

**KAJIAN REKAYASA PAPAN PARTIKEL BERBAHAN
BAKU PINUS YANG TAHAN RAYAP DAN AIR
DI SULAWESI SELATAN
TAHAP II**



Diterbitkan oleh :
Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah
(Balitbangda)
Provinsi Sulawesi Selatan
2013

**KAJIAN REKAYASA PAPAN PARTIKEL BERBAHAN BAKU LIMBAH
KAYU PINUS (*Pinus merkusii*) YANG TAHAN RAYAP DAN AIR**

TAHAP II



**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN DAERAH
(BALITBANGDA)**

PROPINSI SULAWESI SELATAN

2013

**KAJIAN REKAYASA PAPAN PARTIKEL BERBAHAN BAKU PINUS
YANG TAHAN RAYAP DAN AIR DI SULAWESI SELATAN
TAHAP II**

Tim Peneliti:

Abdul Karim, Indah Raya, Erna Mayasari, Nurfika, Rosmel Indah

Penyelaras akhir : Muslih Radi Abdullah

Tim Editing:

Muslih Radi Abdullah, Nur Ina, Faisah, Nur Anti

Diterbitkan Oleh:

**Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah
Provinsi Sulawesi Selatan**

Cetakan Pertama Oktoberberber 2013

Hak Cipta@2013

Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah (Balitbangda)

Provinsi Sulawesi Selatan

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

**Dilarang memgutip atau menyebarkan sebagian atau seluruh isi buku
ini tanpa izin tertulis dari penerbit**

ISBN: 978-979-716-069-2

KATA PENGANTAR

Puji syukur hanya kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karuniaNya, sehingga dengan perkenanNya penelitian sampai dengan penyusunan laporan ini dapat terlaksana dengan baik.

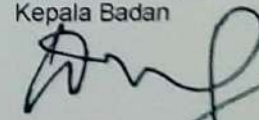
Kegiatan penelitian ini dilaksanakan karena semakin meningkatnya pemakaian kayu dalam berbagai bidang pembangunan, sementara kayu pinus kurang dimanfaatkan kerana kualitas kayu pinus termasuk kayu kelas rendah. Potensi kayu pinus dan sekam padi di Sulawesi-Selatan jika dapat diolah menjadi papan partikel yang tahan rayap dan air akan dapat dimanfaatkan dalam berbagai keperluan yang pada akhirnya akan menaikkan pendapatan petani secara langsung demikian pula terhadap pendapatan perkapita Sulawesi-Selatan.

Penelitian ini akan memperoleh komposisi dan perbandingan yang tepat dari seluruh komponen penyusunnya. Kajian rekayasa papan partikel berbahan baku pinus dan sekam padi diharapkan dapat menghasilkan prototipe papan partikel yang dapat dijadikan dasar untuk industri papan partikel yang tahan rayap dan air.

Kegiatan ini terlaksana atas bantuan dan kerjasama yang baik antara Balitbangda Provinsi Sulawesi Selatan dengan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) UNHAS, serta semua pihak yang telah membantu dan mendukung penelitian ini.

Akhir kata terima kasih kepada Pemerintah Provinsi Sulawesi-Selatan dan LP2M-UNHAS yang telah memfasilitasi secara finansial maupun non finansial kegiatan ini. Harapan kedepan semoga penelitian ini dapat memberikan solusi terhadap permasalahan dan pemenuhan kebutuhan kayu.

Makassar, Oktober 2013
Kepala Badan



Ir. H. Muhammad Rus Hafid
Pangkat : Pembina Utama Muda
NIP : 19540917 198203 1 005

ABSTRAK

Penelitian limbah serbuk gergaji pinus dan sekam padi yang dicampur dengan perekat. Dalam pembuatan air rebusan kacang kedelai (ARKK) dan makroalga *Sargassum duplicatum* telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan serbuk gergaji pinus dan sekam padi, campuran keduanya dengan perekat terbarukan dan ramah lingkungan dapat menggantikan perekat yang beracun dan karsinogenik. Sintesis dan pengujian perekat, pembuatan dan pengujian papan partikel dengan rasio 1:1, 1:0, 2:1, 4:1, 0:1, 1:2 dan 1:4. Perekat yang telah disintesis, kemudian dianalisis kenampakan, pH, kadar padatan, waktu gelatinisasi, densitas dan viskositas. Perekat yang terbuat dari ARKK dihasilkan masing-masing kekuningan, 10, 44,70%, 56 menit 29,71 detik, 1,1656 g/cm³ dan 182,4387 cps. Sementara perekat dari makroalga dari *S.duplicatum* dihasilkan masing-masing coklat tua, 10, 40,48%, 1 jam 13 menit 39 detik, 1,1661 g/cm³ dan 298,94937 cps. Papan partikel diuji dengan beberapa parameter, kerapatan papan partikel, kadar air, daya serap air, pengembangan tebal, MOR (Keteguhan patah) dan MOE (Keteguhan lentur). Perbandingan yang terbaik adalah 1:4 (Sekam padi: serbuk pinus). Hasil untuk masing-masing parameter adalah 0,7735 g/cm³, 5,48%, perendaman selama 2 jam 20,98%, perendaman selama 24 jam 39,88%, perendaman selama 2 jam 1,56%, perendaman selama 24 jam 2,71%, 101,1592 kg/cm² dan 18.248,3063 kg/cm². Selain itu, rasio untuk papan partikel menggunakan *S.duplicatum* telah menunjukkan hasil masing-masing adalah 0,7522 g/cm³, 4,613%, perendaman selama 2 jam 22,95%, perendaman selama 24 jam 33,99%, perendaman selama 2 jam 1,11%, perendaman selama 24 jam 3,40%, 110,2988 kg/cm² dan 20.093,615 kg/cm². Ringkasan, perekat ini sesuai dengan SNI 06-4567-1998 dan papan partikel sesuai dengan SNI 03-2105-1996.

Kata Kunci : Perekat, air rebusan kacang kedelai, *Sargassum duplicatum*, serbuk gergaji pinus dan sekam padi, papan partikel

ABSTRACT

Research of waste sawdust pine and rice husk that mix with adhesive. In the manufacture of boiled soybean water (BSW) and macroalgae *Sargassum duplicatum* have been done. This research aim to utilize the sawdust pine and rice husk, both of them are mix with a renewable and environmental adhesive that can replace the toxic and carcinogenic one. Synthesing and testing of adhesive, manufacturing and testing of particle board with rasio 1:1; 1:0; 2:1; 4:1; 0:1; 1:2 and 1:4. Analyzed adhesive has been synthesized in appearing colour, pH, solid contain, gelatination time, density and viscosity. Adhesive is made from BSW resulting yellowish, 10, 44.70%, 56 minutes 29.71 seconds, 1.1656 g/cm³ and 182,4387 cps, respectively. While adhesive from macroalgae of *S.duplicatum* resulting dark brown, 10, 40.48%, an hour 13 minutes 39 seconds, 1.1661 g/cm³ and 298.94937 cps, respectively. The particle board is tested with many parameters, namely particle board density, moisture, water absorption, thickness development, MOR (Modulus of Rapture) and MOE (Modulus of Elasticity). The best rasio is 1:4 (Rice husk:pine boards). that result for each parameter is 0.7735 g/cm³, 5.48%, immersion for 2 hours 20.98%, immersion for 24 hours 39.88%, immersion for 2 hours 1.56%, immersion for 24 hours 2.71%, 101.1592 kg/cm² and 18,248.3063 kg/cm². In addition, the ratio for particle board using *S.duplicatum* has showed result for each that they are 0.7522 g/cm³, 4.613%, immersion for 2 hours 22.95%, immersion for 24 hours 33.99%, immersion for 2 hours 1.11%, immersion for 24 hours 3.40%, 110.2988 kg/cm² and 20,093.615 kg/cm². The summary, the adhesive is suitable with SNI 06-4567-1998 and the particle board is suitable with SNI 03-2105-1996.

Key words: Adhesives, boiled soybean water (BSW), particle board, *Sargassumduplicatum*, sawdust pine and rice husk

3. Preparasi Bahan Baku Papan Partikel.....	36
4. Penentuan Perbandingan Campuran Sekam Padi dan Serbuk Gergaji dalam Pembuatan Papan Partikel dengan Bahan Dasar Perekat Air Rebusan Kacang Kedelai.....	37
5. Pengujian Sifat Fisis Papan Partikel.....	38
E. Analisis Data.....	41
BAB IV. PROSEDUR PELAKSANAAN KEGIATAN.....	42
BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	43
A. Pengambilan Percontoh.....	43
B. Sintesis Bahan Perekat/Lem.....	44
C. Analisis dan Karakterisasi Bahan Perekat/Lem Hasil Sintesis Menggunakan Instrumen Infra Merah (IR).....	46
D. Rekayasa Papan Partikel Menggunakan Perekat Hasil Sintesis Pada Campuran Limbah <i>Pinus merkusii</i> dan Sekam Padi.....	59
BAB VI. KESIMPULAN, SARAN-SARAN DAN REKOMENDASI-REKOMENDASI.....	75
A. Kesimpulan.....	75
B. Saran-Saran.....	75
C. Rekomendasi Kebijakan.....	75
D. Implikasi Kebijakan.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN 1. Pengujian Perekat Berbahan Dasar Air Rebusan Kacang Kedelai.....	81
LAMPIRAN 2. Pengujian Perekat Berbahan Dasar Makro Alga <i>Sargassum duplicatum</i>	82
LAMPIRAN 3. Perbandingan Bahan Baku Papan Partikel dan Perekat.....	83
LAMPIRAN 4. Pengujian Papan Partikel.....	87

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar belakang/Rationale.....	1
B. Perumusan Masalah.....	5
C. Kegiatan.....	6
D. Tujuan Kegiatan.....	6
E. Manfaat Kegiatan.....	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Landasan Teori.....	8
1. Papan Partikel.....	8
2. Sekam Padi.....	9
3. Tumbuhan <i>Pinus merkusii</i>	24
B. Kerangka Pemikiran.....	31
C. Definisi Operasional dan Konseptualisasi Variabel.....	32
D. Hipotesis.....	32
BAB III. METODE PENELITIAN.....	33
A. Bahan Penelitian.....	33
B. Alat Penelitian.....	33
C. Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
D. Prosedur Penelitian.....	33
1. Pembuatan Perekat dari Bahan Dasar Air Rebusan Kacang Kedelai.....	33
2. Pengujian Perekat dari Bahan Dasar Air Rebusan Kacang Kedelai Berdasarkan (SNI 06- 4567-1998).....	34

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Hutan merupakan salah satu sumber daya alam yang penting di Indonesia dan memberikan manfaat langsung dan tidak langsung. Manfaat langsung antara lain berupa kayu yang dipanen dan diolah. Sampai saat ini kebutuhan kayu sebagian besar masih dipenuhi dari hutan alam. Persediaan kayu dari hutan alam setiap tahun semakin berkurang, baik dari segi mutu maupun volumenya. Hal ini disebabkan rentang masa pemanenan yang tidak seimbang dengan rentang masa penanaman, sehingga tekanan terhadap hutan alam makin besar.

Kayu sebagai komoditi hasil hutan rakyat masih menempati urutan yang kurang penting dibanding komoditi lain oleh sebagian besar petani. Hal ini disebabkan karena kayu tidak dapat memberikan hasil cepat dan bukan merupakan komoditi konsumsi harian. Karenanya dalam struktur pendapatan rumah tangga petani, hutan rakyat merupakan pendapatan sampingan atau tambahan.

Salah satu pemanfaatan kayu adalah untuk pembuatan papan partikel yaitu lembaran hasil pengempaan panas campuran partikel kayu atau bahan berligno selulosa lainnya dengan perekat organik dan bahan lainnya. Partikel berarti butir atau bahan yang berukuran relatif kecil. Partikel kayu berarti potongan kecil kayu yang bentuknya bermacam-macam tergantung pada cara pengolahannya.

Selain kayu, sekam padi yang merupakan limbah dari penggilingan padi juga telah banyak jumlahnya dimana, 72% beras, 5-8% dedak dan 20-22% sekam (Prasad dkk, 2001). Peningkatan produksi komoditas padi setiap tahunnya secara langsung meningkatkan sekam padi. Pada tahun

2008, produktifitas padi mencapai 60.279.897 ton, dengan demikian produksi sekam padi sebesar 20-30% dari proses penggilingan padi.

Pemanfaatan sekam padi sampai saat ini masih terbatas untuk keperluan konvensional. Di beberapa daerah, biasanya sekam hanya ditumpuk, lalu dibakar di dekat penggilingan padi dan abunya digunakan sebagai abu gosok. Selain itu, sekam yang dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan, juga telah digunakan sebagai bahan baku papan komposit. Pemanfaatan tersebut diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah sekam padi.

Papan partikel telah dikenal secara luas di Indonesia sebagaimana tercermin dalam penggunaannya yang semakin meningkat oleh masyarakat untuk mebel, kotak audio, dan bahan konstruksi. Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan industri partikel telah secara signifikan mendukung upaya pemerintah dalam pemanfaatan optimal sumber daya hutan, terutama barang-barang kayu. Industri papan partikel dapat memanfaatkan kayu berkualitas rendah dan limbah kayu dari hampir semua ukuran dan spesies. Papan partikel yang dibuat dari kayu kualitas rendah rentan terhadap organisme penghancur kayu bila digunakan sebagai bahan furnitur dan konstruksi. Hal ini disebabkan oleh kualitas kayu dan kualitas perekat yang digunakan. Masa pakainya partikel tersebut relatif singkat, yang berarti material kayu akan lebih banyak diperlukan. Dalam meningkatkan efisiensi sumber daya hutan, pelestarian dan pengawetan dianggap sebagai upaya penting untuk memperpanjang masa pakai papan partikel.

Beberapa penelitian tentang papan partikel telah dilakukan, kebanyakannya menggunakan perekat kayu sintesis, seperti urea formaldehid (UF), fenol formaldehid (PF), dan melamin formaldehid (MF).

Misalnya Jasni dan Sulistiningsih (2004) telah melakukan penelitian ketahanan papan partikel terhadap serangan rayap kayu kering. Pada penelitiannya menggunakan limbah kayu karet sebagai bahan partikel dengan fenol formaldehid sebagai perekat dan alfametrin sebagai pengawet. Kalis (2008), telah melakukan analisis sifat fisis dan mekanis papan partikel berbahan baku serbuk sabut kelapa dengan kadar perekat UF yang berbeda. Sebagaimana diketahui, perekat berbahan dasar formaldehida merupakan perekat sintesis yang bahan bakunya diperoleh sebagai hasil olahan minyak bumi yang tidak dapat diperbaharui (Malloney, 1993). Selain itu emisi yang ditimbulkan oleh senyawa formaldehida diketahui berbahaya bagi kesehatan (Yuan dan Kaichang, 2007). Gejala yang ditimbulkan oleh emisi formaldehida seperti, pusing, sakit kepala dan insomnia (Desliana dkk., 2008).

Dengan adanya emisi formaldehid karsinogenik, penelitian dan pengembangan mengenai perekat terus dilakukan untuk mengeksplorasi perekat alami yang berkualitas tinggi dan ramah lingkungan. Sebagai contoh, Sudarsono dkk (2010) melakukan pembuatan papan partikel berbahan baku sabut kelapa dengan bahan pengikat alami lem kopal. Junaidi (2002) melakukan penelitian dengan menggunakan limbah gergajian kayu pinus untuk membuat papan partikel gip dalam berbagai komposisi campuran gip, kalsium dan limbah gergajian. Penelitian ditujukan pada perbedaan kuat lentur papan gip dibandingkan dengan papan gipsum yang beredar dipasaran dan sesuai dengan standar SKSNI S - 04 - 1989 - F.

Saat ini sudah banyak papan partikel yang telah diproduksi namun masih memiliki kekurangan. Kekurangannya yaitu perekat yang digunakan merupakan perekat sintesis yang berbahaya, mudah diserang oleh rayap, tidak tahan air, dan memiliki tingkat kelenturan yang tinggi.

Dewasa ini upaya penggunaan perekat alami telah dilakukan untuk mengganti perekat sintetik. Perekat alami ini diperoleh dari alam yaitu perekat dari tumbuhan dan perekat dari hewan. Perekat yang berasal dari hewan dapat digunakan namun karena keterbatasan bahan yang ada sehingga yang lebih berpotensi digunakan sebagai perekat alami adalah kedelai. Meskipun kedelai juga dibutuhkan sebagai sumber protein nabati terbesar, bahan ini merupakan bahan yang dapat terbarukan dan merupakan bahan baku yang ramah lingkungan.

Pengawetan papan partikel merupakan usaha untuk meningkatkan ketahanan papan terhadap agen perusak kayu. Tarumingkeng (2007) menyatakan bahwa bahan pengawet yang dimasukkan ke dalam papan umumnya merupakan bahan beracun (*toxic material*) agar jasad hidup perusak kayu tidak menyerang. Selain itu, bahan pengawet yang beredar di pasaran saat ini adalah bahan pengawet sintesis anorganik yang berpotensi sebagai bahan pencemar bagi manusia dan lingkungan hidup sekitarnya karena bersifat *nonbiodegradable* (tidak dapat diurai secara alami). Penggunaan bahan pengawet berbahaya tersebut dapat dikurangi dengan menggunakan bahan pengawet alternatif yang ramah lingkungan (bersifat *biodegradable*) dan dapat diperbaharui (*renewable*) yang berasal dari produk alami kayu itu sendiri (Mayangsari, R., 2008). Seperti pada penelitian ini pengawet tersebut berasal senyawa metabolit sekunder dari kayu pinus (*Pinus merkusii*) yaitu senyawa terpenoid.

Pada penelitian kali ini, dengan melihat latar belakang yang telah dipaparkan, maka dicoba untuk merekayasa papan partikel dari limbah kayu pinus yang tahan terhadap rayap dan air. Hal ini didasarkan pada potensi hutan pinus di Sulawesi Selatan sekitar 67 ribu hektar tersebar di 12 kabupaten, diantaranya sebagian besar di kabupaten Gowa, Sinjai, Maros, Bone, Enrekang, Tana Toraja, dan Toraja Utara. Rekayasa papan partikel

yang ramah lingkungan lebih ditekankan untuk menggunakan perekat yang disintesis dari bahan dasar alami dapat diperbaharui ataupun limbah yang tersedia di lingkungan. Dalam hal ini digunakan bahan-bahan dasar, getah pinus, tepung kedelai, air rebusan kedelai dan makroalga *Sargassum duplicatum*. Dari penelitian ini diharapkan diperoleh prototipe papan partikel yang dapat diaplikasikan dengan mudah oleh pelaku industri kayu pinus.

Tahapan awal disintesis perekat yang mudah didapat dan ramah lingkungan. Hal ini ditujukan untuk inovasi perekat berbahan dasar selain formaldehid untuk meminimalkan emisi formaldehida yang dewasa ini telah diketahui mempunyai efek yang kurang baik bagi kesehatan.

Tujuan utama kajian ini adalah untuk lebih mengatasi limbah kayu dan sekam padi dari pengolahan tanaman pinus dan padi, sekaligus memberi nilai tambah baik bagi petani maupun industri. Dalam hal ini rekayasa papan partikel dari limbah kayu pinus, yang akan dicoba untuk mencampurkannya dengan sekam padi menggunakan perekat yang ramah lingkungan. Sehingga diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah dari limbah kayu pinus dan sekam padi yang memiliki potensi sebagai bahan baku untuk papan partikel yang memenuhi SNI.

B. Perumusan Masalah

Yang menjadi permasalahan atau pertanyaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana mengatasi limbah kayu pinus dan sekam padi dari industri pengolahan yang memanfaatkan kayu pinus, maupun limbah sekam padi di Sulawesi selatan?
2. Bagaimana dapat meningkatkan pendapatan petani dan industri yang memanfaatkan kayu pinus dan limbah sekam padi melalui pembuatan dan rekayasa papan partikel dari limbah kayu pinus menggunakan perekat berbahan dasar getah pinus, tepung

kedelai, natrium silikat, natrium hidroksida dan makroalga *Sargassum duplicatum*?

3. Bagaimanaperoleh papan partikel dengan kualitas memenuhi SNI, yang dibuat dari campuran limbah kayu pinus dan sekam padi menggunakan perekat berbahan dasar getah pinus, tepung kedelai dan *Sargassum duplicatum* yang tahan terhadap air dan rayap.
4. Bagaimanakahpotensi papan partikel yang dibuat dari campuran limbah kayu pinus dan sekam padi menggunakan perekat berbahan dasar getah pinus, tepung kedelai, air rebusan kedelai dan makroalga *Sargassum duplicatum* untuk dijadikan elemen interior?

C. Kegiatan

Rekayasa papan partikel dari campuran limbah kayu pinus dan sekam padi menggunakan perekat yang berbahan dasar getah pinus, air rebusan kacang kedelai dan makroalga *Sargassum duplicatum*.

D. Tujuan Kegiatan

1. Mengupayakan cara mengatasi limbah kayu pinus dan sekam padi di Sulawesi Selatan.
2. Membuat dan merekayasa papan partikel dari campuran limbah kayu pinus dan sekam padi menggunakan perekat berbahan dasar getah pinus, air rebusan kacang kedelai dan makroalga *Sargassum duplicatum* yang diperkirakan dapat meningkatkan pendapatan petani.
3. Mengoptimalkan parameter kualitas papan partikel yang dibuat dari campuran kedelai dan *Sargassum duplicatum* untuk dijadikan elemen interior dan eksterior.

4. Memanfaatkan limbah kayu pinus dan sekam padi menggunakan perekat berbahan dasar getah pinus, air rebusan kacang kedelai dan *Sargassum duplicatum*, berdasarkan sifat fisika dan mekaniknya serta dihasilkannya papan partikel yang tahan terhadap air dan rayap.
5. Mengaplikasikan model prototipe papan partikel yang dibuat dari limbah kayu pinus yang menggunakan perekat berbahan dasar getah pinus, air rebusan kacang.

E. Manfaat Kegiatan

1. Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai salah satu cara mengatasi limbah pinus dan sekam padi yang dihasilkan oleh petani.
2. Penanganan limbah kayu pinus dan sekam padi menjadi papan partikel akan memberikan pengaruh signifikan terhadap pendapatan petani dan industri pengolah papan partikel. Selanjutnya juga akan berimplikasi positif terhadap pendapatan daerah.
3. Diperolehnya prototipe papan partikel yang dibuat dari campuran limbah kayu pinus dan sekam padi yang tahan air dan rayap.
4. Meningkatkan motivasi petani untuk membudidayakan *Pinus merkusii* dan *Sargassum duplicatum* sebagai campuran perekat alami, yang dapat memberikan manfaat ekonomi.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Papan Partikel

Papan partikel adayang terbuat dari serpihan kayu dengan bantuan perekat sintetis kemudian mengalami kempa panas sehingga memiliki sifat seperti kayu, tahan api dan merupakan bahan isolasi serta bahan akustik yang baik (Dumanauw, 1990). Menurut Badan Standar Nasional (1996) papan partikel adalah produk kayu yang dihasilkan dari pengempaan panas antara campuran partikel kayu atau bahan berlignoselulosa lainnya dengan perekat organik serta bahan perekat lainnya yang dibuat dengan cara pengempaan mendatar dengan dua lempeng datar.

Umumnya perekat yang biasa digunakan adalah perekat yang mempengaruhi ketahanan papan partikel terhadap pengaruh kelembaban, yang selanjutnya menentukan penggunaannya. Ada standar yang membedakan berdasarkan sifat perekatnya, yaitu interior dan eksterior, berdasarkan macamnya perekat digolongkan atas; Tipe U (urea formaldehid atau yang setara), Tipe M (melamin urea formaldehid atau yang setara) dan tipe P (fenol formaldehid atau yang setara). Namun ketiga jenis perekat ini belakangan diketahui memberikan emisi formaldehid yang dapat memberikan efek buruk bagi kesehatan manusia, diantaranya sesak nafas, gangguan hati dan lain-lainnya.

Sutigno (1988) mengemukakan bahwa papan partikel pada umumnya berbentuk datar dengan ukuran yang relatif panjang dan relatif tipis sehingga disebut panel. Parameter mutu papan partikel meliputi beberapa hal seperti cacat, sifat fisis, sifat mekanis, dan sifat kimia. Ketentuan mengenai mutu papan partikel tidak selalu sama pada setiap

standar dapat berubah sesuai perkembangan teknologi dan penggunaan papan partikel:

1. Macam papan partikel dapat dibedakan berdasarkan beberapa hal seperti cara pengempaan, kerapatan, kekuatan, macam perekat, susunan partikel pengolahan.
2. Mutu papan partikel dapat dipengaruhi oleh beberapa hal seperti jenis kayu (berat jenis, zat ekstraktif). Ukuran partikel, perekat, dan pengolahan.

