaga Elektrik

C. KATEGORI, SKEMA, SBK, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN

Kategori (Kompetitif Nasional/ Desentralisasi/ Penugasan)	Skema Penelitian	Strata (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	SBK (Dasar, Terapan, Pengembangan)	Target Akhir TKT	Lama Penelitian (Tahun)
Penelitian Desentralisasi	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi	SBK Riset Terapan	SBK Riset Terapan	6	3

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
MUHAMMAD BACHTIAR NAPPU Ketua Pengusul	Universitas Hasanuddin	Teknik Elektro		5974778	9
Ir ARDIATY ARIEF M.Tech, Ph.D Anggota Pengusul 1	Universitas Hasanuddin	Teknik Elektro	• melakukan literature review • merancang metode penjadwalan ekonomis pembangkit • pemodelan sistem • melakukan simulasi • analisis data & hasil • pembuatan laporan	5983238	9

3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (JIKA ADA)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama, yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

Mitra	Nama Mitra
Mitra Pelaksana Penelitian	Prof. Zhao Yang Dong
Mitra Pelaksana Penelitian	Assoc.Prof. Hajime MIYAUCHI, Ph.D
Mitra Calon Pengguna	Ir. Harry Miarsono, M.Arch, MCP, Ph.D

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Wajib

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian (*accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya*)	Keterangan (*url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya*)
3	Dokumentasi hasil uji coba produk	Ada	-

Luaran Tambahan

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian (*accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya*)	Keterangan (*url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya*)
3	Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional	accepted/published	International Journal of Smart Grid and Clean Energy

5. ANGGARAN

Rencana anggaran biaya penelitian mengacu pada PMK yang berlaku dengan besaran minimum dan maksimum sebagaimana diatur pada buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Edisi 12.

Total RAB 3 Tahun Rp. 200,000,000

Tahun 1 Total Rp. 0

Tahun 2 Total Rp. 0

Tahun 3 Total Rp. 200,000,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Uang Harian	OH	200	150,000	30,000,000
Analisis Data	Transport Lokal	OK (kali)	200	150,000	30,000,000
Analisis Data	Biaya konsumsi rapat	OH	200	35,000	7,000,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	1	18,800,000	18,800,000
Bahan	ATK	Paket	10	1,000,000	10,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Publikasi artikel di Jurnal Internasional	Paket	1	30,000,000	30,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Paket	1	30,000,000	30,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Uang harian rapat di dalam kantor	OH	40	150,000	6,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya konsumsi rapat	OH	40	35,000	1,400,000
Pengumpulan Data	FGD persiapan penelitian	Paket	1	10,000,000	10,000,000
Pengumpulan Data	Transport	OK (kali)	80	150,000	12,000,000
Pengumpulan Data	Uang harian rapat di dalam kantor	OH	80	150,000	12,000,000
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	OH	80	35,000	2,800,000

6. HASIL PENELITIAN

A. RINGKASAN: Tuliskan secara ringkas latar belakang penelitian, tujuan dan tahapan metode penelitian, luaran yang ditargetkan, serta uraian TKT penelitian.

Terdapat dua kendala besar yang harus dipecahkan dalam mengoptimalkan efisiensi dan kualitas pembangkitan tenaga listrik berbasis multi-energi suatu sistem ketenagalistrikan yaitu pengaturan unit pembangkit (unit commitment) dan penjadwalan ekonomis (economic dispatch). Unit commitment digunakan sebagai metode untuk menentukan pembangkit yang paling optimum dioperasikan dalam menghadapi beban dinamis. Sedangkan economic

dispatch merupakan teknik yang diterapkan dalam membagi beban listrik di antara unit-unit thermal yang beroperasi agar dicapai biaya bahan bakar yang minimum. Teknik perancangan model optimisasi efisiensi pembangkitan energi listrik multi-energi primer dengan beban dinamis dilakukan dalam

tiga tahapan sesuai dengan biaya marginal dan tingkat ke-ekonomian semua potensi sumber energi primer pada boiler yang dapat berupa solid fuel-based generation, liquid fuel based generation, maupun gaseous fuel-based generation.

Secara khusus, penelitian ini mampu memberi solusi dan persepektif baru rekayasa pembangkitan energi listrik thermal power plant yang murah dan efisien untuk mendukung pengoperasian mesin-mesin yang ekonomis pada industri dan pabrik, seperti pada pabrik smelter bijih nikel. Efisiensi optimal diperoleh apabila generator pembangkit berhasil dioperasikan dengan biaya marginal dan incremental cost yang rendah dengan tetap memperhatikan batas maksimum dan minimum pengoperasiannya. Dengan biaya produksi yang rendah, disamping memberi added value pada hasil tambang mentah nickel laterite, juga akan meningkatkan daya saing produk dan margin penjualan ekspor bijih nikel murni di pasar internasional akan lebih menguntungkan, sehingga investasi di sektor ini dapat lebih bergairah. Jika industri smelter berkembang, akan membawa multiplier effects positif seperti peningkatan penerimaan pajak, pertambahan royalti, dan terbukanya lapangan kerja baru. Dalam jangka panjang, kondisi ini akan merangsang tumbuhnya pelaku usaha pada sektor riil dan industri hilir terkait, yang pada akhirnya mempercepat gerak laju pertumbuhan ekonomi, industri dan sosial di tanah air.

B. KATA KUNCI: Tuliskan maksimal 5 kata kunci.

Peningkatan efisiensi; pembangkitan energi listrik; unit commitment; economic dispatch; studi aliran daya

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan seringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan seringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. **HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Solusi Perbaikan Tegangan Saat Terjadinya Gangguan Saluran Transmisi Tello-Sungguminasa untuk Peningkatan Efisiensi Sistem

Dari hasil simulasi diatas setelah terjadinya gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa terdapat 12 bus yang mengalami ketidakstabilan tegangan atau terjadi jatuh tegangan yaitu pada bus Barru, bus Borongloe, bus Bontoala 150 kV, bus Bontoala 70 kV, bus Bosowa, bus Panakkukang, bus Tello Lama, bus Daya, bus Kima, bus Mandai, bus Pangkep dan bus Tello. Bus tersebut mengalami penurunan tegangan hingga mencapai tegangan terkecil 0.817 pu. Hal ini mengakibatkan bus yang mengalami jatuh tegangan harus lepas dari sistem dan pada daerah tersebut harus mengalami pemadaman listrik.

Untuk mengatasi adanya ketidakstabilan tegangan saat terjadinya gangguan saluran transmisi atau terlepasnya saluran transmisi Tello-Sungguminasa yaitu dengan cara mengoptimalkan tegangan pada bus yang berpotensi mengalami ketidakstabilan, oleh karena itu dilakukan pengaturan tegangan dengan cara:

- mengatur posisi *tap* transformator
- mengoptimalkan pemasangan SVC (*Static VAr Compensator*) pada bus-bus tertentu

a) Pengaturan tegangan melalui pengoptimalan posisi *tap changer* transformator setelah gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa

Pengaturan tegangan pada bus yang mengalami jatuh tegangan setelah terjadi gangguuan dapat dilakukan dengan mengatur posisi *tap* transformator agar tegangan pada bus menjadi optimal yaitu 1.05 pu sebelum terjadinya gangguan. Transformator yang diatur hanya pada transformator IBT (Inter Bus Transformation) yaitu IBT Tello Lama dengan posisi tap 4. IBT Tello posisi tap 3 dan IBT Pangkep posisi tap 5. Pengaturan tap changer pada transformator IBT tersebut menyebabkan tegangan pada beberapa bus menjadi optimal yaitu pada bus Bontoala 70 kV, bus Pangkep 70 kV, bus Mandai dan bus Daya.

Pada Tabel 1 berikut memperlihatkan kondisi tegangan pada bus yang mengalami jatuh tegangan saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa lepas setelah adanya perbaikan pada posisi *tap* transformator, dapat dilihat bahwa semua tegangan berwarna merah, artinya tegangan masih berada pada kondisi tidak stabil yaitu berada diluar batas toleransi tegangan berdasarkan toleransi tegangan PLN. Perubahan tap changer transformator mempengaruhi bus pada sisi sekunder transformator IBT, seperti pada bus Bontoala 70 kv, bus Borongloe, bus Daya dan bus Mandai dimana tegangan pada bus tersebut mengalami kenaikan. Namun dengan kenaikan tegangan pada bus tersebut menyebabkan tegangan pada bus lainnya mengalami jatuh tegangan. Kenaikan tegangan dan jatuh tegangan yang disebabkan oleh perubahan posisi tap changer, tidak mengembalikan bus under voltage pada kondisi kestabilan tegangan.

Tabel 1 Kondisi tegangan pada bus *under voltage* saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa lepas setelah adanya perbaikan pada *tap changer*

No.	Bus *Under Voltage*	Tegangan saat gangguan (pu)	
		Sebelum perubahan tap transformator	Setelah perubahan tap transformator
1	**Barru**	0.860	0.856
2	**Bontoala 70 kV**	0.817	**0.877**
3	**Bontoala 150 kV**	0.826	0.802
4	**Borongloe**	0.848	**0.870**
5	**Bosowa**	0.828	0.819
6	**Daya**	0.834	**0.886**
7	**Kima**	0.820	0.806
8	**Mandai**	0.836	**0.888**
9	**Panakkukang**	0.817	0.801
10	**Pangkep**	0.844	0.839
11	**Tello**	0.818	0.803
12	**Tello Lama**	0.817	0.802

b) Pengaturan tegangan melalui pemasangan SVC pada bus yang mengalami *under voltage* setelah gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa

Setelah dilakukan pengoptimalan bus dengan mengatur posisi tap changer dan didapatkan hasil simulasi gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa menunjukkan tidak ada bus yang dapat kembali pada kondisi stabil dan semua bus yang berada pada kondisi tidak stabil. Untuk itu akan dilakukan pengoptimalan tegangan pada bus dengan cara pemasangan SVC pada bus tertentu sehingga tegangan pada bus yang mengalami under voltage setelah gangguan menjadi optimal. Penentuan pemasangan SVC berdasarkan rugi-rugi terkecil yang dihasilkan oleh sistem saat simulasi pemasangan SVC tiap bus dengan kapasitas 100 MVAr. rugi-rugi terkecil yang dihasilkan sistem untuk pemasangan SVC 100 MVAr yaitu pada saat pemasangan SVC pada bus Tello. Tabel berikut memperlihatkan urutan rugi-rugi terkecil hingga rugi-rugi terbesar pada sistem pada saat pemasangan SVC pada masing-masing bus yang mengalami under voltage. Rugi-rugi terkecil yang dihasilkan sistem untuk pemasangan SVC 100 MVAr yaitu pada saat pemasangan SVC pada bus Tello. Selain pertimbangan rugi-rugi terkecil, pada bus Tello juga merupakan lokasi bus strategis yaitu bus yang memiliki interkoneksi antar bus terbanyak dan bus yang merupakan pusat beban.

Tabel 2 Rugi-rugi yang dihasilkan sistem saat pemasangan SVC 100 MVAr

No.	Bus *Under Voltage*	Rugi-Rugi Pemasangan SVC (MW)	Rugi-Rugi Pemasangan Kapasitor (MW)
1	Tello	21.60	21.60
2	Panakkukang	21.67	21.67
3	Tello Lama	21.74	21.74
4	Bontoala 70 kV	21.83	22.86
5	Kima	21.89	21.94
6	Bontoala 150 kV	21.91	21.85
7	Borongloe	21.95	25.00
8	Mandai	22.14	23.31
9	Daya	22.16	23.43
10	Bosowa	22.25	22.95
11	Barru	22.26	23.22
12	Pangkep	22.41	23.20

Selanjutnya akan disimulasi saat terjadinya gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa setelah pemasangan SVC pada bus Tello dengan kapasitas daya reaktif kapasitor yaitu 80 MVAr, 90 MVAr, 100 MVAr dan 110 MVAr.

Tabel 3 berikut memperlihatkan hasil simulasi kondisi tegangan pada bus under voltage saat gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa setelah pemasangan SVC pada bus Tello. Terlihat bahwa setelah pemasangan SVC pada bus Tello dengan kapasitas 80 MVAr, 90 MVAr, 100 MVAr dan 110 MVAr kondisi tegangan yang sebelumnya mengalami under voltage akan mengalami kenaikan tegangan sampai mencapai kondisi tegangan yang stabil sesuai batas toleransi tegangan PLN. Pada saat pemasangan SVC 80 MVAr dapat dilihat bahwa semua bus mempunyai tegangan yang berada pada kondisi tidak stabil karena berada diluar batas toleransi tegangan PLN. Pada pemasangan SVC 90 MVAr, hanya tiga bus yang mengalami kondisi stabil yaitu bus Barru, bus Bontoala 70 kV dan bus Borongloe. Pada pemasangan SVC 100 MVAr, masih ada satu bus yaitu bus Bosowa yang mengalami kondisi tidak stabil berdasarkan toleransi tegangan PLN, dan pada pemasangan SVC 110 MVAr semua bus dapat kembali pada kondisi stabil setelah gangguan. Untuk itu solusi yang tepat pada kondisi ini untuk mencegah adanya under voltage setelah terjadi gangguan yaitu dengan memasang SVC dengan kapasitas 110 MVAr pada bus Tello sehingga menyebabkan semua bus mengalami kondisi stabil walaupun terjadi gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa.

Tabel 3 Kondisi tegangan pada bus *under voltage* saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa lepas setelah pemasangan SVC pada bus Tello

No.	Bus *Under Voltage*	Tegangan Setelah Gangguan (pu)				
		Sebelum Pemasangan SVC	Setelah Pemasangan SVC			
			80 MVAr	90 MVAr	100 MVAr	110 MVAr
1	**Barru**	0.860	0.896	0.900	0.905	0.910
2	**Bontoala 70 kV**	0.817	0.896	0.905	0.914	0.924
3	**Bontoala 150 kV**	0.826	0.886	0.895	0.904	0.913
4	**Borongloe**	0.848	0.894	0.900	0.907	0.913
5	**Bosowa**	0.828	0.884	0.891	0.898	0.905
6	**Daya**	0.834	0.890	0.897	0.904	0.912
7	**Kima**	0.820	0.887	0.895	0.904	0.913
8	**Mandai**	0.836	0.891	0.898	0.905	0.913
9	**Panakkukang**	0.817	0.886	0.895	0.904	0.913
10	**Pangkep**	0.844	0.891	0.897	0.904	0.910
11	**Tello**	0.818	0.887	0.896	0.905	0.914
12	**Tello Lama**	0.817	0.887	0.896	0.905	0.914

Tabel 4 Kondisi tegangan pada bus *under voltage* saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa lepas setelah pemasangan kapasitor pada bus Tello

No.	Bus *Under Voltage*	Tegangan Setelah Gangguan (pu)				
		Sebelum Pemasangan Kapasitor	**Setelah Pemasangan Kapasitor**			
			80 MVAr	90 MVAr	100 MVAr	110 MVAr
1	**Barru**	0.860	0.896	0.900	0.905	0.910
2	**Bontoala 70 kV**	0.817	0.896	0.905	**0.916**	0.924
3	**Bontoala 150 kV**	0.826	0.886	0.895	0.904	0.913
4	**Borongloe**	0.848	0.894	0.900	0.907	0.913
5	**Bosowa**	0.828	0.884	0.891	0.898	0.905
6	**Daya**	0.834	0.890	0.897	0.904	0.912
7	**Kima**	0.820	0.887	0.895	0.904	0.913
8	**Mandai**	0.836	0.891	0.898	0.905	0.913
9	**Panakkukang**	0.817	0.886	0.895	**0.905**	0.913
10	**Pangkep**	0.844	0.891	0.897	0.904	0.910
11	**Tello**	0.818	0.887	0.896	**0.904**	0.914
12	**Tello Lama**	0.817	0.887	0.896	0.905	0.914

Pada Tabel 3 dan Tabel 4 memperlihatkan kondisi tegangan pada bus *under voltage* saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa lepas setelah pemasangan SVC pada bus Tello dan pemasangan kapasitor pada bus Tello. Tegangan yang dihasilkan setelah pemasangan menggunakan SVC maupun kapasitor hampir sama, hal ini disebabkan karena sistem mengalami penurunan tegangan dalam hal ini untuk menaikkan tegangan hanya membutuhkan daya reaktif dari kapasitor oleh karena itu SVC hanya menghasilkan daya reaktif (SVC kapasitif) namun SVC tidak menyerap daya reaktif (SVC Induktif).

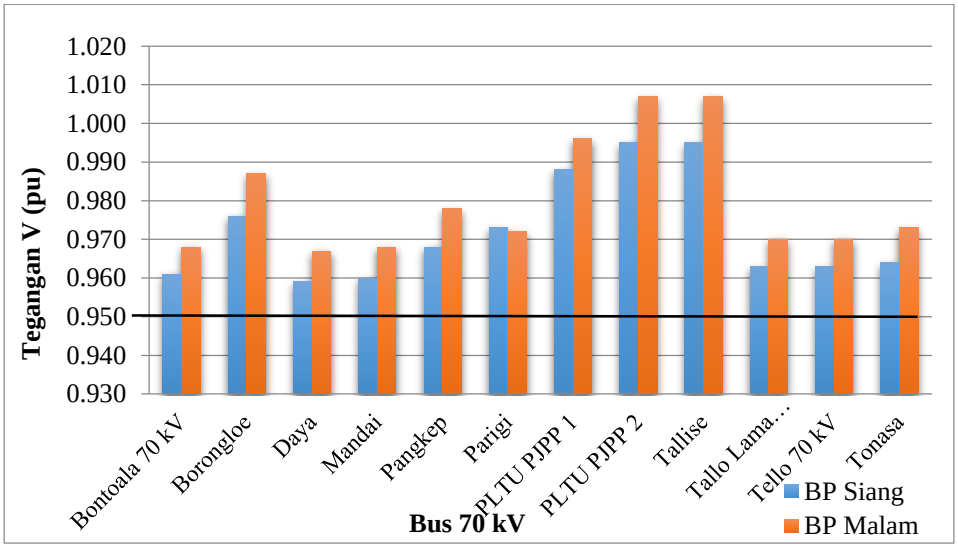
Simulasi Kestabilan Tegangan saat Daya Output PLTB Bervariasi

Simulasi kestabilan tegangan ini diambil saat sistem mengalami beban puncak siang pukul 13.00 dengan total beban 802.01 MW dan pada beban puncak malam pukul 19.00 dengan total beban 1027.79 MW. Tujuannya untuk mengetahui kondisi kestabilan tegangan pada sistem Sulbagsel dengan mempertimbangkan daya output PLTB yang bervariasi. Ada dua unit PLTB yang beroperasi pada sistem Sulbagsel 2019 yaitu PLTB Sidrap 75 MW dengan masing-masing wind turbine 2.5 MW dan PLTB Jeneponto 72 MW dengan masing-masing wind turbine 3.6 MW. Pemodelan PLTB ini menggunakan kecepatan angin yang dianggap konstan untuk variasi daya output yang konstan pula agar memudahkan dalam menganalisis kestabilan tegangannya, walaupun pada kondisi dilapangan kecepatan angin dapat berubah.

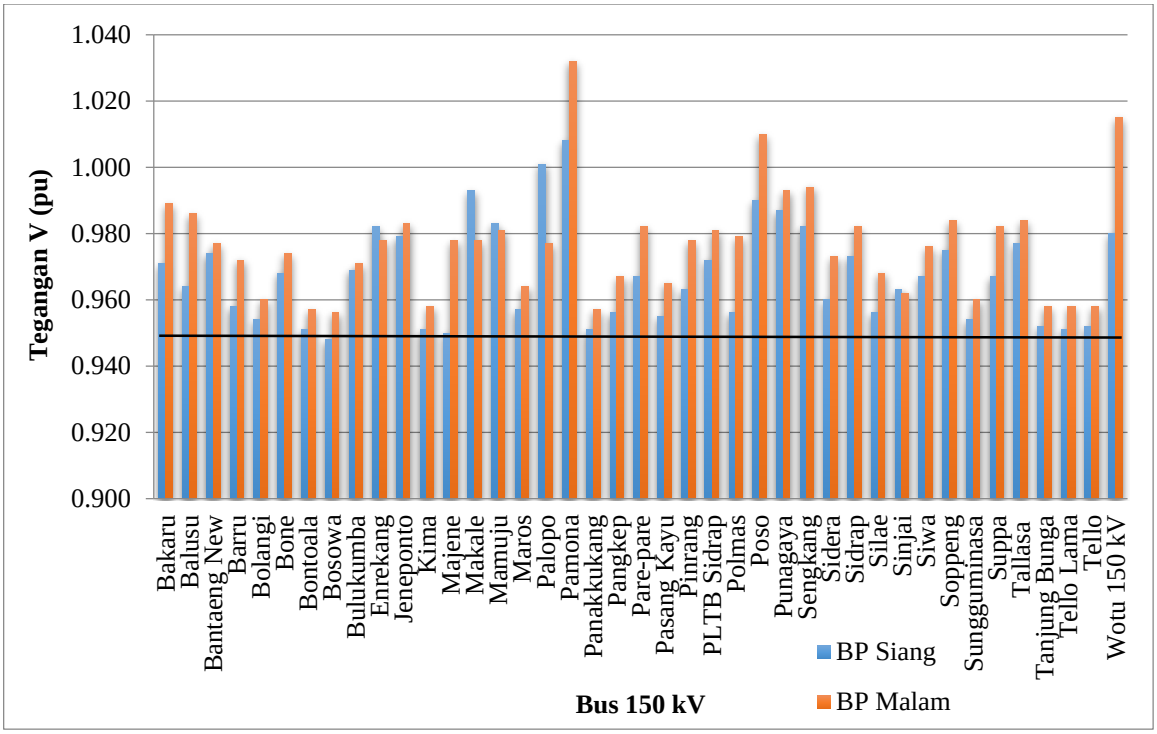
Secara umum perubahan daya output yang dihasilkan oleh PLTB Sidrap dan PLTB Jeneponto saat beban puncak siang dan beban puncak malam tidak mempengaruhi kestabilan tegangan pada sistem Sulbagsel. Oleh karena itu hanya ada 11 skenario yang akan dijelaskan untuk kondisi kestabilan tegangannya yaitu pada kondisi PLTB Sidrap 0 MW dan PLTB Jeneponto bervariasi, kondisi PLTB Sidrap bervariasi dan PLTB Jeneponto MW dan juga ketika kondisi kedua PLTB 0 MW. Adapun rugi-rugi daya terbesar dihasilkan pada kondisi PLTB Sidrap 0 MW dan kondisi PLTB Jeneponto yang berubah-ubah saat beban puncak siang maupun beban puncak malam. Bagian berikut akan menjelaskan grafik hasil simulasi tegangan untuk skenario 1, 2 dan 7 diperlihatkan pada gambar berikut.

PLTB Sidrap 0% dan PLTB Jeneponto 0%

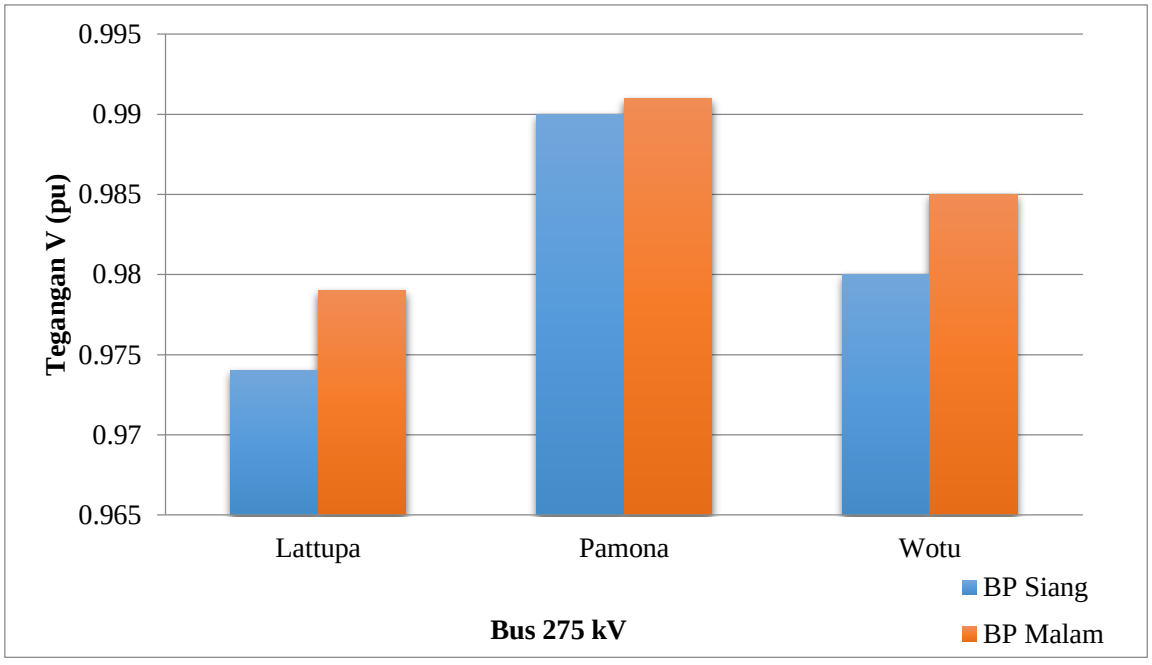
Pada kondisi ini diasumsikan daya output yang dihasilkan PLTB Sidrap 0% atau 0 MW dan daya output yang dihasilkan PLTB Jeneponto 0% atau 0 MW. Berikut hasil simulasi kondisi tegangan sistem Sulbagsel pada bus 70 kV, 150 kV dan 275 kV pada beban puncak siang dan beban puncak malam.



Gambar 1 Profil tegangan sistem Sulbagsel 70 kV kondisi daya output PLTB Sidrap 0% dan PLTB Jeneponto 0% pada beban puncak siang dan beban puncak malam



Gambar 2 Profil tegangan sistem Sulbagsel 150 kV kondisi daya output PLTB Sidrap 0% dan PLTB Jeneponto 0% pada beban puncak siang dan beban puncak malam



Gambar 3 Profil tegangan sistem Sulbagsel 275 kV kondisi daya output PLTB Sidrap 0% dan PLTB Jeneponto 0% pada beban puncak siang dan beban puncak malam

Gambar 1 hingga Gambar 3 memperlihatkan profil tegangan sistem Sulbagsel 70 kV, 150 kV dan 275 kV pada kondisi daya output PLTB Sidrap 0 MW dan PLTB Jeneponto 0 MW saat beban puncak siang dan beban puncak malam. Seluruh bus sistem mengalami kondisi tegangan yang berada pada kondisi stabil yaitu antara 0.95 pu sampai 1.03 pu sesuai batas toleransi tegangan IEEE maupun batas tegangan PLN. Adapun hasil simulasi aliran daya pada sistem Sulbagsel adalah sebagai berikut:

Tabel 5 Keluaran daya dan *losses* sistem saat kondisi daya output PLTB Sidrap 0% dan PLTB Jeneponto 0%

NO.	SISTEM SULBAGSEL	DAYA			*LOSSES*		
		P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
1.	BP SIANG	797.60	202.77	822.97	19.87	108.58	-
2.	BP MALAM	1044.18	256.92	1075.32	26.06	145.68	-

D. **STATUS LUARAN**: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta mengunggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas.

Luaran wajib penelitian ini untuk tahun ketiga (2021) adalah dokumentasi hasil uji coba produk yang telah diunggah pada Simlitabmas dan publikasi jurnal yang telah dipublikasi.

E**. PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUPT). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Mitra membantu dalam memperoleh data-data yang diperlukan dan diskusi terkait sistem kelistrikan dengan energi terbarukan.

F. **KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN**: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Kendala yang ditemui selama pelaksanaan penelitian adalah sulitnya memperoleh data-data yang akurat yang dibutuhkan serta dalam pembuatan program/pemodelan terdapat beberapa kesalahan/kekeliruan yang menyebabkan program tidak dapat berfungsi sehingga harus dicari letak kesalahan sampai program benar dan dapat beroperasi.

G**. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA:** Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Tahun ini adalah tahun terakhir.

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

Dokumen pendukung luaran Wajib #1

Luaran dijanjikan: Dokumentasi hasil uji coba produk

Target: Ada
Dicapai: Tersedia

Dokumen wajib diunggah:
1. Dokumentasi (foto) Pengujian Produk
2. Dokumen Deskripsi dan Spesifikasi Produk
3. Dokumen Hasil Uji Coba Produk

Dokumen sudah diunggah:
1. Dokumen Deskripsi dan Spesifikasi Produk
2. Dokumen Hasil Uji Coba Produk
3. Dokumentasi (foto) Pengujian Produk

Dokumen belum diunggah:
- Sudah lengkap

Nama Produk: SKEMA ECONOMIC REDISPATCH SISTEM TENAGA LISTRIK MEMPERHITUNGKAN EFEK LOSSES TRANSMISI TEGANGAN TINGGI DENGAN MODIFIKASI DIRECT CURRENT OPTIMAL POWER FLOW
Tgl. Pengujian: 1 Juli 2021
Link Dokumentasi:
https://drive.google.com/file/d/1M6SYOcAVK14FdWmb2qhxey4LOry8ENiK/view?usp=sharing

DESKRIPSI DAN SPESIFIKASI MODEL

OUTPUT PENELITIAN

PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI

PENINGKATAN EFISIENSI DAN KUALITAS DAYA LISTRIK MULTI-SUMBER ENERGI PRIMER MEMPERHITUNGKAN EFEK LOSSES DAN FAKTOR KONGESTI TRANSMISI SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI

TIM PENGUSUL:

MUH. BACHTIAR NAPPU, ST., MT., M.Phil., Ph.D. **NIDN: 0006047603**

ARDIATY ARIEF, ST., MTM., Ph.D. **NIDN: 0024057801**

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

DESKRIPSI DAN SPESIFIKASI MODEL

Nama model: **SKEMA ECONOMIC REDISPATCH SISTEM TENAGA LISTRIK MEMPERHITUNGKAN EFEK LOSSES TRANSMISI TEGANGAN TINGGI DENGAN MODIFIKASI DIRECT CURRENT OPTIMAL POWER FLOW**

Pemegang model: LPPM Universitas Hasanuddin (Hak Cipta terdaftar dengan nomor pencatatan 000209067-terlampir)

REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN

CIPTAAN

Dalam rangka pelindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan	:	EC00202039729, 14 Oktober 2020
Pencipta		
Nama	:	**Ir. Muhammad Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D., Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D.**
Alamat	:	Jl. Sunu Komp. UNHAS Blok E 12 A, Kota Makassar , Sulawesi Selatan, 90213
Kewarganegaraan	:	Indonesia
Pemegang Hak Cipta		
Nama	:	**LPPM Universitas Hasanuddin**
Alamat	:	Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Tamalanrea, Makassar, Sulawesi Selatan, 90245
Kewarganegaraan	:	Indonesia
Jenis Ciptaan	:	**Program Komputer**
Judul Ciptaan	:	**SKEMA ECONOMIC REDISPATCH SISTEM TENAGA LISTRIK MEMPERHITUNGKAN EFEK LOSSES TRANSMISI TEGANGAN TINGGI DENGAN MODIFIKASI DIRECT CURRENT OPTIMAL POWER FLOW**
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia	:	17 Agustus 2020, di Makassar
Jangka waktu pelindungan	:	Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.
Nomor pencatatan	:	000209067

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001

Meskipun manajemen transmisi dihadapkan dengan berurusan banyak masalah, namun topik kemacetan transmisi tetap menjadi masalah masalah utama dalam struktur listrik baru. Tujuan dari mengelola kemacetan adalah untuk biaya pengiriman ulang generasi sebagai kendala dilanggar. Ini juga untuk menjamin pendapatan yang cukup untuk menutupi biaya sistem transmisi operator. Pendapatan dapat digunakan dengan berbagai cara untuk mengatasi kemacetan, seperti untuk mempromosikan transmisi yang memadai perencanaan konstruksi yang tidak mudah dilakukan, seperti duduk generasi baru, perluasan jaringan atau mempekerjakan FACTS perangkat. Karena itu, manajemen kemacetan efisien kemudian menjadi salah satu indikator terpenting desain pasar daya untuk menampilkan kemampuan jaringan mendukung lingkungan yang kompetitif.

Setelah aliran daya melanggar kendala transmisi, pengiriman unit pembangkit diperlukan dan itu menyebabkan harga di setiap node berfluktuasi. Untuk mengidentifikasi harga spot, metodologi penentuan harga marjinal lokasional adalah faktor utama yang akan terjadi dianggap karena mencerminkan biaya marginal dari beban di setiap bus. Untuk melakukan formulasi LMP, aliran daya optimal (OPF) Skema dapat dimodelkan sebagai minimalisasi total biaya produksi tunduk pada keseimbangan dan transmisi energy kendala. Beberapa pasar di seluruh dunia lebih suka menggunakan model aliran daya optimal dc baik untuk pengiriman kekuatan dan pasar energi kliring sesuai dengan fitur alami ke dalam model pemrograman linier untuk ketahanan dan efisiensi.

Aliran daya optimal adalah alat yang diterima dengan baik untuk digunakan mengendalikan dan menilai operasi kekuatan yang aman sistem. Metode ini merupakan perpanjangan dari ekonomi tradisional pengiriman daya untuk menyelesaikan pengaturan optimal untuk control variabel sambil mempertimbangkan berbagai kendala. Itu bisa saja digambarkan sebagai minimalisasi biaya pembangkit listrik nyata di Indonesia sistem tenaga yang saling terhubung sementara daya nyata dan reaktif, keran transformator dan sudut pergeseran fase dapat dikontrol dan diperlukan berbagai kendala ketimpangan. Daya optimal prosedur aliran menggunakan teknik aliran daya untuk pengiriman ekonomi sementara variabel terkendali yang pasti disesuaikan untuk meminimalkan fungsi tujuan seperti biaya

pembangkit listrik aktif atau kehilangan daya, sambil memuaskan batas fisik dan operasi pada berbagai kontrol, tergantung variabel dan fungsi variable.

Masalah mendasar dalam sebuah pasar listrik yang kompetitif adalah mekanisme penetapan harga energi listrik. Mekanisme ini akan mempunyai korelasi langsung dengan manajemen transmisi. Pada lingkungan pasar listrik yang kompetitif, perbedaan harga-harga energi listrik pada seluruh jaringan akan tercipta sebagai hasil dari adanya kendala transmisi dan rugi-rugi jaringan. Jika tidak terdapat kongesti pada garis transmisi serta rugi jaringan diabaikan, maka biaya energi listrik akan sama di setiap titik atau bus. Kondisi ini dikenal dengan istilah *uniform marginal price* (UMP). Akan tetapi, ketika aliran daya melebihi kendala-kendala transmisi, dibutuhkan penjadwalan ulang (*redispatch*) jumlah keluaran setiap pembangkit, yang selanjutnya akan menyebabkan berbedanya harga listrik pada setiap bus. Fenomena ini didefinisikan sebagai *locational marginal price* (LMP). Berdasarkan pada fakta ini, penentuan harga energi listrik dan manajemen transmisi mempunyai hubungan yang sangat kuat, dimana dibutuhkan kajian yang mendalam serta penelitian lebih lanjut dalam usaha untuk mendapatkan kepastian harga energi listrik yang efisien dan transparan untuk semua pihak.

Studi kelayakan ini bertujuan menginvestigasi lebih lanjut penentuan harga energi listrik yang optimal dengan menggunakan salah satu metode Optimal Power Flow. Secara terperinci penelitian ini akan memberi solusi dalam usaha menerapkan metode secara tepat untuk menghitung harga energi listrik, serta merekayasa pembangkitan daya listrik untuk mengatasi masalah pada jaringan transmisi, khususnya ketika transmisi sistem tenaga listrik berada dalam kondisi kongesti tanpa memperhitungkan *losses* jaringan.

DOKUMENTASI HASIL UJI COBA METODE

OUTPUT PENELITIAN

PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI

PENINGKATAN EFISIENSI DAN KUALITAS DAYA LISTRIK MULTI-SUMBER ENERGI PRIMER MEMPERHITUNGKAN EFEK LOSSES DAN FAKTOR KONGESTI TRANSMISI SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI

TIM PENGUSUL:

MUH. BACHTIAR NAPPU, ST., MT., M.Phil., Ph.D. **NIDN: 0006047603**

ARDIATY ARIEF, ST., MTM., Ph.D. **NIDN: 0024057801**

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

Perencanaan Uji Coba Metode

Perencanaan simulasi pada penelitian ini dilakukan beberapa simulasi terkait kestabilan kontingensi tegangan pada sistem Sulbagsel saat interkoneksi PLTB Sidrap dan PLTB Jeneponto jika daya outputnya bervariasi untuk meningkatkan efisiensi dan kualitasnya skema *economic redispatch* sistem tenaga listrik memperhitungkan efek losses transmisi tegangan tinggi dengan *Modifikasi Direct Current Optimal Power Flow*. Analisis kestabilan kontingensi tegangan merupakan analisis aliran daya pada suatu sistem kelistrikan pada saat lepasnya pembangkit atau saluran transmisi akibat adanya gangguan dan adanya penambahan atau pengurangan beban yang tiba-tiba dari kebutuhan beban pada sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk mengetahui profil tegangan pada seluruh bus dalam sistem agar tetap berada dalam batas toleransi tegangan. Analisis yang dilakukan yaitu untuk mendapatkan informasi tegangan pada seluruh bus yang ada pada sistem Sulbagsel ketika interkoneksi PLTB Sidrap dan PLTB Jeneponto dimana daya output PLTB tersebut bervariasi, pada saat sistem berada pada beban puncak maupun pada saat terdapat gangguan pada saluran transmisi.

Ada beberapa skenario yang akan dilakukan pada simulasi integrasi sistem Sulbagsel dengan ketika terintegrasi PLTB Sidrap dan PLTB Jeneponto menggunakan metode yang dikembangkan yaitu simulasi aliran daya sistem Sulbagsel setelah interkoneksi PLTB Sidrap dan PLTB Jeneponto, simulasi ketika terjadi gangguan pada saluran transmisi, simulasi jika daya output PLTB Sidrap dan PLTB Jeneponto bervariasi ketika beban puncak siang dan beban puncak malam.

Data Interkoneksi Sistem Sulbagsel

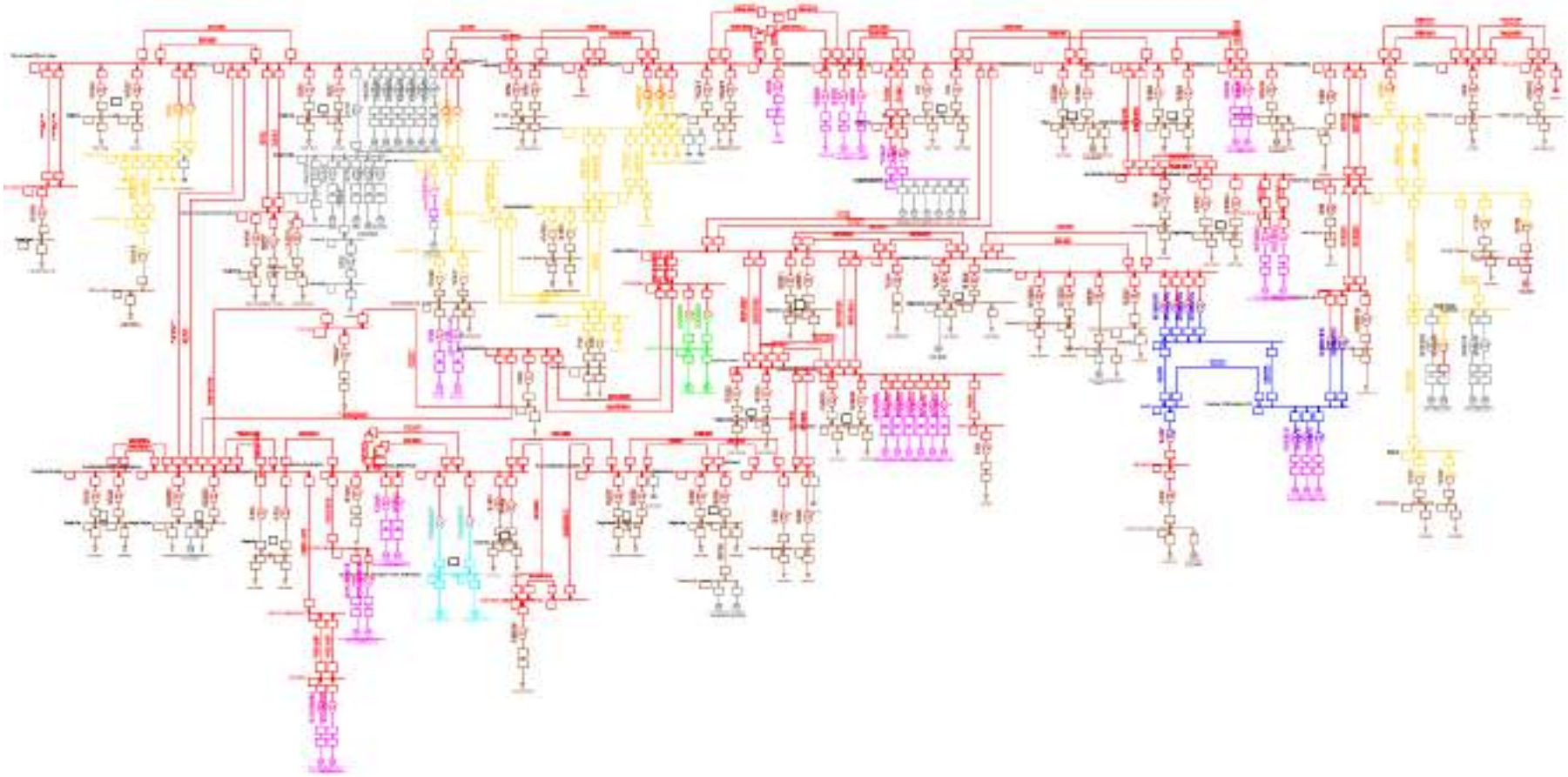
Data interkoneksi kelistrikan sistem Sulawesi bagian Selatan (Sulbagsel) yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian merupakan data milik PT. PLN (Persero). Data tersebut akan

digunakan untuk menganalisis kestabilan tegangan pada sistem Sulbagsel jika terinterkoneksi dengan PLTB Sidrap dan PLTB Jeneponto yang daya outputnya bervariasi. Adapun data yang diperoleh yaitu *single line diagram* sistem transmisi Sulbagsel, data resistansi dan reaktansi saluran transmisi, data pembangkit, data transformator dan data beban sistem Sulbagsel.