Klasifikasi Papan Partikel

Berdasarkan rekomendasi ASTM 1974 dalam Sudarsono (2010) papan partikel diklasifikasikan atas:

- a. Papan partikel berkerapatan rendah (*Low Density particleboard*). Papan partikel berkerapatan rendah yaitu papan partikel yang mempunyai kerapatan kurang dari 37 lb/ft^3 atau berat jenis kurang dari $0,59 \text{ g/cm}^3$.
- b. Papan partikel berkerapatan sedang (*Medium Density particleboard*). Papan partikel berkerapatan rendah yaitu papan partikel yang mempunyai kerapatan kurang dari $37 - 50 \text{ lb/ft}^3$ atau berat jenis kurang dari $0,59 - 0,80 \text{ g/cm}^3$.
- c. Papan partikel berkerapatan tinggi (*High Density particleboard*). Papan partikel berkerapatan rendah yaitu papan partikel yang mempunyai kerapatan lebih dari 50 lb/ft^3 atau berat jenis lebih dari $0,80 \text{ g/cm}^3$.

2. Sekam Padi

Swasembada beras sampai saat ini masih terus ditingkatkan dan diupayakan untuk menghemat devisa maupun untuk mencegah ketergantungan impor. Peningkatan produksi padi akan menyebabkan meningkatnya hasil samping berupa sekam padi, jerami dan bekatul. Hasil

samping atau limbah padi tersebut, terutama sekam padi memiliki kelimpahan yang tinggi, sementara pemanfaatannya belum optimal sampai saat ini. Sehubungan dengan itu, banyak dilakukan kajian ataupun penelitian tentang pemanfaatan sekam padi.

Padi merupakan produk utama pertanian di negara-negara agraris, termasuk Indonesia. Penggilingan padi menghasilkan 72% beras, 5-8% dedak dan 20-22% sekam (Prasad dkk, 2001). Sekam padi merupakan produk samping yang melimpah dari hasil penggilingan padi, selama ini hanya digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran batu merah, pembakaran untuk memasak atau dibuang begitu saja. Penganganan sekam padi yang kurang tepat akan menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan. Sekam padi mengandung 78-80% bahan organik yang mudah menguap (lignin, selulosa, gula) jika sekam dibakardan dihasilkan sisa pembakaran 20-22% abu sekam padi (Yalqin dan Sevinq, 2001).

Kandungan abu dalam sekam padi bervariasi dari 13-29% tergantung dari variasi padi, iklim dan lokasi geografisnya. Pemanfaatan sekam padi sebagai zat komersial masih relative kecil. Hal ini karena sifat yang dimilikinya antara lain kasar, nilai gizi rendah, kepadatan yang juga rendah, serta kandungan abu yang cukup tinggi (Houston, 1972).

Sekam mengandung senyawa organik berupa lignin dan kitin, selulosa, hemiselulosa (pentosa), senyawa nitrogen, lipida, vitamin B dan asam organik. Komposisi sekam dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Sekam

Kandungan	Persentase (%)
C-organik	45,06
N-total	0,31
P-total	0,07
K-total	0,28
Mg-total	0,16
SiO ₂	33,01

Sumber: Hidayati dalam Bantacut (2006)

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri dari dua belahan yang disebut lemma dan palea yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar (Wibowo dkk. 2008).

Klasifikasi berdasarkan kerapatannya menurut FAO (1958) dan USDA (1955) dalam Sudarsono (2010) adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Klasifikasi papan serat menurut FAO (1958) dan USDA (1955)

Papan Partikel (Serat)	Kerapatan	
	g/cm ³	lb/cm ³
Tidak di tekan Papan serat lunak agak kaku, SRF (semi rigid)	0,02-0,15	1,25-9,5
Papan serat lunak kaku, RG (rigid)	0,15-0,40	9,5-25
Ditekan Papan serat sedang (NDF)	0,4-0,8	25-50
Papan serat keras (Hardboard/HF)	0,8-1,20	50-75
Papan serat khusus (SDHF)	1,20-1,45	75-90

(Sumber: Sudarsono, 2010)

Klasifikasi papan partikel berdasarkan metode pemberian tekanan dan pembuatannya (ASTM dalam Sudarsono, 2010; Maloney, 1977):

- Flat-platen-pressed-particleboard*, yaitu papan partikel yang dibentuk dan dimatangkan dengan pemberian tekanan secara tegak-lurus terhadap permukaan. Dalam metode ini dibutuhkan tekanan pendahuluan untuk mempermudah pemuatan ke dalam kempa panas dan untuk meningkatkan kapasitas kempa panas.
- Extruded-particleboard*, yaitu papan partikel yang dibentuk dan dimatangkan dengan memberikan tekanan sejajar dengan permukaan, dan melalui dua plat panas yang diatur jaraknya menurut ketebalan papan yang akan dihasilkan.

Menurut Joesoef (1977), klasifikasi berdasarkan jenis perekat dan penggunaannya adalah sebagai berikut:

- Exterior particleboard*/papan partikel untuk penggunaan diluar gedung, yaitu papan partikel yang tahan terhadap kelembaban dan air, sehingga dapat digunakan untuk keperluan di luar rumah. Jenis perekat yang digunakan adalah perekat tahan air seperti *Penol formaldehida*.
- Interior particleboard*/papan partikel untuk penggunaan dalam ruang, yaitu jenis papan yang kurang tahan terhadap kelembaban dan air sehingga digunakan untuk keperluan di dalam ruang. Jenis perekat yang digunakan adalah perekat organik/alami atau perekat sintesis yang kurang tahan terhadap air seperti *urea formaldehida*.

Klasifikasi berdasarkan struktur papan:

- Papan partikel tak berlapis, yaitu papan partikel yang mempunyai ukuran partikel penyusun yang relatif homogen atau merata di seluruh bagian papan.
- Papan partikel berlapis (*Multi-layered particleboard*), yaitu papan partikel yang mempunyai ukuran partikel penyusun tidak homogen. Tiap kelompok ukuran partikel tersebut disusun dalam lapisan-lapisan sebelum dicetak sebagai papan. Susunan yang umum papan partikel berlapis ini adalah lapisan partikel halus sebagai *face* dan *back*, sedang lapisan partikel kasar sebagai pelapis dasar. Pelapisan ini selain dimaksudkan untuk meningkatkan sifat fisik juga untuk penampilan atau pengerjaan lanjut.

Berdasarkan jenis perekat yang digunakan, papan partikel diklasifikasikan ke dalam dua tipe mutu yaitu papan partikel mutu interior dengan tujuan pemakaian yang terlindung dari pengaruh cuaca dan papan partikel mutu eksterior yaitu jenis papan partikel yang dibuat dengan

menggunakan bahan perekat yang tahan terhadap pengaruh lembab dan panas sehingga cocok untuk pemakaian interior maupun eksterior (Subiyanto dkk., 2006).

Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat-sifat papan partikel

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi terhadap sifat-sifat papan partikel adalah jenis kayu, macam dan ukuran partikel, jenis dan jumlah perekat, kadar air dan distribusinya, kesejajaran partikel dan pelapisan menurut kerapatan papan, profil dan bahan tambahan (Maloney, 1997).

Karakteristik dari bahan baku kayu yang digunakan mempengaruhi kualitas papan partikel adalah berat jenisnya. Sebagai aturan umum lebih disukai spesies yang berkerapatan tinggi meskipun secara teknis dimungkinkan untuk memproduksi papan partikel dari kayu dengan berbagai kerapatan. Kayu berkerapatan rendah lebih disukai diproduksi karena akan mempermudah dalam proses pengempaan sehingga akan diperoleh ikatan antar partikel cukup kuat (Subiyanto dkk., 2006).

Menurut Kolman dkk (1975), sifat fisik dan mekanik papan partikel dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis kayu, tipe dan ukuran partikel, penyebaran dan perekatan partikel, kadar air serta proses pembuatannya.

1. Jenis Kayu

Jenis kayu menentukan seberapa rendah berat jenis papan partikel yang akan dihasilkan. Pada umumnya kayu dengan berat jenis rendah akan menghasilkan papan dengan kekuatan lebih tinggi dari pada kayu dengan berat jenis tinggi (Maloney, 1997). Haygreen dan Bowyer (1996) mengemukakan bahwa ciri terpenting dari kayu yang mempengaruhi kecocokannya untuk pembuatan papan partikel adalah berat jenisnya. Disebutkan pula bahwa semakin rendah berat jenis kayu semakin tinggi kekuatan papan partikel pada sembarang kerapatan.

2. Ukuran dan geometri partikel

Haygreen dan Bowyer (1996) mengemukakan bahwa bentuk dan ukuran partikel akan mempengaruhi terhadap kekuatan dan stabilitas dimensi papan partikel. Aspek terpenting dari geometri partikel menurut Haygreen dan Bowyer (1996) ialah panjang partikel dan nisbah tebal ke panjang. Kenampakan papan partikel yang secara langsung dipengaruhi oleh geometri partikel ini adalah sifat-sifat mekanik (seperti keteguhan, lengkung, keteguhan tekan sejajar permukaan dan lain-lain). Karakteristik permukaan papan, reaksi terhadap kelembaban (seperti terhadap air dan kaitannya dengan perubahan dimensi).

3. Penyebaran dan orientasi partikel

Secara umum dapat dikatakan bahwa pencampuran partikel dan perekat yang cukup merata atau homogen akan menghasilkan papan partikel dengan kualitas yang baik karena rekatannya kompak. Sebaliknya bila campuran partikel dengan perekat tidak merata maka rekatan antar partikelnya kurang kompak sehingga papan partikel yang dihasilkan kualitasnya juga kurang baik. Teknik pencampuran partikel dengan perekat dilakukan dengan cara penyemprotan, agar dapat merekat secara mekanik dan spesifik.

4. Kadar Air dan distribusinya

Kadar air partikel berhubungan langsung dengan proses pengempaan panas, sehingga sangat berpengaruh terhadap sifat papan partikel yang dihasilkan. Kadar air partikel akan menguntungkan terbentuknya ikatan yang baik dengan perekat, namun bila kadar air terlalu tinggi akan menimbulkan tekanan uap internal yang cukup besar, sehingga menyebabkan rusaknya papan partikel. Kandungan air yang lebih tinggi pada lapisan permukaan akan menyebabkan pemampatan yang lebih

tinggi saat pengempaan berlangsung dan kadar air partikel yang perlu dicapai adalah sekitar kurang dari 10% (Haygreen dan Bowyer, 1989).

Kadar air partikel yang akan dipergunakan dalam pembuatan papan partikel berkisar antara 4 -8%. Sedangkan menurut Joesoef (1997) dan Prayitno (1995) mengemukakan bahwa kadar air dalam proses pengeringan mencapai 5 - 6%. Kollman dkk (1975) menyebutkan bahwa kandungan air partikel setelah dikeringkan sebaiknya 3%-6%, kadang-kadang bervariasi antara 5%-12%. Hal ini diperlukan karena kadar air partikel merupakan faktor penting dalam pembuatan papan partikel.

5. Penambahan katalisator

Katalisator yang biasa dipakai adalah garam-garam seperti ammonium klorida, ammonium sulfat dan ammonium nitrat. Garam ini akan bereaksi dengan formaldehida bebas sehingga menyebabkan pH larutan turun di bawah kondisi reaksi polimerisasi dan kondensasi, akan terbentuk ikatan-ikatan silang yang tidak dapat lunak lagi. Katalis yang banyak digunakan adalah garam ammonium klorida (NH_4Cl) disamping lebih murah, tingkat katalisnya lebih baik dari ammonium sulfat (Prayitno, 1994).

Bahan Baku Papan Partikel

Menurut Haygreen dan Bowyer (1989), tipe partikel yang digunakan untuk bahan baku pembuatan papan partikel adalah :

- Patahan (*shaving*), partikel kayu kecil berdimensi tidak menentu yang dihasilkan apabila mengetam lebar atau mengetam sisi ketebalan kayu.
- Serpih (*flake*), partikel kecil dengan dimensi yang telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dalam peralatan yang dikhususkan.
- Biskit (*wafer*), serupa serpih dalam bentuknya tetapi lebih besar. Biasanya lebih dari 0,025 inci tebalnya dan lebih dari 1 inci panjangnya.

- Tatal (*chips*), sekeping kayu yang dipotong dari suatu blok dengan pisau yang besar atau pemukul, seperti dengan mesin pembuat tatal kayu pulp.
- Serbuk gergaji (*sawdust*), berupa serpih yang dihasilkan oleh pemotongan
- Untaian (*strand*), pasahan panjang, tetapi pipih dengan permukaan yang sejajar.
- Kerat (*silver*), hampir persegi potongan melintangnya dengan panjang paling sedikit 4 kali ketebalannya.
- Wol kayu (*excelsior*), keratin yang panjang, berombak, ramping juga digunakan sebagai kasuran pada pengepakan.

Macam Papan Partikel

Menurut Sutigno (1991) ada beberapa macam papan partikel yang dibedakan berdasarkan :

a. Bentuk

Papan partikel pada umumnya berbentuk datar dengan ukuran relatif panjang tipis sehingga disebut panel. Ada beberapa papan partikel yang tidak datar (papan partikel lengkung) dan mempunyai bentuk tertentu tergantung pada cetakan yang dipakai seperti bentuk kotak radio.

b. Pengempaan

Cara pengempaan dapat secara mendatar atau secara ekstrusi. Cara mendatar ada yang kontinyu dan tidak kontinyu. Cara kontinyu berlangsung melalui ban baja yang menekan pada saat bergerak memutar. Cara tidak kontinyu pengempaan berlangsung pada lempeng yang bergerak vertikal dan banyaknya celah dapat satu atau lebih. Pada cara ekstrusi, pengempaan berlangsung kontinyu dua lempeng statis.

Penekanan dilakukan oleh semacam piston yang bergerak vertikal dan horizontal.

c. Kerapatan

Ada tiga kelompok kerapatan papan partikel, yaitu rendah, sedang dan tinggi. Terdapat perbedaan batas antara setiap kelompok tersebut, tergantung pada standar yang digunakan.

d. Kekuatan (Sifat Mekanis)

Pada prinsipnya sama seperti kerapatan, pembagian berdasarkan kekuatan pun ada yang rendah, sedang dan tinggi. Terdapat perbedaan batas antara setiap macam (tipe) tersebut, tergantung pada standar yang digunakan. Ada standar yang menambahkan persyaratan beberapa sifat fisis.

e. Macam perekat

Macam perekat yang dipakai mempengaruhi ketahanan papan partikel terhadap pengaruh kelembaban, yang selanjutnya menentukan penggunaannya. Ada standar yang membedakan berdasarkan sifat perekatnya, yaitu interior dan eksterior. Ada standar yang memakai penggolongan berdasarkan jenis perekat, yaitu Tipe U (urea formaldehid atau yang setara), Tipe M (melamin urea formaldehid atau yang setara) dan tipe P (fenol formaldehid atau yang setara). Selain itu perekat berbahan dasar lain juga dapat diusahakan untuk meminimalkan emisi formaldehida yang dewasa ini telah diketahui mempunyai efek yang kurang baik bagi kesehatan.

f. Susunan partikel

Pada saat membuat partikel dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu halus dan kasar. Pada saat membuat papan partikel kedua macam partikel tersebut dapat disusun tiga macam sehingga

menghasilkan papan partikel yang berbeda papan partikel homogeni (berlapis tunggal), papan partikel berlapis tiga dan papan partikel berlapis bertingkat.

g. Arah partikel

Pada saat membuat hamparan, penaburan partikel (yang sudah dicampur dengan perekat) dapat dilakukan secara acak (arah serat partikel tidak teratur) atau arah serat diatur, misalnya sejajar atau bersilangan tegak lurus. Untuk yang disebutkan terakhir dipakai partikel yang relatif panjang, biasanya berbentuk untai (*strand*) sehingga disebut papan untai terarah (*oriented strand board* atau OSB).

h. Penggunaan

Berdasarkan penggunaan yang berhubungan dengan beban, papan partikel dibedakan menjadi papan partikel penggunaan umum dan papan partikel struktural (memerlukan kekuatan yang lebih tinggi). Untuk membuat mebel, pengikat dinding dipakai papan partikel penggunaan umum. Untuk membuat komposisi dinding, peti kemas dipakai papan partikel struktural.

i. Pengolahan

Ada dua macam papan partikel berdasarkan tingkat pengolahannya, yaitu pengolahan primer dan pengolahan sekunder. Papan partikel pengolahan primer adalah papan partikel yang dibuat melalui pembuatan partikel, pembentukan hamparan dan pengempaan yang menghasilkan papan partikel. Papan partikel pengolahan sekunder adalah pengolahan lanjutan dari papan partikel pengolahan primer misalnya dilapisi vinir indah, dilapisi kertas aneka corak.

Faktor Yang Mempengaruhi Mutu Papan Partikel

a. Berat jenis kayu

Perbandingan antara kerapatan atau berat jenis papan partikel dengan berat jenis kayu harus lebih dari satu, yaitu sekitar 1,3 agar mutu papan partikelnya baik. Pada keadaan tersebut proses pengempaan berjalan optimal sehingga kontak antar partikel baik.

b. Zat ekstraktif kayu

Kayu yang berminyak akan menghasilkan papan partikel yang kurang baik dibandingkan dengan papan partikel dari kayu yang tidak berminyak. Zat ekstraktif semacam itu akan mengganggu proses perekatan.

c. Jenis kayu

Jenis kayu (misalnya Meranti kuning) yang kalau dibuat papan partikel emisi formaldehidanya lebih tinggi dari jenis lain (misalnya meranti merah). Masih diperdebatkan apakah karena pengaruh warna atau pengaruh zat ekstraktif atau pengaruh keduanya.

d. Campuran jenis kayu

Keteguhan lentur papan partikel dari campuran jenis kayu ada diantara keteguhan lentur papan partikel dari jenis tunggalnya, karena itu papan partikel struktural lebih baik dibuat dari satu jenis kayu daripada dari campuran jenis kayu.

e. Ukuran partikel

Papan partikel yang dibuat dari tatal akan lebih baik daripada yang dibuat dari serbuk karena ukuran tatal lebih besar daripada serbuk. Karena itu, papan partikel struktural dibuat dari partikel yang relatif panjang dan relatif lebar.

f. Kulit kayu

Makin banyak kulit kayu dalam partikel kayu sifat papan partikelnya makin kurang baik karena kulit kayu akan mengganggu proses perekatan antar partikel. Banyaknya kulit kayu maksimum sekitar 10%.

g. Perekat

Macam partikel yang dipakai mempengaruhi sifat papan partikel. Penggunaan perekat eksterior akan menghasilkan papan partikel eksterior sedangkan pemakaian perekat interior akan menghasilkan papan partikel interior. Walaupun demikian, masih mungkin terjadi penyimpangan, misalnya karena ada perbedaan dalam komposisi perekat dan terdapat banyak sifat papan partikel. Sebagai contoh, penggunaan perekat urea formaldehida yang kadar formaldehidanya tinggi akan menghasilkan papan partikel yang keteguhan lentur dan keteguhan rekat internalnya lebih baik tetapi emisi formaldehidanya lebih jelek.

h. Pengolahan

Proses produksi papan partikel berlangsung secara otomatis. Walaupun demikian, masih mungkin terjadi penyimpangan yang dapat mengurangi mutu papan partikel. Sebagai contoh, kadar air hamparan (campuran partikel dengan perekat) yang optimum adalah 10-14%, bila terlalu tinggi keteguhan lentur dan keteguhan rekat internal papan partikel akan merutuh.

Mutu Papan Partikel

Mutu papan partikel meliputi cacat, ukuran, sifat fisis, sifat mekanis, dan sifat kimia. Dalam standar papan partikel yang dikeluarkan oleh beberapa negara masih mungkin terjadi perbedaan dalam hal kriteria, cara pengujian, dan persyaratannya. Walaupun demikian, secara garis besarnya sama.

1. Cacat

Pada Standar Indonesia Tahun 1983 tidak ada pembagian mutu papan partikel berdasarkan cacat, tetapi pada standar tahun 1996 ada 4 mutu penampilan papan partikel menurut cacat, yaitu: A, B, C, dan D. Cacat yang dinilai adalah partikel kasar di permukaan, noda serbuk, noda minyak, goresan, noda perekat, rusak tepi dan keropos.

2. Ukuran

Penilaian panjang, lebar, tebal dan siku terdapat pada semua standar papan partikel. Dalam hal ini, dikenal adanya toleransi yang tidak selalu sama pada setiap standar. Dalam hal toleransi telah, dibedakan untuk papan partikel yang dihaluskan kedua permukaannya, dihaluskan satu permukaannya dan tidak dihaluskan permukaannya.

3. Sifat Fisis

- a. Kerapatan papan partikel ditetapkan dengan cara yang sama pada semua standar, tetapi persyaratannya tidak selalu sama. Menurut Standar Indonesia Tahun 1983 dalam Sudarsono (2010) persyaratannya $0,50-0,70 \text{ g/cm}^3$, sedangkan menurut Standar Indonesia Tahun 1996 persyaratannya $0,50-0,90 \text{ g/cm}^3$. Di samping itu terdapat pula standar papan partikel yang mengelompokkan menurut kerapatannya, yaitu rendah, sedang, dan tinggi.
- b. Kadar air papan partikel ditetapkan dengan cara yang sama pada semua standar, yaitu metode oven (metode pengurangan berat). Walaupun persyaratan kadar air tidak selalu sama pada setiap standar, perbedaannya tidak besar (kurang dari 5%).
- c. Pengembangan tebal papan partikel ditetapkan setelah contoh uji direndam dalam air dingin (suhu kamar) atau setelah direndam dalam air mendidih, cara pertama dilakukan terhadap papan partikel interior dan eksterior, sedangkan cara kedua untuk papan partikel eksterior saja. Menurut Standar Indonesia Tahun 1983, untuk

papan partikel eksterior, pengembangan tebal ditetapkan setelah direbus 3 jam, dan setelah direbus 3 jam kemudian dikeringkan dalam oven $100 \text{ }^\circ\text{C}$ sampai berat contoh uji tetap. Ada papan partikel interior yang tidak diuji pengembangan tebalnya, misalnya tipe 100 menurut Standar Indonesia Tahun 1996, sedangkan untuk tipe 150 dan tipe 200 diuji pengembangan tebalnya. Menurut standar FAO, pada saat mengukur pengembangan tebal ditetapkan pula penyerapan airnya (absorpsi).

4. Sifat Mekanis

- a. Keteguhan (kuat) lentur umumnya diuji pada keadaan kering meliputi modulus patah dan modulus elastisitas. Pada Standar Indonesia Tahun 1983 hanya modulus patah saja, sedangkan pada Standar Indonesia Tahun 1996 meliputi modulus patah dan modulus elastisitas. Selain itu, pada standar ini ada pengujian modulus patah pada keadaan basah, yaitu untuk papan partikel tipe 150 dan 200. Bila papan partikelnya termasuk tipe I (eksterior), pengujian modulus patah dalam keadaan basah dilakukan setelah contoh uji direndam dalam air mendidih (2 jam) kemudian dalam air dingin (suhu kamar) selama 1 jam. Untuk papan partikel tipe II (interior) pengujian modulus patah dalam keadaan basah dilakukan setelah contoh uji direndam dalam air panas ($70 \text{ }^\circ\text{C}$) selama 2 jam kemudian dalam air dingin (suhu kamar) selama 1 jam.
- b. Keteguhan rekat internal (kuat tarik tegak lurus permukaan) umumnya diuji pada keadaan kering, seperti pada Standar Indonesia tahun 1996. Pada Standar Indonesia tahun 1983 pengujian tersebut dilakukan pada keadaan kering untuk papan partikel mutu I (eksterior) dan mutu II (interior). Pengujian pada

keadaan basah, yaitu setelah direndam dalam air mendidik (2 jam) dilakukan hanya pada papan partikel mutu I saja.

- c. Keteguhan (kuat) pegang skrup diuji pada arah tegak lurus permukaan dan sejajar permukaan serta dilakukan pada keadaan kering saja. Menurut Standar Indonesia tahun 1996 pengujian tersebut dilakukan pada papan partikel yang tebalnya di atas 10 mm.

5. Sifat Kimia

Menurut Standar Indonesia tahun 1996 pengujian tersebut dilakukan pada papan partikel yang tebalnya di atas 10 mm. Emisi (lepasan) formaldehida dapat dianggap sebagai sifat kimia dan papan partikel. Pada Standar Indonesia tahun 1983, belum disebutkan mengenai emisi formaldehida dari papan partikel. Pada Standar Indonesia tahun 1996, disebutkan bahwa bila diperlukan dapat dilakukan penggolongan berdasarkan emisi formaldehida. Pada Standar Indonesia tahun 1999 mengenai emisi formaldehida pada panel kayu terdapat pengujian dan persyaratan emisi formaldehida pada papan partikel. Dengan demikian kajian kali ini diutamakan untuk menghindari penggunaan formaldehid dengan mensintesis perekat yang ramah lingkungan.

3. Tumbuhan *Pinus merkusii*

Pinus (Pinus merkusii) dalam klasifikasi botanis dapat diuraikan sebagai berikut (Setyamidjaja, 1991 dalam Siregar 2005) :



Divisi :Coniferophyta

Kelas :Pinopsida

Bangsa:Pinales

Suku :Pinaceae

Marga :Pinus

Jenis :*Pinus merkusii*

Gambar 1. *Pinus merkusii*

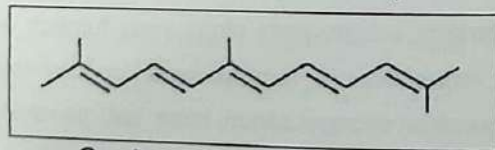
Pinus merkusii adalah jenis pinus yang tumbuh asli di Indonesia (Siregar, 2005). *Pinus merkusii* memiliki getah gondorukem dan terpentin, yang banyak digunakan sebagai sabun, resin cat, disinfektan, obat-obatan maupun sebagai parfum. Potensi hutan pinus di Sulawesi Selatan sekitar 67 ribu hektar tersebar di 12 kabupaten, diantaranya sebagian besar di kabupaten Gowa, Sinjai, Maros, Bone, Enrekang, Tana Toraja, dan Toraja

Utara. *Pinus merkusii* termasuk jenis pohon serba guna yang terus-menerus dikembangkan dan diperluas penanamannya pada masa mendatang untuk penghasil kayu, produksi getah, dan konservasi lahan.

Tusam atau pinus adalah sebutan bagi sekelompok tumbuhan yang semuanya tergabung dalam marga *Pinus*. Di Indonesia penyebutan tusam atau pinus biasanya ditujukan pada tusam Sumatera (*Pinus merkusii* Jungh).

Kandungan terpenoid *Pinus merkusii*

Terpenoid berasal dari molekul isopren (C₅) dan kerangka karbonnya dibangun oleh dua penyambungan atau lebih satuan C₅ ini. Terpen dikenal sebagai kelompok besar dari hidrokarbon yang terbentuk dari unit-unit isopren (C₅H₈). Terpenoid dan steroid resminya diturunkan dari unit-unit isopren hingga kadang disebut isoprenoid. Kemudian senyawa-senyawa itu dipilah menjadi beberapa golongan berdasarkan jumlah satuan yang terdapat dalam senyawa tersebut: dua (C₁₀), tiga (C₁₅), empat (C₂₀), enam (C₃₀), atau delapan (C₄₀) satuan. Terpenoid terdiri dari beberapa macam senyawa, mulai dari komponen minyak atsiri, yaitu monoterpena dan seskuioterpena yang mudah menguap (C₁₀ dan C₁₅), diterpena yang lebih sukar menguap (C₂₀), sampai ke senyawa yang tidak menguap, yaitu triterpenoid dan sterol (C₃₀), serta pigmen karotenoid (C₄₀) (Adam, 2008; Sjostrom, 1998). Adapun struktur senyawa terpen secara umum dapat dilihat pada Gambar 2, (Melanie 2009).



Gambar 2. Struktur Terpenoid

Sejumlah monoterpen merupakan konstituen oleoresin kayu tropika. Diterpen terbatas pada kayu daun jarum terutama dalam bentuk

asam resin. Getah lateks spesies *Hevea* merupakan salah satu contoh triterpen dari kayu tropis. Sejumlah kayu tropis mengandung glikosida triterpen dan steroid yang menghasilkan larutan berbusa dalam air disebut saponin. Beberapa saponin bertindak sebagai bahan pembius untuk ikan atau racun ikan (Fengel dan Wegener 1989).

Senyawa-senyawa monoterpenoid merupakan terbesar dalam fraksi terpenoid yang mudah menguap "minyak atsiri" yang dapat diperoleh sebagai terpenin dari bagian-bagian yang berbeda dari kayu dengan penyulingan uap atau dari kondensat bejana pemasak yang lepas setelah pembuatan bubur kayu yang ditambahkan Na₂S dan NaOH pada kayu lunak. Monoterpenoid terutama terdapat dalam oleoresin kayu lunak, baik sebagai hidrokarbon atau sebagai turunannya. Triterpenoid adalah senyawa yang kerangka karbonnya berasal dari enam satuan isopren dan secara biosintesis diturunkan dari asam asetat melanoat. Triterpenoid berupa senyawa tanpa warna yang berbertuk kristal.

Merurut Supriyadi (2009) triterpenoid telah diketahui memiliki aktifitas sebagai antibiotika dan anticendawan. Saponin adalah salah satu contoh dari senyawa triterpenoid. Saponin merupakan glikosid terpena dan sterol yang bersifat seperti sabun. Selain itu saponin dapat dilihat berdasarkan kemampuannya membentuk busa yang stabil dan dapat menghemolisis sel darah. Saponin digunakan sebagai bahan pencuci karena memiliki sifat emulsi.

Keawetan alami kayu diartikan sebagai ketahanan kayu terhadap serangan unsur-unsur perusak kayu dari luar seperti jamur, rayap, bubuk, cacing laut, dan makhluk lainnya yang di ukur dalam jangka waktu tahunan. Keawetan kayu disebabkan oleh adanya suatu zat di dalam kayu (zat ekstraktif) yang merupakan unsur beracun bagi perusak kayu (Dumanauw 1990 & Atika 2010).

Rayap

Rayap hidup dengan mengambil makanan berupa selulosa yang terdapat pada kayu. Selain itu, dapat pula selulosa dari hasil perombakan cendawan yang dipeliharanya yang dimakan. Selulosa yang dimakan kemudian dicerna dengan pertolongan protozoa yang hidup dalam usus rayap. Proses penghancuran makanan terjadi di usus belakang rayap dan terlaksana dengan sempurna dengan bantuan protozoa flagellata bagi rayap tingkat rendah dan bakteri bagi rayap tingkat tinggi (Indrayani dan Suleman, 2009).

Sampai saat ini, cara penanggulangan bahaya rayap yang banyak digunakan adalah dengan penggunaan bahan kimia yang sangat berbahaya bagi para operator maupun bagi lingkungan. Teknologi pengendalian rayap telah dicoba antara lain (Indrayani dan Suleman, 2009):

1. Penggunaan termitisida yang diaplikasikan melalui tanah atau dengan cara impregnasi ke dalam kayu (*chemical barrier*).
2. Menggunakan penghalang fisik (*physical barrier*) yaitu untuk mencegah penetrasi rayap pada bangunan.
3. Teknologi pengumpanan (*baiting*), untuk mengeliminasi koloni rayap.

Pengendalian rayap secara biologis menggunakan agen hayati dari golongan cendawan, nematode, virus dan bakteri entomopatogen merupakan alternatif lain pengendalian rayap tanah (Pearce, 1997). Penggunaan agen hayati tersebut sebagai pengendalian rayap dipraktekkan di Indonesia (Nandika, 1999; Yusuf dkk, 2005).

B. Kerangka Pemikiran

Pinus merkusii merupakan salah satu tanaman andalan di beberapa wilayah di Sulawesi Selatan. Di Kabupaten Tator misalnya, tanaman *Pinus*

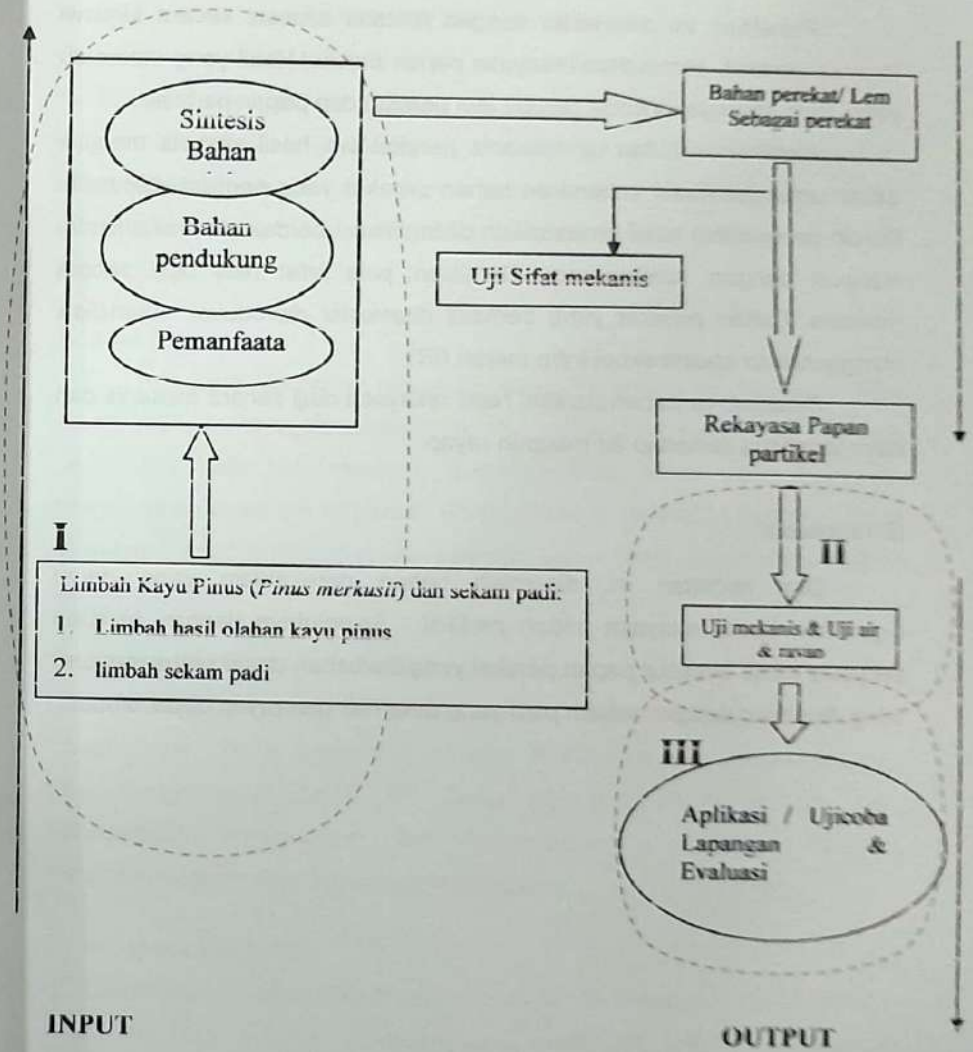
merkusii merupakan salahsatu tanaman andalan dalam memacu perekonomian rakyat.Pada 2011 produksi tanaman *Pinus merkusii* mencapai 35000 m³. Hal ini didasarkan pada potensi hutan pinus di Sulawesi Selatan sekitar 69.902 ribu hektar yang tersebar di 12 kabupaten, diantaranya sebagian besar di kabupaten Gowa, Sinjai, Maros, Bone, Enrekang, Tana Toraja, dan Toraja Utara, yang kebanyakan dimanfaatkan untuk pembuatan *plywood* ataupun tripleks. Dari pemanfaatan ini dihasilkan limbah sekitar 55-65 %, yang jika tidak dimanfaatkan akan memberikan permasalahan tersendiri. Demikian pula sekam padi, setiap tahun diperoleh sekam padi yang merupakan produk samping yang melimpah dari hasil penggilingan padi.Selama ini pemanfaatannya masih terbatas sebagai bahan bakar untuk pembakaaan batu merah, pembakaran untuk memasak, abu gosok atau bahkan dibuang begitu saja, hal ini sering menjadi permasalahan tersendiri, sehingga mendorong untuk pemanfaatannya secara maksimal.

Umumnya petani dan industri pengolah kayu pinus dalam menangani limbahnya biasanya membuang ke lingkungan ataupun membakar buangan tersebut, hal ini dilakukan karena masyarakat tidak terlalu suka memanfaatkan limbah kayu pinus, ini disebabkan karena jika dimanfaatkan untuk bahan bakar misalnya sangat mengganggu kesehatan maupun lingkungan sekitar. Demikian pula limbah sekam padi yang pemanfaatannya belum maksimal.

Atas fakta ini dipikirkan untuk memanfaatkan limbah tersebut untuk diolah menjadi papan partikel.Hal ini di samping dapat mengatasi pencemaran yang ditimbulkan oleh limbah kayu pinus dan limbah sekam padi, juga diharapkan dapat menambah penghasilan bagi petani pinus dan padi maupun bagi indutri pengolah kayu *Pinus merkusii*. Dengan sendirinya akan memberi peningkatan pada pendapatan asli daerah.

Saat ini sudah banyak papan partikel yang telah diproduksi namun kebanyakan masih menggunakan perekat sintesis yang berbahaya, mudah diserang oleh rayap, tidak tahan air, dan memiliki tingkat kelenturan yang tinggi. Sehingga selain meminimalisasi limbah yang dihasilkan industri kayu pinus juga tetap mengutamakan produk akhir yang ramah lingkungan.

Rencana pemanfaatan limbah kayu pinus diawali dengan mensintesis perekat yang dapat digunakan untuk membuat papan partikel yang tahan rayap, tahan air dan juga ramah lingkungan. Selanjutnya perekat yang dihasilkan dikarakterisasi dan dijadikan bahan perekat pada pembuatan papan partikel yang berbahan dasar limbah *Pinus merkusii*. Selanjutnya papan partikel hasil rekayasa kemudian diuji sifat mekanisnya, dan daya tahannya terhadap air dan rayap. Selanjutnya, dengan mengetahui cara pembuatan papan partikel berbahan dasar pinus, maka dapat dilakukan uji produksi pada pelaku industri pengolah kayu *Pinus merkusii*. Kerangka pikir secara bagan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan kerangka pikir seluruh kegiatan

C. Definisi Operasional dan Konseptualisasi Variabel

Penelitian ini dikerjakan dengan metode sintesis secara kimiawi formula perekat, pembuatan/rekayasa papan partikel. Hasil yang diperoleh yakni formulasi senyawa kimia berupa lem perekat dan papan partikel.

Karakterisasi dan uji mekanis perekat/lem hasil sintesis menjadi dasar untuk justifikasi kebenaran bahan perekat yang berhasil disintesis. Bahan perekat/lem hasil sintesis akan diidentifikasi berdasarkan sifat kimia, maupun dengan spektroskopi. Demikian pula sifat fisis diuji secara mekanis. Bahan perekat yang berhasil disintesis/ diproduksi, dianalisis menggunakan spektroskopi Infra merah (IR).

Selanjutnya papan partikel hasil rekayasa diuji secara mekanis dan daya tahannya terhadap air maupun rayap.

D. Hipotesis

Dari kegiatan ini diperoleh bahan perekat/lem yang dapat digunakan pada rekayasa papan partikel. Selanjutnya dengan bantuan senyawa kimia tersebut papan partikel yang berbahan dasar pinus merkusii yang dicampur dengan sekam padi yang tahan air dan rayap dapat dibuat.

BAB III. METODE PENELITIAN

A. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain kacang kedelai, serbuk gergaji pinus, limbah sekam padi, akuades, NaOH 40%, gliserin, gelatin, larutan koloid SiO_2 , CH_3COOH 5 %, getah *Pinus merkusii*, *tissue roll* dan sabun cair.

B. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain neraca analitik model NO AP 110, piknometer 25 mL, *stopwatch*, viskometer Ostwald canon 400, bulb, labu semprot, sendok tanduk, cawan petri, *hot plate*, penggilingan, oven, pH universal, FT-IR model SHIMADZU 820 1PC, UTM (*Universal Testing Machine*) dan alat-alat gelas yang umum digunakan di laboratorium.

C. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan mulai bulan Mei- September 2013 di Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, PT Japfa Comfeed Indonesia, Tbk dan Laboratorium Pengelolaan dan Pemanfaatan Hasil Hutan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin Makassar.

D. Prosedur Penelitian

1. Pembuatan Perekat dari Bahan Dasar Air Rebusan Kacang kedelai

Kacang kedelai ditimbang sebanyak 40 gram, ditambahkan akuades hingga 300 mL, kemudian dididihkan selama 30 menit dan disaring. Air hasil saringan kacang kedelai diambil sebanyak 60 mL dan

dipanaskan sampai mendidih kemudian ditambahkan 20 gram gelatin dan diaduk hingga larut, setelah larut ditambahkan 25 mL gliserin sambil terus diaduk sampai mengental, setelah mengental ditambahkan CH_3COOH 5 % sebanyak 12 mL, selanjutnya ditambahkan getah sebanyak 33 g. Kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit NaOH 40 % sebanyak 8,5 mL sambil diaduk hingga mengental, setelah itu ditambahkan larutan SiO_2 sebanyak 4,5 mL kemudian diaduk hingga homogen.

2. Pengujian Perekat dari Bahan Dasar Air Rebusan Kacang Kedelai Berdasarkan (SNI 06-4567-1998)

Pengujian kualitas perekat dari bahan dasar air rebusan kacang kedelai berdasarkan SNI 06-4567-1998. Faktor-faktor yang diuji meliputi :

a. Kenampakan

Prosedur pengujian kenampakan yaitu contoh uji dituangkan sedikit di atas gelas yang datar. Contoh uji dialirkan hingga terbentuk lapisan film yang tipis kemudian diamati secara visual adanya butiran padat, debu dan benda lain yang mengurangi kualitas contoh uji.

b. Keasaman / pH

Prosedur pengujian pH menggunakan pH universal dengan cara mencelupkan pH universal ke dalam contoh uji. pH universal yang telah dicelupkan, disesuaikan dengan trayek pH yang telah ditentukan.

c. Sisa Penguapan / Kadar Padatan

Contoh uji ditimbang 1,5 gram dalam cawan petri yang telah diketahui bobotnya kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu ± 103 °C selama 24 jam. Contoh uji dimasukkan dalam desikator hingga suhu kamar dan ditimbang.

Perhitungan

$$\% \text{ Padatan} = \frac{W_3 - W_1}{W_2} \times 100 \%$$

Keterangan :

W_1 = Bobot cawan porselin kosong (g)

W_2 = Bobot contoh uji (g)

W_3 = Bobot cawan + contoh uji setelah dikeringkan (g)

d. Waktu Gelatinasi

Tahapan pengujian waktu gelatinasi yaitu contoh uji ditimbang ± 10 gram dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Dipanaskan di atas penangas air pada suhu 100 °C, permukaan contoh uji diletakkan 2 cm di bawah permukaan air. Diamati waktu yang dibutuhkan contoh tersebut tergelatin dengan cara memiringkan tabung reaksi dan terlihat contoh tidak mengalir lagi.

e. Pengukuran Densitas

Piknometer dibersihkan dan dikeringkan. Piknometer kosong ditimbang. Kemudian piknometer diisi dengan sampel hingga penuh kemudian ditutup. Diukur suhu sampel dalam piknometer dan dicatat suhunya. Kemudian piknometer yang berisi sampel ditimbang dengan neraca digital dan dicatat bobotnya.

Perhitungan :

$$S_g^t = \frac{\text{Bobot Contoh Uji}}{\text{Bobot Contoh Akuades } T \text{ } ^\circ\text{C}} \quad (2)$$

$$d_{aq}^t = S_g^t \times d_{aq}^t \quad (3)$$

Keterangan :

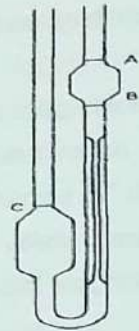
S_g^t = Bobot jenis

d_{aq}^t = Densitas akuades pada T °C (g/cm^3)

f. Pengukuran Nilai Viskositas

Sampel dimasukkan ke dalam viskometer Ostwald melalui tabung P. Sampel dihisap ke tabung Q sampai melewati tanda a dan dibiarkan mengalir melalui batas. Saat mengalir melalui batas a, stopwatch dijalankan dan saat melewati batas bawah (b), stopwatch dimatikan.

Dicatat waktu yang diperlukan sampel untuk melewati batas atas ke batas bawah.



Gambar 4. Viskometer Ostwald

Perhitungan :

$$\eta_c = \frac{\rho_c \times t_c}{\rho_a \times t_a} \times \eta_a$$

Keterangan:

η_c = Viskositas cairan (cP)

ρ_c = Densitas cairan (g/cm³)

η_a = Viskositas akuades (cP)

ρ_a = Densitas akuades

$\eta_a = 0,8937$ cP

3. Preparasi Bahan Baku Papan Partikel

Sekam padi direndam selama 24 jam kemudian dididihkan selama 2 jam. Kemudian dikeringkan pada suhu kamar dan digiling kasar. Kadar air sekam padi ditentukan untuk perhitungan bahan baku yang digunakan dalam pembuatan papan partikel.

Serbuk gergaji pinus dikeringkan pada suhu kamar. Kadar air serbuk gergaji ditentukan untuk perhitungan bahan baku yang digunakan dalam pembuatan papan partikel.

4. Penentuan Perbandingan Campuran Sekam Padi dan Serbuk Gergaji dalam Pembuatan Papan Partikel dengan Bahan Dasar Perekat Air Rebusan Kacang Kedelai

Sekam padi dan serbuk gergaji masing-masing ditimbang dengan perbandingan 1:1; 0:1; 1:2; 1:4; 1:0; 2:1 dan 4:1 dengan total keduanya sebanyak 446,4286 g berdasarkan berat kering oven. Masing-masing perbandingan tersebut diaduk hingga homogen kemudian dicampurkan dengan perekat sebanyak 119,8465 g dan diaduk hingga homogen. Sekam padi dan serbuk gergaji yang telah dicampurkan dengan perekat kemudian dimasukkan ke dalam cetakan sebesar 25 x 25 x 1 cm.

a. Pengempaan (*Pressing*)

Cetakan yang berisi campuran sekam padi, serbuk gergaji dan perekat, diletakkan di atas lembaran aluminium foil dan plat aluminium. Bagian tepi dibatasi dengan batang besi dengan ketebalan 1 cm. Proses pengempaan dilakukan dengan menggunakan kempa panas (*hot pressing*), pada suhu 180 °C dengan tekanan 25 kgf/cm² selama 15 menit.

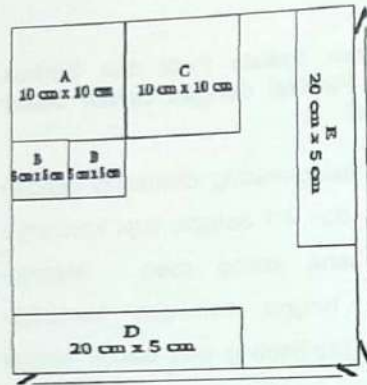
b. Pengkondisian (*conditioning*)

Pengkondisian dilakukan untuk menyeragamkan kadar air dan menghilangkan tegangan sisa yang terbentuk selama proses pengempaan panas selama 14 hari pada suhu kamar. Selain itu pengkondisian dimaksudkan agar kadar air papan partikel mencapai kesetimbangan.

c. Pemotongan Contoh Uji

Papan partikel yang telah mengalami pengkondisian kemudian dipotong sesuai dengan tujuan pengujian yang dilakukan. Ukuran contoh

uji disesuaikan dengan standar pengujian JIS A 5908-2003 tentang papan partikel.



Keterangan :

- A: Pengujian Kerapatan
- B: Pengujian *Internal Bonding*
- C: Pengujian penyerapan air setelah direndam 24 jam
- D: Pengujian modulus elastisitas
- E: Pengujian modulus patah (MOR)

Gambar 5. Ukuran contoh uji

5. Pengujian Sifat Fisis Papan Partikel

a. Kerapatan

Contoh uji 10 x 10 x 1 cm ditimbang (m) kemudian dihitung volume contoh uji (v).

Perhitungan :

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Keterangan :

ρ = Kerapatan/densitas (g/cm^3)

m = Bobot contoh uji (g)

v = Volume contoh uji (cm^3)

b. Kadar air

Contoh uji berukuran 5 x 5 x 1 cm ditimbang. Kemudian contoh uji dikeringkan selama 24 jam pada suhu $103 \pm 2^\circ\text{C}$ dan ditimbang.

Perhitungan :

$$\% \text{ Air} = \frac{BA - BE}{BA} \times 100 \% \quad (6)$$

Keterangan:

BA = Bobot contoh uji awal (g)

BB = Bobot contoh uji setelah dikeringkan (g)

c. Daya Serap Air

Contoh uji 5 x 5 x 1 cm ditimbang kemudian dicatat. Contoh uji direndam selama 2 jam dan 24 jam. Ditimbang kembali dan dicatat.

Perhitungan :

$$\% \text{ DSA}_{2 \text{ jam}} = \frac{B2 - B1}{B1} \times 100 \% \quad (7)$$

$$\% \text{ DSA}_{24 \text{ jam}} = \frac{B3 - B1}{B1} \times 100 \% \quad (8)$$

Keterangan:

B1 = Bobot contoh uji sebelum perendaman (g)

B2 = Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (g)

B3 = Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (g)

d. Pengembangan Tebal

Contoh uji 5 x 5 x 1 cm diukur ketebalannya kemudian dicatat. Contoh uji direndam selama 2 jam dan 24 jam. Diukur kembali ketebalannya dan dicatat.