Sistem Sulbagsel merupakan sistem interkoneksi kelistrikan yang ada di Sulawesi bagian selatan yang terdiri dari berbagai pembangkit yang disalurkan melalui transmisi 275 kV, 150 kV, 70 kV dan 30 kV hingga ke konsumen melalui saluran distribusi 20 kV dan 11 kV.

Dalam penelitian ini data yang telah diperoleh yang bersumber dari PT.PLN (Persero) UP2B Sulselrabar akan dimasukkan dan dimodelkan kedalam metode *Modifikasi Direct Current Optimal Power Flow* yang dikembangkan. Pada pemodelan tersebut, terdapat 47 bus, 104 *line*, 129 transformator, 46 generator dan 75 beban.

Adapun gambar *Single Line Diagram* dari sistem Sulbagsel yaitu sebagai berikut:



Gambar 1 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Sulbagsel

Sumber:PT PLN (Persero) UP2B Wilayah Sulselbar

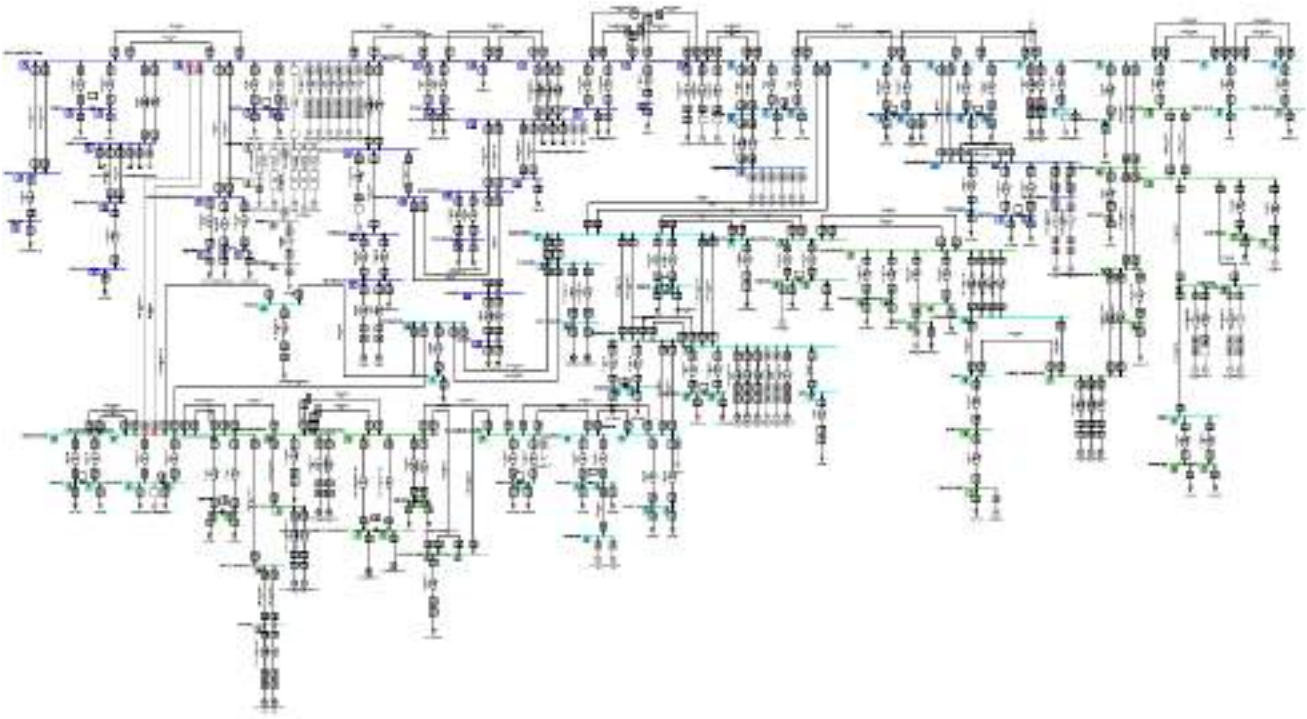
Hasil Uji Coba Metode

Simulasi Gangguan pada Saluran Transmisi

Berdasarkan data yang didapatkan pada PT. PLN (Persero) UP2B Wilayah Sulselbar bahwa saluran transmisi yang sering mengalami gangguan yaitu saluran transmisi Tello-Sungguminasa. Pada simulasi ini akan dilakukan simulasi pada saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa tiba-tiba lepas dari sistem yang disebabkan oleh gangguan short circuit 3 fasa pada keadaan beban puncak siang dan daya output PLTB diasumsikan maksimal yaitu masing-masing daya output PLTB 90%. Akan dianalisis kestabilan kontingensi tegangan pada masing-masing bus sistem Sulbagsel. Berikut hasil simulasi dan tampilan sistem Sulbagsel saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa tiba-tiba lepas.

Tabel 1 Keluaran daya dan *losses* sistem Sulbagsel saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa tiba-tiba lepas

NO	SISTEM	DAYA			*LOSSES*		
		P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
1	SULBAGSEL	1011.40	390.16	1084.05	64.60	295.40	-



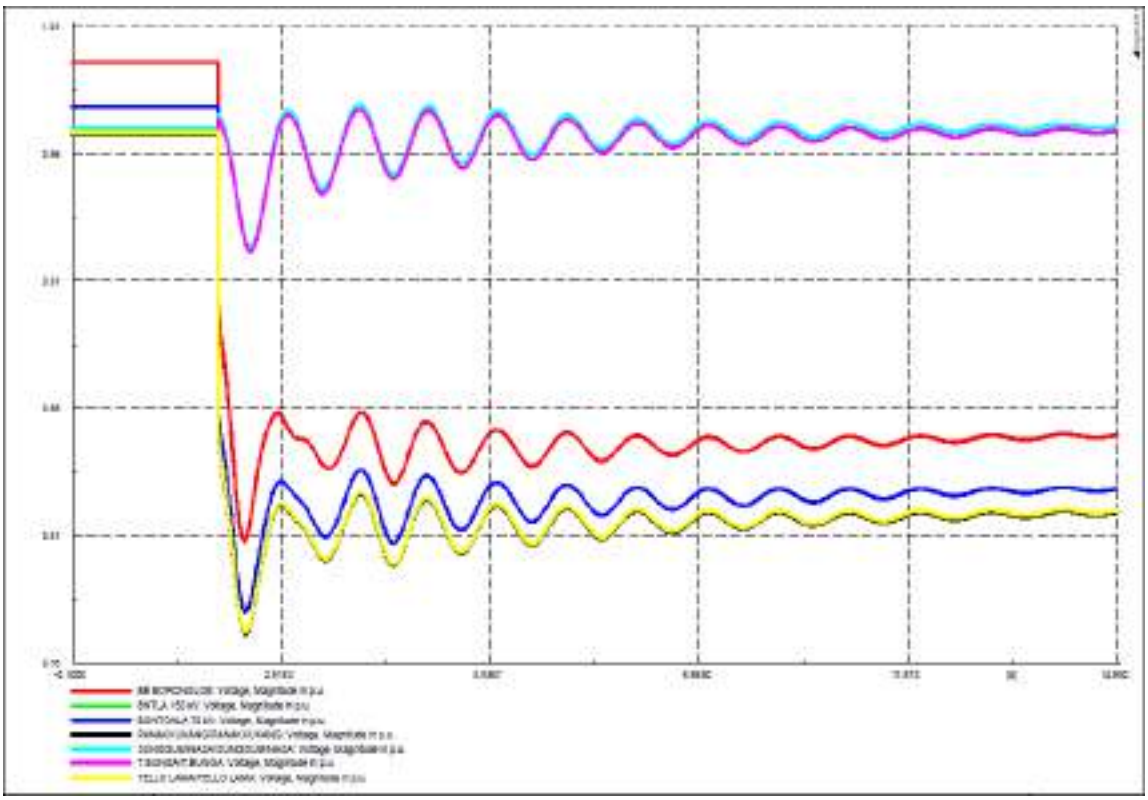
Gambar 2 Tampilan aliran daya pada kondisi saluran transmisi Tello-Sungguminasa lepas.

Tabel 1 memperlihatkan keluaran daya dan *losses* sistem Sulbagsel saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa tiba-tiba lepas, dimana terjadi peningkatan daya reaktif pada sisi pembangkit dan peningkatan *losses* sebesar 64.6 MW pada sistem Sulbagsel. Gambar 2 memperlihatkan hasil aliran daya pada sistem Sulbagsel setelah terjadinya gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa. Bus yang berwarna biru menunjukkan bahwa tegangan *under voltage* (tidak stabil) yaitu tegangan berada dibawah 0.9 pu dan bus yang berwarna hijau menunjukkan tegangan dalam kondisi stabil. Terdapat 12 bus yang mengalami *under voltage* yaitu bus Barru, bus Bontoala 70 kV, bus Bontoala 150 kV, bus Borongloe, bus Bosowa, bus Daya, bus Kima, bus Mandai, bus Panakkukang, bus Pangkep, bus Tello dan bus Tello Lama. Terdapat beberapa bus yang jaraknya jauh dari sumber gangguan mempunyai tegangan yang masih stabil sesuai toleransi tegangan berdasarkan standar tegangan PLN +5% sampai -10%.

Hasil Simulasi Tegangan Sistem Sulbagsel Setelah Terjadi Gangguan Pada Saluran Transmisi Tello-Sungguminasa

Gambar simulasi tegangan akan diperlihatkan pada Gambar 3 hingga Gambar 8. Berikut hasil simulasi tegangan sistem Sulbagsel setelah terjadi gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa. Analisis hasil simulasi ini dilakukan pada setiap Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) PLN yang terdiri dari beberapa gardu induk.

a) Simulasi tegangan pada ULTG Panakkukang



Gambar 3 Simulasi Tegangan pada ULTG Panakkukang

Gambar 3 memperlihatkan grafik hasil simulasi tegangan pada ULTG Panakkukang yang terdiri dari bus Bontoala 150 kV, Borongloe, Panakkukang, Sungguminasa, Tanjung Bunga, Tello Lama dan Bontoala 70 kV setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa. Saat terjadinya gangguan saluran transmisi, pada bus Borongloe terjadi

penurunan tegangan sampai 0.808 pu pada detik ke 2.382 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.847 pu. Pada bus Bontoala 150 kV dan bus Panakkukang terjadi penurunan tegangan sampai 0.772 pu pada detik ke 2.402 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.819 pu dan 0.818 pu. Pada bus Bontoala 70 kV terjadi penurunan tegangan sampai 0.780 pu pada detik ke 2.402 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.828 pu. Pada bus Tello Lama terjadi penurunan tegangan sampai 0.772 pu pada detik ke 2.402 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.820 pu. Pada bus Sungguminasa terjadi penurunan tegangan sampai 0.924 pu pada detik ke 2.472 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.971 pu. Pada bus Tanjung Bunga terjadi penurunan tegangan sampai 0.922 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.969 pu.

Tabel dibawah ini memperlihatkan perbandingan tegangan sebelum dan setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa pada ULTG Panakkukang.

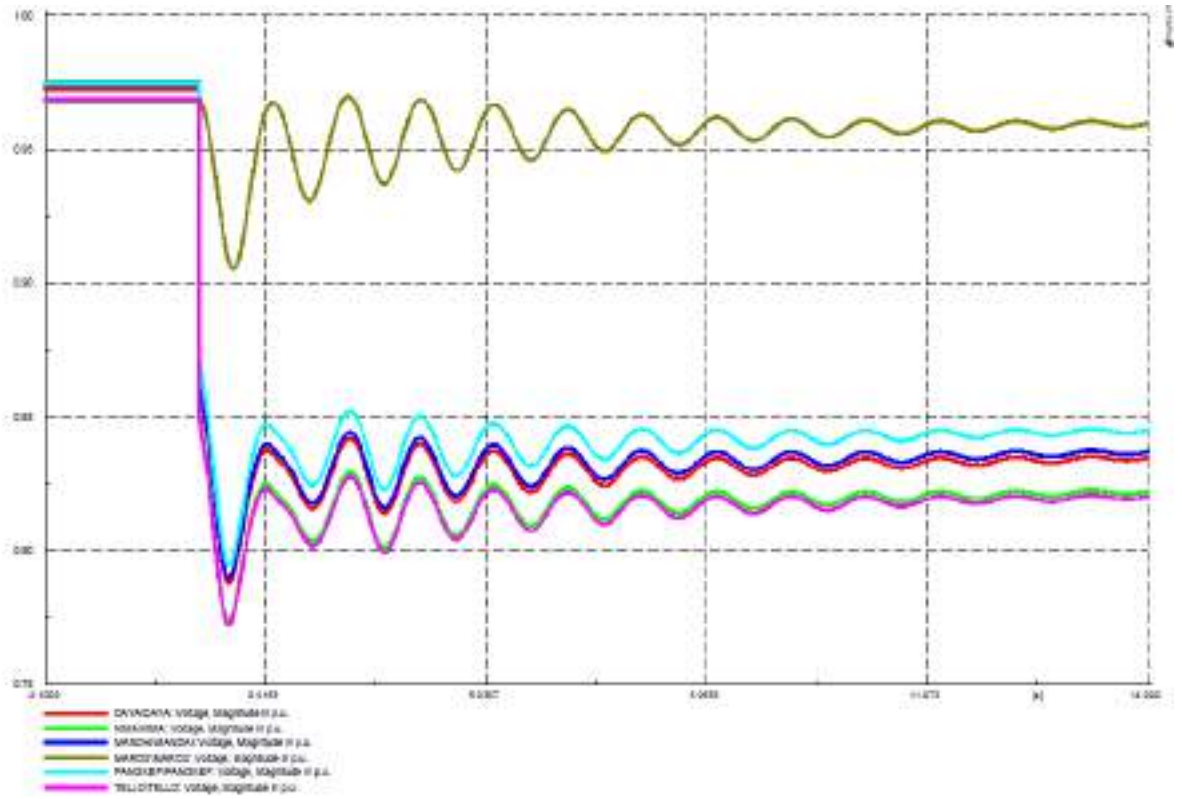
Tabel 2 Kondisi tegangan pada ULTG Panakkukang sebelum dan setelah gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa

Bus	Tegangan Sebelum Gangguan (pu)	Tegangan Setelah Gangguan (pu)	Perubahan Tegangan (%)
Borongloe	0.994	0.847	-0.148
Bontoala 150 kV	0.968	0.819	-0.154
Bontoala 70 kV	0.978	0.828	-0.153
Pannakukang	0.967	0.818	-0.154
Tello Lama	0.968	0.820	-0.153
Sungguminasa	0.970	0.971	+0.001
Tanjung Bunga	0.968	0.969	+0.001

Pada Tabel 2 memperlihatkan kondisi tegangan pada ULTG Panakkukang sebelum dan setelah gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa. Dapat dilihat bahwa terdapat lima bus yang mengalami jatuh tegangan 0.818 pu sampai 0.847 pu, hal ini melampaui batas toleransi kestabilan tegangan yang dibolehkan berdasarkan standar tegangan PLN 0.90 pu

sampai 1.05 pu. Kelima bus tersebut merupakan bus yang letaknya dekat dengan lokasi terjadinya gangguan sehingga kelima bus tersebut tidak dapat kembali pada kondisi stabil. Kemudian terdapat dua bus yang mengalami kenaikan tegangan sebesar 0.001 pu yaitu bus Sungguminasa dan bus Tanjung Bunga dan tegangan ini masih berada pada batas toleransi sesuai standar tegangan PLN sehingga dapat kembali pada kondisi stabil.

b) Simulasi tegangan pada ULTG Tello



Gambar 4 Simulasi Tegangan pada ULTG Tello

Gambar 4 memperlihatkan grafik hasil simulasi tegangan pada ULTG Tello yang terdiri dari bus Daya, Kima, Mandai, Maros, Pangkep dan Tello setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa. Saat terjadinya gangguan saluran transmisi, pada bus Daya terjadi penurunan tegangan sampai 0.788 pu pada detik ke 2.402 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.835 pu. Pada bus Kima terjadi penurunan tegangan sampai 0.774 pu pada detik ke 2.402 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.822 pu. Pada bus

Mandai terjadi penurunan tegangan sampai 0.790 pu pada detik ke 2.402 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.837 pu. Pada bus Maros terjadi penurunan tegangan sampai 0.905 pu pada detik ke 2.462 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.960 pu. Pada bus Pangkep terjadi penurunan tegangan sampai 0.795 pu pada detik ke 2.402 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.845 pu. Pada bus Tello terjadi penurunan tegangan sampai 0.772 pu pada detik ke 2.402 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.820 pu.

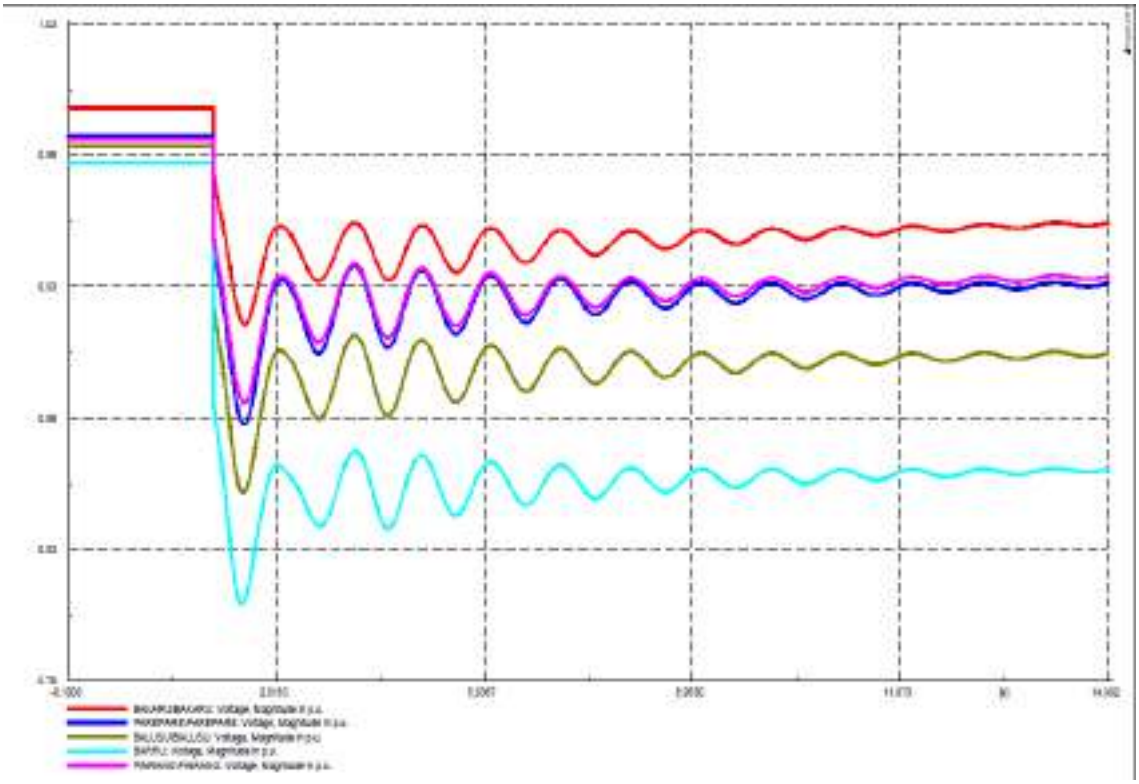
Tabel dibawah ini memperlihatkan perbandingan tegangan sebelum dan setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa pada ULTG Tello.