Perhitungan :

$$\% \text{ PT}_{2 \text{ jam}} = \frac{T2 - T1}{T1} \times 100 \% \quad (9)$$

$$\% \text{ PT}_{24 \text{ jam}} = \frac{T3 - T1}{T1} \times 100 \% \quad (10)$$

Keterangan:

T1 = Tebal contoh uji sebelum perendaman (cm)

T2 = Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (cm)

T3 = Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (cm)

e. Keteguhan Patah (MOR)

Pengujian keteguhan patah dilakukan dengan menggunakan mesin uji UTM (*Universal Tensile Machine*). Contoh uji berukuran 5 x 20 x 1 cm pada kondisi kering udara, lebar bentang 15 kali tebal nominal tetapi tidak kurang dari 15 cm.

Perhitungan

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Keterangan:

MOR = Keteguhan patah (kg/cm²)

P = Beban maksimum (kg)

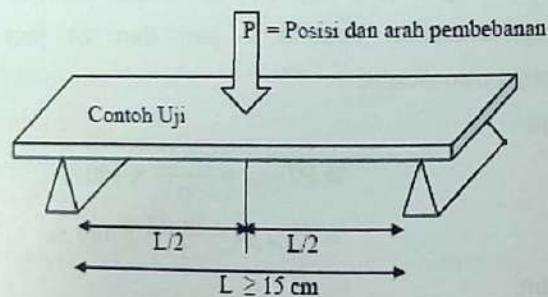
L = Jarak sangga (cm)

b = Lebar contoh uji (cm)

h = Tebal contoh uji (cm)

f. Keteguhan Lentur (MOE)

Pengujian keteguhan lentur menggunakan contoh uji yang sama dengan contoh uji keteguhan patah. Pada saat pengujian dicatat besarnya defleksi yang terjadi setiap selang beban tertentu.



Gambar 6. Pengujian MOR dan MOE

Perhitungan:

$$MOE = \frac{Pl^2}{4Ybh^3} \quad (12)$$

Keterangan:

MOE = Keteguhan lentur (kg/cm²)

P = Beban sebelum batas proporsi (kg)

L = Jarak sangga (cm)

Y = Lentur pada beban P (cm)

b = Lebar contoh uji (cm)

h = Tebal contoh uji (cm)

E. Analisis Data

Data-data yang diperoleh, diolah menggunakan metode deskriptif, kualitatif dan kuantitatif. Pembuatan perekat dan papan partikel dianalisis interaksi yang terjadi menggunakan alat FT-IR model SHIMADZU 820 1PC.

BAB IV. PROSEDUR PELAKSANAAN KEGIATAN

Mekanisme & Rancangan Kegiatan:

Mekanisme & Rancangan Kegiatan:

1. Sampling bahan dasar pinus merkusii di kabupaten Tana Toraja dan Malino Kabupaten Gowa serta sekam padi di kabupaten Sidrap,
2. Sintesis bahan perekat/lem.
3. Pemurnian bahan perekat/lem yang diperoleh dari hasil sintesis.
4. Analisis dan karakterisasi bahan perekat/lem hasil sintesis menggunakan instrumen Infra Merah (IR).
5. Rekayasa papan partikel menggunakan perekat hasil sintesis pada campuran limbah pinus merkusii dan sekam padi.
6. Pengujian sifat mekanis papan partikel serta daya tahannya terhadap air maupun rayap.
7. Aplikasi pada industri-industri pengolahan kayu pinus dan sekam padi.

Pada tahapan I, kegiatan lebih ditekankan pada langkah 1 sampai dengan 5 difokuskan pada ditemukannya perekat yang sesuai untuk pembuatan papan partikel, dengan tetap memperhitungkan aspek kesehatan pengguna pada rencana produksinya ke masa depan. Pada tahapan ke II berdasarkan hasil pada tahap I, maka dicoba merekayasa papan partikel yang dapat memenuhi SNI 03-2105-1996.

BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pengambilan Percontoh

Percontoh berupa limbah serbuk kayu *Pinus merkusii* diambil dari lokasi pabrik Pembuatan plywood PT Nelly di Kabupaten Tana Toraja dan limbah kayu pinus yang juga terdapat di Malino kabupaten Gowa. Sementara itu getah *Pinus merkusii* di beli pada koperasi petani *Pinus merkusii* dengan harga Rp 2000 (dua ribu rupiah) perliter yang terdapat di Kabupaten Tana Toraja. Serbuk kayu kemudian di angin-anginkan dan di jemur di bawah sinar matahari, kemudian di simpan untuk selanjutnya digunakan pada pembuatan papan partikel. Sedangkan percontoh berupa limbah sekam padi di ambil di beberapa tempat penggilingan padi, Sidrap, Barru dan Makassar



Gambar 7. Salah satu tempat pengambilan limbah kayu *Pinus merkusii*, lokasi PT Nelly Tana Toraja

Penyiapan percontoh tidak memerlukan pengerjaan yang rumit yaitu serbuk kayu dapat dilakukan secara langsung tanpa perlakuan

pendahuluan. Hal ini disebabkan oleh kayu pinus tidak mengandung banyak zat ekstraktif seperti lemak dan semacamnya. Adanya lemak atau semacamnya dapat menghalangi pertautan antara patikel serbuk kayu sehingga proses perlengketan tidak mudah terjadi. Namun untuk limbah sekam padi diberikan perlakuan pendahuluan yakni, perebusan, pengeringan dan pencacahan untuk membuat partikelnya menjadi lebih kecil. Hal ini dimaksudkan untuk memaksimalkan perpaduan dengan perekat, demikian pula untuk menghomogenkan campuran, sehingga pada pembuatan papan partikel diperoleh kepadatan yang maksimal.

Bahan dasar berupa air rebusan kedelai dapat di adakan sendiri dengan cara merebus kacang kedelai kemudian memisahkan air rebusannya. Ataupun dapat juga diambil dari pabrik tahu maupun pabrik tempe yang diketahui hanya sebagai limbah. Bahan ini dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan perekat, yang selanjutnya disebut sebagai perekat **Air Rebusan Kacang Kedelai (ARKK)**.

Sementara itu rumput laut *Sargassum sp* di ambil langsung di pulau Barang Lombo, rumput laut jenis ini belum banyak digunakan, dengan demikian bahan bakunya masih melimpah, karena dapat tumbuh secara alamiah. Walaupun belum memiliki nilai ekonomis, namun sebenarnya rumput laut jenis ini mempunyai kandungan protein lebih dari 10 %. Hal ini menjadikannya sangat potensial untuk direkayasa menjadi perekat yang kuat. Selanjutnya perekat berbahan dasar rumput laut *Sargassum sp* disebut sebagai perekat **Air Rebusan Alga Coklat, *Sargassum duplicatum* (ARAC)**.

B. Sintesis Bahan Perekat/Lem

Pada pengujian perekat/lem berdasarkan kualitas perekat urea-formaldehid (UF) SNI 08-4567-1998 untuk sintesis bahan perekat/lem

berbahan dasar air rebusan kacang kedelai diperoleh hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Standar UF dan ARKK untuk air rebusan kacang kedelai

Parameter Uji	Standar UF	ARKK
Kenampakan	Putih Susu	Kekuningan
Derajat Keasaman/pH	10-13	10
Sisa Penguapan/Kadar Padatan	40-45 %	44,70 %
Waktu Gelatinasi	>30 menit	56 menit 29,71 sekon
Densitas	1,165-1,200 g/cm ³	1,1656 g/cm ³
Nilai Viskositas	130-300 cps	182,4387 cps

Pada Tabel 3 terlihat bahwa kenampakan dari segi warna pada perekat yang berasal dari air rebusan kacang kedelai berbeda dengan warna dan urea-formaldehid yang berwarna putih, hal ini disebabkan dari warna gelatin dan ARKK yang digunakan. Untuk parameter yang lain berupa derajat keasaman, sisa penguapan, waktu gelatinasi, densitas dan viskositas nilai pengukurannya hampir sama dengan urea-formaldehid.

Sedangkan sintesis bahan perekat/lem berbahan dasar makroalga *Sargassum duplicatum* diperoleh hasil seperti pada Tabel 4. Pada penampakan secara visual terlihat bahwa air rebusan alga coklat berwarna coklat kehitaman, warna coklat kehitaman ini adalah warna yang berasal dari pigmen alga coklat. Perbedaan yang ada antara lem yang berasal dari Air Rebusan Kacang Kedelai (ARKK) dan Air Rebusan Alga Coklat (ARAC) dapat dilihat pada parameter sisa penguapan, waktu gelatinasi dan nilai viskositas.

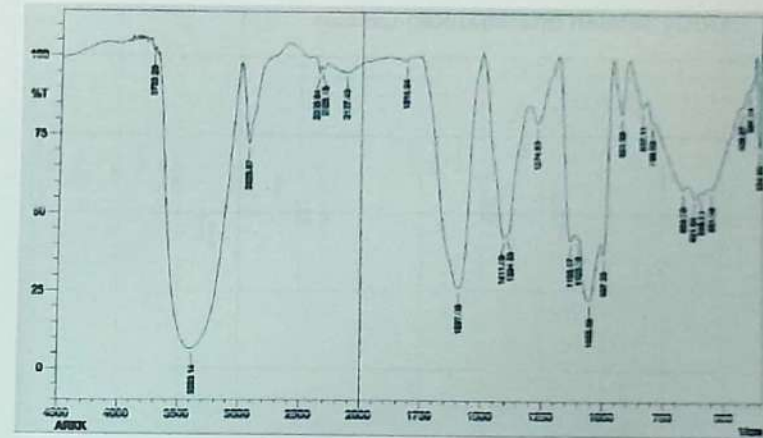
Tabel 4. Nilai Standar UF dan ARKK untuk makroalga *Sargassum duplicatum*

Parameter Uji	Standar UF	ARAC
Kenampakan	Putih Susu	Coklat kehitaman
Derajat Keasaman/pH	10-13	10
Sisa Penguapan/Kadar Padatan	40-45 %	40,48%
Waktu Gelatinasi	>30 menit	1 jam 13 menit 39 detik
Densitas	1,165-1,200 g/cm ³	1,1661 g/cm ³
Nilai Viskositas	130-300 cps	298,94937 cps

Kadar kepadatan untuk lem yang berasal dari ARKK lebih tinggi dari ARAC yang berarti bahwa lem dari ARKK lebih padat dari pada ARAC. Untuk waktu gelatinasi, lem yang berasal dari ARAC mempunyai waktu gelatinasi lebih lama dibandingkan lem dari ARKK yang berarti bahwa lem ini lebih lama memadat dibandingkan lem yang berasal dari ARKK. Sedangkan nilai viskositas untuk ARKK lebih rendah dari pada ARAC, yang berarti lem yang berasal dari ARKK mempunyai kemampuan perekat untuk mengalir, berpindah dan mengadakan penetrasi terhadap bahan baku saat proses perekatan sehingga kualitas perekatan akan semakin meningkat sampai batas tertentu. Namun, perekat yang terlalu encer juga akan menurunkan keteguhan rekat dari papan partikel yang akan dibuat.

C. Analisis dan Karakterisasi Bahan Perekat/Lem Hasil Sintesis Menggunakan Instrumen Infra Merah (IR)

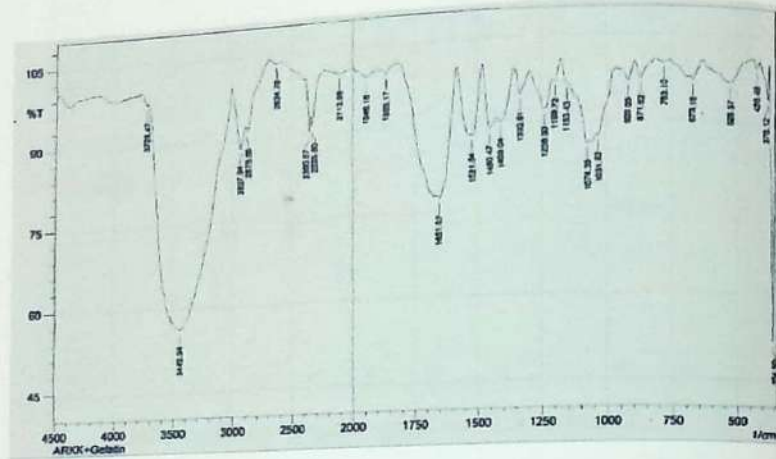
- a. Analisis interaksi yang terjadi pada perekat/lem berbahan dasar air rebusan kacang kedelai
 - Air Rebusan Kacang Kedelai (ARKK)



Gambar 8. Hasil IR air rebusan kacang kedelai

Berdasarkan analisis inframerah pada Gambar 8 menunjukkan adanya pita lebar pada daerah 3383,14 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya O-H. Daerah 3732,6 cm⁻¹ dengan intensitas lemah menunjukkan adanya N-H yang didukung dengan adanya pita ganda di daerah 2356,94 cm⁻¹ dan 2326,15 cm⁻¹ menunjukkan adanya NH₃⁺. Daerah 2929,87 cm⁻¹ dengan intensitas sedang menunjukkan adanya C-H alifatik. Daerah 1597,06 cm⁻¹ dengan intensitas kuat menunjukkan adanya C=O dari gugus fungsi karboksilat. Daerah 1055,06 cm⁻¹ menunjukkan adanya C-O yang didukung oleh adanya pita dengan intensitas cukup kuat di daerah 923,90 cm⁻¹ menunjukkan adanya C-O-H deformasi. Daerah 1411,89 cm⁻¹ menunjukkan adanya C-N amida.

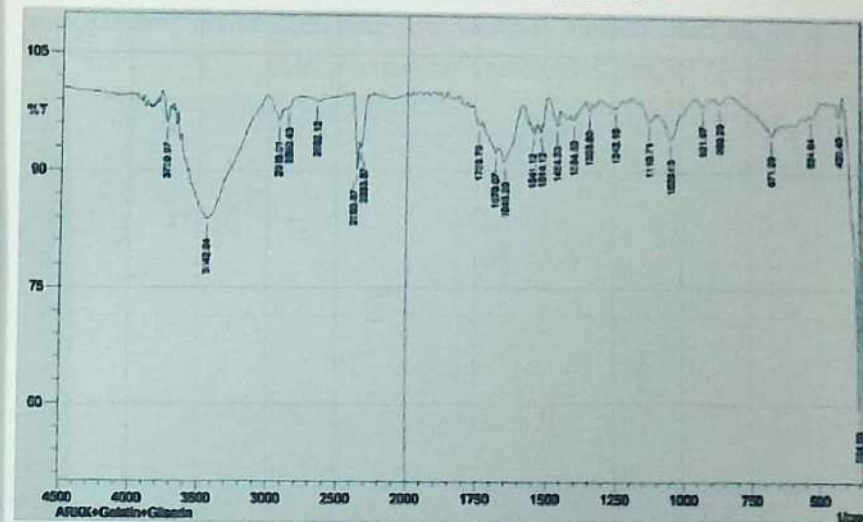
- ARKK setelah ditambahkan Gelatin



Gambar 9. Hasil IR air rebusan kacang kedelai + Gelatin

Spektrum IR pada Gambar 9 menunjukkan adanya pita lebar pada daerah $3442,92 \text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya O-H. Daerah $2927,94 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-H alifatik. Adanya N-H dengan intensitas lemah pada daerah $3726,47 \text{ cm}^{-1}$ didukung dengan adanya pita ganda pada daerah $2360,87 \text{ cm}^{-1}$ dan $2335,80 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya NH_3^+ . Daerah $1651,07 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas kuat dan tajam menunjukkan adanya C=O. Daerah $1074,35 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya absorbsi C-O yang didukung dengan adanya pita dengan intensitas cukup tajam pada daerah $920,05 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya C-OH deformasi. Daerah $1408,04 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-N amida yang mendukung pula adanya N-H pada daerah $3726,47 \text{ cm}^{-1}$.

- ARKK setelah ditambahkan Gelatin dan Gliserin

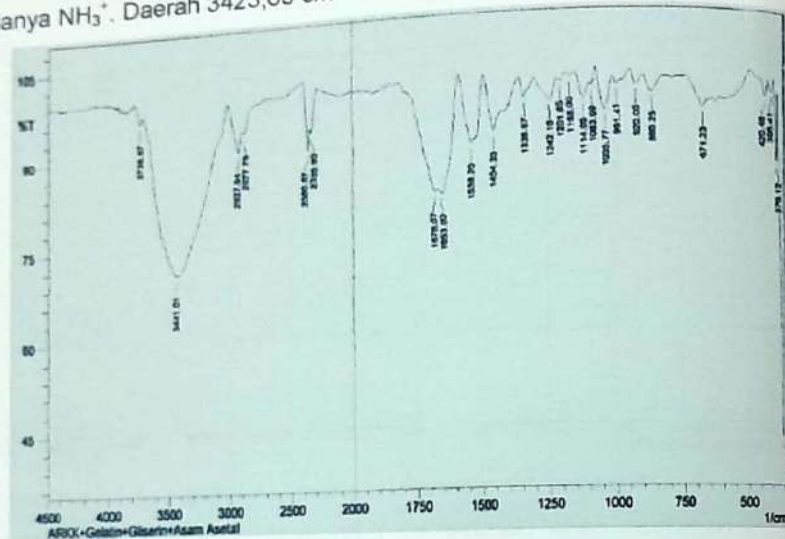


Gambar 10. Hasil IR air rebusan kacang kedelai + Gelatin

Spektrum pada Gambar 10 menunjukkan turunnya intensitas dari pita serapan setelah penambahan gliserin. Daerah $3739,97 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya N-H dengan intensitas lemah yang didukung dengan adanya pita ganda di daerah $2380,87 \text{ cm}^{-1}$ dan $2333,87 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya NH_3^+ . Daerah $3442,94 \text{ cm}^{-1}$ dengan pita lebar menunjukkan adanya O-H. Daerah $2926,01 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-H alifatik. Daerah $1645,26 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C=O. Daerah $1039,63 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-O yang didukung pula dengan adanya C-OH deformasi pada daerah $921,97 \text{ cm}^{-1}$.

- ARKK setelah ditambahkan Gelatin, Gliserin dan Asam Asetat

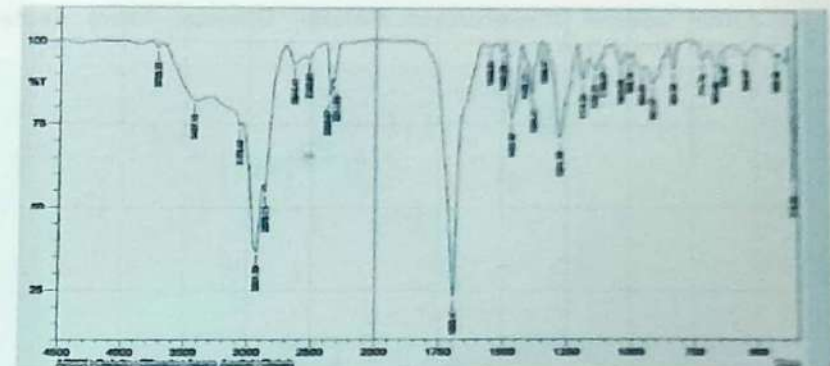
Spektrum pada Gambar 11 menunjukkan adanya N-H dengan intensitas lemah pada daerah $3739,97 \text{ cm}^{-1}$ yang didukung oleh adanya pita ganda pada daerah $2360,67 \text{ cm}^{-1}$ dan $2335,60 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya NH_3^+ . Daerah $3423,65 \text{ cm}^{-1}$ dengan pita lebar



Gambar 11. Hasil IR air rebusan kacang kedelai + Gelatin + Asam Asetat

menunjukkan adanya O-H. Daerah $2927,94 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-H alifatik. Daerah $1653,00 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C=O dengan intensitas cukup kuat. Daerah $1039,63 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-O absorpsi yang didukung dengan adanya C-OH pada daerah $921,97 \text{ cm}^{-1}$

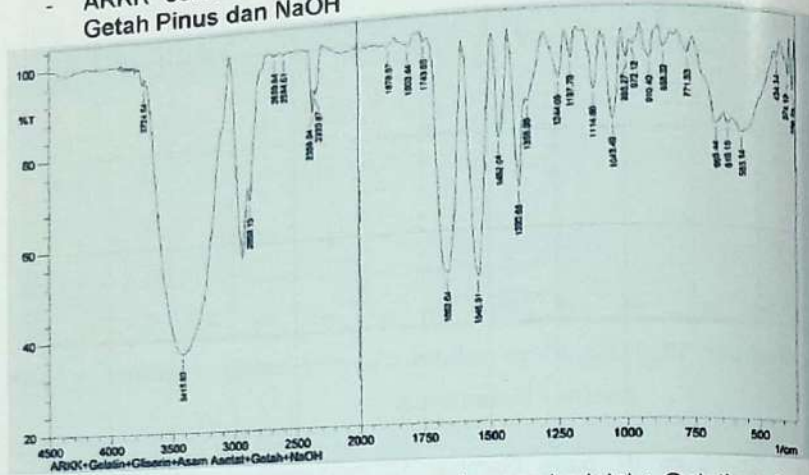
- ARKK setelah ditambahkan Gelatin, Gliserin, Asam Asetat dan Getah Pinus



Gambar 12. Hasil IR air rebusan kacang kedelai + Gelatin + Asam Asetat + Getah pinus

Spektrum IR pada Gambar 12 menunjukkan adanya perubahan spektrum yang cukup jelas setelah penambahan getah pinus tersebut. Spektrum tersebut menunjukkan adanya penurunan intensitas dari N-H pada bilangan gelombang $3730,33 \text{ cm}^{-1}$. Hal tersebut juga terjadi pada O-H yang mengalami penurunan intensitas pada bilangan gelombang $3437,15 \text{ cm}^{-1}$ yang juga ditandai dengan intensitas lemah pada daerah $950,91 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-OH deformasi. Sedangkan pita kuat terdapat pada C-H alifatik pada daerah $2931,60 \text{ cm}^{-1}$ yang didukung dengan adanya pita pada daerah $1384,89 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya CH_3 deformasi. Daerah bilangan gelombang $2360,67 \text{ cm}^{-1}$ dan $2335,60 \text{ cm}^{-1}$ masih terdapat pita ganda dengan intensitas lemah yang menunjukkan adanya NH_3^+ . Daerah $1695,43 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita dengan intensitas yang kuat menunjukkan adanya C=O. Sedangkan daerah $1463,97 \text{ cm}^{-1}$ telah muncul pita dengan intensitas yang kuat menunjukkan adanya C=C. Daerah $1406,11 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya regangan C-N amida dengan intensitas cukup lemah.

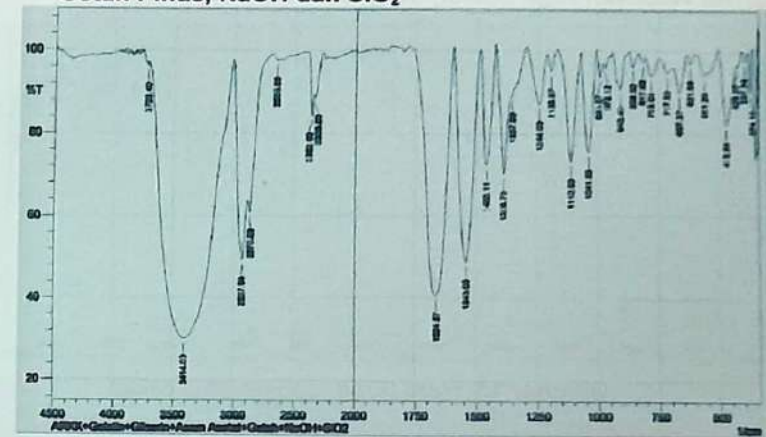
- ARKK setelah ditambahkan Gelatin, Gliserin, Asam Asetat, Getah Pinus dan NaOH



Gambar 13. Hasil IR air rebusan kacang kedelai + Gelatin + Asam Asetat + Getah pinus + NaOH

Spektrum pada Gambar 13 menunjukkan adanya N-H pada daerah $3724,54 \text{ cm}^{-1}$ yang didukung dengan adanya pita ganda pada daerah $2358,94 \text{ cm}^{-1}$ dan $2333,87 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya NH_3^+ . Daerah $3415,93 \text{ cm}^{-1}$ dengan pita lebar menunjukkan adanya O-H. Daerah $2927,94 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-H alifatik. Daerah $1662,64 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C=O. Daerah $1546,91 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C=C. Daerah $1043,49 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-O yang didukung dengan adanya C-OH pada daerah $665,44 \text{ cm}^{-1}$.

- ARKK setelah ditambahkan Gelatin, Gliserin, Asam Asetat, Getah Pinus, NaOH dan SiO_2

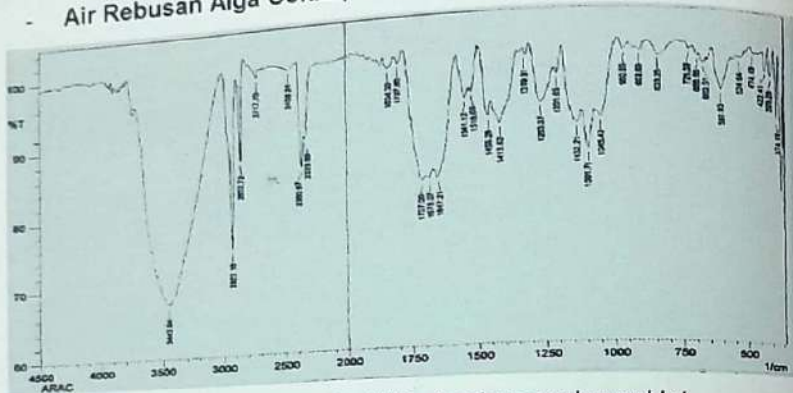


Gambar 14. Hasil IR air rebusan kacang kedelai + Gelatin + Asam Asetat + Getah pinus + NaOH + SiO_2

Spektrum pada Gambar 14 menunjukkan adanya N-H dengan intensitas lemah pada daerah $3726,40 \text{ cm}^{-1}$ yang didukung dengan adanya pita ganda pada daerah $2362,60 \text{ cm}^{-1}$ dan $2335,80 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya NH_3^+ . Daerah $2927,94 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-H alifatik. Daerah $1664,57 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C=O. Daerah $1543,05 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C=C. Daerah $1244,09 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya Si-C yang didukung dengan adanya pita lemah $910,40 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya Si-H.

b. Analisis interaksi yang terjadi pada perekat/lem berbahan dasar Air Rebusan Alga Coklat, *Sargassum duplicatum* (ARAC)

- Air Rebusan Alga Coklat, *Sargassum duplicatum* (ARAC)



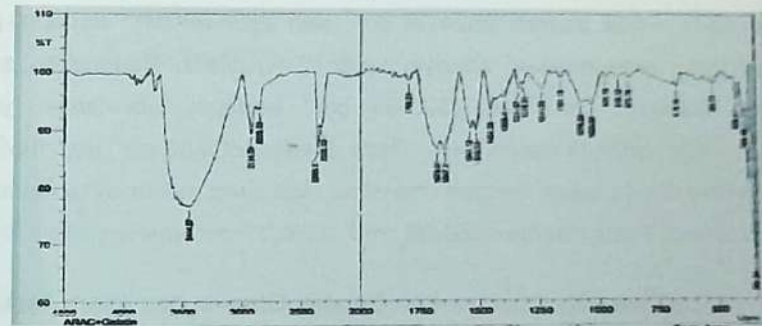
Gambar 15. Hasil IR air rebusan alga coklat

Spektrum IR pada Gambar 15 menunjukkan adanya pita lebar dengan intensitas kuat pada daerah $3442,94 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya ikatan O-H. Pada daerah $2922,16 \text{ cm}^{-1}$ dan $2852,72 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita lemah yang menunjukkan adanya ikatan C-H alifatik. Pita tajam dengan intensitas sedang menunjukkan adanya ikatan C=N pada daerah $2360,87 \text{ cm}^{-1}$ dan $2335,80 \text{ cm}^{-1}$. Terdapatnya pita-pita pada daerah $1707,00 \text{ cm}^{-1}$, $1678,07 \text{ cm}^{-1}$, dan $1647,21 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan C=O. Pada daerah $3726,40 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita dengan intensitas lemah yang menunjukkan adanya ikatan N-H. Sedangkan pada daerah $960,55 \text{ cm}^{-1}$ merupakan daerah sidik jari.

- ARAC setelah ditambahkan Gelatin

Spektrum IR pada Gambar 16 menunjukkan adanya pita lebar dengan intensitas kuat pada daerah $3444,87 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan

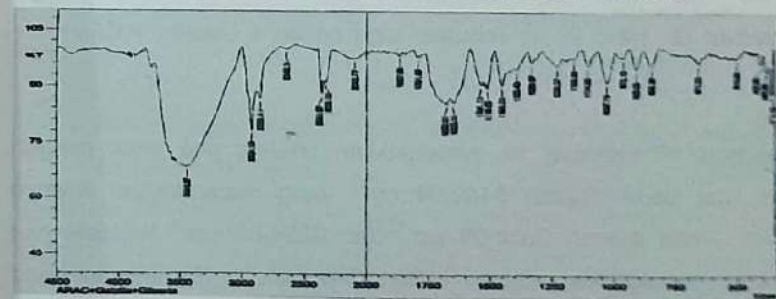
adanya ikatan O-H. Pada daerah $2924,09 \text{ cm}^{-1}$ dan $2856,58 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita lemah yang menunjukkan adanya ikatan C-H



Gambar 16. Hasil IR air rebusan alga coklat + Gelatin

alifatik. Pita tajam dengan intensitas kuat pada daerah $2360,87 \text{ cm}^{-1}$ dan $2335,80 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan C=N. Pada daerah $1678,07 \text{ cm}^{-1}$ dan $1647,21 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita tajam dengan intensitas kuat yang menunjukkan adanya gugus amida. Sedangkan pada daerah $1541,12 \text{ cm}^{-1}$ - $1516,05 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan C-H. Sedangkan pada daerah $3726,40 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita yang menunjukkan adanya ikatan N-H.

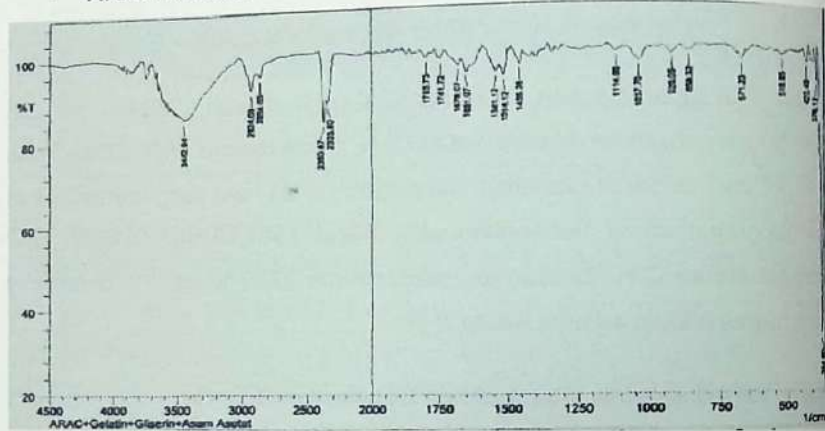
- ARAC setelah ditambahkan Gelatin dan Gliserin



Gambar 17. Hasil IR air rebusan alga coklat + Gelatin + Gliserin

Spektrum IR Gambar 17 menunjukkan adanya pita lebar dengan intensitas kuat pada daerah $3444,87 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya ikatan O-H. Pada daerah $2924,09 \text{ cm}^{-1}$ dan $2856,58 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita lemah yang menunjukkan adanya ikatan C-H alifatik. Sedangkan pada daerah $2360,87 \text{ cm}^{-1}$ dan $2328,08 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita lemah yang menunjukkan adanya ikatan C=N. Pada daerah $1680,00 \text{ cm}^{-1}$ dan $1653,00 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita tajam dengan intensitas kuat yang menunjukkan adanya gugus amida. Pada daerah $1456,26 \text{ cm}^{-1}$ - $1236,37 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan C-H.

- ARAC setelah ditambahkan Gelatin, Gliserin dan Asam Asetat

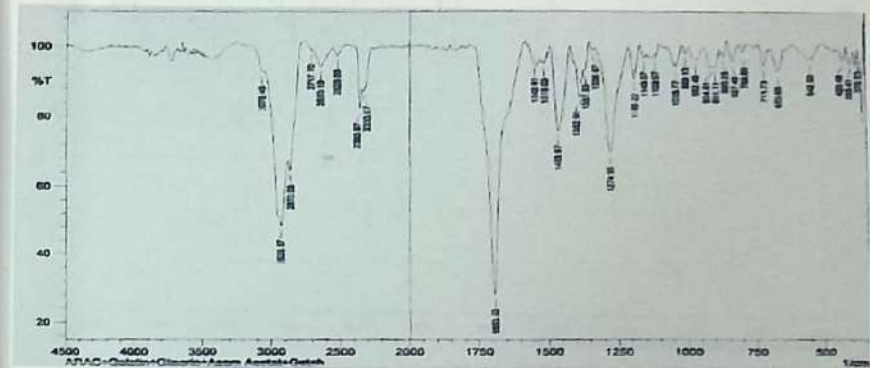


Gambar 18. Hasil IR air rebusan alga coklat + Gelatin + Gliserin + As. Asetat

Spektrum IR Gambar 18 menunjukkan adanya pita lebar dengan intensitas kuat pada daerah $3442,94 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya ikatan O-H. Pada daerah $2924,09 \text{ cm}^{-1}$ dan $2854,65 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita lemah yang menunjukkan adanya ikatan C-H alifatik. Sedangkan pada daerah $2360,87 \text{ cm}^{-1}$ dan $2335,80 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita lemah yang

menunjukkan adanya ikatan C=N. Sedangkan pada daerah $920,05 \text{ cm}^{-1}$ - $376,12 \text{ cm}^{-1}$ merupakan daerah sidik jari.

- ARAC setelah ditambahkan Gelatin, Gliserin, Asam Asetat dan Getah Pinus



Gambar 19. Hasil IR air rebusan alga coklat + Gelatin + Gliserin + As. Asetat + getah pinus

Spektrum IR Gambar 19 menunjukkan adanya pita tajam dengan intensitas kuat pada daerah $2929,87 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya ikatan C-H alifatik. Pada daerah $1693,50 \text{ cm}^{-1}$ terdapat pita tajam dengan intensitas yang kuat yang menunjukkan adanya ikatan C=O. Sedangkan pada daerah $962,48 \text{ cm}^{-1}$ - $370,33 \text{ cm}^{-1}$ merupakan daerah sidik jari.

- ARAC setelah ditambahkan Gelatin, Gliserin, Asam Asetat, Getah Pinus dan NaOH

Spektrum IR pada Gambar 20 menunjukkan adanya pita lebar pada daerah $3392,79 \text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan adanya gugus O-H. Daerah $2927,87 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C-H alifatik. Daerah $1653,00 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C=O. Daerah $1543,05$ menunjukkan adanya

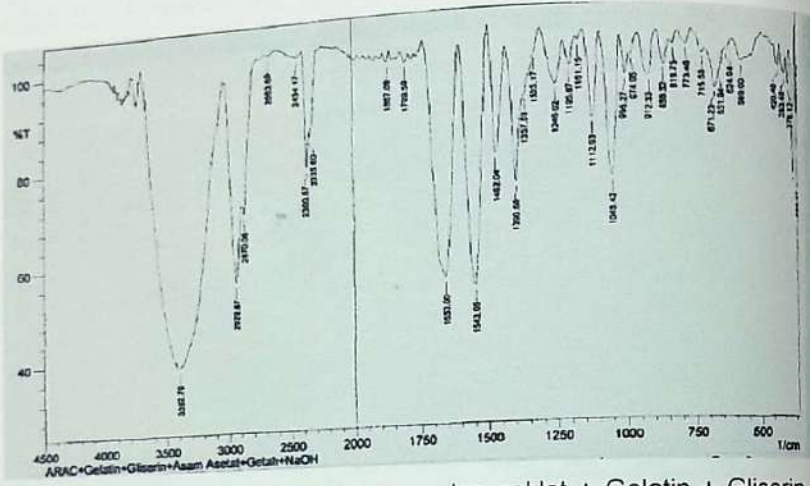
A. Rekayasa Papan Partikel Menggunakan Perekat Hasil Siantosis Pada Campuran Limbah Pinus Merkusli Dan Sekam Padi

- a. Pengujian sifat mekanis papan partikel dengan menggunakan Perekat/Lem Berbahan Dasar Air Rebusan Kacang Kedelai menurut standar SNI 03-2105-1996

Tabel 5. Nilai hasil pengujian papan partikel dari campuran serbuk gergaji dan sekam padi menggunakan lem dari ARKK

Parameter	Standar	Perbandingan (Sekam Padi : Serbuk Gergaji)							
		1:1	1:0	2:1	4:1	0:1	1:2	1:4	
Kerapatan (g/cm ³)	0,5-0,9	0,7749	0,6943	0,7058	0,7025	0,7496	0,7804	0,7735	
Kadar air (%)	< 14	5,97	6,38	6,83	6,93	5,21	5,32	5,48	
Daya serap air (%)	20 -	25,76	47,12	37,09	26,78	25,77	29,94	20,98	
	75	47,29	83,00	39,19	65,61	26,34	47,64	39,88	
Pengerbangan lebal (%)	Mak	3,51	20,27	0,55	20,63	0,16	4,88	1,56	
	s. 24 jam	11,37	51,61	32,04	24,84	4,64	23,06	2,71	
MOR (kg/cm ²)	Min. 80	61,8039	33,7416	53,8900	29,0833	95,7709	63,6336	101,1592	
MOE (kg/cm ²)	Min. 15.000	7.628,1056	6.921,1754	8.288,6335	5.315,6268	14.745,0750	11.493,6094	18.248,3063	

Daerah 1045,42 cm⁻¹ menunjukkan adanya C-O yang didukung dengan adanya C-OH pada daerah 671,23 cm⁻¹.



Gambar 20. Hasil IR air rebusan alga coklat + Gelatin + Gliserin + As. Asetat + getah pinus + NaOH

b. Pengujian sifat mekanis papan partikel dengan menggunakan Perakul Lem Berbahan Dasar Makroalga *Sargassum duplicatum*

Tabel 6. Nilai hasil pengujian papan partikel dari campuran serbuk gergaji dan sekam padi menggunakan lem dari ARAC

Parameter	Standar	Perbandingan (Sekam Padi : Serbuk Gergaji)							
		1:1	1:0	2:1	4:1	0:1	1:2	1:4	
Kerapatan (g/cm ³)	0,5-0,9	0,7469	0,7079	0,7261	0,7501	0,7801	0,7079	0,7522	
Kadar air (%)	< 14	6,21	5,178	7,07	5,923	5,613	4,904	4,613	
Daya serap air (%)	24 jam	12,09	44,34	9,06	51,18	25,01	25,80	22,95	
		38,15	66,68	35,19	94,52	36,84	39,72	33,99	
Pembangunan tebal (%)	Maks. 2 jam	26,06	22,34	26,13	43,34	11,83	13,92	11,04	
	24 jam	0,24	5,97	0,58	24,66	13,94	8,41	1,11	
MOR (kg/cm ²)	Min. 80	71,5559	7,2836	44,7355	40,3145	107,5237	85,1312	110,2988	
MOE (kg/cm ²)	Min. 15.000	9.883,8748	866,6009	7.452,8643	793,6497	18.332,901	12.629,945	20.093,615	

Tabel 5 menunjukkan nilai hasil pengujian dari papan partikel yang merupakan gabungan antara serbuk gergaji dan sekam padi menggunakan lem dari ARKK dalam beberapa perbandingan. Dari berbagai parameter yang di uji, papan partikel dengan perbandingan sekam padi dan serbuk gergaji 1: 4 mempunyai nilai kualitas yang tinggi, meliputi daya serap air selama 2 jam, pengembangan tebal untuk pengukuran selama 24 jam, serta nilai MOR dan MOE. Untuk nilai kerapatan, kadar air, daya serap air untuk waktu pengukuran 24 jam dan pengembangan tebal untuk waktu 2 jam papan partikel dengan perbandingan sekam padi dan serbuk gergaji 1: 4 bukan merupakan nilai terbaik. Namun demikian nilai yang diperoleh tidak terlalu jauh berbeda dengan nilai yang paling baik, sehingga secara umum dapat disimpulkan bahwa perbandingan sekam padi dan serbuk gergaji untuk perbandingan 1: 4 menggunakan lem yang berasal dari Air Rebusan Kacang Kedelai (ARKK) merupakan papan partikel yang paling baik.

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa kerapatan papan partikel perbandingan 1: 4 adalah sebesar 0,7735 g/cm³, dimana terbesar adalah 0,7804 g/cm³. Nilai ini dapat dianggap sama karena perbedaan nilai keduanya tidak berbeda jauh. Kerapatan yang tinggi menyebabkan rendahnya kadar air yang menguap akibat pori yang sangat kecil. Selain kadar air yang menguap sedikit, juga menunjukkan daya serap air dan pengembangan tebal yang kecil pula. Daya serap air yang rendah disebabkan oleh ketidak mampuan air untuk masuk pada rongga papan partikel akibat rapatnya papan partikel.

Kerapatan yang tinggi juga akan menyebabkan nilai MOR dan MOE yang tinggi. Selain itu, tingginya nilai MOR dan MOE juga dipengaruhi oleh komposisi dari bahan pembuat papan partikel. Pada tabel terlihat bahwa perbandingan antara sekam padi dan serbuk gergaji dimana serbuk gergaji lebih dominan akan membuat MOR dan MOE mempunyai nilai yang tinggi.

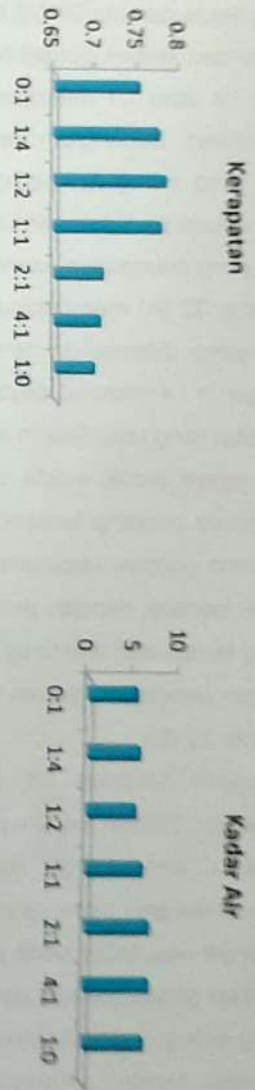
Pada Tabel 6 dapat dilihat secara umum nilai hasil pengujian dari papan partikel berbahan dasar serbuk gergaji dan sekam padi menggunakan lem dari ARAC dalam beberapa perbandingan. Dari berbagai parameter yang di uji, papan partikel dengan perbandingan sekam padi-serbuk gergaji 1: 4 mempunyai nilai kualitas yang tinggi untuk: kadar air, daya serap air untuk waktu 24 jam, pengembangan tebal untuk waktu pengukuran selama 24 jam, demikian pula nilai MOR dan MOE nya. Sedangkan nilai kerapatan, kadar air, daya serap air dan pengembangan tebal (2 jam), papan partikel dengan perbandingan sekam padi-serbuk gergaji 1: 4 bukan merupakan nilai yang terbaik, namun demikian nilai yang diperoleh tidak terlalu jauh berbeda dengan nilai yang terbaik. Sehingga secara umum dapat disimpulkan bahwa perbandingan sekam padi dan serbuk gergaji 1: 4 yang menggunakan lem ARAC merupakan papan partikel yang paling baik.

Hal yang sama di peroleh pada papan partikel yang menggunakan lem yang berasal dari air rebusan kacang kedelai, dimana hasil yang terbaik juga ditunjukkan pada perbandingan 1:4 sekam padi-serbuk gergaji.

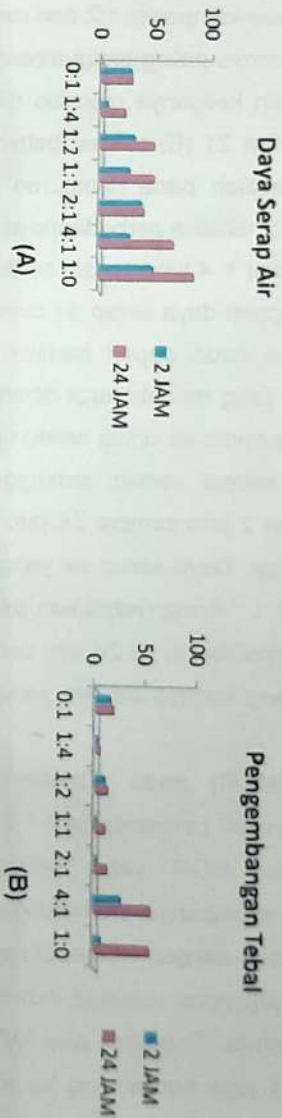
Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa kerapatan papan partikel perbandingan 1: 4 adalah sebesar $0,7522 \text{ g/cm}^3$, terbesar adalah $0,7801 \text{ g/cm}^3$. Sama seperti pada papan partikel yang menggunakan lem dari air rebusan kacang kedelai, Kerapatan yang tinggi juga menyebabkan rendahnya kadar air yang menguap akibat pori yang sangat kecil. Selain kadar air yang menguap sedikit, daya serap air dan pengembangan tebal dari papan partikel juga kecil. Daya serap air yang rendah ditentukan oleh ketidak mampuan air untuk masuk pada rongga papan partikel yang rapat.

Kerapatan yang tinggi juga akan memberikan pula nilai MOR dan MOE yang tinggi. Komposisi dari bahan pembuat papan partikel juga akan mempengaruhi nilai MOR dan MOE, dimana jumlah serbuk gergaji yang dominan akan memberikan nilai MOR dan MOE yang tinggi.

c. Histogram pengujian sifat mekanis papan partikel dengan menggunakan perekatlem berbahan dasar air-rebusan kacang kedelai



Gambar 21 : Histogram kerapatan papan (A) dan histogram kadar air papan (B)



Gambar 22 : Histogram daya serap air (A) dan histogram pengembangan tebal (B)

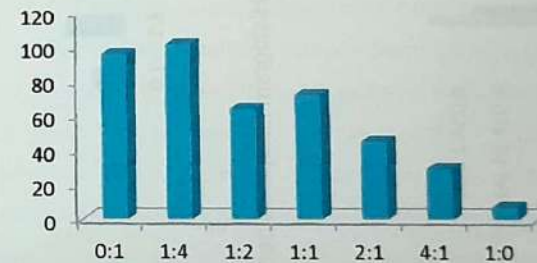
Dari histogram yang ada pada Gambar 21 terlihat nilai hasil pengujian dari papan partikel yang merupakan campuran antara sekam padi dan serbuk gergaji menggunakan lem dari ARKK dalam beberapa perbandingan komposisi. Pada gambar 21 (A) terlihat bahwa komposisi 1:2 dari campuran sekam padi dan serbuk gergaji nilai kerapatannya paling tinggi dibandingkan komposisi 1:4 atau 1:1 meskipun perbedaan ketiganya memiliki nilai tidak terlalu signifikan. Sedangkan pada Histogram 21 (B) terlihat bahwa untuk kadar air yang menguap paling sedikit adalah pada campuran dengan komposisi sekam padi dan serbuk gergaji 1:2 dimana perbedaannya dengan campuran yang mempunyai komposisi 0:1 dan 1: 4 tidak terlalu berbeda.

Gambar 22 (A) memperlihatkan histogram daya serap air dimana dari histogram yang ditampilkan terlihat bahwa pada papan partikel dengan perbandingan 1 : 4 memiliki daya serap air yang rendah/ kecil dibandingkan papan partikel yang lain. Selisih antara daya serap air untuk waktu uji 24 jam dan daya serap untuk waktu uji 2 jam sangat sedikit, sehingga dapat diartikan bahwa air yang terserap mulai dari 2 jam sampai 24 jam tidaklah banyak karena adanya kerapatan yang tinggi. Daya serap air yang rendah pada papan partikel dengan perbandingan 1 : 4 menyebabkan penebalan papan yang terjadi dari waktu uji 2 jam sampai waktu uji 24 jam paling kecil dibandingkan penebalan papan partikel yang lainnya seperti yang terlihat pada Gambar 22 (B).