Tabel 3 Kondisi tegangan pada ULTG Tello sebelum dan setelah gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa

Bus	Tegangan Sebelum Gangguan (pu)	Tegangan Setelah Gangguan (pu)	Perubahan Tegangan (%)
Daya	0.973	0.835	-0.142
Kima	0.968	0.822	-0.151
Mandai	0.974	0.837	-0.141
Maros	0.975	0.960	-0.015
Pangkep	0.975	0.845	-0.133
Tello	0.969	0.820	-0.154

Pada Tabel 3 memperlihatkan kondisi tegangan pada ULTG Tello sebelum dan setelah gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa, dapat dilihat bahwa terdapat lima bus yang mengalami penurunan tegangan 0.820 pu sampai 0.845 pu, hal ini melampaui batas toleransi tegangan yang dibolehkan berdasarkan standar tegangan PLN. Kelima bus tersebut merupakan bus yang letaknya dekat dengan lokasi terjadinya gangguan. Kemudian terdapat satu bus yang mengalami penurunan tegangan sampai 0.960 pu dan tegangan ini masih berada pada batas toleransi tegangan berada pada kondisi tegangan yang stabil.

c) Simulasi tegangan pada ULTG Pare-Pare



Gambar 5 Simulasi Tegangan pada ULTG Pare-Pare

Gambar 5 memperlihatkan grafik hasil simulasi tegangan pada ULTG Pare-Pare yang terdiri dari bus Bakaru, Pare-pare, Balusu, Barru dan Pinrang setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa. Saat terjadinya gangguan saluran transmisi, pada bus Bakaru terjadi penurunan tegangan sampai 0.916 pu pada detik ke 2.462 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.954 pu. Pada bus Pare-pare terjadi penurunan tegangan sampai 0.987 pu pada detik ke 2.452 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.931 pu. Pada bus Balusu terjadi penurunan tegangan sampai 0.851 pu pada detik ke 2.432 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.905 pu. Pada bus Barru terjadi penurunan tegangan sampai 0.809 pu pada detik ke 2.402 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.860 pu. Pada bus Pinrang terjadi penurunan tegangan sampai 0.886 pu pada detik ke 2.452 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.934 pu. Tabel dibawah ini

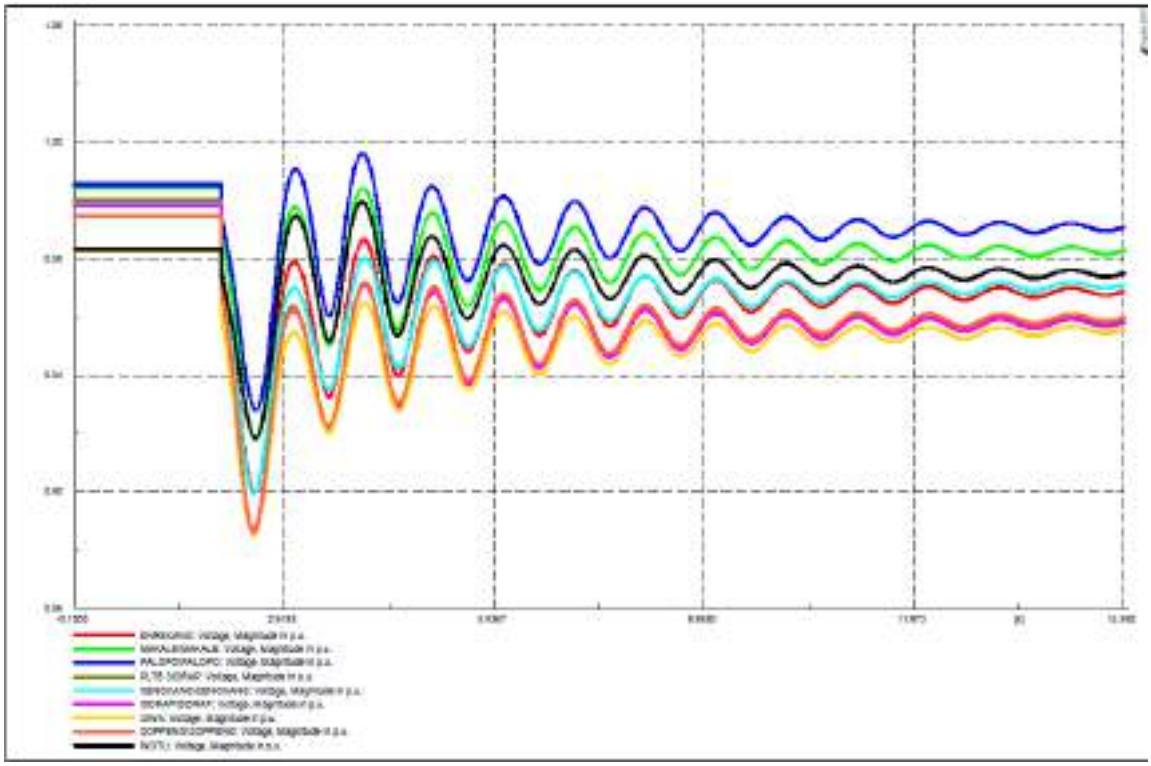
memperlihatkan perbandingan tegangan sebelum dan setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa pada ULTG Pare-Pare.

Tabel 4 Kondisi tegangan pada ULTG Pare-Pare sebelum dan setelah gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa

Bus	Tegangan Sebelum Gangguan (pu)	Tegangan Setelah Gangguan (pu)	Perubahan Tegangan (%)
Bakaru	0.998	0.954	-0.044
Pare-Pare	0.987	0.931	-0.057
Balusu	0.984	0.905	-0.080
Barru	0.977	0.860	-0.120
Pinrang	0.986	0.934	-0.053

Pada Tabel 4 memperlihatkan kondisi tegangan pada ULTG Pare sebelum dan setelah gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa, dapat dilihat bahwa terdapat satu bus yaitu bus Barru yang mengalami penurunan tegangan sampai 0.860 pu, hal ini melampaui batas toleransi tegangan yang standar tegangan PLN. Kemudian terdapat empat bus yang mengalami penurunan tegangan 0.905 sampai 0.954 pu dan tegangan ini masih berada pada batas toleransi tegangan dan berada pada kondisi tegangan yang stabil.

d) Simulasi tegangan pada ULTG Sidrap



Gambar 5 Simulasi Tegangan pada ULTG Sidrap

Gambar 5 memperlihatkan grafik hasil simulasi tegangan pada ULTG Sidrap yang terdiri dari bus Enrekang, Makale, Palopo, PLTB Sidrap, Sengkang, Sidrap, Siwa, Soppeng dan Wotu setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa. Saat terjadinya gangguan saluran transmisi, pada bus Enrekang terjadi penurunan tegangan sampai 0.911 pu pada detik ke 2.462 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.967 pu. Pada bus Makale terjadi penurunan tegangan sampai 0.928 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.982 pu. Pada bus Palopo terjadi penurunan tegangan sampai 0.938 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.990 pu. Pada bus PLTB Sidrap terjadi penurunan tegangan sampai 0.900 pu pada detik ke 2.462 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.958 pu. Pada bus Sengkang terjadi penurunan tegangan sampai 0.914 pu pada detik ke 2.452 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.973 pu. Pada bus Sidrap terjadi penurunan tegangan sampai 0.899 pu pada

detik ke 2.462 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.956 pu. Pada bus Siwa terjadi penurunan tegangan sampai 0.900 pu pada detik ke 2.462 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.957 pu. Pada bus Soppeng terjadi penurunan tegangan sampai 0.903 pu pada detik ke 2.452 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.961 pu. Pada bus Wotu terjadi penurunan tegangan sampai 0.927 pu pada detik ke 2.492 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.975 pu.

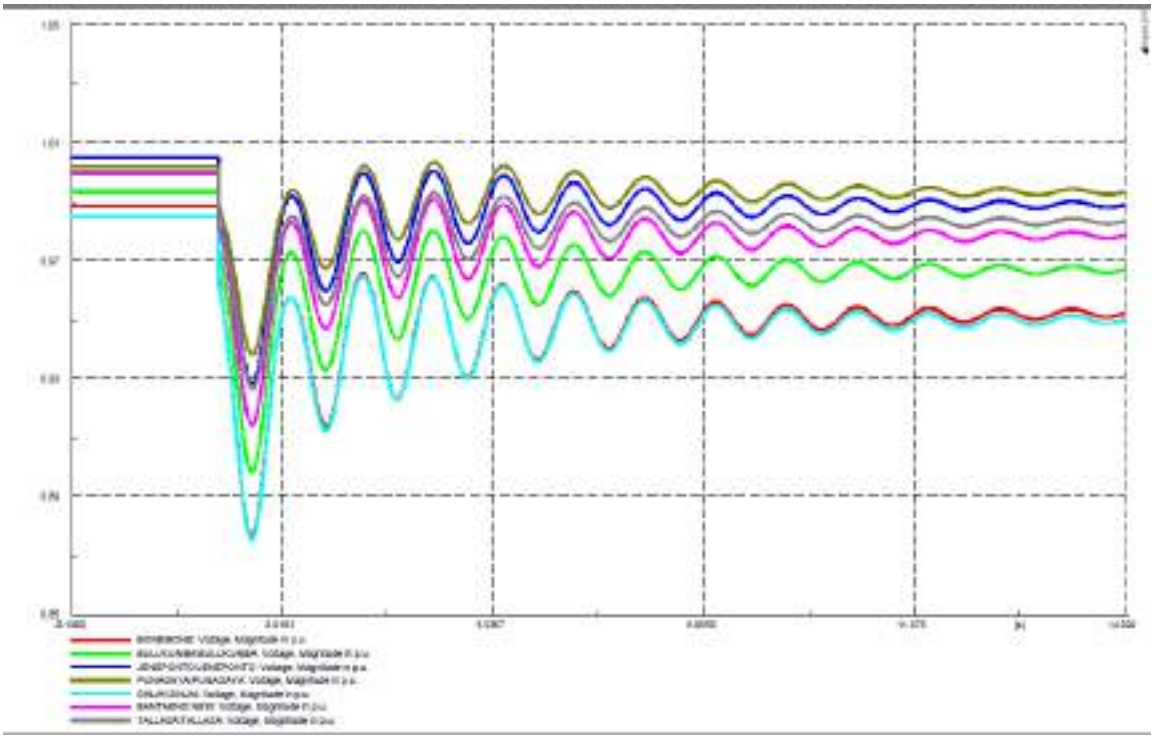
Tabel dibawah ini memperlihatkan perbandingan tegangan sebelum dan setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa pada ULTG Pare-Pare.

Tabel 5 Kondisi tegangan pada ULTG Sidrap sebelum dan setelah gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa

Bus	Tegangan Sebelum Gangguan (pu)	Tegangan Setelah Gangguan (pu)	Perubahan Tegangan (%)
Enrekang	0.996	0.967	-0.029
Makale	1.001	0.982	-0.019
Palopo	1.003	0.990	-0.013
PLTB Sidrap	0.994	0.958	-0.036
Sidrap	0.993	0.956	-0.037
Sengkang	0.997	0.973	-0.024
Siwa	0.981	0.957	-0.024
Soppeng	0.991	0.961	-0.030
Wotu	0.982	0.975	-0.007

Pada Tabel 5 memperlihatkan kondisi tegangan pada ULTG Sidrap sebelum dan setelah gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa, dapat dilihat bahwa semua bus yang ada pada ULTG Sidrap mengalami kondisi tegangan yang stabil, semua bus mengalami penurunan tegangan sebesar 0.956 pu sampai 0.990 pu setelah terjadinya gangguan namun tegangan masih berada pada batas toleransi tegangan standar tegangan PLN. Hal tersebut dikarenakan letak gangguan yang jauh sehingga masih mampu mempertahankan tegangan agar tetap stabil.

e) Simulasi tegangan pada ULTG Bulukumba



Gambar 6 Simulasi Tegangan pada ULTG Bulukumba

Gambar 6 memperlihatkan grafik hasil simulasi tegangan pada ULTG Bulukumba yang terdiri dari bus Bone, Bulukumba, Jeneponto, Punagaya, Sinjai, Bantaeng dan Tallasa setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa. Saat terjadinya gangguan saluran transmisi, pada bus Bone terjadi penurunan tegangan sampai 0.897 pu pada detik ke 2.472 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.956 pu. Pada bus Bulukumba terjadi penurunan tegangan sampai 0.926 pu pada detik ke 2.462 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.975 pu. Pada bus Jeneponto terjadi penurunan tegangan sampai 0.956 pu pada detik ke 2.472 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.998 pu. Pada bus Punagaya terjadi penurunan tegangan sampai 0.965 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 1.002 pu. Pada bus Sinjai terjadi penurunan tegangan sampai 0.901 pu pada detik ke 2.462 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.957 pu. Pada bus Bantaeng terjadi penurunan tegangan sampai 0.942 pu pada detik ke 2.472 s lalu

tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.987 pu. Pada bus Tallasa penurunan sampai 0.954 pu pada detik ke 2.472 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.995 pu.

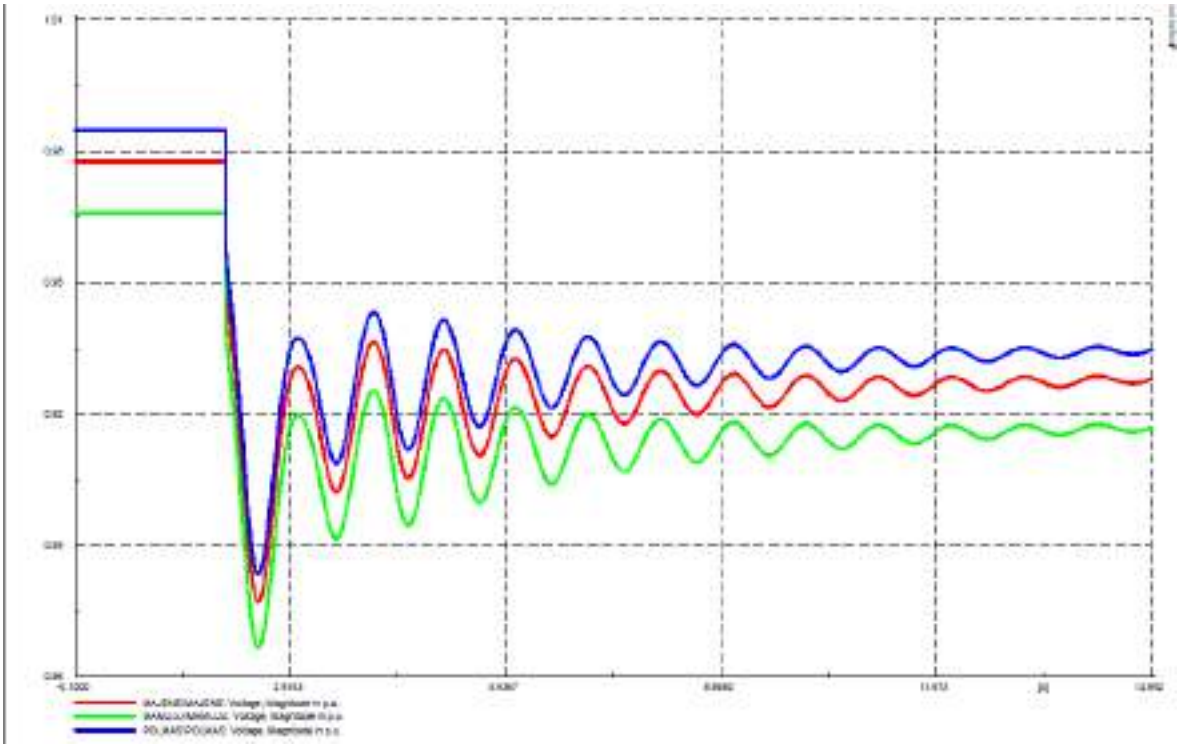
Tabel dibawah ini memperlihatkan perbandingan tegangan sebelum dan setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa pada ULTG Bulukumba.

Tabel 6 Kondisi tegangan pada ULTG Bulukumba sebelum dan setelah gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa

Bus	Tegangan Sebelum Gangguan (pu)	Tegangan Setelah Gangguan (pu)	Perubahan Tegangan (%)
Bone	0.986	0.956	-0.030
Bulukumba	0.991	0.975	-0.016
Jeneponto	1.002	0.998	-0.004
Punagaya	0.999	1.002	+0.003
Sinjai	0.982	0.957	-0.025
Bantaeng New	0.997	0.987	-0.010
Tallasa	0.992	0.995	+0.003

Pada Tabel 6 memperlihatkan kondisi tegangan pada ULTG Sidrap sebelum dan setelah gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa, dapat dilihat bahwa semua bus yang ada pada ULTG Bulukumba mengalami kondisi tegangan yang stabil, beberapa bus mengalami penurunan tegangan setelah terjadinya gangguan namun tegangan masih berada pada batas toleransi tegangan berdasarkan standar tegangan PLN. Hal tersebut dikarenakan letak gangguan yang jauh sehingga masih mampu mempertahankan tegangan agar tetap stabil.

f) Simulasi tegangan pada ULTG Mamuju



Gambar 7 Simulasi Tegangan pada ULTG Mamuju

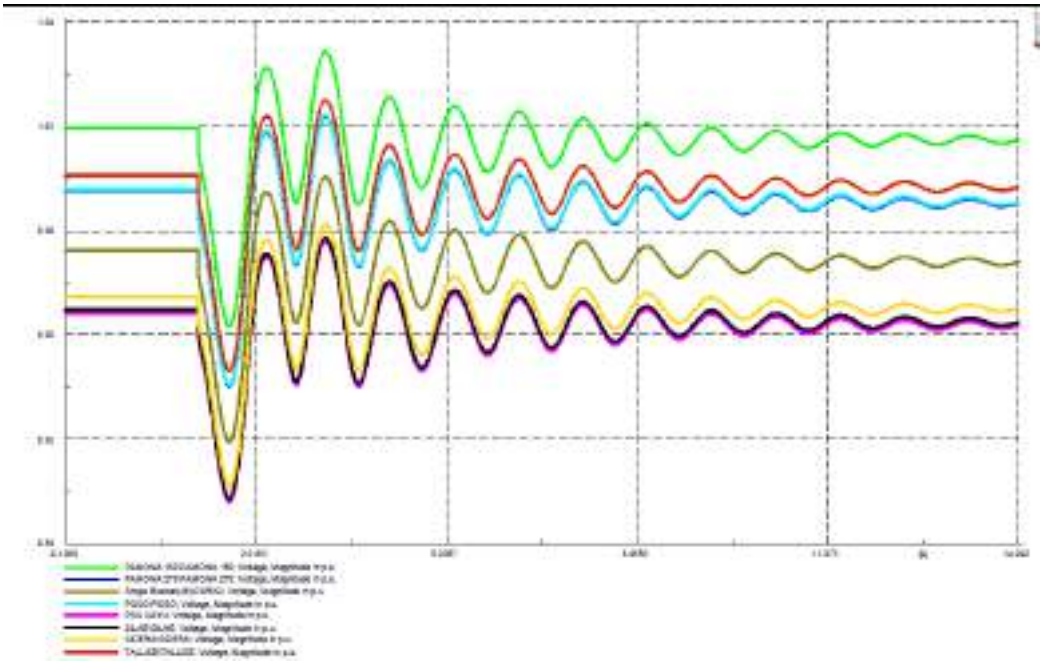
Gambar 7 memperlihatkan grafik hasil simulasi tegangan pada ULTG Mamuju yang terdiri dari bus Majene, Mamuju dan Polmas setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa. Saat terjadinya gangguan saluran transmisi, pada bus Majene terjadi penurunan tegangan sampai 0.884 pu pada detik ke 2.452 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.927 pu. Pada bus Mamuju terjadi penurunan tegangan sampai 0.873 pu pada detik ke 2.442 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.916 pu. Pada bus Polmas terjadi penurunan tegangan sampai 0.890 pu pada detik ke 2.4522 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.934 pu.

Tabel 7 Kondisi tegangan pada ULTG Mamuju sebelum dan setelah gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa

Bus	Tegangan Sebelum Gangguan (pu)	Tegangan Setelah Gangguan (pu)	Perubahan Tegangan (%)
Majene	0.974	0.927	-0.048
Mamuju	0.962	0.916	-0.048
Polmas	0.981	0.934	-0.048

Pada Tabel 7 memperlihatkan kondisi tegangan pada ULTG Mamuju sebelum dan setelah gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa, dapat dilihat bahwa semua bus yang ada pada ULTG Mamuju mengalami kondisi tegangan yang stabil, semua bus mengalami penurunan tegangan setelah terjadinya gangguan namun tegangan masih berada pada batas toleransi tegangan berdasarkan standar tegangan PLN. Hal tersebut dikarenakan letak gangguan yang jauh sehingga masih mampu mempertahankan tegangan agar tetap stabil.

g) Simulasi tegangan pada ULTG Sulteng



Gambar 8 Simulasi Tegangan pada ULTG Sulteng

Gambar 8 memperlihatkan grafik hasil simulasi tegangan pada ULTG Sulteng yang terdiri dari bus Pamona 150 kV, Pamona 275 kV, Parigi, Poso, Pasang Kayu, Silae dan Tallise setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa. Saat terjadinya gangguan saluran transmisi, pada bus Pamona 150 kV terjadi penurunan tegangan sampai 0.961 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 1.006 pu. Pada bus Pamona 275 kV terjadi penurunan tegangan sampai 0.943 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan

berosilasi hingga mencapai tegangan 0.988 pu. Pada bus Parigi terjadi penurunan tegangan sampai 0.927 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.971 pu. Pada bus Poso terjadi penurunan tegangan sampai 0.944 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.989 pu. Pada bus Pasang Kayu terjadi penurunan tegangan sampai 0.910 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.953 pu. Pada bus Silae terjadi penurunan tegangan sampai 0.911 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.954 pu. Pada bus Sidera terjadi penurunan tegangan sampai 0.914 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.958 pu. Pada bus Tallise terjadi penurunan tegangan sampai 0.948 pu pada detik ke 2.482 s lalu tegangan berosilasi hingga mencapai tegangan 0.993 pu.

Tabel dibawah ini memperlihatkan perbandingan tegangan sebelum dan setelah terjadi gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa pada ULTG Sulteng.

Tabel 8 Kondisi tegangan pada ULTG Sulteng sebelum dan setelah gangguan saluran transmisi Tello-Sungguminasa

Bus	Tegangan Sebelum Gangguan (pu)	Tegangan Setelah Gangguan (pu)	Perubahan Tegangan (%)
Pamona 150	1.009	1.006	-0.003
Pamona 275	0.991	0.988	-0.003
Parigi	0.974	0.971	-0.003
Poso	0.991	0.989	-0.002
Pasang Kayu	0.956	0.953	-0.003
Silae	0.957	0.954	-0.003
Sidera	0.961	0.958	-0.003
Tallise	0.996	0.993	-0.003

Pada Tabel 8 memperlihatkan kondisi tegangan pada ULTG Sulteng sebelum dan setelah gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa, dapat dilihat bahwa semua bus yang ada pada ULTG Sulteng mengalami kondisi tegangan yang stabil, semua bus mengalami penurunan tegangan namun tegangan masih berada pada batas toleransi tegangan berdasarkan standar tegangan PLN. Hal tersebut dikarenakan letak gangguan yang jauh sehingga masih mampu mempertahankan tegangan agar tetap stabil.