Histogram Modulus Of Rapture (MOR) pada Gambar 23 (A) memperlihatkan bahwa papan partikel dengan perbandingan 1 : 4 yang menggunakan lem ARKK memiliki nilai MOR yang paling besar dibandingkan dengan papan partikel yang mempunyai perbandingan yang lain. Tingginya nilai MOR pada papan partikel dengan perbandingan 1 : 4 menyebabkan papan partikel dengan perbandingan tersebut memiliki daya tahan yang paling tinggi diantara yang lainnya. Tingginya nilai MOR pada papan partikel dengan perbandingan 1 : 4 juga berbanding lurus dengan

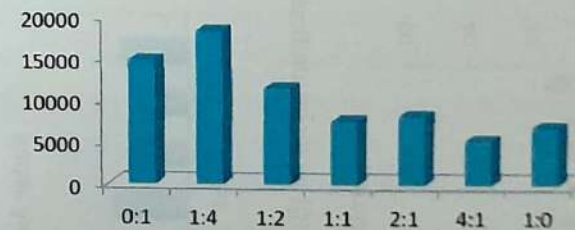
tingginya nilai Histogram Modulus Of Elastisity (MOE) pada perbandingan yang sama seperti yang terlihat pada Gambar 23 (B). Nilai MOR dan MOE yang tinggi mengindikasikan bahwa papan partikel dengan komposisi campuran 1 : 4 selain memiliki daya tahan yang tinggi, juga memiliki kelenturan yang tinggi.

MODULUS OF RAPTURE (MOR)



(A)

MODULUS OF ELASTISITY (MOE)



(B)

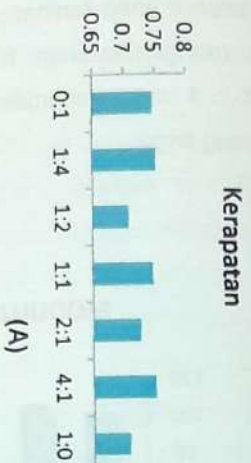
Gambar 23 : Histogram Modulus of Rapture (A) dan histogram Modulus of Elastisity (B)

Dari histogram yang ada pada Gambar 24 terlihat nilai hasil pengujian dari papan partikel yang merupakan campuran antara sekam padi dan serbuk gergaji menggunakan lem dari ARAC dengan menggunakan beberapa perbandingan komposisi. Pada gambar 24 (A) terlihat bahwa komposisi 1:4 dari campuran sekam padi dan serbuk gergaji nilainya paling tinggi dibandingkan komposisi 0:1, 1:1 dan 4:1 meskipun perbedaan ketiganya memiliki nilai tidak terlalu signifikan. Sedangkan pada Histogram 24 (B) terlihat bahwa untuk kadar air yang menguap paling sedikit adalah pada campuran dengan komposisi sekam padi dan serbuk gergaji 1:4.

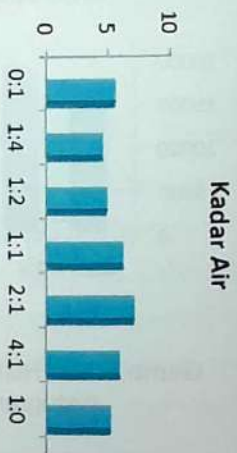
Gambar 25 (A) memperlihatkan histogram daya serap air dimana dari histogram yang di tampilkan terlihat bahwa pada papan partikel dengan perbandingan 1 : 4 memiliki daya serap air yang rendah/ kecil dibandingkan papan partikel yang lain terutama pada campuran 0:1 dan 1:2. Selisih antara daya serap air untuk waktu uji 24 jam dan daya serap untuk waktu uji 2 jam sangat sedikit, sehingga dapat diartikan bahwa air yang terserap mulai dari 2 jam sampai 24 jam tidaklah banyak karena adanya kerapatan yang tinggi. Daya serap air yang rendah pada papan partikel dengan perbandingan 1 : 4 menyebabkan penebalan papan yang terjadi dari waktu uji 2 jam sampai waktu uji 24 jam paling kecil dibandingkan penebalan papan partikel yang lainnya seperti yang terlihat pada Gambar 25 (B).

Histogram Modulus Of Rapture (MOR) pada gambar 26 (A) memperlihatkan bahwa papan partikel dengan perbandingan 1 : 4 yang menggunakan lem ARAC memiliki nilai MOR yang paling besar dibandingkan dengan papan partikel yang mempunyai perbandingan yang lain. Tingginya nilai MOR pada papan partikel dengan perbandingan 1 : 4 menyebabkan papan partikel dengan perbandingan tersebut memiliki daya tahan yang paling tinggi diantara yang lainnya. Tingginya nilai MOR pada papan partikel dengan perbandingan 1 : 4 juga berbanding lurus dengan

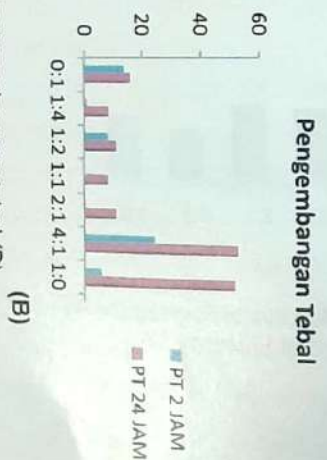
d. *Histogram pengujian sifat mekanis papan partikel dengan menggunakan perekatlem berbahan dasar makroalga *Sargassum duplicatum**



Gambar 24 : Histogram kerapatan papan (A) dan histogram kadar air (B)

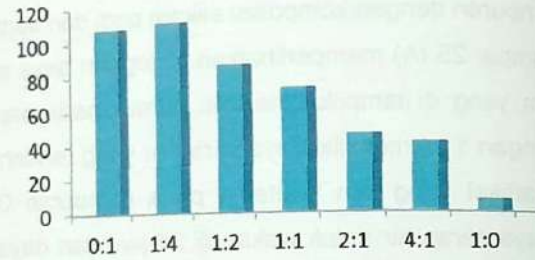


Gambar 25 : Histogram daya serap air (A) dan histogram pengembangan tebal (B)



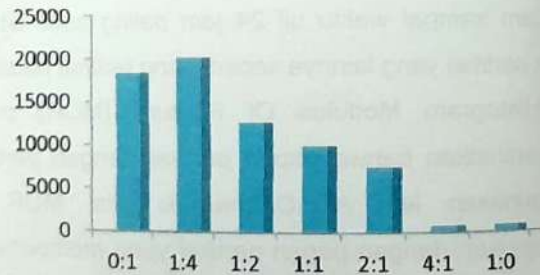
tingginya nilai Histogram Modulus Of Elasticity (MOE) pada perbandingan yang sama seperti yang terlihat pada Gambar 26 (B). Nilai MOR dan MOE yang tinggi mengindikasikan bahwa papan partikel dengan komposisi campuran 1 : 4 selain memiliki daya tahan yang tinggi, juga memiliki kelenturan yang tinggi sama seperti pada papan partikel yang dicampur menggunakan lem yang berasal dari ARKK.

MODULUS OF RAPTURE (MOR)



(A)

MODULUS OF ELASTISITY (MOE)



Gambar 26 : Histogram MOR (A) dan histogram MOE (B)

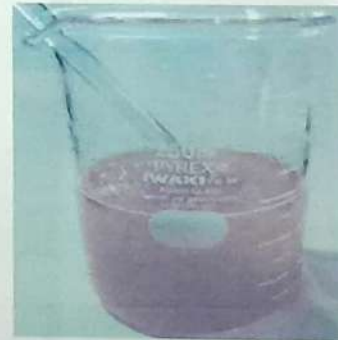
GAMBAR KEGIATAN PEMBUATAN PAPAN SECARA KESELURUHAN



1. Kacang Kedelai



2. Air Rebusan Kacang Kedelai



3. Perekat Berbahan Dasar



4. Perekat Berbahan dasar *Sargassum duplicatum*



5. Makro Alga *Sargassum*



6. Contoh Uji untuk



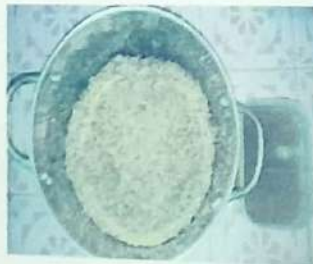
7. Berbagai Variasi Perekat



8. Sekam



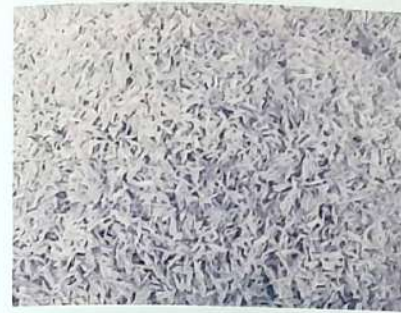
9. Perendaman Sekam Padi



10. Sekam Padi Hasil



11. Proses penjemuran



12. Hasil Proses Pengeringan Sekam



13. Hasil Penggilingan Sekam



14. Alat Penggilingan

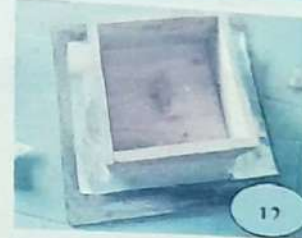
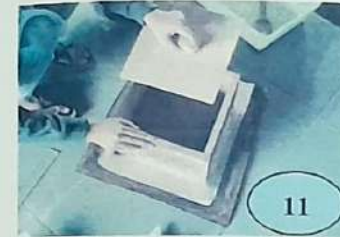


15. Serbuk Gergaji



16. Beberapa Hasil Simulasi Pembuatan

TAHAP PEMBUATAN PAPAN PARTIKEL





BAB VI KESIMPULAN, SARAN-SARAN DAN REKOMENDASI-REKOMENDASI

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Perbandingan bahan baku sekam padi dan serbuk gergaji telah dilakukan sehingga diperoleh perbandingan yang paling bagus yakni perbandingan 1:4 (sekam padi:serbuk pinus).
2. Kualitas perekat berbahan dasar air rebusan kacang kedelai dan makro alga *Sargassum duplicatum* yang dihasilkan sesuai dengan SNI 06-4567-1998 perekat UF.
3. Telah diperoleh prototipe papan partikel menggunakan perekat berbahan dasar air rebusan kacang kedelai dan makro alga *Sargassum duplicatum*. Perbandingan 1:4 (sekam padi : serbuk pinus) telah memenuhi standar SNI 03-2105-1996 serta tahan air dan rayap.

B. Saran-Saran

1. Perlu untuk disempurnakan lagi dengan melakukan kajian ukuran partikel bahan yang paling efisien.
2. Penggunaan dan modifikasi bahan lain dengan daya rekat yang lebih kuat.
3. Dilakukannya penelitian lanjutan untuk mendapatkan komposisi perekat dan bahan, serta faktor fisis antara lain tekanan, suhu dan daya tahan penyimpanan yang efisien.

C. Rekomendasi Kebijakan

Rekomendasi kebijakan yang diusulkan dari kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggalakan kelompok tani pengelola hutan pinus untuk lebih intensif dalam pengelolaan hutan pinus diluar area hutan lindung.
2. Dilakukannya penanganan limbah kayu *Pinus merkusii* dan limbah sekam padi secara komprehensif berbasis keilmiahaan holistik yang mudah, efisien, efektif dan ramah lingkungan.
3. Pemanfaatan limbah kayu *Pinus merkusii* dan sekam padi untuk peningkatan pendapatan petani.
4. Disediakkannya infra struktur untuk produksi papan partikel oleh pihak yang terkait.

D. Implikasi Kebijakan

Implikasi yang diharapkan lahir berdasarkan rancangan rekomendasi kebijakan yang ada antara lain:

1. Meningkatnya pengetahuan dan keterampilan petani serta penguasaan teknologi aplikasi budidaya dan paska panen tanaman pinus merkusi yang tepat. Terbangunnya kembali motivasi petani pinus merkusi untuk menggiatkan budidaya pinus merkusi karena didorong oleh manfaat tanaman pinus tersebut.
2. Teratasinya persoalan limbah kayu pinus dan limbah sekam padi, baik yang diakibatkan oleh petani pinus itu sendiri, maupun yang dihasilkan oleh industri pengolahan kayu pinus.
3. Meningkatnya pendapatan petani tanaman pinus merkusi seiring dengan ditemukannya metode-metode penanganan limbah kayu pinus merkusi dan limbah sekam padi, yang efisien ekonomis dan ramah lingkungan.
4. Meningkatnya pendapatan asli daerah dan tersedianya lapangan kerja baru.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, D., 2008. Scientists discover cloud-thickening chemicals in trees that could offer a new weapon in the fight against global warming. *The Guardian*.
- Atika, P.A., 2010, *Pemanfaatan Limbah Briket Menjadi Anti Rayap*, ITS, Jakarta.
- Bantacut, T., 2006, Peningkatan Daya Saing Beras Melalui Perbaikan Kualitas, Lokakarya Nasional, Gedung Pertemuan Oryza Bulog, Jakarta 13 September 2006.
- Damanauw, J. F. 1990. *Mengenal Kayu*. Yogyakarta: Kanisius Departemen Pekerjaan Umum. 1989. Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A tentang Bahan Bangunan Bukan Logam. Bandung: Yayasan LPMB.
- Desliana S.; Noviyanti E.; Vera Junita br S.; Margareth E.S.; Stevy Mega N., 2008, *Pengembangan Papan Partikel Dari Limbah Bahan Berlignoselulosa Dan Ban Bekas*(IPB (Bogor Agricultural University), 2008)
- Fengel, D. and Wegener, G., 1989, *Wood Chemistry Ultrastructure Reactions*, Walter de Gruyter, New York.
- Haygreen, J.G. dan Bowyer, J.L., 1996, *Hasil Hutan dan Ilmu Kayu*, edisi revisi, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Huoston, D.F., 1972, *Rice Chemistry and Technology*, *American Association of Cereal Chemist*, Minnesota.
- Indrayani, Y. dan Suleman, Y., 2009, Isolasi dan Identifikasi Kelas Hypomycetes sebagai Bio-Kontrol untuk Menghambat Aktivitas Rayap terhadap Kayu, *Jurnal Penelitian Universitas Tanjungpura*, 14(2), 74-75.
- Jasni, dan Sulistiningsih, I.M., 2004, Ketahanan Papan Partikel Terhadap Serangan Rayap Kayu Kering *Cryptotermes cynocephalus*. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* Vol. 22(2): 69-74.

- Joesoef, M., 1997, *Papan Majemuk*, Yayasan Pembina Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta.
- Junaidi, R., 2002. Pemanfaatan Limbah Gergajian Kayu Pinus Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Papan Partikel Gip (Wood-Based Gypsum Board). Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang.
- Kalis, M., 2008, Analisis Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel Berbahan Baku Serbuk sabut Kelapa dengan Kadar Perekat UF Yang berbeda, Skripsi Teknik Mesin, IST AKPRIND, Yogyakarta. Tidak diterbitkan.
- Kollman, F.F.P., Kuenzi, E.W and Stamm, A.J., 1975. Principle of Wood Science and Technology. Vol. 11. Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- Maloney, T.M., 1993, *Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing*, Edisi Revisi, Miller Freeman, Inc. San Fransisco.
- Maloney, T.M., 1997, *Modern Particleboard and Dry Process Fiberboard Manufacturing*, Miller Freeman Publ. USA.
- Mayangsari, R., 2008, Sifat Anti Rayap Zat Ekstraktif Kayu Kopo (*eugenia cymosa* lamk.) terhadap Rayap Tanah *coptotermes curvignathus* Holmgren, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Melanie, L., 2009. "Pentacyclic Triterpenes of the Lupane, Oleanane and Ursane Group as Tools in Cancer Therapy". *Planta Medica* 75 (15): 1549-60
- Nandika, D., Yudi, R., dan Diba, 1999, *Rayap: Biologi dan Pengendaliannya*, Muhammadiyah Univ. Press, Surakarta.
- Pearce, 1997, *Termite: Biology and Management*, International Publisher, Newyork.
- Prasad, C.S., Maiti, K.N., dan Venugopal, R., 2001, Effect of Rice Husk in Whiteware Compositions, *Ceramic International*, (27): 629-635.
- Prayitno, T.A., 1994, *Perekat Kayu*, Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta.
- Prayitno, T.A., 1995, *Perekat Papan Majemuk*, Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta.
- Siregar, E.B.M., 2005, *Pemuliaan Pinus merkusii*, Universitas Sumatera Utara Repository, Medan.
- Spracklen, D. V. Bonn, B. Carslaw K. S., (2008). Boreal forests, aerosols and the impacts on clouds and climate. *Phil. Trans. R. Soc. A* 366 (1885): 4613-26.
- Sjostrom, E., 1998, *Kimia Kayu Dasar-dasar Penggunaan*, Edisi 2, Penerjemah H. Sastrohamidjojo, Penyunting S. Prawirohatmojo, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Subiyanto, B., Dwianto, W., dan Sanusi, A., 2006, *Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu dan Peningkatan Sifat Kayu*, UPT BPP Biomaterial-LIPI, Jakarta.
- Sudarsono, Rusdianto, T., dan Suryadi, Y., 2010, Pembuatan Papan Partikel Berbahan Baku Sabut Kelapa dengan Bahan Pengikat Alami (Lem Kopal), *Jurnal Teknologi*, 3(1), 22-32.
- Supriyadi, A., 2009, Sifat Antibakteri Zat Ekstraktif Kayu Siwak (*Salvadora persica* Wall.) terhadap *Streptococcus* sp., Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sutigno, P., 1988. Perkembangan Macam Produk Industri Kayu Lapis. Fokus Kayu Lapis 88 APKINDO, Jakarta.
- Sutigno, P., 1991, *The Development of Plywood Industry in Indonesia*, World Forestry Congres X, Paris.
- Tarumingkeng, 2007. Pestida dan penggunaannya <http://tumouteo.net/TOX/PESTISIDA.htm> :1-13
- Wibowo, H., Muhajir, K., Rusianto, T., dan Arbintarso, E., 2008, Konduktivitas Termal Papan Partikel Sekam Padi, *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 1(1):20-30
- Yalqin dan Sevinq, 2001, Obtained from Risce Husk, *Ceramic International*, (27):219-224.

Yuan, L dan Kaichang, L. 2007. Development and characterization of adhesives from soy protein for bonding wood. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 27: 59-67.

Yusuf, S., Desyanti, Santoso, T., Hadi, Y.S., 2005, The Application of Entomopathogenic Fungi as Biocontrol for Subterranean Termites, *Pacific Rim Termite Research Group*, Bangkok.

LAMPIRAN 1. Pengujian Perakut Berbahan Dasar Air Rebusan Kacang Kedelai

A. Kadar Sisa Penguapan/Padatan

Bobot cawan petri kosong (W1) = 38,3426 g
 Bobot contoh (W2) = 1,5290 g
 Bobot cawan petri + contoh setelah pemanasan (W3) = 39,0260 g

$$\% \text{ Padatan} = \frac{W3 - W1}{W2} \times 100 \%$$

$$= \frac{39,0260 \text{ g} - 38,3426 \text{ g}}{1,5290 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,6834}{1,5290} \times 100 \%$$

B. Densitas

Bobot piknometer kosong = 19,1729 g
 Bobot piknometer + akuades = 44,2337 g
 Bobot akuades = 25,0608 g
 Bobot piknometer + contoh = 48,4949 g
 Bobot contoh = 29,3220 g
 Suhu akuades = 28 °C
 $d_{aq}^t = 0,996232 \text{ g/cm}^3$

$$S_g^t = \frac{\text{Bobot contoh}}{\text{Bobot akuades}}$$

$$= \frac{29,3220 \text{ g}}{25,0608 \text{ g}}$$

$$= 1,1700$$

$$d_4^t = S_g^t \times d_{aq}^t$$

$$= 1,1700 \times 0,996232 \text{ g/cm}^3$$

$$= 1,1656 \text{ g/cm}^3$$

C. Viskositas

$\rho_{\text{contoh}} = 1,1656 \text{ g/cm}^3$
 $\rho_{\text{akuades}} (28 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,996232 \text{ g/cm}^3$
 $t_{\text{akuades}} = 21,26 \text{ sekon}$
 $t_{\text{contoh}} = 4.154,21 \text{ sekon}$
 $\eta_{\text{akuades}} (28 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,7980 \text{ cP}$

$$\eta_c = \frac{\rho_c \times t_c}{\rho_a \times t_a} \times \eta_a$$

$$= \frac{1,1656 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 4.154,21 \text{ s}}{0,996232 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 21,26 \text{ s}} \times 0,7980 \text{ cP}$$

$$= \frac{3.864,0334}{21,1799}$$

$$= 182,4387 \text{ cP}$$

LAMPIRAN 2. Pengujian Perekat Berbahan Dasar Makro Alga *Sargassum duplicatum*

A. Kadar Sisa Penguapan/Padatan

Bobot cawan petri kosong (W1) = 34,9840 g
 Bobot contoh (W2) = 1,5460 g
 Bobot cawan petri + contoh setelah pemanasan (W3) = 35,6099 g

$$\% \text{ Padatan} = \frac{W3 - W1}{W2} \times 100 \%$$

$$= \frac{35,6099 \text{ g} - 34,9840 \text{ g}}{1,5460 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,6259}{1,5460} \times 100 \%$$

$$= 40,4851 \%$$

B. Densitas

Bobot piknometer kosong = 21,4105 g
 Bobot piknometer + akuades = 46,2930 g
 Bobot akuades = 24,8825 g
 Bobot piknometer + contoh = 50,5429 g
 Bobot contoh = 29,1324 g
 Suhu akuades = 29 °C
 $d_{aq}^t = 0,995944 \text{ g/cm}^3$

$$S_g^t = \frac{\text{Bobot contoh}}{\text{Bobot akuades}}$$

$$= \frac{29,1324 \text{ g}}{24,8825 \text{ g}}$$

$$= 1,1708$$

$$d_a^t = S_g^t \times d_{aq}^t$$

$$= 1,1708 \times 0,995944 \text{ g/cm}^3$$

$$= 1,1661 \text{ g/cm}^3$$

C. Viskositas

$\rho_{contoh} = 1,1661 \text{ g/cm}^3$
 $\rho_{akuades (29^\circ\text{C})} = 0,995944 \text{ g/cm}^3$
 $t_{akuades} = 18,42 \text{ sekon}$
 $t_{contoh} = 5,894,35 \text{ sekon}$
 $\eta_{akuades (29^\circ\text{C})} = 0,7979 \text{ cP}$

$$\eta_c = \frac{\rho_c \times t_c}{\rho_a \times t_a} \times \eta_a$$

$$= \frac{1,1661 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 5,894,35 \text{ s}}{0,995944 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 18,42 \text{ s}} \times 0,7979 \text{ cP}$$

$$= \frac{5,484,2859}{18,3452}$$

$$= 298,94937 \text{ cP}$$

LAMPIRAN 3. Perbandingan Bahan Baku Papan Partikel dan Perekat

A. Kadar Air Sekam Padi dan Serbuk Gergaji

- Kadar Air Sekam Padi

a. Contoh 1

Bobot cawan petri kosong (W1) = 30,7995 g
 Bobot contoh (W2) = 1,5078 g
 Bobot cawan petri + contoh sebelum pemanasan (W3) = 32,3073 g
 Bobot cawan petri + contoh setelah pemanasan (W4) = 32,2488 g

$$\% \text{ Air} = \frac{W3 - W4}{W2} \times 100 \%$$

$$= \frac{32,3073 \text{ g} - 32,2488 \text{ g}}{1,5078 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,0585}{1,5078} \times 100 \%$$

$$= 3,88 \%$$

b. Contoh 2

Bobot cawan petri kosong (W1) = 45,6532 g
 Bobot contoh (W2) = 1,5100 g
 Bobot cawan petri + contoh sebelum pemanasan (W3) = 47,1632 g
 Bobot cawan petri + contoh setelah pemanasan (W4) = 47,1107 g

$$\% \text{ Air} = \frac{W3 - W4}{W2} \times 100 \%$$

$$= \frac{47,1632 \text{ g} - 47,1107 \text{ g}}{1,5100 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,0525}{1,5100} \times 100 \%$$

$$= 3,68 \%$$

Rata-rata kadar air sekam padi = $\frac{3,88\% + 3,48\%}{2}$
 $= \frac{7,36\%}{2}$
 $= 3,68 \%$

- Kadar Air Serbuk Gergaji

a. Contoh 1

Bobot cawan petri kosong (W1) = 41,2089 g
 Bobot contoh (W2) = 1,5006 g
 Bobot cawan petri + contoh sebelum pemanasan (W3) = 42,7095 g
 Bobot cawan petri + contoh setelah pemanasan (W4) = 42,5862 g

$$\% \text{ Air} = \frac{W3 - W4}{W2} \times 100 \%$$

$$= \frac{42,7095 \text{ g} - 42,5862 \text{ g}}{1,5006 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,1233}{1,5006} \times 100 \%$$

$$= 8,22 \%$$

b. Contoh 2

Bobot cawan petri kosong (W1) = 44,1714 g
 Bobot contoh (W2) = 1,5018 g
 Bobot cawan petri + contoh sebelum pemanasan (W3) = 45,6732 g
 Bobot cawan petri + contoh setelah pemanasan (W4) = 45,5542 g

$$\% \text{ Air} = \frac{W3 - W4}{W2} \times 100 \%$$

$$= \frac{45,6732 \text{ g} - 45,5542 \text{ g}}{1,5018 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,1190}{1,5018} \times 100 \%$$

$$= 7,92 \%$$

Rata-rata kadar air serbuk gergaji

$$= \frac{8,22 \% + 7,92 \%}{2}$$

$$= \frac{16,14 \%}{2}$$

$$= 8,07 \%$$

B. Perbandingan Bahan Baku

Kerapatan papan partikel yang diinginkan = $0,8 \text{ g/cm}^3$
 Volume papan partikel yang diperoleh = 625 cm^3 + Allowance 10 % = $687,5 \text{ cm}^3$

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$0,8 \text{ g/cm}^3 = \frac{687,5 \text{ cm}^3}{\text{massa}}$$

Massa = 550 g (b. bahan baku kering + b. padatan perekat)

Bobot perekat = 12 % dari bahan baku

Bobot papan partikel = Bobot bahan baku kering + bobot padatan perekat

$$550 \text{ g} = \text{BBK} + 0,12 \text{ BBK}$$

$$550 \text{ g} = 1,12 \text{ BBK}$$

$$\text{BBK (Bahan baku kering)} = 491,07 \text{ g}$$

$$\text{BPP (Bobot padatan perekat)} = 550 \text{ g} - 491,07 \text{ g} = 58,93 \text{ g}$$

a. Perbandingan 1:1 (Sekam Padi : Serbuk Gergaji)

$$\text{Sekam padi} = \frac{1}{2} \times 491,07 \text{ g} = 245,54 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} = \frac{1}{2} \times 491,07 \text{ g} = 245,54 \text{ g}$$

Bahan baku kering

Berdasarkan kadar air masing-masing maka bahan baku yang akan ditimbang adalah sebagai berikut:

$$\text{Sekam padi} \rightarrow \frac{96,32}{100} \times X \text{ g} = 245,54 \text{ g}$$

$$X = 254,92 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} \rightarrow \frac{91,93}{100} \times X \text{ g} = 245,54 \text{ g}$$

$$X = 267,08 \text{ g}$$

b. Perbandingan 0:1 (Sekam Padi : Serbuk Gergaji)

$$\text{Sekam padi} = 0 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} = 491,07 \text{ g}$$

Bahan baku kering

Berdasarkan kadar air masing-masing maka bahan baku yang akan ditimbang adalah sebagai berikut:

$$\text{Sekam padi} \rightarrow 0 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} \rightarrow \frac{91,93}{100} \times X \text{ g} = 491,07 \text{ g}$$

$$X = 534,18 \text{ g}$$

c. Perbandingan 1:2 (Sekam Padi : Serbuk Gergaji)

$$\text{Sekam padi} = \frac{1}{3} \times 491,07 \text{ g} = 163,69 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} = \frac{2}{3} \times 491,07 \text{ g} = 327,38 \text{ g}$$

Bahan baku kering

Berdasarkan kadar air masing-masing maka bahan baku yang akan ditimbang adalah sebagai berikut:

$$\text{Sekam padi} \rightarrow \frac{96,32}{100} \times X \text{ g} = 163,69 \text{ g}$$

$$X = 169,94 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} \rightarrow \frac{91,93}{100} \times X \text{ g} = 327,38 \text{ g}$$

$$X = 356,1187 \text{ g}$$

d. Perbandingan 1:4 (Sekam Padi : Serbuk Gergaji)

$$\text{Sekam padi} = \frac{1}{5} \times 491,07 \text{ g} = 98,21 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} = \frac{4}{5} \times 491,07 \text{ g} = 392,86 \text{ g}$$

Bahan baku kering

Berdasarkan kadar air masing-masing maka bahan baku yang akan ditimbang adalah sebagai berikut:

$$\text{Sekam padi} \rightarrow \frac{96,32}{100} \times X \text{ g} = 98,21 \text{ g}$$

$$X = 101,96 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} \rightarrow \frac{91,93}{100} \times X \text{ g} = 392,86 \text{ g}$$

$$X = 427,34 \text{ g}$$

e. Perbandingan 1:0 (Sekam Padi : Serbuk Gergaji)

$$\text{Sekam padi} = 491,07 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} = 0 \text{ g}$$

Bahan baku kering

Berdasarkan kadar air masing-masing maka bahan baku yang akan ditimbang adalah sebagai berikut:

$$\text{Sekam padi} \rightarrow \frac{96,32}{100} \times X \text{ g} = 491,07 \text{ g}$$

$$X = 463,4848 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} \rightarrow 0 \text{ g}$$

f. Perbandingan 2:1 (Sekam Padi : Serbuk Gergaji)

$$\text{Sekam padi} = \frac{2}{3} \times 491,07 \text{ g} = 327,38 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} = \frac{1}{3} \times 491,07 \text{ g} = 163,69 \text{ g}$$

Bahan baku kering

Berdasarkan kadar air masing-masing maka bahan baku yang akan ditimbang adalah sebagai berikut:

$$\text{Sekam padi} \rightarrow \frac{96,32}{100} \times X \text{ g} = 327,38 \text{ g}$$

$$X = 339,89 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} \rightarrow \frac{91,93}{100} \times X \text{ g} = 163,69 \text{ g}$$

$$X = 178,06 \text{ g}$$

g. Perbandingan 4:1 (Sekam Padi : Serbuk Gergaji)

$$\text{Sekam padi} = \frac{4}{5} \times 491,07 \text{ g} = 392,86 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} = \frac{1}{5} \times 491,07 \text{ g} = 98,21 \text{ g}$$

} Bahan baku kering

Berdasarkan kadar air masing-masing maka bahan baku yang akan ditimbang adalah sebagai berikut:

$$\text{Sekam padi} \rightarrow \frac{96,32}{100} \times X \text{ g} = 392,86 \text{ g}$$

$$X = 407,87 \text{ g}$$

$$\text{Serbuk gergaji} \rightarrow \frac{91,93}{100} \times X \text{ g} = 98,21 \text{ g}$$

$$X = 106,83 \text{ g}$$

C. Jumlah Perekat

Berdasarkan kadar sisa penguapan/padatan perekat berbahan dasar air rebusan kacang kedelai yaitu sebesar 44,70 %, maka jumlah perekat yang digunakan sebanyak:

$$\frac{44,70}{100} \cdot X = 58,93 \text{ g}$$

$$0,4470 X = 58,93 \text{ g}$$

$$X = 131,83 \text{ g}$$

Berdasarkan kadar sisa penguapan/padatan perekat berbahan dasar makro alga *Sargassum duplicatum* yaitu sebesar 40,48 %, maka jumlah perekat yang digunakan sebanyak:

$$\frac{40,48}{100} \cdot X = 58,93 \text{ g}$$

$$0,4048 X = 58,93 \text{ g}$$

$$X = 145,57 \text{ g}$$

LAMPIRAN 4. Pengujian Papan Partikel

A. Papan Partikel menggunakan Perekat Berbahan Dasar Air Rebusan Kacang Kedelai

1. Papan Partikel dengan Perbandingan 1:1

a. Kerapatan

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$m = 85,20 \text{ g}$$

$$v = p \times l \times t$$

$$= (9,595 \times 9,893 \times 1,1583) \text{ cm}^3$$

$$= 109,9497 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{85,20 \text{ g}}{109,9497 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,7749 \text{ g/cm}^3$$

b. Kadar Air

$$\text{Bobot contoh uji awal (BA)} = 85,20 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB)} = 80,11 \text{ g}$$

$$\% \text{ Air} = \frac{\text{BA} - \text{BB}}{\text{BA}} \times 100 \%$$

$$= \frac{85,20 \text{ g} - 80,11 \text{ g}}{85,20 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{5,09}{85,20} \times 100 \%$$

$$= 5,97 \%$$

c. Daya Serap Air (DSA)

$$\text{Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1)} = 26,05 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2)} = 32,76 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3)} = 38,37 \text{ g}$$

$$\% \text{ DSA}_{2 \text{ jam}} = \frac{\text{B2} - \text{B1}}{\text{B1}} \times 100 \%$$

$$= \frac{(32,76 - 26,05) \text{ g}}{26,05 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{6,71}{26,05} \times 100 \%$$

$$= 25,76 \%$$

$$\% \text{ DSA}_{24 \text{ jam}} = \frac{\text{B3} - \text{B1}}{\text{B1}} \times 100 \%$$

$$= \frac{(38,37 - 26,05) \text{ g}}{26,05 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{12,32}{26,05} \times 100 \%$$

$$= 47,29 \%$$

d. Pengembangan Tebal (PT)

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 12,265 mm
Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 12,695 mm
Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 13,660 mm

$$\begin{aligned} \% PT_{2 \text{ jam}} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \% \\ &= \frac{(12,695 - 12,265) \text{ mm}}{12,265 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= \frac{0,43}{12,265} \times 100 \% \\ &= 3,51 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% PT_{24 \text{ jam}} &= \frac{T_3 - T_1}{T_1} \times 100 \% \\ &= \frac{(13,660 - 12,265) \text{ mm}}{12,265 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= \frac{1,395 \text{ mm}}{12,265 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= 11,37 \% \end{aligned}$$

e. Keteguhan Patah (MOR)

Beban maksimum (P) = 19 kg
Jarak sangga (L) = 15 cm
Lebar contoh uji (b) = 4,9635 cm
Tebal contoh uji (h) = 1,1805 cm

$$\begin{aligned} MOR &= \frac{3PL}{2bh^2} \\ &= \frac{3 \cdot 19 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 4,9635 \text{ cm} \cdot (1,1805 \text{ cm})^2} \\ &= \frac{13,83407}{855} \\ &= 61,8039 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

f. Keteguhan Lentur (MOE)

Beban sebelum batas proporsi (P) = 19 kg
Jarak sangga (L) = 15 cm
Lebar contoh uji (b) = 4,9635 cm
Tebal contoh uji (h) = 1,1805 cm
Berdasarkan persamaan garis $y = 7,467x - 7,159$
Dimana nilai $a = \frac{\Delta P}{\Delta Y} = 7,467 \text{ kg/mm} = 74,67 \text{ kg/cm}$

$$\begin{aligned} MOE &= \frac{\Delta PL^3}{4 \Delta Ybh^3} \\ &= \frac{74,67 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 4,9635 \text{ cm} \times (1,1805 \text{ cm})^3} \\ &= \frac{252,011,25}{33,0372} \\ &= 7.628,1056 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

2. Papan Partikel dengan Perbandingan 0:1

a. Kerapatan

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \\ m &= 83,14 \text{ g} \\ v &= p \times l \times t \\ &= (9,960 \times 9,960 \times 1,118) \text{ cm} \\ &= 110,9074 \text{ cm}^3 \\ \rho &= \frac{83,14 \text{ g}}{110,9074 \text{ cm}^3} \\ &= 0,7496 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Kadar Air

Bobot contoh uji awal (BA) = 83,14 g
Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB) = 78,81 g

$$\begin{aligned} \% \text{ Air} &= \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \% \\ &= \frac{83,14 \text{ g} - 78,81 \text{ g}}{83,14 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{4,33}{83,14} \times 100 \% \\ &= 5,21 \% \end{aligned}$$

c. Daya Serap Air (DSA)

Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1) = 27,40 g
Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2) = 34,46 g
Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3) = 37,20 g

$$\begin{aligned} \% DSA_{2 \text{ jam}} &= \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100 \% \\ &= \frac{(34,46 - 27,40) \text{ g}}{27,40 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{7,06}{27,40} \times 100 \% \\ &= 25,77 \% \\ \% DSA_{24 \text{ jam}} &= \frac{B_3 - B_1}{B_1} \times 100 \% \\ &= \frac{(37,20 - 27,40) \text{ g}}{27,40 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{9,80}{27,40} \times 100 \% \\ &= 26,34 \% \end{aligned}$$

d. Pengembangan Tebal (PT)

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 12,460 mm
Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 12,480 mm
Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 13,038 mm

$$\begin{aligned} \% PT_{2 \text{ jam}} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \% \\ &= \frac{(12,480 - 12,460) \text{ mm}}{12,460 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= \frac{0,02}{12,460} \times 100 \% \\ &= 0,16 \% \\ \% PT_{24 \text{ jam}} &= \frac{T_3 - T_1}{T_1} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= \frac{(13,030 - 12,460) \text{ mm}}{12,460 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,570 \text{ mm}}{12,460 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= 4,64 \%$$

e. **Keteguhan Patah (MOR)**

Beban maksimum (P) = 28 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,0045 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1465 cm

$$\text{MOR} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$= \frac{3 \cdot 28 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,0045 \text{ cm} \cdot (1,1465 \text{ cm})^2}$$

$$= \frac{12,60}{13,1564}$$

$$= 95,7709 \text{ kg/cm}^2$$

f. **Keteguhan Lentur (MOE)**

Beban sebelum batas proporsi (P) = 28 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,0045 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1465 cm
 Berdasarkan persamaan garis $y = 13,18x - 4,757$
 Dimana nilai $a = \frac{\Delta P}{\Delta Y} = 13,18 \text{ kg/mm} = 131,8 \text{ kg/cm}$

$$\text{MOE} = \frac{\Delta PL^2}{4 \Delta Y bh^3}$$

$$= \frac{131,8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times (15 \text{ cm})^2}{4 \cdot 5,0045 \text{ cm} \times (1,1465 \text{ cm})^3}$$

$$= \frac{444,825}{30,1677}$$

$$= 14,745,0750 \text{ kg/cm}^2$$

3. **Papan Partikel dengan Perbandingan 1:2**

a. **Kerapatan**

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$m = 87,25 \text{ g}$$

$$v = p \times l \times t$$

$$= (10,000 \times 10,000 \times 1,1180) \text{ cm}^3$$

$$= 111,8000 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{87,25 \text{ g}}{111,8000 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,7804 \text{ g/cm}^3$$

b. **Kadar Air**

Bobot contoh uji awal (BA) = 87,25 g
 Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB) = 82,61 g

$$\% \text{ Air} = \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \%$$

$$= \frac{87,25 \text{ g} - 82,61 \text{ g}}{87,25 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{4,64}{87,25} \times 100 \%$$

$$= 5,32 \%$$

c. **Daya Serap Air (DSA)**

Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1) = 27,79 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2) = 36,11 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3) = 41,03 g

$$\% \text{ DSA}_{2 \text{ jam}} = \frac{B2 - B1}{B1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(36,11 - 27,79) \text{ g}}{27,79 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{8,32}{27,79} \times 100 \%$$

$$= 29,94 \%$$

$$\% \text{ DSA}_{24 \text{ jam}} = \frac{B3 - B1}{B1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(41,03 - 27,79) \text{ g}}{27,79 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{13,24}{27,79} \times 100 \%$$

$$= 47,64 \%$$

d. **Pengembangan Tebal (PT)**

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 12,490 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 13,100 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 15,37 mm

$$\% \text{ PT}_{2 \text{ jam}} = \frac{T2 - T1}{T1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(13,100 - 12,490) \text{ mm}}{12,490 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,61}{12,490} \times 100 \%$$

$$= 4,88 \%$$

$$\% \text{ PT}_{24 \text{ jam}} = \frac{T3 - T1}{T1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(15,37 - 12,49) \text{ mm}}{12,49 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= \frac{2,88 \text{ mm}}{12,49 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= 23,06 \%$$

e. **Keteguhan Patah (MOR)**

Beban maksimum (P) = 19 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,0360 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1550 cm

$$\text{MOR} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$= \frac{3 \cdot 19 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,0360 \text{ cm} \cdot (1,1550 \text{ cm})^2}$$

$$= \frac{855}{13,4363}$$

$$= 63,6336 \text{ kg/cm}^2$$

f. **Keteguhan Lentur (MOE)**

Beban sebelum batas proporsi (P) = 19 kg

Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,0360 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1550 cm
 Berdasarkan persamaan garis $y = 10,57x - 8,734$
 Dimana nilai $a = \frac{\Delta P}{\Delta Y} = 10,57 \text{ kg/mm} = 105,7 \text{ kg/cm}$

$$\text{MOE} = \frac{\Delta PL^3}{4 \Delta Ybh^3} = \frac{105,7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,0360 \text{ cm} \times (1,1550 \text{ cm})^3} = \frac{356,737,5}{31,0379} = 11.493,6094 \text{ kg/cm}^2$$

4. Papan Partikel dengan Perbandingan 1:4

a. Kerapatan

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$m = 88,58 \text{ g}$$

$$v = p \times l \times t = (10,124 \times 10,1180 \times 1,118) \text{ cm} = 114,5219 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{88,58 \text{ g}}{114,5219 \text{ cm}^3} = 0,7735 \text{ g/cm}^3$$

b. Kadar Air

Bobot contoh uji awal (BA) = 88,58 g
 Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB) = 83,73 g

$$\% \text{ Air} = \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \% = \frac{88,58 \text{ g} - 83,73 \text{ g}}{88,58 \text{ g}} \times 100 \% = \frac{4,85}{88,58} \times 100 \% = 5,48 \%$$

c. Daya Serap Air (DSA)

Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1) = 27,76 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2) = 35,13 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3) = 38,83 g

$$\% \text{ DSA}_{2 \text{ jam}} = \frac{B2 - B1}{B1} \times 100 \% = \frac{(35,13 - 27,76) \text{ g}}{27,76 \text{ g}} \times 100 \% = \frac{7,37}{27,76} \times 100 \% = 26,55 \%$$

$$\% \text{ DSA}_{24 \text{ jam}} = \frac{B3 - B1}{B1} \times 100 \% = \frac{(38,83 - 27,76) \text{ g}}{27,76 \text{ g}} \times 100 \% = \frac{11,07}{27,76} \times 100 \% = 39,88 \%$$

d. Pengembangan Tebal (PT)

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 12,190 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 12,380 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 12,520 mm

$$\% \text{ PT}_{2 \text{ jam}} = \frac{T2 - T1}{T1} \times 100 \% = \frac{(12,380 - 12,190) \text{ mm}}{12,190 \text{ mm}} \times 100 \% = \frac{0,19}{12,190} \times 100 \% = 1,56 \%$$

$$\% \text{ PT}_{24 \text{ jam}} = \frac{T3 - T1}{T1} \times 100 \% = \frac{(12,520 - 12,190) \text{ mm}}{12,190 \text{ mm}} \times 100 \% = \frac{0,33}{12,190 \text{ mm}} \times 100 \% = 2,71 \%$$

e. Keteguhan Patah (MOR)

Beban maksimum (P) = 30 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,0675 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1475 cm

$$\text{MOR} = \frac{3PL}{2bh^2} = \frac{3 \cdot 30 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,0675 \text{ cm} \cdot (1,1475 \text{ cm})^2} = \frac{1350}{13,3453} = 101,1592 \text{ kg/cm}^2$$

f. Keteguhan Lentur (MOE)

Beban sebelum batas proporsi (P) = 30 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,0675 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1475 cm
 Berdasarkan persamaan garis $y = 16,56x + 0,328$
 Dimana nilai $a = \frac{\Delta P}{\Delta Y} = 16,56 \text{ kg/mm} = 165,6 \text{ kg/cm}$

$$\text{MOE} = \frac{\Delta PL^3}{4 \Delta Ybh^3} = \frac{165,6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,0675 \text{ cm} \times (1,1475 \text{ cm})^3} = \frac{558,900}{30,6275} = 18.248,3063 \text{ kg/cm}^2$$

5. Papan Partikel dengan Perbandingan 1:0

a. Kerapatan

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$m = 82,72 \text{ g}$$

$$v = p \times l \times t$$

$$= (10,100 \times 10,100 \times 1,168) \text{ cm}$$

$$= 119,1477 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{82,72 \text{ g}}{119,1477 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,6943 \text{ g/cm}^3$$

b. Kadar Air

Bobot contoh uji awal (BA) = 82,72 g
 Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB) = 77,44 g

$$\% \text{ Air} = \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \%$$

$$= \frac{82,72 \text{ g} - 77,44 \text{ g}}{82,72 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{5,28}{82,72} \times 100 \%$$

$$= 6,38 \%$$

c. Daya Serap Air (DSA)

Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1) = 27,29 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2) = 40,15 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3) = 49,94 g

$$\% \text{ DSA}_{2 \text{ jam}} = \frac{B2 - B1}{B1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(40,15 - 27,29) \text{ g}}{27,29 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{12,86}{27,29} \times 100 \%$$

$$= 47,12 \%$$

$$\% \text{ DSA}_{24 \text{ jam}} = \frac{B3 - B1}{B1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(49,94 - 27,29) \text{ g}}{27,29 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{22,65}{27,29} \times 100 \%$$

$$= 83,00 \%$$

d. Pengembangan Tebal (PT)

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 12,730 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 15,310 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 19,300 mm

$$\% \text{ PT}_{2 \text{ jam}} = \frac{T2 - T1}{T1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(15,310 - 12,730) \text{ mm}}{12,730 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= \frac{2,58}{12,730} \times 100 \%$$

$$= 20,27 \%$$

$$\% \text{ PT}_{24 \text{ jam}} = \frac{T3 - T1}{T1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(19,300 - 12,730) \text{ mm}}{12,730 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= \frac{6,570 \text{ mm}}{12,730 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= 51,61 \%$$

e. Keteguhan Patah (MOR)

Beban maksimum (P) = 10,5 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,1280 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1685 cm

$$\text{MOR} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$= \frac{3 \cdot 10,5 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,1280 \text{ cm} \cdot (1,1685 \text{ cm})^2}$$

$$= \frac{472,5}{14,0035}$$

$$= 33,7416 \text{ kg/cm}^2$$

f. Keteguhan Lentur (MOE)

Beban sebelum batas proporsi (P) = 10,5 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,1280 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1685 cm
 Berdasarkan persamaan garis $y = 6,365x - 1,919$
 Dimana nilai $a = \frac{\Delta P}{\Delta Y} = 6,365 \text{ kg/mm} = 63,65 \text{ kg/cm}$

$$\text{MOE} = \frac{\Delta PL^3}{4 \Delta Y bh^3}$$

$$= \frac{63,65 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,0360 \text{ cm} \times (1,1550 \text{ cm})^3}$$

$$= \frac{214,818,75}{31,0379}$$

$$= 6.921,1754 \text{ kg/cm}^2$$

6. Papan Partikel dengan Perbandingan 2:1

a. Kerapatan

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$m = 83,51 \text{ g}$$

$$v = p \times l \times t$$

$$= (10,0400 \times 10,0900 \times 1,1680) \text{ cm}$$

$$= 118,3226 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{83,51 \text{ g}}{118,3226 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,7058 \text{ g/cm}^3$$

b. Kadar Air

Bobot contoh uji awal (BA) = 83,51 g
 Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB) = 77,81 g

$$\% \text{ Air} = \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \%$$

$$= \frac{83,51 \text{ g} - 77,81 \text{ g}}{83,51 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{5,70}{83,51} \times 100 \%$$

$$= 6,83 \%$$

c. Daya Serap Air (DSA)

Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1) = 29,04 g

Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2) = 39,81 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3) = 40,42 g

$$\begin{aligned} \% \text{ DSA}_{2 \text{ jam}} &= \frac{B2-B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(39,81-29,04)g}{29,04 g} \times 100 \% \\ &= \frac{10,77}{29,05} \times 100 \% \\ &= 37,07 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ DSA}_{24 \text{ jam}} &= \frac{B3-B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(40,42-29,04)g}{29,04 g} \times 100 \% \\ &= \frac{11,38}{29,05} \times 100 \% \\ &= 39,17 \% \end{aligned}$$

d. Pengembangan Tebal (PT)

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 12,64 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 12,71 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 16,69 mm

$$\begin{aligned} \% \text{ PT}_{2 \text{ jam}} &= \frac{T2-T1}{T1} \times 100 \% \\ &= \frac{(12,71-12,64)mm}{12,64 mm} \times 100 \% \\ &= \frac{0,07}{12,64} \times 100 \% \\ &= 0,55 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ PT}_{24 \text{ jam}} &= \frac{T3-T1}{T1} \times 100 \% \\ &= \frac{(16,69-12,64)mm}{12,64 mm} \times 100 \% \\ &= \frac{4,05}{12,64} \times 100 \% \\ &= 32,04 \% \end{aligned}$$

e. Keteguhan Patah (MOR)

Beban maksimum (P) = 17 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,038 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,187 cm

$$\begin{aligned} \text{MOR} &= \frac{3PL}{2bh^2} \\ &= \frac{3 \cdot 17 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,038 \text{ cm} \cdot (1,187 \text{ cm})^2} \\ &= \frac{765}{14,1967} \\ &= 53,88 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

f. Keteguhan Lentur (MOE)

Beban sebelum batas proporsi (P) = 17 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,0380 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1870 cm
 Berdasarkan persamaan garis $y = 8,094x - 5,206$

Dimana nilai $a = \frac{\Delta P}{\Delta Y} = 8,094 \text{ kg/mm} = 80,94 \text{ kg/cm}$

$$\begin{aligned} \text{MOE} &= \frac{\Delta PL^2}{4 \Delta Ybh^3} \\ &= \frac{80,94 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,0380 \text{ cm} \times (1,1870 \text{ cm})^3} \\ &= \frac{33,0372}{273,172,5} \\ &= 8.268,6335 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