Solusi Perbaikan Tegangan Saat Terjadinya Gangguan Saluran Transmisi Tello-Sungguminasa

Dari hasil simulasi diatas setelah terjadinya gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa terdapat 12 bus yang mengalami ketidakstabilan tegangan atau terjadi jatuh tegangan yaitu pada bus Barru, bus Borongloe, bus Bontoala 150 kV, bus Bontoala 70 kV, bus Bosowa, bus Panakkukang, bus Tello Lama, bus Daya, bus Kima, bus Mandai, bus Pangkep dan bus Tello. Bus tersebut mengalami penurunan tegangan hingga mencapai tegangan terkecil 0.817 pu. Hal ini mengakibatkan bus yang mengalami jatuh tegangan harus lepas dari sistem dan pada daerah tersebut harus mengalami pemadaman listrik.

Untuk mengatasi adanya ketidakstabilan tegangan saat terjadinya gangguan saluran transmisi atau terlepasnya saluran transmisi Tello-Sungguminasa yaitu dengan cara mengoptimalkan tegangan pada bus yang berpotensi mengalami ketidakstabilan, oleh karena itu dilakukan pengaturan tegangan dengan cara:

- mengatur posisi *tap* transformator
- mengoptimalkan pemasangan SVC (*Static VAr Compensator*) pada bus-bus tertentu

a) Pengaturan tegangan melalui pengoptimalan posisi *tap changer* transformator setelah gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa

Pengaturan tegangan pada bus yang mengalami jatuh tegangan setelah terjadi gangguuan dapat dilakukan dengan mengatur posisi *tap* transformator agar tegangan pada bus menjadi optimal yaitu 1.05 pu sebelum terjadinya gangguan. Transformator yang diatur hanya pada transformator IBT (Inter Bus Transformation) yaitu IBT Tello Lama dengan posisi tap 4. IBT Tello posisi tap 3 dan IBT Pangkep posisi tap 5. Pengaturan tap changer pada transformator IBT tersebut menyebabkan tegangan pada beberapa bus menjadi optimal yaitu pada bus Bontoala 70 kV, bus Pangkep 70 kV, bus Mandai dan bus Daya.

Pada Tabel 9 berikut memperlihatkan kondisi tegangan pada bus yang mengalami jatuh tegangan saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa lepas setelah adanya perbaikan pada posisi *tap* transformator, dapat dilihat bahwa semua tegangan berwarna merah, artinya tegangan masih berada pada kondisi tidak stabil yaitu berada diluar batas toleransi tegangan berdasarkan toleransi tegangan PLN. Perubahan tap changer transformator mempengaruhi bus pada sisi sekunder transformator IBT, seperti pada bus Bontoala 70 kv, bus Borongloe, bus Daya dan bus Mandai dimana tegangan pada bus tersebut mengalami kenaikan. Namun dengan kenaikan tegangan pada bus tersebut menyebabkan tegangan pada bus lainnya mengalami jatuh tegangan. Kenaikan tegangan dan jatuh tegangan yang disebabkan oleh perubahan posisi tap changer, tidak mengembalikan bus under voltage pada kondisi kestabilan tegangan.

Tabel 9 Kondisi tegangan pada bus *under voltage* saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa lepas setelah adanya perbaikan pada *tap changer*

No.	Bus *Under Voltage*	Tegangan saat gangguan (pu)	
		Sebelum perubahan tap transformator	Setelah perubahan tap transformator
1	**Barru**	0.860	0.856
2	**Bontoala 70 kV**	0.817	**0.877**
3	**Bontoala 150 kV**	0.826	0.802
4	**Borongloe**	0.848	**0.870**
5	**Bosowa**	0.828	0.819
6	**Daya**	0.834	**0.886**
7	**Kima**	0.820	0.806
8	**Mandai**	0.836	**0.888**
9	**Panakkukang**	0.817	0.801
10	**Pangkep**	0.844	0.839
11	**Tello**	0.818	0.803
12	**Tello Lama**	0.817	0.802

b) Pengaturan tegangan melalui pemasangan SVC pada bus yang mengalami *under voltage* setelah gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa

Setelah dilakukan pengoptimalan bus dengan mengatur posisi tap changer dan didapatkan hasil simulasi gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa menunjukkan tidak ada bus yang dapat kembali pada kondisi stabil dan semua bus yang berada pada kondisi tidak stabil. Untuk itu akan dilakukan pengoptimalan tegangan pada bus dengan cara pemasangan SVC pada bus tertentu sehingga tegangan pada bus yang mengalami under voltage setelah gangguan menjadi optimal. Penentuan pemasangan SVC berdasarkan rugi-rugi terkecil yang dihasilkan oleh sistem saat simulasi pemasangan SVC tiap bus dengan kapasitas 100 MVAr. rugi-rugi terkecil yang dihasilkan sistem untuk pemasangan SVC 100 MVAr yaitu pada saat pemasangan SVC pada bus Tello. Tabel berikut memperlihatkan urutan rugi-rugi terkecil hingga rugi-rugi terbesar pada sistem pada saat pemasangan SVC pada masing-masing bus yang mengalami under voltage. Rugi-rugi terkecil yang dihasilkan sistem untuk pemasangan SVC 100 MVAr yaitu pada saat pemasangan SVC pada bus Tello. Selain pertimbangan rugi-rugi terkecil, pada bus Tello juga merupakan lokasi bus strategis yaitu bus yang memiliki interkoneksi antar bus terbanyak dan bus yang merupakan pusat beban.

Tabel 10 Rugi-rugi yang dihasilkan sistem saat pemasangan SVC 100 MVAr

No.	Bus *Under Voltage*	Rugi-Rugi Pemasangan SVC (MW)	Rugi-Rugi Pemasangan Kapasitor (MW)
1	Tello	21.60	21.60
2	Panakkukang	21.67	21.67
3	Tello Lama	21.74	21.74
4	Bontoala 70 kV	21.83	22.86
5	Kima	21.89	21.94
6	Bontoala 150 kV	21.91	21.85
7	Borongloe	21.95	25.00
8	Mandai	22.14	23.31
9	Daya	22.16	23.43
10	Bosowa	22.25	22.95

11	Barru	22.26	23.22
12	Pangkep	22.41	23.20

Selanjutnya akan disimulasi saat terjadinya gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa setelah pemasangan SVC pada bus Tello dengan kapasitas daya reaktif kapasitor yaitu 80 MVAr, 90 MVAr, 100 MVAr dan 110 MVAr.

Tabel 11 berikut memperlihatkan hasil simulasi kondisi tegangan pada bus under voltage saat gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa setelah pemasangan SVC pada bus Tello. Terlihat bahwa setelah pemasangan SVC pada bus Tello dengan kapasitas 80 MVAr, 90 MVAr, 100 MVAr dan 110 MVAr kondisi tegangan yang sebelumnya mengalami under voltage akan mengalami kenaikan tegangan sampai mencapai kondisi tegangan yang stabil sesuai batas toleransi tegangan PLN. Pada saat pemasangan SVC 80 MVAr dapat dilihat bahwa semua bus mempunyai tegangan yang berada pada kondisi tidak stabil karena berada diluar batas toleransi tegangan PLN. Pada pemasangan SVC 90 MVAr, hanya tiga bus yang mengalami kondisi stabil yaitu bus Barru, bus Bontoala 70 kV dan bus Borongloe. Pada pemasangan SVC 100 MVAr, masih ada satu bus yaitu bus Bosowa yang mengalami kondisi tidak stabil berdasarkan toleransi tegangan PLN, dan pada pemasangan SVC 110 MVAr semua bus dapat kembali pada kondisi stabil setelah gangguan. Untuk itu solusi yang tepat pada kondisi ini untuk mencegah adanya under voltage setelah terjadi gangguan yaitu dengan memasang SVC dengan kapasitas 110 MVAr pada bus Tello sehingga menyebabkan semua bus mengalami kondisi stabil walaupun terjadi gangguan pada saluran transmisi Tello-Sungguminasa.

Tabel 11 Kondisi tegangan pada bus *under voltage* saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa lepas setelah pemasangan SVC pada bus Tello

No.	Bus *Under Voltage*	Tegangan Setelah Gangguan (pu)				
		Sebelum Pemasangan SVC	Setelah Pemasangan SVC			
			80 MVAr	90 MVAr	100 MVAr	110 MVAr
1	**Barru**	0.860	0.896	0.900	0.905	0.910
2	**Bontoala 70 kV**	0.817	0.896	0.905	0.914	0.924
3	**Bontoala 150 kV**	0.826	0.886	0.895	0.904	0.913
4	**Borongloe**	0.848	0.894	0.900	0.907	0.913
5	**Bosowa**	0.828	0.884	0.891	0.898	0.905
6	**Daya**	0.834	0.890	0.897	0.904	0.912
7	**Kima**	0.820	0.887	0.895	0.904	0.913
8	**Mandai**	0.836	0.891	0.898	0.905	0.913
9	**Panakkukang**	0.817	0.886	0.895	0.904	0.913
10	**Pangkep**	0.844	0.891	0.897	0.904	0.910
11	**Tello**	0.818	0.887	0.896	0.905	0.914
12	**Tello Lama**	0.817	0.887	0.896	0.905	0.914

Tabel 12 Kondisi tegangan pada bus *under voltage* saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa lepas setelah pemasangan kapasitor pada bus Tello

No.	Bus *Under Voltage*	Tegangan Setelah Gangguan (pu)				
		Sebelum Pemasangan Kapasitor	**Setelah Pemasangan Kapasitor**			
			80 MVAr	90 MVAr	100 MVAr	110 MVAr
1	**Barru**	0.860	0.896	0.900	0.905	0.910
2	**Bontoala 70 kV**	0.817	0.896	0.905	**0.916**	0.924
3	**Bontoala 150 kV**	0.826	0.886	0.895	0.904	0.913
4	**Borongloe**	0.848	0.894	0.900	0.907	0.913
5	**Bosowa**	0.828	0.884	0.891	0.898	0.905
6	**Daya**	0.834	0.890	0.897	0.904	0.912
7	**Kima**	0.820	0.887	0.895	0.904	0.913
8	**Mandai**	0.836	0.891	0.898	0.905	0.913
9	**Panakkukang**	0.817	0.886	0.895	**0.905**	0.913
10	**Pangkep**	0.844	0.891	0.897	0.904	0.910
11	**Tello**	0.818	0.887	0.896	**0.904**	0.914
12	**Tello Lama**	0.817	0.887	0.896	0.905	0.914

Pada Tabel 11 dan Tabel 12 memperlihatkan kondisi tegangan pada bus *under voltage* saat saluran transmisi Tello-Sungguminasa lepas setelah pemasangan SVC pada bus Tello dan

pemasangan kapasitor pada bus Tello. Tegangan yang dihasilkan setelah pemasangan menggunakan SVC maupun kapasitor hampir sama, hal ini disebabkan karena sistem mengalami penurunan tegangan dalam hal ini untuk menaikkan tegangan hanya membutuhkan daya reaktif dari kapasitor oleh karena itu SVC hanya menghasilkan daya reaktif (SVC kapasitif) namun SVC tidak menyerap daya reaktif (SVC Induktif).

Simulasi Kestabilan Tegangan saat Daya Output PLTB Bervariasi

Simulasi kestabilan tegangan ini diambil saat sistem mengalami beban puncak siang pukul 13.00 dengan total beban 802.01 MW dan pada beban puncak malam pukul 19.00 dengan total beban 1027.79 MW. Tujuannya untuk mengetahui kondisi kestabilan tegangan pada sistem Sulbagsel dengan mempertimbangkan daya output PLTB yang bervariasi. Ada dua unit PLTB yang beroperasi pada sistem Sulbagsel 2019 yaitu PLTB Sidrap 75 MW dengan masing-masing wind turbine 2.5 MW dan PLTB Jeneponto 72 MW dengan masing-masing wind turbine 3.6 MW. Pemodelan PLTB ini menggunakan kecepatan angin yang dianggap konstan untuk variasi daya output yang konstan pula agar memudahkan dalam menganalisis kestabilan tegangannya, walaupun pada kondisi dilapangan kecepatan angin dapat berubah. Adapun variasi daya output PLTB Sidrap 75 MW dan PLTB Jeneponto 72 MW diasumsikan sebagai berikut:

Tabel 13 Skenario daya output yang dihasilkan oleh PLTB saat beban puncak siang pada sistem Sulbagsel (802.01 MW)

Skenario	Pembangkit Existing (MW)	PLTB Sidrap 75 MW		PLTB Jeneponto 72 MW		Losses (%)	Kondisi Tegangan
		Daya Output (%)	Daya Output (MW)	Daya Output (%)	Daya Output (MW)		
1.	838.64	0	0	0	0	0.025	Stabil
2.	838.64	0	0	25	18	0.023	Stabil
3.	838.64	0	0	50	36	0.024	Stabil
4.	838.64	0	0	75	54	0.025	Stabil
5.	838.64	0	0	90	64.8	0.025	Stabil
6.	838.64	0	0	100	72	0.025	Stabil
7.	838.64	25	18.25	0	0	0.022	Stabil
8.	838.64	50	37.5	0	0	0.022	Stabil
9.	838.64	75	56.25	0	0	0.021	Stabil
10.	838.64	90	67.5	0	0	0.021	Stabil
11.	838.64	100	75	0	0	0.021	Stabil

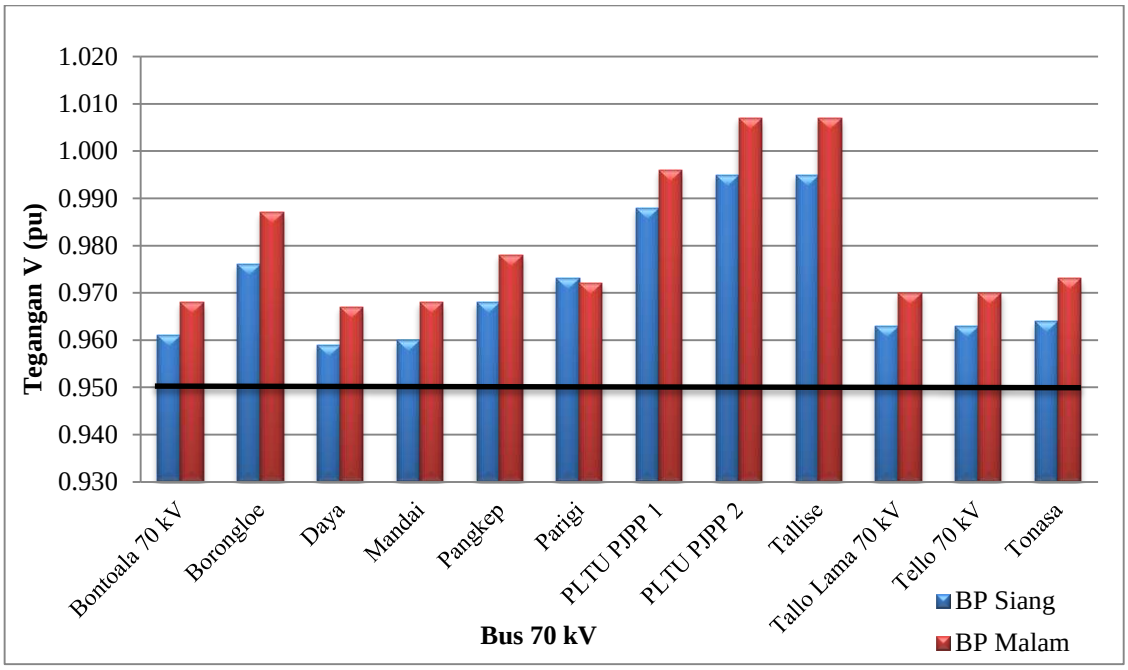
Tabel 14 Skenario daya output yang dihasilkan oleh PLTB saat beban puncak malam pada sistem Sulbagsel (1027.79 MW)

Skenario	Pembangkit Existing (MW)	PLTB Sidrap 75 MW		PLTB Jeneponto 72 MW		Losses (%)	Kondisi Tegangan
		Daya Output (%)	Daya Output (MW)	Daya Output (%)	Daya Output (MW)		
1.	1050.23	0	0	0	0	0.025	Stabil
2.	1050.23	0	0	25	18	0.026	Stabil
3.	1050.23	0	0	50	36	0.027	Stabil
4.	1050.23	0	0	75	54	0.028	Stabil
5.	1050.23	0	0	90	64.8	0.029	Stabil
6.	1050.23	0	0	100	72	0.029	Stabil
7.	1050.23	25	18.25	0	0	0.025	Stabil
8.	1050.23	50	37.5	0	0	0.025	Stabil
9.	1050.23	75	56.25	0	0	0.026	Stabil
10.	1050.23	90	67.5	0	0	0.026	Stabil
11.	1050.23	100	75	0	0	0.026	Stabil

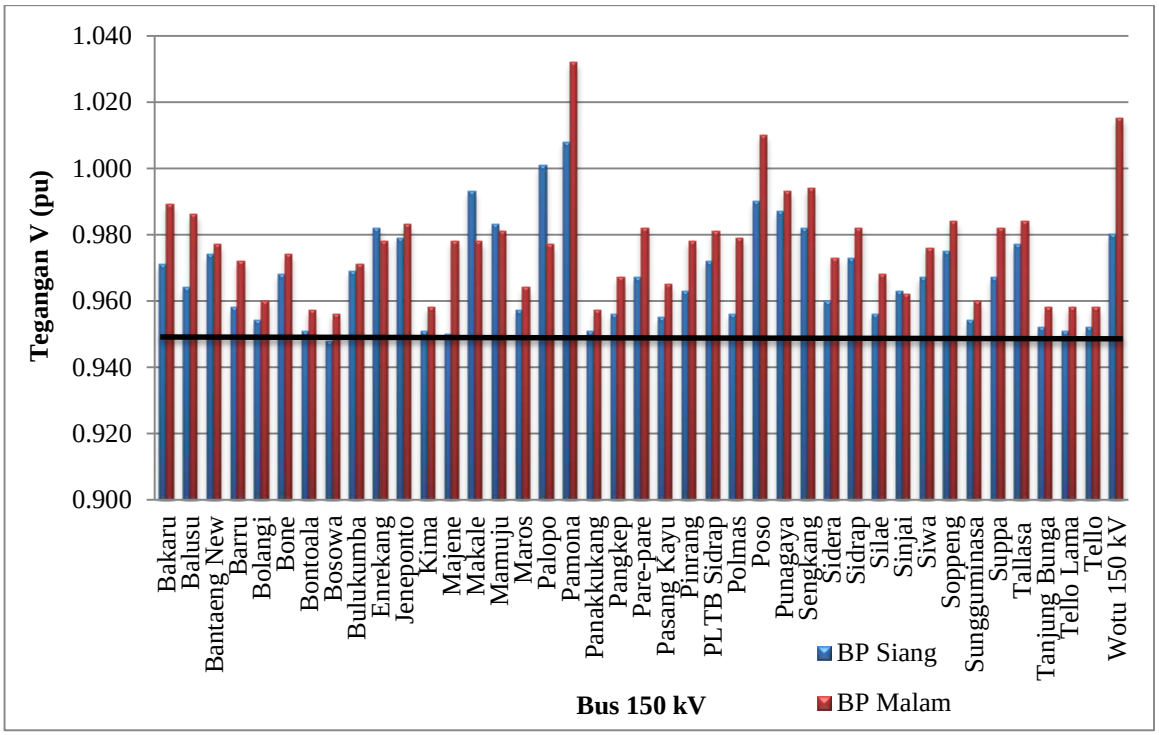
Secara umum perubahan daya output yang dihasilkan oleh PLTB Sidrap dan PLTB Jeneponto saat beban puncak siang dan beban puncak malam tidak mempengaruhi kestabilan tegangan pada sistem Sulbagsel. Oleh karena itu hanya ada 11 skenario yang akan dijelaskan untuk kondisi kestabilan tegangannya yaitu pada kondisi PLTB Sidrap 0 MW dan PLTB Jeneponto bervariasi, kondisi PLTB Sidrap bervariasi dan PLTB Jeneponto MW dan juga ketika kondisi kedua PLTB 0 MW. Adapun rugi-rugi daya terbesar dihasilkan pada kondisi PLTB Sidrap 0 MW dan kondisi PLTB Jeneponto yang berubah-ubah saat beban puncak siang maupun beban puncak malam. Bagian berikut akan menjelaskan grafik hasil simulasi tegangan untuk skenario 1, 2 dan 7 diperlihatkan pada gambar berikut.

PLTB Sidrap 0% dan PLTB Jeneponto 0%

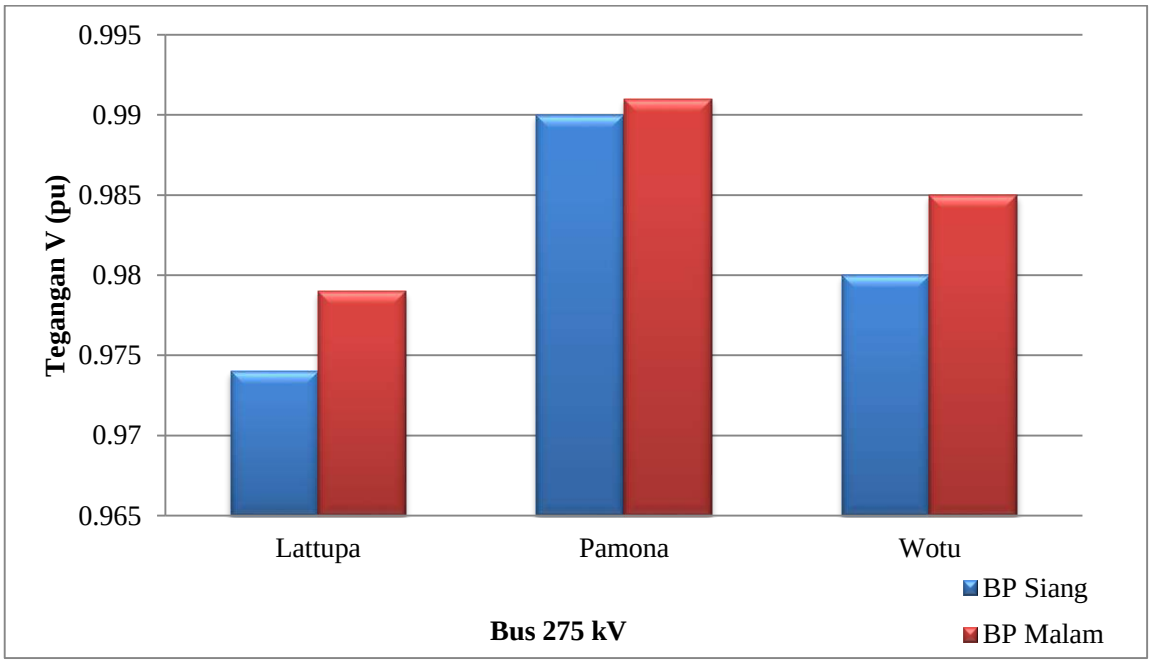
Pada kondisi ini diasumsikan daya output yang dihasilkan PLTB Sidrap 0% atau 0 MW dan daya output yang dihasilkan PLTB Jeneponto 0% atau 0 MW. Berikut hasil simulasi kondisi tegangan sistem Sulbagsel pada bus 70 kV, 150 kV dan 275 kV pada beban puncak siang dan beban puncak malam.



Gambar 9 Profil tegangan sistem Sulbagsel 70 kV kondisi daya output PLTB Sidrap 0% dan PLTB Jeneponto 0% pada beban puncak siang dan beban puncak malam



Gambar 10 Profil tegangan sistem Sulbagsel 150 kV kondisi daya output PLTB Sidrap 0% dan PLTB Jeneponto 0% pada beban puncak siang dan beban puncak malam



Gambar 11 Profil tegangan sistem Sulbagsel 275 kV kondisi daya output PLTB Sidrap 0% dan PLTB Jeneponto 0% pada beban puncak siang dan beban puncak malam

Gambar 9 hingga Gambar 11 memperlihatkan profil tegangan sistem Sulbagsel 70 kV, 150 kV dan 275 kV pada kondisi daya output PLTB Sidrap 0 MW dan PLTB Jeneponto 0 MW

saat beban puncak siang dan beban puncak malam. Seluruh bus sistem mengalami kondisi tegangan yang berada pada kondisi stabil yaitu antara 0.95 pu sampai 1.03 pu sesuai batas toleransi tegangan IEEE maupun batas tegangan PLN. Adapun hasil simulasi aliran daya pada sistem Sulbagsel adalah sebagai berikut:

Tabel 15 Keluaran daya dan *losses* sistem saat kondisi daya output PLTB Sidrap 0% dan PLTB Jeneponto 0%

NO.	SISTEM SULBAGSEL	DAYA			*LOSSES*		
		P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVAr)	S (MVA)
1.	BP SIANG	797.60	202.77	822.97	19.87	108.58	-
2.	BP MALAM	1044.18	256.92	1075.32	26.06	145.68	-

DOKUMENTASI PENGUJIAN METODE

OUTPUT PENELITIAN

PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI

PENINGKATAN EFISIENSI DAN KUALITAS DAYA LISTRIK MULTI-SUMBER ENERGI PRIMER MEMPERHITUNGKAN EFEK LOSSES DAN FAKTOR KONGESTI TRANSMISI SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI

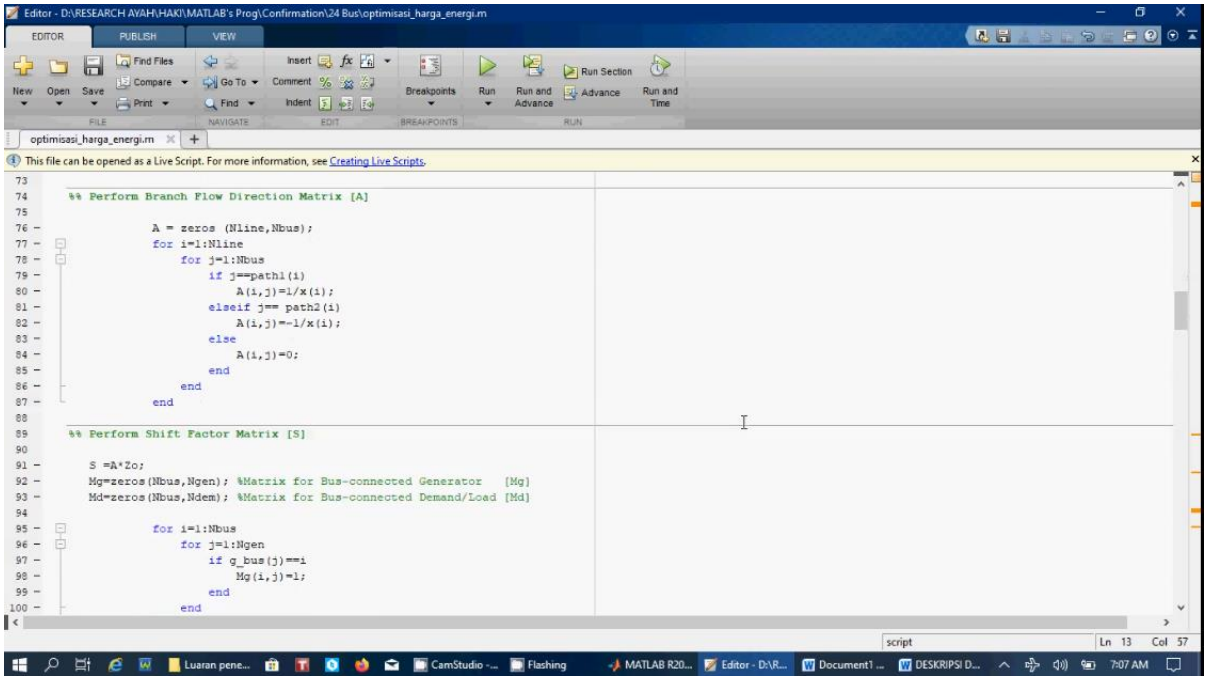
TIM PENGUSUL:

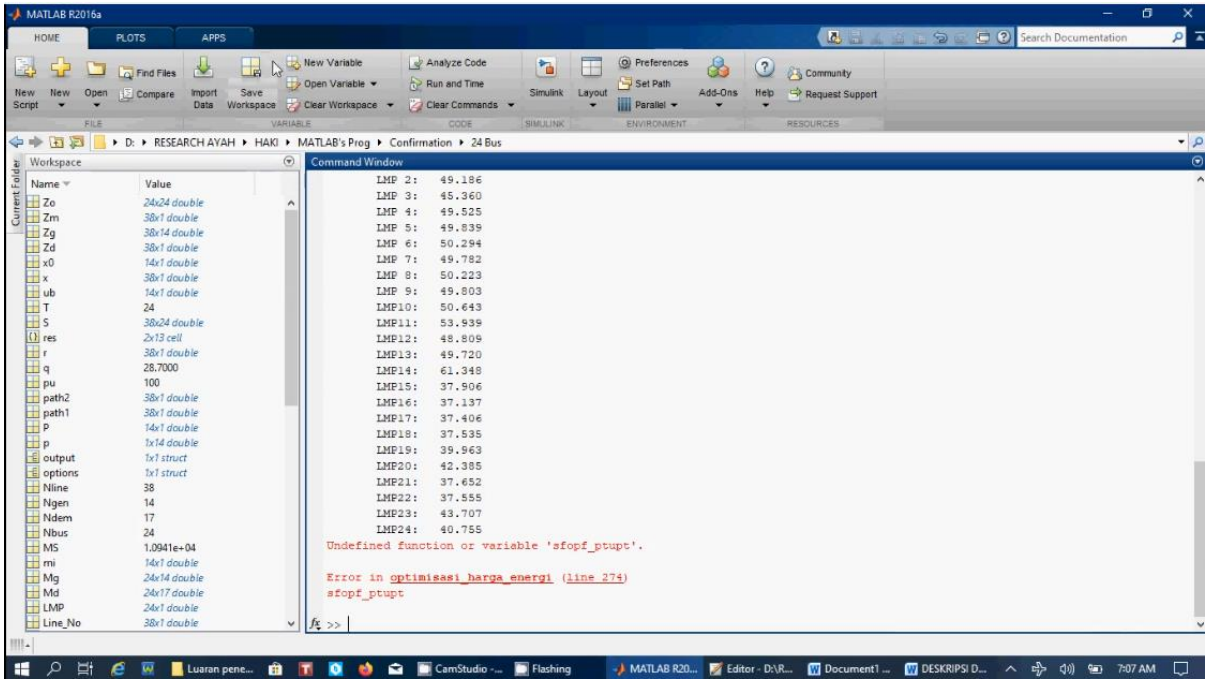
MUH. BACHTIAR NAPPU, ST., MT., M.Phil., Ph.D. **NIDN: 0006047603**

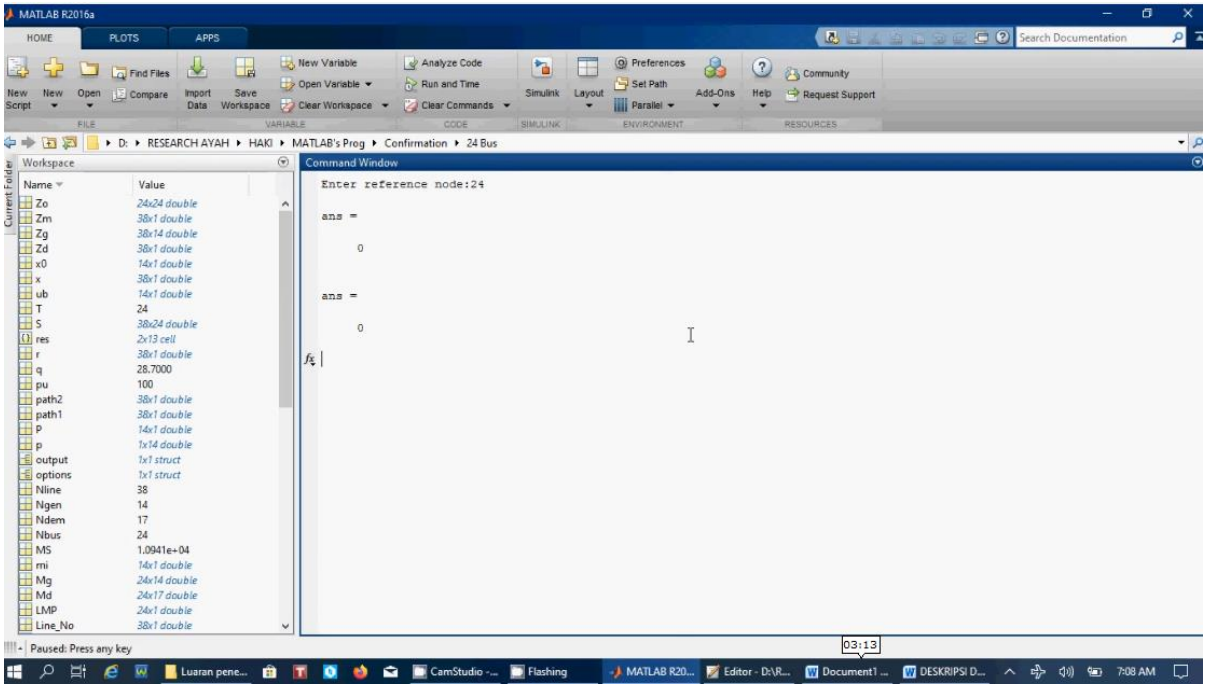
ARDIATY ARIEF, ST., MTM., Ph.D. **NIDN: 0024057801**

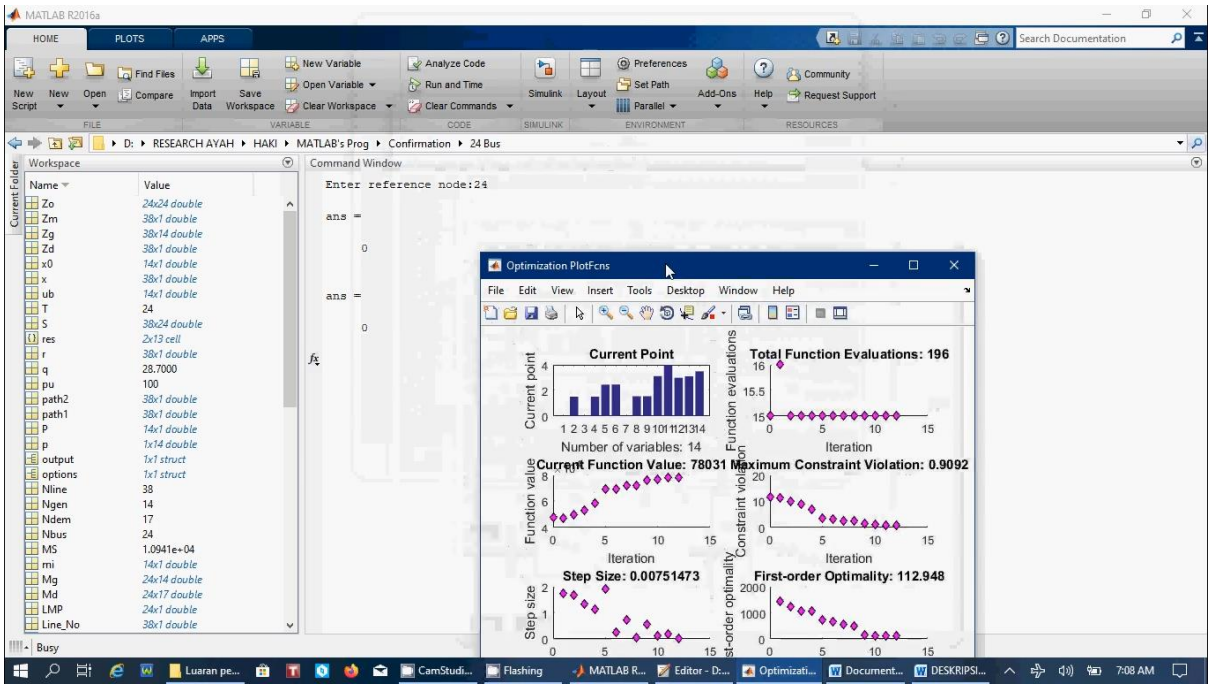
UNIVERSITAS HASANUDDIN

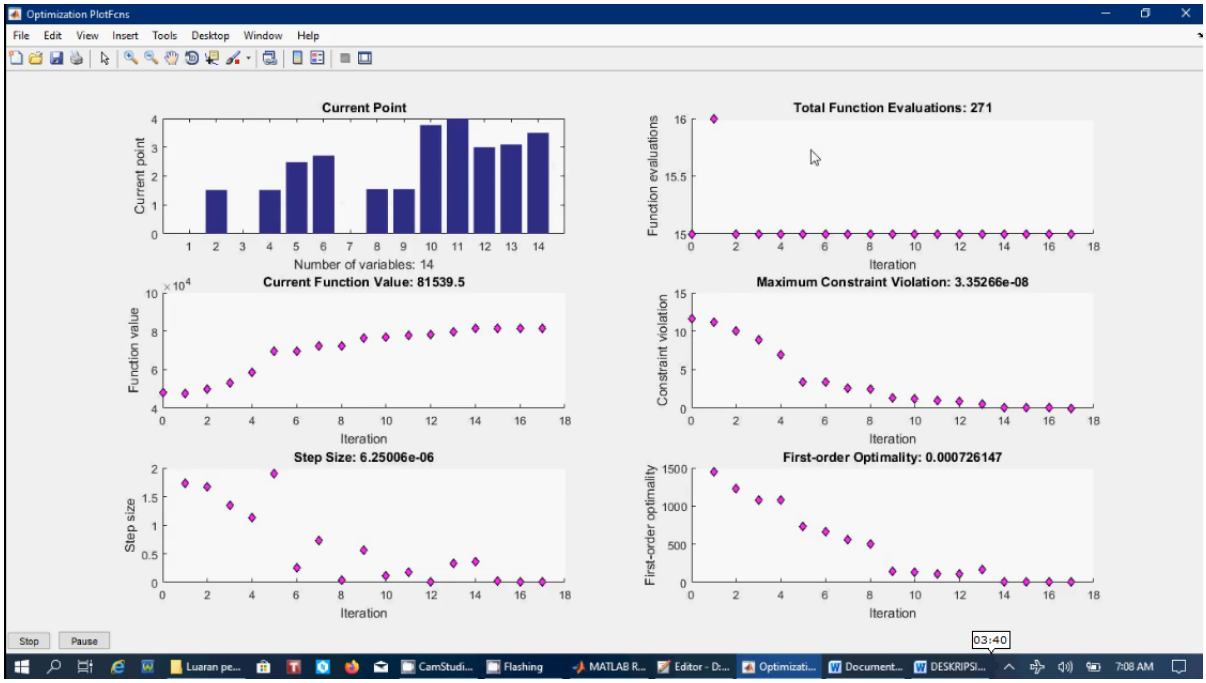
2021


Editor - D:\RESEARCH AYAH\HAKI\MATLAB's Prog\Confirmation\24 Bus\optimisasi_harga_energi.m
EDITOR
PUBLISH
VIEW
optimisasi_harga_energi.m
This file can be opened as a Live Script. For more information, see Creating Live Scripts.
%% Perform Branch Flow Direction Matrix [A]
A = zeros (Nline,Nbus);
for i=1:Nline
for j=1:Nbus
if j==path1(i)
A(i,j)=1/x(i);
elseif j== path2(i)
A(i,j)=-1/x(i);
else
A(i,j)=0;
end
end
end
%% Perform Shift Factor Matrix [S]
S =A*Zo;
Mg=zeros(Nbus,Ngen); %Matrix for Bus-connected Generator [Mg]
Md=zeros(Nbus,Ndem); %Matrix for Bus-connected Demand/Load [Md]
for i=1:Nbus
for j=1:Ngen
if g_bus(j)==i
Mg(i,j)=1;
end
end
script
Ln 13
Col 57


MATLAB R2016a
HOME
PLOTS
APPS
Search Documentation
D: ▸ RESEARCH AYAH ▸ HAKI ▸ MATLAB's Prog ▸ Confirmation ▸ 24 Bus
Workspace
Name
Value
Zo 24x24 double
Zm 38x1 double
Zg 38x14 double
Zd 38x1 double
x0 14x1 double
x 38x1 double
ub 14x1 double
T 24
S 38x24 double
res 2x13 cell
r 38x1 double
q 28.7000
pu 100
path2 38x1 double
path1 38x1 double
P 14x1 double
p 1x14 double
output 1x1 struct
options 1x1 struct
Nline 38
Ngen 14
Ndem 17
Nbus 24
MS 1.0941e+04
mi 14x1 double
Mg 24x14 double
Md 24x17 double
LMP 24x1 double
Line_No 38x1 double
Command Window
LMP 2: 49.186
LMP 3: 45.360
LMP 4: 49.525
LMP 5: 49.839
LMP 6: 50.294
LMP 7: 49.782
LMP 8: 50.223
LMP 9: 49.803
LMP10: 50.643
LMP11: 53.939
LMP12: 48.809
LMP13: 49.720
LMP14: 61.348
LMP15: 37.906
LMP16: 37.137
LMP17: 37.406
LMP18: 37.535
LMP19: 39.963
LMP20: 42.385
LMP21: 37.652
LMP22: 37.555
LMP23: 43.707
LMP24: 40.755
Undefined function or variable 'sfopf_ptupt'.
Error in optimisasi_harga_energi (line 274)
sfopf_ptupt
>>