7. Papan Partikel dengan Perbandingan 4:1

a. Kerapatan

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \\ m &= 80,94 \text{ g} \\ v &= p \times l \times t \\ &= (9,960 \times 9,99 \times 1,158) \text{ cm} \\ &= 115,2215 \text{ cm}^3 \\ \rho &= \frac{80,94 \text{ g}}{115,2215 \text{ cm}^3} \\ &= 0,7025 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Kadar Air

Bobot contoh uji awal (BA) = 80,94 g
 Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB) = 75,33 g

$$\begin{aligned} \% \text{ Air} &= \frac{BA-BB}{BA} \times 100 \% \\ &= \frac{80,94 \text{ g} - 75,33 \text{ g}}{80,94 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{5,61}{80,94} \times 100 \% \\ &= 6,93 \% \end{aligned}$$

c. Daya Serap Air (DSA)

Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1) = 26,93 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2) = 36,78 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3) = 44,60 g

$$\begin{aligned} \% \text{ DSA}_{2 \text{ jam}} &= \frac{B2-B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(36,78-26,93)g}{26,93 g} \times 100 \% \\ &= \frac{9,85}{26,93} \times 100 \% \\ &= 26,78 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ DSA}_{24 \text{ jam}} &= \frac{B3-B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(44,60-26,93)g}{26,93 g} \times 100 \% \\ &= \frac{17,67}{26,93} \times 100 \% \\ &= 65,61 \% \end{aligned}$$

d. Pengembangan Tebal (PT)

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 12,36 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 14,91 mm

Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 15,43 mm

$$\begin{aligned} \% PT_{2 \text{ jam}} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \% \\ &= \frac{(14,91 - 12,36) \text{ mm}}{12,36 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= \frac{2,55}{12,36} \times 100 \% \\ &= 20,63 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% PT_{24 \text{ jam}} &= \frac{T_3 - T_1}{T_1} \times 100 \% \\ &= \frac{(15,43 - 12,36) \text{ mm}}{12,36 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= \frac{3,07}{12,36} \times 100 \% \\ &= 24,84 \% \end{aligned}$$

e. Keteguhan Patah (MOR)

Beban maksimum (P) = 9 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,0475 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1745 cm

$$\begin{aligned} MOR &= \frac{3PL}{2bh^2} \\ &= \frac{3 \cdot 9 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,0475 \text{ cm} \cdot (1,1745 \text{ cm})^2} \\ &= \frac{405}{13,9255} \\ &= 29,0833 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

f. Keteguhan Lentur (MOE)

Beban sebelum batas proporsi (P) = 9 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,0475 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1745 cm
 Berdasarkan persamaan garis $y = 5,152x - 0,250$
 Dimana nilai $a = \frac{\Delta P}{\Delta Y} = 5,152 \text{ kg/mm} = 51,52 \text{ kg/cm}$

$$\begin{aligned} MOE &= \frac{\Delta PL^3}{4 \Delta Y bh^3} \\ &= \frac{51,52 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,0475 \text{ cm} \times (1,1745 \text{ cm})^3} \\ &= \frac{173.880}{32,7111} \\ &= 5.315,6268 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

B. Papan Partikel menggunakan Perekat Berbahan Dasar Makro Alga *Sargassum duplicatum*

1. Papan Partikel dengan Perbandingan 1:1

a. Kerapatan

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \\ m &= 86,08 \text{ g} \\ v &= \rho \times l \times t \\ &= (9,9130 \times 9,9360 \times 1,1701) \text{ cm} \\ &= 115,2496 \text{ cm} \\ \rho &= \frac{86,08 \text{ g}}{115,2496 \text{ cm}^3} \\ &= 0,7469 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Kadar Air

Bobot contoh uji awal (BA) = 87,35 g
 Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB) = 82,24 g

$$\begin{aligned} \% \text{ Air} &= \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \% \\ &= \frac{87,35 \text{ g} - 82,24 \text{ g}}{87,35 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{5,11}{87,35} \times 100 \% \\ &= 5,85 \% \end{aligned}$$

c. Daya Serap Air (DSA)

Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1) = 25,32 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2) = 28,38 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3) = 34,98 g

$$\begin{aligned} \% DSA_{2 \text{ jam}} &= \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100 \% \\ &= \frac{(28,38 - 25,32) \text{ g}}{25,32 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{3,06}{25,32} \times 100 \% \\ &= 12,09 \% \\ \% DSA_{24 \text{ jam}} &= \frac{B_3 - B_1}{B_1} \times 100 \% \\ &= \frac{(34,98 - 25,32) \text{ g}}{25,32 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{9,66}{25,32} \times 100 \% \\ &= 38,15 \% \end{aligned}$$

d. Pengembangan Tebal (PT)

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 12,51 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 12,54 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 13,56 mm

$$\begin{aligned} \% PT_{2 \text{ jam}} &= \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \% \\ &= \frac{(12,54 - 12,51) \text{ mm}}{12,51 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= \frac{0,03}{12,51} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= 0,24 \%$$

$$\% PT_{24 \text{ jam}} = \frac{T_3 - T_1}{T_1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(13,56 - 12,51) \text{ mm}}{12,51 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= \frac{1,05 \text{ mm}}{12,51 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= 8,39 \%$$

e. **Keteguhan Patah (MOR)**

Beban maksimum (P) = 23 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,0985 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,191 cm

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$= \frac{3 \cdot 23 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,0985 \text{ cm} \cdot (1,191 \text{ cm})^2}$$

$$= \frac{1,035}{14,4642}$$

$$= 71,5559 \text{ kg/cm}^2$$

f. **Keteguhan Lentur (MOE)**

Beban sebelum batas proporsi (P) = 23 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm

$$\frac{\Delta P}{\Delta Y} = 10,09 \text{ kg/mm}^2 = 100,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$MOE = \frac{\Delta PL^3}{4 \Delta Ybh^3}$$

$$= \frac{100,9 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,0985 \text{ cm} \times (1,191 \text{ cm})^3}$$

$$= \frac{340,537,5}{34,4538}$$

$$= 9.883,875 \text{ kg/cm}^2$$

2. **Papan Partikel dengan Perbandingan 2:1**

a. **Kerapatan**

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$m = 84,9 \text{ g}$$

$$v = p \times l \times t$$

$$= (10,0070 \times 10,0040 \times 1,1680) \text{ cm}$$

$$= 116,9285 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{84,9 \text{ g}}{116,9285}$$

$$= 0,7261 \text{ g/cm}^3$$

b. **Kadar Air**

Bobot contoh uji awal (BA) = 84,9 g
 Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB) = 78,9 g

$$\% \text{ Air} = \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \%$$

$$= \frac{84,9 \text{ g} - 78,9 \text{ g}}{84,9 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{6,00}{84,9} \times 100 \%$$

$$= 7,07 \%$$

c. **Daya Serap Air (DSA)**

Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1) = 26,71 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2) = 29,13 g
 Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3) = 36,11 g

$$\% DSA_{2 \text{ jam}} = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(29,13 - 26,71) \text{ g}}{26,71 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{2,42}{26,71} \times 100 \%$$

$$= 9,06 \%$$

$$\% DSA_{24 \text{ jam}} = \frac{B_3 - B_1}{B_1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(36,11 - 26,71) \text{ g}}{26,71 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$= \frac{9,4}{26,71} \times 100 \%$$

$$= 35,19 \%$$

d. **Pengembangan Tebal (PT)**

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 12,16 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 12,23 mm
 Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 13,51 mm

$$\% PT_{2 \text{ jam}} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(12,23 - 12,16) \text{ mm}}{12,16 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,07}{12,16} \times 100 \%$$

$$= 0,58 \%$$

$$\% PT_{24 \text{ jam}} = \frac{T_3 - T_1}{T_1} \times 100 \%$$

$$= \frac{(13,51 - 12,16) \text{ mm}}{12,16 \text{ mm}} \times 100 \%$$

$$= \frac{1,35}{12,16} \times 100 \%$$

$$= 11,10 \%$$

e. **Keteguhan Patah (MOR)**

Beban maksimum (P) = 14 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,002 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1865 cm

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$= \frac{3 \cdot 14 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,002 \text{ cm} \cdot (1,1865 \text{ cm})^2}$$

$$= \frac{630}{14,0834}$$

$$= 44,7335 \text{ kg/cm}^2$$

f. **Keteguhan Lentur (MOE)**

Beban sebelum batas proporsi (P) = 14 kg
 Jarak sangga (L) = 15 cm

$$\frac{\Delta P}{\Delta Y} = 7,380 \text{ kg/mm}^2 = 73,80 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{MOE} &= \frac{\Delta PL^3}{4 \Delta Ybh^3} \\ &= \frac{73,80 \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,002 \text{ cm} \times (1,1865 \text{ cm})^3} \\ &= \frac{249,075}{33,4200} \\ &= 7.452,864 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

3. Papan Partikel dengan Perbandingan 4:1

a. Kerapatan

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$m = 85,77 \text{ g}$$

$$v = p \times l \times t$$

$$= (10,0100 \times 10,0200 \times 1,1400) \text{ cm}$$

$$= 114,3422 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{85,77 \text{ g}}{114,3422 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,7501 \text{ g/cm}^3$$

b. Kadar Air

$$\text{Bobot contoh uji awal (BA)} = 85,77 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB)} = 80,69 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Air} &= \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \% \\ &= \frac{85,77 \text{ g} - 80,69 \text{ g}}{85,77} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= \frac{5,08}{85,77} \times 100 \% = 5,923 \%$$

c. Daya Serap Air (DSA)

$$\text{Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1)} = 26,28 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2)} = 39,73 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3)} = 51,12 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ DSA}_{2 \text{ jam}} &= \frac{B2 - B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(39,73 - 26,28) \text{ g}}{26,28 \text{ g}} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= \frac{13,45}{26,28} \times 100 \% = 51,18 \%$$

$$\begin{aligned} \% \text{ DSA}_{24 \text{ jam}} &= \frac{B3 - B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(51,12 - 26,28) \text{ g}}{26,28 \text{ g}} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= \frac{24,84}{26,28} \times 100 \% = 94,52 \%$$

d. Pengembangan Tebal (PT)

$$\text{Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1)} = 12,41 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2)} = 15,47 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3)} = 18,99 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ PT}_{2 \text{ jam}} &= \frac{T2 - T1}{T1} \times 100 \% \\ &= \frac{(15,47 - 12,41) \text{ mm}}{12,41 \text{ mm}} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= \frac{3,06}{12,41} \times 100 \% = 24,66 \%$$

$$\begin{aligned} \% \text{ PT}_{24 \text{ jam}} &= \frac{T3 - T1}{T1} \times 100 \% \\ &= \frac{(18,99 - 12,41) \text{ mm}}{12,41 \text{ mm}} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= \frac{6,58 \text{ mm}}{12,41 \text{ mm}} \times 100 \% = 53,02 \%$$

e. Keteguhan Patah (MOR)

$$\text{Beban maksimum (P)} = 12,5 \text{ kg}$$

$$\text{Jarak sangga (L)} = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar contoh uji (b)} = 5,092 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal contoh uji (h)} = 1,1705 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{MOR} &= \frac{3PL}{2bh^2} \\ &= \frac{3 \cdot 12,5 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,092 \text{ cm} \cdot (1,1705 \text{ cm})^2} \\ &= \frac{562,5}{13,9528} \\ &= 40,3145 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

f. Keteguhan Lentur (MOE)

$$\text{Beban sebelum batas proporsi (P)} = 12,5 \text{ kg}$$

$$\text{Jarak sangga (L)} = 15 \text{ cm}$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta Y} = 7,681 \text{ kg/mm}^2 = 76,81 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{MOE} &= \frac{\Delta PL^3}{4 \Delta Ybh^3} \\ &= \frac{76,81 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,092 \text{ cm} \times (1,1705 \text{ cm})^3} \\ &= \frac{25,923,375}{32,6635} \\ &= 793,6497 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

4. Papan Partikel dengan Perbandingan 1:0

a. Kerapatan

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$m = 84,01 \text{ g}$$

$$v = p \times l \times t$$

$$= (10,0800 \times 10,0800 \times 1,1680) \text{ cm}$$

$$= 118,6763 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{84,01 \text{ g}}{118,6763 \text{ cm}^3} \\ &= 0,7079 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Kadar Air

$$\text{Bobot contoh uji awal (BA)} = 84,01 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB)} = 79,66 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Air} &= \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \% \\ &= \frac{84,01 \text{ g} - 79,66 \text{ g}}{84,01 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{4,35}{84,01} \times 100 \% \\ &= 5,178 \% \end{aligned}$$

c. Daya Serap Air (DSA)

$$\text{Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1)} = 25,60 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2)} = 36,95 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3)} = 42,67 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ DSA}_{2 \text{ jam}} &= \frac{B2 - B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(36,95 - 25,60) \text{ g}}{25,60 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{11,35}{25,60} \times 100 \% \\ &= 44,34 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ DSA}_{24 \text{ jam}} &= \frac{B3 - B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(42,67 - 25,60) \text{ g}}{25,60 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{17,07}{25,60} \times 100 \% \\ &= 66,68 \% \end{aligned}$$

d. Pengembangan Tebal (PT)

$$\text{Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1)} = 12,90 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2)} = 13,67 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3)} = 19,62 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ PT}_{2 \text{ jam}} &= \frac{T2 - T1}{T1} \times 100 \% \\ &= \frac{(13,67 - 12,90) \text{ mm}}{12,90 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= \frac{0,77}{12,90} \times 100 \% \\ &= 5,97 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ PT}_{24 \text{ jam}} &= \frac{T3 - T1}{T1} \times 100 \% \\ &= \frac{(19,62 - 12,90) \text{ mm}}{12,90 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= \frac{6,72 \text{ mm}}{12,90 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= 52,09 \% \end{aligned}$$

e. Keteguhan Patah (MOR)

$$\text{Beban maksimum (P)} = 9 \text{ kg}$$

$$\text{Jarak sangga (L)} = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar contoh uji (b)} = 5,0215 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal contoh uji (h)} = 2,3530 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{MOR} &= \frac{3PL}{2bh^2} \\ &= \frac{3 \cdot 9 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,0215 \text{ cm} \cdot (2,3530 \text{ cm})^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{405}{55,604} \\ &= 7,2836 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

f. Keteguhan Lentur (MOE)

$$\text{Beban sebelum batas proporsi (P)} = 9 \text{ g}$$

$$\text{Jarak sangga (L)} = 15 \text{ cm}$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta Y} = 6,719 \text{ kg/mm}^2 = 67,19 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{MOE} &= \frac{\Delta PL^3}{4 \Delta Y bh^3} \\ &= \frac{67,19 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,0215 \text{ cm} \times (2,3530 \text{ cm})^3} \\ &= \frac{226.766,25}{261,6732} \\ &= 866,6009 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

5. Papan Partikel dengan Perbandingan 0:1

a. Kerapatan

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$m = 87,65 \text{ g}$$

$$V = p \times l \times t$$

$$= (10,0700 \times 10,0700 \times 1,108) \text{ cm}$$

$$= 112,3566 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{87,65 \text{ g}}{112,3566 \text{ cm}^3} \\ &= 0,7801 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Kadar Air

$$\text{Bobot contoh uji awal (BA)} = 87,65 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB)} = 82,73 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Air} &= \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \% \\ &= \frac{87,65 \text{ g} - 82,73 \text{ g}}{87,65 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{4,92}{87,65} \times 100 \% \\ &= 5,613 \% \end{aligned}$$

c. Daya Serap Air (DSA)

$$\text{Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1)} = 28,39 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2)} = 35,49 \text{ g}$$

$$\text{Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3)} = 38,85 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ DSA}_{2 \text{ jam}} &= \frac{B2 - B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(35,49 - 28,39) \text{ g}}{28,39 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{7,1}{28,39} \times 100 \% \\ &= 25,009 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ DSA}_{24 \text{ jam}} &= \frac{B3 - B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(38,85 - 28,39) \text{ g}}{28,39 \text{ g}} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= \frac{10,48}{28,39} \times 100 \% \\ = 36,84 \%$$

d. Pengembangan Tebal (PT)

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 11,62 mm

Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 13,24 mm

Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 13,48 mm

$$\% PT_{2 \text{ jam}} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \% \\ = \frac{(13,24 - 11,62) \text{ mm}}{11,62 \text{ mm}} \times 100 \% \\ = \frac{1,62}{11,62} \times 100 \% \\ = 13,941 \%$$

$$\% PT_{24 \text{ jam}} = \frac{T_3 - T_1}{T_1} \times 100 \% \\ = \frac{(13,48 - 11,62) \text{ mm}}{11,62 \text{ mm}} \times 100 \% \\ = \frac{1,86 \text{ mm}}{11,62 \text{ mm}} \times 100 \% \\ = 16,007 \%$$

e. Keteguhan Patah (MOR)

Beban maksimum (P) = 32 kg

Jarak sangga (L) = 15 cm

Lebar contoh uji (b) = 5,1255 cm

Tebal contoh uji (h) = 1,1430 cm

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2} \\ = \frac{3 \cdot 32 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,1255 \text{ cm} \cdot (1,1430 \text{ cm})^2} \\ = \frac{1,440}{13,3924} \\ = 107,5237 \text{ kg/cm}^2$$

f. Keteguhan Lentur (MOE)

Beban sebelum batas proporsi (P) = 32 g

Jarak sangga (L) = 15 cm

$$\frac{\Delta P}{\Delta Y} = 16,63 \text{ kg/mm}^2 = 166,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$MOE = \frac{\Delta PL^3}{4 \Delta Ybh^3} \\ = \frac{166,3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,1255 \text{ cm} \times (1,1430 \text{ cm})^3} \\ = \frac{561.262,5}{30,6150} \\ = 18.332,901 \text{ kg/cm}^2$$

6. Papan Partikel dengan Perbandingan 1:2

a. Kerapatan

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \\ m = 87,08 \text{ g} \\ v = p \times l \times t$$

$$= (10,1800 \times 10,1780 \times 1,118) \text{ cm} \\ = 115,8383 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{87,08 \text{ g}}{115,8383 \text{ cm}^3} \\ = 0,7517 \text{ g/cm}^3$$

b. Kadar Air

Bobot contoh uji awal (BA) = 87,08 g

Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB) = 82,81 g

$$\% \text{ Air} = \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \% \\ = \frac{87,08 \text{ g} - 82,81 \text{ g}}{87,08 \text{ g}} \times 100 \% \\ = \frac{4,27}{87,08} \times 100 \% \\ = 4,904 \%$$

c. Daya Serap Air (DSA)

Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1) = 27,44 g

Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2) = 34,52 g

Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3) = 38,34 g

$$\% DSA_{2 \text{ jam}} = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100 \% \\ = \frac{(34,52 - 27,44) \text{ g}}{27,44 \text{ g}} \times 100 \% \\ = \frac{7,08}{27,44} \times 100 \% \\ = 25,80 \%$$

$$\% DSA_{24 \text{ jam}} = \frac{B_3 - B_1}{B_1} \times 100 \% \\ = \frac{(38,34 - 27,44) \text{ g}}{27,44 \text{ g}} \times 100 \% \\ = \frac{10,9}{27,44} \times 100 \% \\ = 39,72 \%$$

d. Pengembangan Tebal (PT)

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 12,37 mm

Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 13,41 mm

Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 13,74 mm

$$\% PT_{2 \text{ jam}} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \% \\ = \frac{(13,41 - 12,37) \text{ mm}}{12,37 \text{ mm}} \times 100 \% \\ = \frac{1,04}{12,37} \times 100 \% \\ = 8,41 \%$$

$$\% PT_{24 \text{ jam}} = \frac{T_3 - T_1}{T_1} \times 100 \% \\ = \frac{(13,74 - 12,37) \text{ mm}}{12,37 \text{ mm}} \times 100 \% \\ = \frac{1,37 \text{ mm}}{12,37 \text{ mm}} \times 100 \% \\ = 11,075 \%$$

e. Keteguhan Patah (MOR)

Beban maksimum (P) = 25 kg

Jarak sangga (L) = 15 cm
 Lebar contoh uji (b) = 5,0620 cm
 Tebal contoh uji (h) = 1,1425 cm

$$\begin{aligned} \text{MOR} &= \frac{3PL}{2bh^2} \\ &= \frac{3 \cdot 25 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,0620 \text{ cm} \cdot (1,1425 \text{ cm})^2} \\ &= \frac{1.125}{13,2149} \\ &= 85,1312 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

f. **Keteguhan Lentur (MOE)**

Beban sebelum batas proporsi (P) = 25 g
 Jarak sangga (L) = 15 cm

$$\frac{\Delta P}{\Delta Y} = 11,30 \text{ kg/mm}^2 = 113 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{MOE} &= \frac{\Delta PL^2}{4 \Delta Ybh^3} \\ &= \frac{113 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,0620 \text{ cm} \times (1,1425 \text{ cm})^3} \\ &= \frac{381,375}{30,1961} \\ &= 12.629,945 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

7. **Papan Partikel dengan Perbandingan 1:4**

a. **Kerapatan**

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$m = 85,19 \text{ g}$$

$$v = p \times l \times t$$

$$\begin{aligned} &= (10,0200 \times 10,0200 \times 1,128) \text{ cm} \\ &= 113,25165 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{85,19 \text{ g}}{113,25165 \text{ cm}^3} \\ &= 0,7522 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

b. **Kadar Air**

Bobot contoh uji awal (BA) = 85,19 g

Bobot contoh uji setelah dikeringkan (BB) = 81,26 g

$$\begin{aligned} \% \text{ Air} &= \frac{BA - BB}{BA} \times 100 \% \\ &= \frac{85,19 \text{ g} - 81,26 \text{ g}}{85,19 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{3,93}{85,19} \times 100 \% \\ &= 4,6132 \% \end{aligned}$$

c. **Daya Serap Air (DSA)**

Bobot contoh uji sebelum perendaman (B1) = 28,15 g

Bobot contoh uji setelah perendaman 2 jam (B2) = 34,61 g

Bobot contoh uji setelah perendaman 24 jam (B3) = 37,72 g

$$\begin{aligned} \% \text{ DSA}_{2 \text{ jam}} &= \frac{B2 - B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(34,61 - 28,15) \text{ g}}{28,15 \text{ g}} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{6,46}{28,15} \times 100 \% \\ &= 22,95 \% \\ \% \text{ DSA}_{24 \text{ jam}} &= \frac{B3 - B1}{B1} \times 100 \% \\ &= \frac{(37,72 - 28,15) \text{ g}}{28,15 \text{ g}} \times 100 \% \\ &= \frac{9,57}{28,15} \times 100 \% \\ &= 33,99 \% \end{aligned}$$

d. **Pengembangan Tebal (PT)**

Tebal contoh uji sebelum perendaman (T1) = 12,66 mm

Tebal contoh uji setelah perendaman 2 jam (T2) = 12,80 mm

Tebal contoh uji setelah perendaman 24 jam (T3) = 13,09 mm

$$\begin{aligned} \% \text{ PT}_{2 \text{ jam}} &= \frac{T2 - T1}{T1} \times 100 \% \\ &= \frac{(12,80 - 12,66) \text{ mm}}{12,66 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= \frac{0,14}{12,66} \times 100 \% \\ &= 1,1059 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ PT}_{24 \text{ jam}} &= \frac{T3 - T1}{T1} \times 100 \% \\ &= \frac{(13,09 - 12,66) \text{ mm}}{12,66 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= \frac{0,43 \text{ mm}}{12,66 \text{ mm}} \times 100 \% \\ &= 3,3965 \% \end{aligned}$$

e. **Keteguhan Patah (MOR)**

Beban maksimum (P) = 34 kg

Jarak sangga (L) = 15 cm

Lebar contoh uji (b) = 5,1190 cm

Tebal contoh uji (h) = 1,1640 cm

$$\begin{aligned} \text{MOR} &= \frac{3PL}{2bh^2} \\ &= \frac{3 \cdot 34 \text{ kg} \cdot 15 \text{ cm}}{2 \cdot 5,1190 \text{ cm} \cdot (1,1640 \text{ cm})^2} \\ &= \frac{1.530}{13,8714} \\ &= 110,2988 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

f. **Keteguhan Lentur (MOE)**

Beban sebelum batas proporsi (P) = 34 g

Jarak sangga (L) = 15 cm

$$\frac{\Delta P}{\Delta Y} = 14,19 \text{ kg/mm}^2 = 141,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{MOE} &= \frac{\Delta PL^2}{4 \Delta Ybh^3} \\ &= \frac{141,9 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times (15 \text{ cm})^3}{4 \cdot 5,1190 \text{ cm} \times (1,1640 \text{ cm})^3} \\ &= \frac{478,912,5}{23,8341} \\ &= 20.093,615 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