MATLAB R2016a
HOME
PLOTS
APPS
Search Documentation
New Script
New
Open
Find Files
Compare
Import Data
Save Workspace
New Variable
Open Variable
Clear Workspace
Analyze Code
Run and Time
Clear Commands
Simulink
Layout
Preferences
Set Path
Parallel
Add-Ons
Help
Community
Request Support
FILE
VARIABLE
CODE
SIMULINK
ENVIRONMENT
RESOURCES
D: ▸ RESEARCH AYAH ▸ HAKI ▸ MATLAB's Prog ▸ Confirmation ▸ 24 Bus
Workspace
Name
Value
Zo 24x24 double
Zm 38x1 double
Zg 38x14 double
Zd 38x1 double
x0 14x1 double
x 38x1 double
ub 14x1 double
T 24
S 38x24 double
res 2x13 cell
r 38x1 double
q 28.7000
pu 100
path2 38x1 double
path1 38x1 double
P 14x1 double
p 1x14 double
output 1x1 struct
options 1x1 struct
Nline 38
Ngen 14
Ndem 17
Nbus 24
MS 1.0941e+04
mi 14x1 double
Mg 24x14 double
Md 24x17 double
LMP 24x1 double
Line_No 38x1 double
Command Window
Enter reference node:24
ans =
0
ans =
0
Paused: Press any key
03:13
7:08 AM


MATLAB R2016a
Optimization PlotFcns
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
Current Point
Current point
Number of variables: 14
Total Function Evaluations: 196
Function evaluations
Iteration
Current Function Value: 78031
Function value
Maximum Constraint Violation: 0.9092
Constraint violation
Step Size: 0.00751473
Step size
First-order Optimality: 112.948
First-order optimality
Enter reference node:24
Busy
7:08 AM


Optimization PlotFcns
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
Current Point
Current point
Number of variables: 14
Total Function Evaluations: 271
Function evaluations
Iteration
Current Function Value: 81539.5
Function value
Iteration
Maximum Constraint Violation: 3.35266e-08
Constraint violation
Iteration
Step Size: 6.25006e-06
Step size
Iteration
First-order Optimality: 0.000726147
First-order optimality
Iteration
Stop
Pause
03:40
7:08 AM

Dokumen pendukung luaran Tambahan #1

Luaran dijanjikan: Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional

Target: accepted/published
Dicapai: Published

Dokumen wajib diunggah:
1. Artikel yang terbit

Dokumen sudah diunggah:
1. Artikel yang terbit

Dokumen belum diunggah:
-

Nama jurnal: Archives of Electrical Engineering
Peran penulis: co-author | EISSN: 1427-4221
Nama Lembaga Pengindek: Scopus
URL jurnal: https://journals.pan.pl/aee/137570
Judul artikel: Prediction of lightning density value tower based on Adaptive Neuro-fuzzy Inference System
Tahun: 2021 | Volume: 70 | Nomor: 3
Halaman awal: 499 | akhir: 508
URL artikel: https://journals.pan.pl/dlibra/publication/137570/edition/120515/content
DOI: DOI: 10.24425/aee.2021.137570

DOI 10.24425/aee.2021.137570

Prediction of lightning density value tower based on Adaptive Neuro-fuzzy Inference System

SRI MAWAR SAID[1], MUHAMMAD BACHTIAR NAPPU[1], ANDARINI ASRI[2], BAYU TRI UTOMO[1]

[1] *Hasanuddin University*
Indonesia

[2] *Ujung Pandang State Polytechnic*
Indonesia

e-mail: srimawarsaid@gmail.com

(Received: 02.07.2020, revised: 18.01.2021)

Abstract: Lightning is one of the causes of transmission disorders and natural phenomena that cannot be avoided. The South Sulawesi region is located close to the equator and has a high lightning density. This condition results in lightning susceptibility of disturbances to electrical system lines, especially in high-voltage airlines and substations. An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) will show the Root Mean Square Error (RMSE) based on the membership function type. This journal is to predict the value of the transmission tower lightning density using the ANFIS method. The value of the lightning strike density index can later be determined based on ANFIS predictions. Analysis of the value calculation system of structural lightning strikes in the South Sulawesi region of the Sungguminasa-Tallasa route can be categorized as three characteristics lightning density (Nd). The calculation system results for the value of structural lightning struck in the South Sulawesi region and validated between manual calculations and ANFIS with an average percentage of 0.0554%.

Key words: Adaptive Neuro-fuzzy Inference System, lightning density prediction tower, Transmission Line Arrester

1. Introduction

With the growth of technology, electricity demand is increasing, and an improvement must follow this development in the quality of the electricity produced, namely the electric power system's quality and reliability [1]. PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) is a company tasked

© 2021. The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives License (CC BY-NC-ND 4.0, https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the Article is properly cited, the use is non-commercial, and no modifications or adaptations are made.

with planning, making, and maintaining the electric power system in Indonesia. This company guarantees the electric power system and the quality of electricity to consumers [2].

South Sulawesi is located in the equatorial region with a tropical climate and high humidity [3]. The conditions cause South Sulawesi to have a higher percentage of lightning strikes, and for those strikes to be higher in power. This lightning strike can disrupt the distribution area (transmission and distribution) of electric power. One of the causes of interference among the many disruptions in the electric power system is occurred by lightning strikes.

Several research titles concerning the disorder caused by lightning and arrester placement have been discussed in the past. A lightning strike and the performance of the arrester input it between GI Bone and GI Sinjai [4]. The earthing value is due to a lightning strike in a 150 kV transmission line system, especially the GI transmission line Sungguminasa-GI Tallasa [5]. Research on modeling a 132 kV transmission tower simulated using ATP-EMTP by placing various arresters including, an IEEE model, Pincetti model, and Fernandez model [6], and this research is on how to get determines the lighting structure's strike value accurately using the ANFIS method. ANFIS is used to get the value of the structure's lightning strike on the tower transmission. Then we can determine which towers are included in the critical category on the transmission line. The results of grouping the critical tower is then simulated with an IEEE model arrester to analyze the voltage value impulse that occurs due to lightning in the transmission line. The critical tower is then simulated with an IEEE model arrester to analyze the voltage value impulse that occurs due to the lightning transmission line.

In this paper, a study will be conducted on obtaining accurate lightning strike density values using the ANFIS method [7, 8]. ANFIS is a method that is often used for predictions and forecasting, with good accuracy. ANFIS is a combination of the backpropagation neural network concept with the fuzzy logic concept. The backpropagation neural network has the advantage of recognizing a data/object based on a set of features that are input to the system. Meanwhile, fuzzy-based systems can be expressed with knowledge in the form of "if-then", which provides the advantage of not requiring mathematical analysis for modeling. Besides, fuzzy systems can also process human reasoning and knowledge-oriented towards qualitative aspects.

ANFIS is an adaptive neural network based on a fuzzy inference system using a hybrid learning procedure. ANFIS can build an input-output mapping based on human knowledge (in the form of fuzzy if-then rules) with the right membership function. Fuzzy conclusion systems that utilize fuzzy if-then rules can model qualitative human knowledge aspects and provide reasoning processes without utilizing appropriate quantitative [9, 10]. In this paper, ANFIS is used to get the value of the structure of lightning density in a transmission tower. ANFIS is used to obtain the value of critical tower lightning density. The tower is in critical condition due to the tower's high lightning strike value, which will be input in the installation of the Transmission Line Arrester (TLA).

2. Transmission system

An electric power system consists of three main parts: a central power plant, transmission line, and distribution system. The transmission line is a link between power centers and distribution systems. The connection between the systems can also lead to other power systems. A distribution system connects all loads separated from each other to the transmission line [11].

2.1. Transmission tower

The electric power channeled through the transmission system generally uses bare wire to rely on-air as a means of insulation between the conductive wire with surrounding objects. The tower is sturdy building construction whose function is to support/span the connecting wire with height and distance sufficient to be safe for humans and the surrounding environment.

There are three different transmission tower models examined. One of them we know is the multistory model designed in [6]. A multistory tower is a composition of parameter distributions with parallel RL [12].

Several tower structures are modeled, in research [13], tower structures at a voltage of 150 kV, as shown in Figure 1.

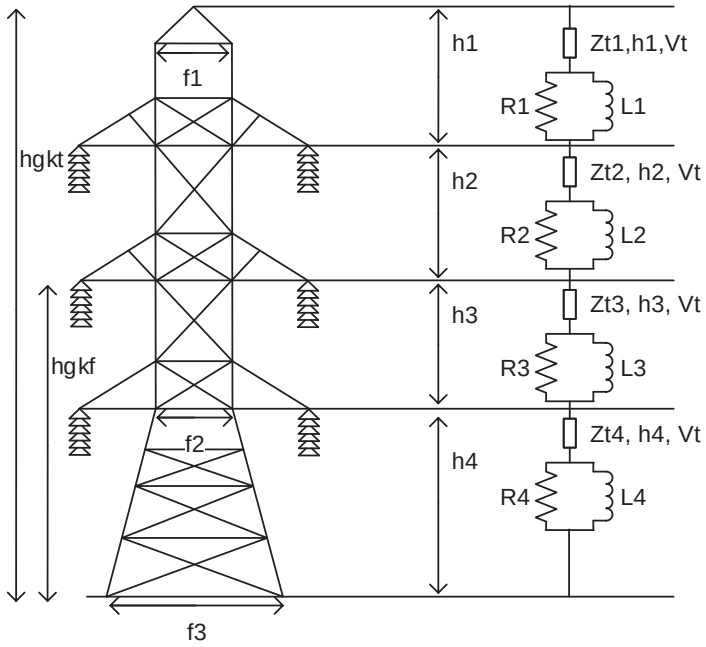


Fig. 1. Tower transmission 150 kV

In this paper, the study has used a 150 kV tower because generally electricity in Indonesia uses a 150 kV tower. The data that has been researched is the data from PLN, and PLN uses a 150 kV tower in the South Sulawesi area. The disadvantage of 150 kV towers is a short distance between them, but one of the advantages of a 150 kV tower is that with a voltage of 150 kV it is still possible to distribute a 400 MVA of power/circuit.

2.2. Transmission line protection from lightning strikes

The conventional protection system commonly used is the cone protection system, which is a simple method of protecting area by using an upright conductor called the 1st method. The second way is the Faraday Cage used for lightning protection of buildings. The third method will

be discussed later by using a rolling ball. For the 4th way, similar to the 3rd way, the drawing model uses a satellite dish method. The cone protection method (existing design) and the rolling sphere method (design improvement) were selected by choosing between several methods.

The existing design (cone protection method) method is used to facilitate the determination of a good protection angle. Determining the magnitude of the angle that can provide good protection against interference, especially in lightning strikes, can be seen in Figure 2.

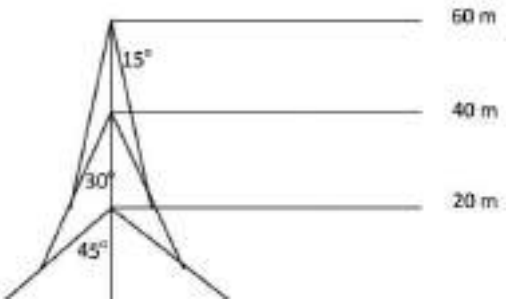


Fig. 2. Cone model lightning protection system

The rolling sphere method is an electrometric concept or rolling ball method connecting the distance of lightning to its peak current. This concept says that an imaginary ball with the lead of the leader at the center of the ball is rolled into a structure. All contact points that hit the surface of the ball will then be struck by lightning. This method is straightforward in determining the design of reliable lightning protection. Figure 3 shows a 150 kV SUTT tower using the rolling sphere method [14, 15].

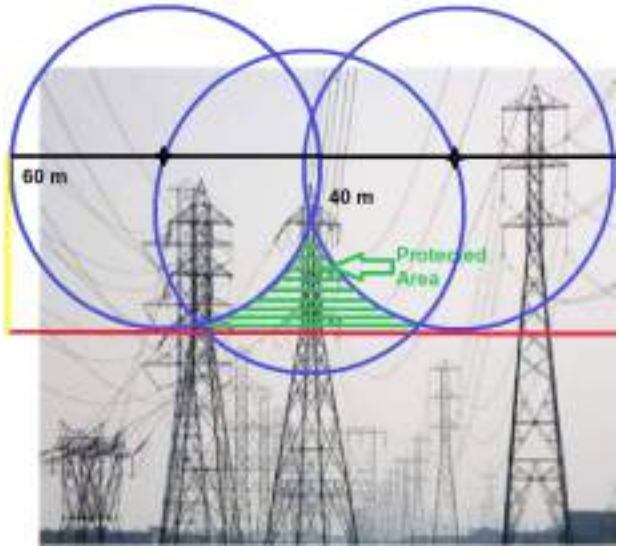


Fig. 3. SUTT tower 150 kV using rolling sphere method

The electrometry concept or the rolling ball method relates the distance of the lightning strike to its peak current. The concept states thet an imaginary sphere with the leading tip at the center of the ball rolls into a structure. All points of contact that hit the surface of the ball will then be struck by lightning. This method makes it very easy to determine a reliable lightning protection design. The analysis shows that the height of the high-voltage overhead tower affects the disturbance that occurs due to lightning strikes. To minimize transmission disruption due to lightning strikes, the existing design method (cone protection method) can be used very well for lightning strike protection, while the rolling sphere method is better because it is more reliable in protecting lightning strikes on 150 kV transmission lines.

2.3. Calculation of lightning structure value of lightning tower

An overhead transmission line can form a shadow of electricity on the ground below the transmission line. The width of the electric shadow for a transmission line has been provided [16].

$$hgwkt = hgkt - 1/2(hgkt - hgkf), \tag{1}$$

$$hg = hgkt - 2/3(hgkt - hgwkf). \tag{2}$$

The width of the shadow is formulated:

$$W2 = \left(b + 4 \cdot hg^{1.09}\right). \tag{3}$$

The span of tower 2 is the average distance from the tower to tower.
Area of shadows for a transmission span (L):

$$L2 = (\text{span1} + \text{span2})/2. \tag{4}$$

The span protection area ($A2$):

$$A2 = W2 \times L2. \tag{5}$$

The lightning density on the tower *(Nd)*:

$$N_d = 0.15IKL \times A2. \tag{6}$$

Notes: *hgkt* is the maximum height of the ground wire; *hgkf* is the maximum height of the phase wire; *hg* is the height of the tower; *hgwkt* is the maximum height of the ground wire in spans; b is the distance between ground wires; $W2$ is the protection shadow width; $L2$ is the average tower distance; span 1 is the distance for tower 1; span 2 is the distance for tower 2 or after the tower before; $A2$ is the area of protection; N_d is the value of strikes on the structure (annual strokes).

2.4. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) is an adaptive network based on a fuzzy inference system. Using a hybrid learning procedure, ANFIS can build an input-output mapping based on human knowledge (in the form of fuzzy if-then rules) with an appropriate membership function.

Illustration of the first-order TSK fuzzy inference mechanism with two inputs x and y [10]. The rule base with two fuzzy if-then rules as below:

Rule 1: if x is A_1 and y is B_1 then $f_1 = p_{1x} + q_{1y} + r_1$.

Premise consequent

Rule 2: if x is A_2 and y is B_2 then $f_2 = p_{2x} + q_{2y} + r_2$.

Premise consequent

Input: x and y consequent are f.

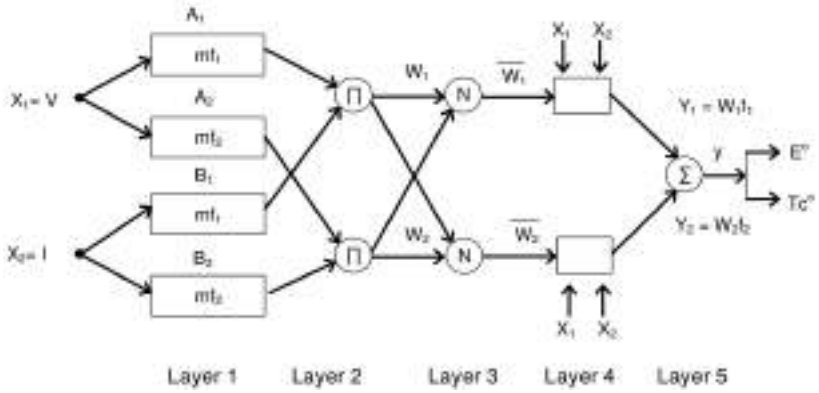


Fig. 4. ANFIS structure for the first-order

The ANFIS architecture consists of five layers, each of which has functions that can be explained as follows.

1. Layer 1: serves as a fuzzy process. The output of node i on Layer 1 is denoted as Oi. So, each node in Layer 1 functions to generate a degree of membership (part of the premise).
2. Layer 2: notated π. Each node in this layer functions to calculate the activation strength (firing strength) on each rule as a product of all incoming inputs.
3. Layer 3: denoted by N. Each node in this layer is non-adaptive which functions only to calculate the ratio between firing strength in the I rule to the total firing strength of all rules.
4. Layer 4: each node in this layer is adaptive w_1, is the output of Layer 3 ($p_{1x} + q_{1y} + r_1$), is the set of parameters in the first-order Sugeno fuzzy model.
5. Layer 5: a single node denoted $\sum$ on this layer functions to aggregate all output from Layer 4.

2.5. Strengths and weakness of ANFIS

The control system will use a system that combines a fuzzy system and an artificial neural network system. This system is known as the neuro-fuzzy system or ANFIS.

The basis of the integration are the advantages and disadvantages of each system. Artificial neural networks can recognize the system through a learning process to improve adaptive parameters. The advantage of fuzzy inference systems is that they can translate knowledge from experts in rules. Still, it usually takes a long time to determine the membership function. Therefore it takes learning techniques from artificial neural networks to automate the process so that it can

reduce search time; this causes the ANFIS method to be very well applied in various fields. The weakness of this system is the complexity of the structure. The fuzzy system has a concept similar to the concept of human thinking.

The combination of the two will complement each other's strengths and weaknesses. Several studies have been carried out to see the comparison between ANFIS and a Fuzzy Logic Controller (FLC), the ANFIS results are better than those of an LFC [17, 18]. There are also studies on the comparison of ANFIS and an Artificial Neural Network (ANN). The results of this study indicate that ANFIS is better than an ANN [19]. Other studies also compared ANFIS with some artificial intelligence such as an Firefly Algorithm (FA), Particle Swarm Optimization (PSO), and Imperialist Competitive Algorithm (ICA). The results of this study indicate that ANFIS is better than artificial intelligence such as a Firefly Algorithm (FA), Particle Swarm Optimization (PSO), and Imperialist Competitive Algorithm (ICA) [20].

3. Simulation result and discussion

Processing calculation data into artificial intelligence makes it easier to get the value of the tower's lightning strike density [21]. The artificial intelligence used is the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS).

The results of the calculation of the lightning strike value in the form of whitehead then become input data for data processing in ANFIS, Process Stages of Simulation:

a. Data Load Phase (Data Entering Phase)
b. The Generate FIS Phase (Generating FIS Stage)
c. FIS Training Stage (FIS Learning Stage)
d. FIS Test Stage (FIS Validation Stage).

3.1. Learning process podel (training)

Based on the comparison of the RMSE (Root Mean Square Error) learning process (training) in Table 1, the most optimal method for this case is:

a. Learning algorithm: hybrid method
b. Type of membership function (MF): *psignmf*
c. Epoch: 50
d. Error tolerance: 0
e. Input parameters: (3 3 3 3) f.

It consists of 81 rules. The method is taken from the lowest error rate.

Figure 5 shows ANFIS neurons consisting of 4 inputs$_2$ one output, and 81 rules.

To make it easier to see the rule, we can see the surface viewer in Figure 7 through Figure 6 to observe the relationship between the four inputs and the output of ANFIS. Figure 6 shows four inputs (*hgkt*, *hgkf*, *b*, and span) and one output (*Nd*). Dataanfisrev is a training process in ANFIS processing to produce the output of ANFIS.

Figure 7 shows the surface viewer of *hgkt*, *hgkf*, and Nd_2, where the X-axis is $hgkt_2$, Y-axis is *hgkf*, and the Z-axis is *Nd*.

Figure 8 shows the surface viewer of *hgkt*, *b*, and Nd_2, where the X-axis is *hgkt*, the Y-axis is *b*, and the Z-axis is *Nd*.

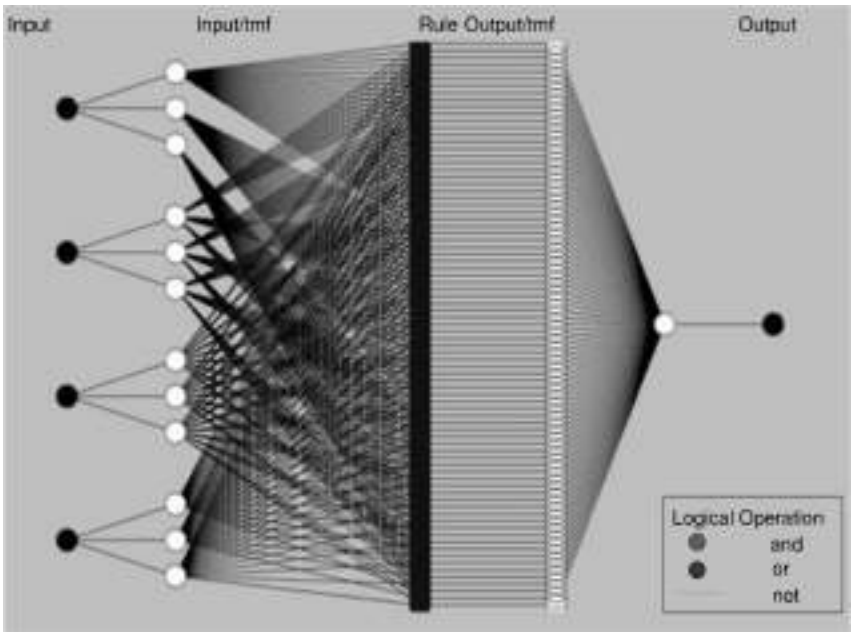


Fig. 5. Learning process model (training)

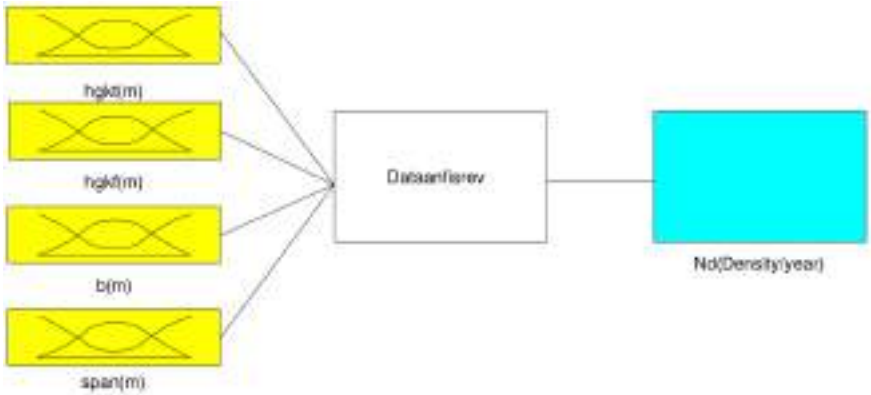


Fig. 6. FIS learning editor (training)

Figure 9 shows the surface viewer of *hgkt*, span, and Nd_2, where the X-axis is $hgkt_2$, Y-axis is the span distance, and the Z-axis is *Nd*.

Figure 10 shows the surface viewer of *hgkf*, *b*, and *Nd*, where the X-axis is $hgkf_2$, the Y-axis is b_2 and the Z-axis is *Nd*.

Figure 11 shows the surface viewer of *hgkf*, span distance, and Nd_2, where the X-axis is $hgkf_2$, the Y-axis is the span distance, and the Z-axis is *Nd*.

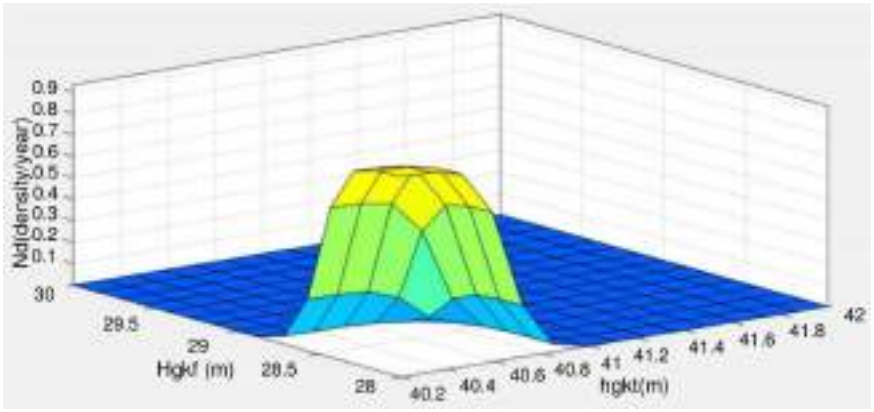


Fig. 7. Surface viewer between *hgkt* and *hgkf*

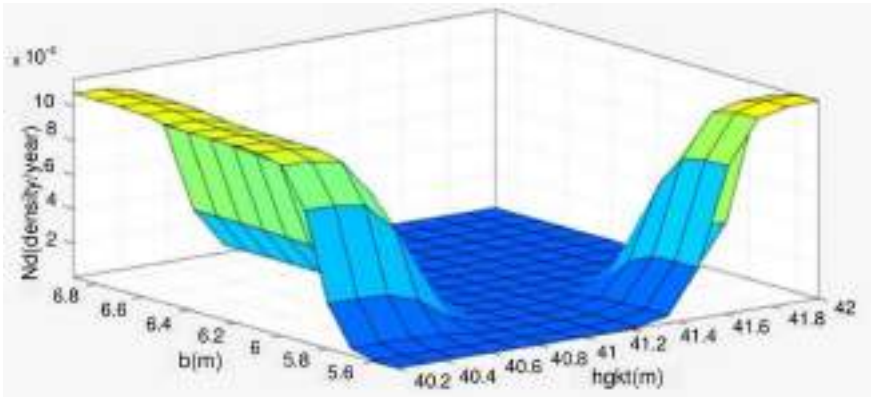


Fig. 8. Surface viewer between *hgkt* and *b*

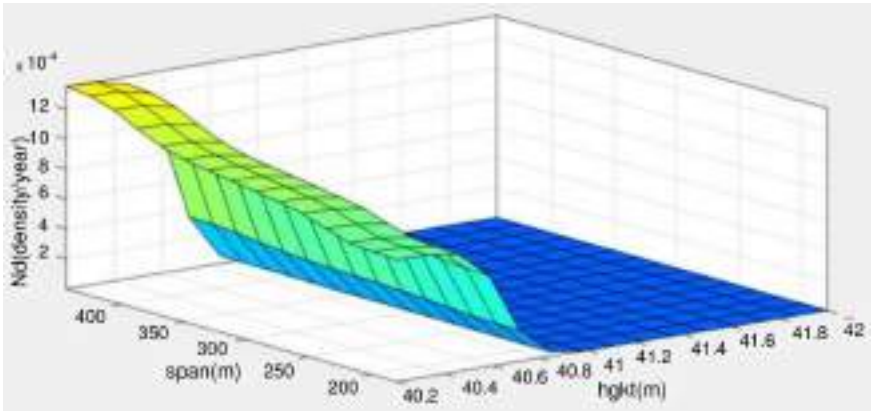


Fig. 9. Surface viewer *hgkt* and span distance

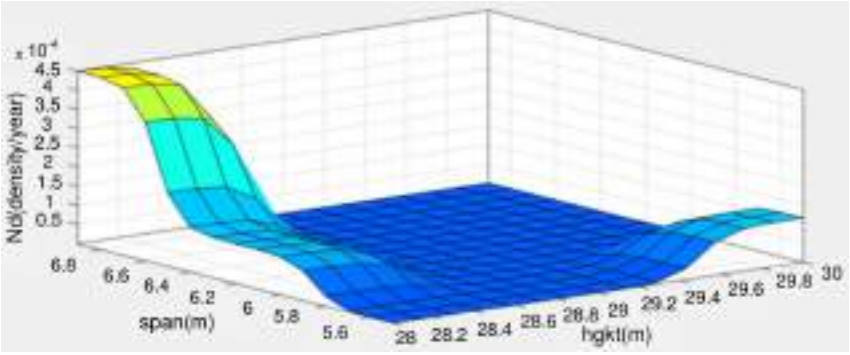


Fig. 10. Surface viewer *hgkf* and *b*

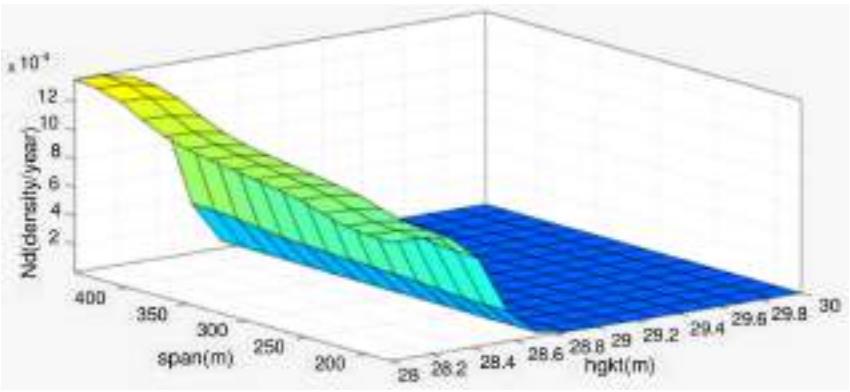


Fig. 11. Surface viewer *hgkf* and span distance

Figure 12 shows a surface viewer of *b*, span distance, and Nd_2, where the X-axis is b_2, the Y-axis is the span distance, and Z-axis is Nd.

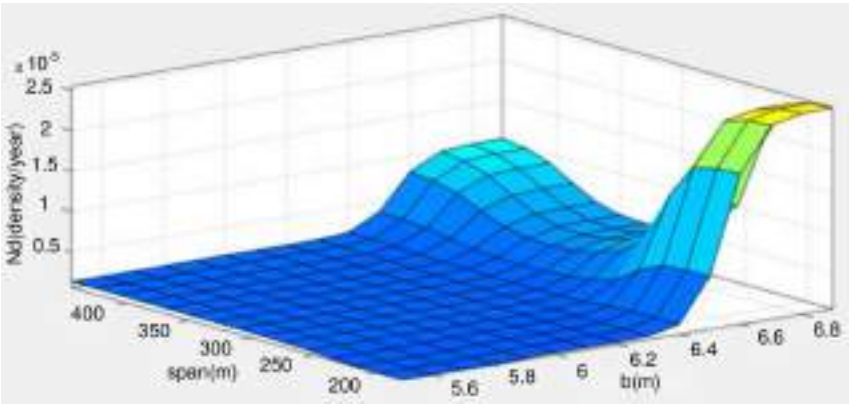


Fig. 12. Surface viewer span distance and *b*

3.2. The results of ANFIS

Table 1 compares RMSE for two methods, Hybrid and Backpropagation, in the learning process (training) and the validation process (testing). The lowest RMSE in the learning process is 0.07588 for training data and 0.07588 for testing with *dsignmf* and *psignmf* membership functions.

Table 1. RMSE comparison of Hybrid and Backpropagation methods

RMSE (Root Mean Square Error)				
Membership Function	**Data Training**		**Data Testing**	
	Hybrid	**Back-propagation**	**Hybrid**	**Back-propagation**
trimf	0.07589	0.48271	0.07589	0.47364
trapmf	0.07886	0.46583	0.07886	0.45786
gbellmf	0.07597	0.51851	0.07597	0.50895
gaussmf	0.07592	0.49996	0.07592	0.49049
gauss2mf	0.07782	0.46550	0.07782	0.45746
pimf	0.07989	0.46534	0.07989	0.45754
dsignmf	0.07588	0.44199	0.07588	0.43343
psignmf	0.07588	0.44181	0.07588	0.43325

From the results obtained through ANFIS, the results are loading and testing. ANFIS can predict through the lightning density values that often appear when a lightning strike occurs based on the tower input data processed by ANFIS.

3.3. GUI (graphical user interface)

The display of the model of determining the value of the structure of lightning strikes based on adaptive neuro-fuzzy inference systems uses the Matlab software, with lightning strike value output. The rule used is from the ANFIS rule with the AND logic function. The display of the lightning strike value structure based on the adaptive neuro-fuzz inference system is shown in Figure 13.

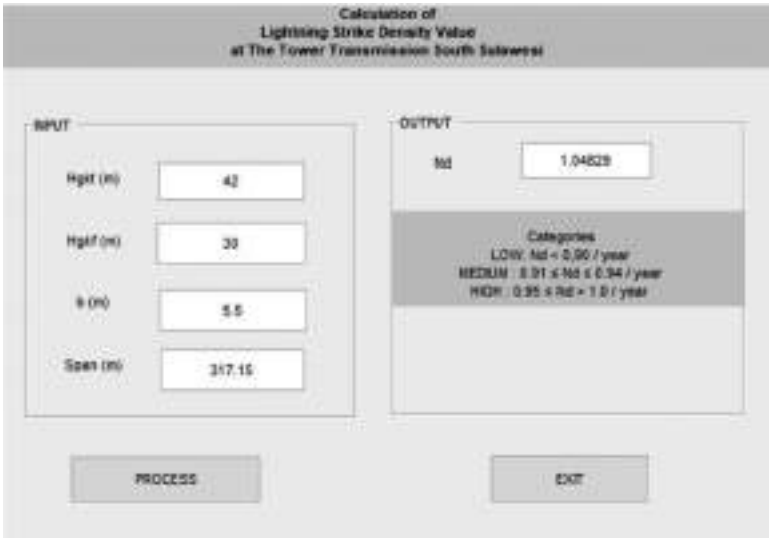


Fig. 13. Display GUI prediction of lightning strike tower value

4. Conclusions

This paper analysis allowed one to conclude that several things are needed to determine the value of the lightning strike structure of the South Sulawesi region:

1. The result shows ANFIS simulation with a hybrid algorithm and backpropagation algorithm hybrid. The backpropagation algorithm with *trimf*, *tramf*, *gbellmf*, and *gaussmf* functions shows the comparison of the RMSE for two methods, namely Hybrid and Backpropagation, in the learning process (training) and the validation process (testing). The lowest RMSE in the learning process is 0.07588 with the *gaussmf* membership function for training and testing data.
2. The calculation system results for the value of structural lightning struck in the South Sulawesi region are shown. They validated manual calculations and ANFIS with an average percentage of 0.0554%.
3. Based on this research, we can calculate the value of lightning density (*Nd*) by using ANFIS, which is programmed in a GUI. This GUI makes it easy to find out the lightning density (*Nd*) value on the tower.

References

[1] Utomo B.T., Nappu M.B., Said S.M., Arief A., *The Placement of the Transmission Lightning Arrester (TLA) at 150 kV Network using Fuzzy Logic*, in 2018 10th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), pp. 347–352 (2018).

[2] Rawi I.M., Kadir M.Z.A.A., Azis N., *Lightning study and experience on the first 500kV transmission line arrester in Malaysia*, in 2014 International Conference on Lightning Protection (ICLP), pp. 1106–1109 (2014), DOI: 10.1109/ICLP.2014.6973289.

[3] Gassing, *Analisis Sistem Proteksi Petir (Lighting Performance) Pada Sutt 150 kV Sistem Sulawesi Selatan*, vol. 6, pp. 978–979 (2012).

[4] Apriyadi M., Manjang S., Nappu M.B., *Tegangan Impuls Dan Arus Transien Jaringan Transmisi 150 kV Sinjai-Bone Akibat Sambaran Petir Menggunakan ATPDraw*, Jurnal Sains dan Teknologi, vol. 3, no. 2, pp. 156–164 (2014).

[5] Lembang N., Manjang S., Kitta I., *Efek Penurunan Tahanan Pembumian Tower 150 kV terhadap Sistem Penyaluran Petir*, J. Penelit. Enj., vol. 21, no. 2, pp. 7–15 (2017).

[6] Islam M.Z., Rashed M.R., Yusuf M.S.U., *ATP-EMTP modeling and performance test of different type lightning arrester on 132kv overhead transmission tower*, in 2017 3rd International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), pp. 1–6 (2017).

[7] Houari K., Hartani T., Remini B., Lefkir A., Abda L., Heddam S., *A hybrid model for modelling the salinity of the Tafna River in Algeria*, J. Water L. Dev., vol. 40, no. 1, pp. 127–135 (2019).

[8] Gubán M., Kása R., Takács D., Avornicului M., *Trends of using artificial intelligence in measuring innovation potential*, Manag. Prod. Eng. Rev., vol. 10 (2019).

[9] Jang J.S.R., *MATLAB: Fuzzy logic toolbox user's guide: Version 1* (1997).

[10] Said S.M., Latief S., *Determination Of Sensorless Input Parameters Of Solar Panel With Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Anfis) Methods*, Indonesia (2018).

[11] Marsudi D., *Operasi Sistem Tenaga Listrik* (2006).

[12] Ishii M. *et al.*, *Multistory transmission tower model for lightning surge analysis*, IEEE Trans. Power Deliv., vol. 6, no. 3, pp. 1327–1335 (1991).

[13] Ito T., Ueda T., Watanabe H., Funabashi T., Ametani A., *Lightning flashovers on 77-kV systems: observed voltage bias effects and analysis*, IEEE Trans. Power Deliv., vol. 18, no. 2, pp. 545–550 (2003).

[14] Correia M.T., Festas J., Milheiras H., Felizardo N., Fernadez M., Sousa J., *Methodologies for evaluating the lightning performance of transmission lines*, ICOLIM (1998).

[15] Oktaviani W.A., Hati I.P., *Efektifitas Perlindungan Kawat Tanah Jaringan SUTM 20 kV Gardu Induk Boom Baru Palembang*, PROtek J. Ilm. Tek. Elektro, vol. 6, no. 2, pp. 90–95 (2019).

[16] Nugroho A., Syakur A., *Penentuan Lokasi Pemasangan Lightning Masts Pada Menara Transmisi Untuk Mengurangi Kegagalan Perlindungan Akibat Sambaran Petir*, Transmisi, vol. 7, no. 1, pp. 31–36 (2005).

[17] Simon R., Geetha A., *Comparison on the performance of Induction motor control using fuzzy and ANFIS controllers*, in 2013 IEEE International Conference ON Emerging Trends in Computing, Communication and Nanotechnology (ICECCN), pp. 491–495 (2013).

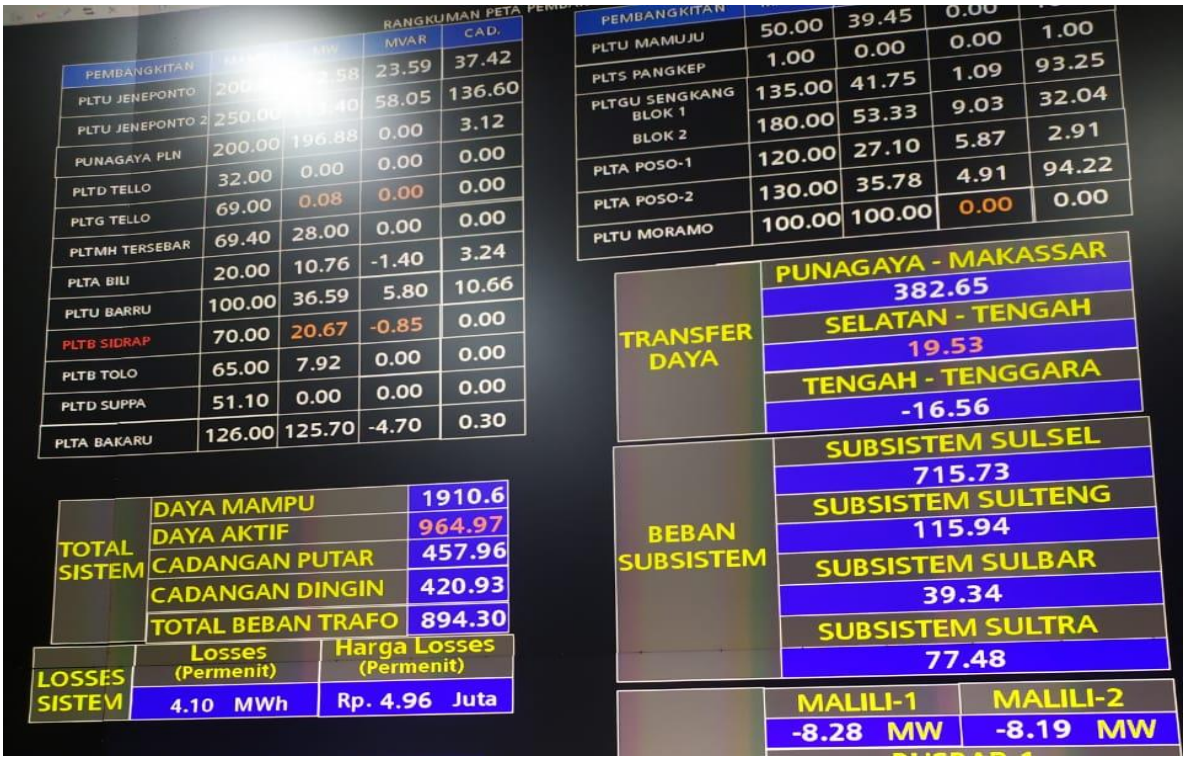
[18] Lincy L.M., Senthil K.R., *Comparison Analysis of Fuzzy Logic and ANFIS Controller for Mitigation of Harmonics*, Proc. 4th Int. Conf. Electr. Energy Syst. ICEES 2018, pp. 578–583 (2018).

[19] Rahman M.M.A., Rahim A., *Performance evaluation of ANN and ANFIS based wind speed sensorless MPPT controller*, in 2016 5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV), pp. 542–546 (2016).

[20] Ali M., Nurohmah H., Raikhani A., Sopian H., Sutantra N., *Combined ANFIS method with FA, PSO, and ICA as Steering Control Optimization on Electric Car*, in 2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS), pp. 299–304 (2018).

[21] Aniserowicz K., *Analytical calculations of surges caused by direct lightning strike to underground intrusion detection system*, Bull. Polish Acad. Sci. Tech. Sci., vol. 67, no. 2 (2019).

Dokumen Realisasi Mitra

KONTRIBUSI/KERJASAMA MITRA

- Mitra membantu dalam memperoleh data-data teknikal yang diperlukan
- Mitra membantu menyediakan akses pemantauan pembangkitan secara real-time
- Mitra membantu dalam berdiskusi terkait sistem kelistrikan dengan memperhatikan pusat-pusat pembangkit listriknya dengan sumber energi primer yang beragam.