

**PENGEMBANGAN *AGRIBOARD* BERBAHAN LIMBAH BATANG
SINGKONG, SEKAM PADI, DAN SERBUK KAYU SENGON DENGAN
PEREKAT LATEKS KARET ALAM**

TESIS

Oleh

**NANA APRILLIANA
1920011009**



**PROGRAM STRATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AGRIBOARD MADE FROM CASSAVA STEM WASTE, RICE HUSK, AND SENGON SAWDUST USING NATURAL RUBBER LATEX ADHESIVE

By

NANA APRILLIANA

Utilization of non-wood lignocellulosic materials, such as cassava stem waste, rice husks, and sengon sawdust, is still limited. One of their potential uses is as a raw material for particleboard. This study aimed to determine scientific information related to the combination of materials from cassava stems, rice husks, sengon sawdust bonded with different levels of natural rubber adhesives (NRL) for particleboard. The levels of NRL adhesive used were 10%, 15%, and 20%. The agriboard, made of agricultural waste, with the dimension of 40 cm x 40 cm x 1 cm with a target density of 0.7 g/cm³. The board was pressed by hot pressing at 10 MPa at 60°C for 30 minutes. The physical and mechanical properties using JIS 5908-2003 standard. Thickness swelling, modulus of elasticity (MOE), and modulus of rupture (MOR) do not meet the JIS A 5908-2003 standard. The mechanical properties of the board also increased with the addition of adhesive content, and optimal improvement was obtained by using 20% adhesive content. The results showed that cassava stem waste, sengon powder, and rice husks have the potential to be used as a substitute for wood-based composite products, especially for non-structural applications in the future.

Keywords: lignocellulosic, modulus of elasticity, modulus of rupture, products composite

ABSTRAK

PENGEMBANGAN *AGRIBOARD* BERBAHAN LIMBAH BATANG SINGKONG, SEKAM PADI, DAN SERBUK KAYU SENGON DENGAN PEREKAT LATEKS KARET ALAM

Oleh

NANA APRILLIANA

Pemanfaatan bahan berlignoselulosa bukan kayu hingga saat ini masih terbatas, seperti limbah batang singkong, sekam padi, dan serbuk gergaji sengon. Salah satu pemanfaatannya ialah sebagai bahan baku papan komposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui informasi ilmiah terkait kombinasi bahan papan *agriboard* dari batang singkong, sekam padi, serbuk gergaji sengon terhadap kadar perekat karet alam (LKA). Kadar perekat LKA yang digunakan adalah 10%, 15%, dan 20%. *Agriboard* dibuat dengan ukuran 40 cm x 40 cm x 1 cm dengan target kerapatan 0,7 g/cm³. Papan ditekan dengan kempa panas pada 10 MPa dengan suhu 60°C selama 30 menit. Pengujian sifat fisis dan mekanis menggunakan standar JIS 5908-2003. Pengembangan tebal, MOE, MOR belum memenuhi standar JIS A 5908-2003. Sifat mekanis papan juga meningkat dengan penambahan kadar perekat, dan peningkatan optimal diperoleh dengan menggunakan kadar perekat 20%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah batang singkong, serbuk sengon, dan sekam padi memiliki potensi untuk digunakan sebagai substitusi produk komposit berbasis kayu, terutama untuk aplikasi non-struktural di masa depan.

Kata kunci: lignoselulosa, keteguhan lentur, keteguhan patah, papan komposit

**PENGEMBANGAN *AGRIBOARD* BERBAHAN LIMBAH BATANG
SINGKONG, SEKAM PADI, DAN SERBUK KAYU SENGON DENGAN
PEREKAT LATEKS KARET ALAM**

Oleh

**NANA APRILLIANA
1920011009**

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
MAGISTER ILMU LINGKUNGAN**

pada

**Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung**



**PROGRAM STRATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Tesis : **PENGEMBANGAN *AGRIBOARD*
BERBAHAN LIMBAH BATANG
SINGKONG, SEKAM PADI, DAN
SERBUK KAYU SENGON DENGAN
PEREKAT LATEKS KARET ALAM**

Nama Mahasiswa : **Nana Aprilliana**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1920011009**

Jurusan : **Magister Ilmu Lingkungan**

Fakultas : **Pascasarjana Multidisiplin**



Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 196210101989021002

Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc.
NIP. 197911142009121001

Dr. Muhammad Adly Rahandi Lubis
NIP. 198906102014011001

2. Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Universitas Lampung

Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si.
NIP. 196105051987031002

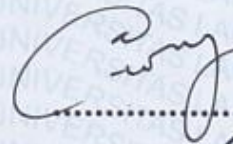
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

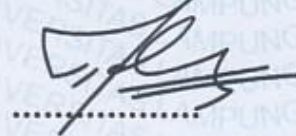
Ketua : Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.




Sekretaris : Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc.



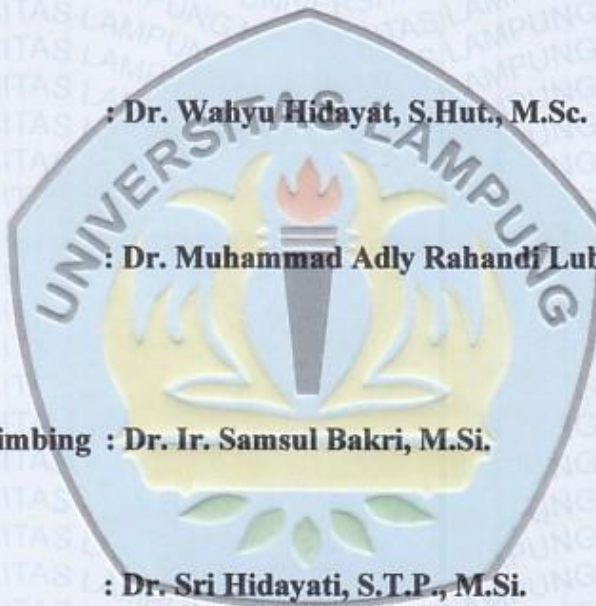
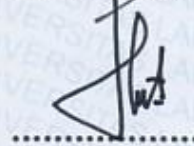
Anggota : Dr. Muhammad Adly Rahandi Lubis



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si.**



Anggota : Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.Si.



Direktur Pascasarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
NIP. 197104151998031005

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 23 Desember 2021

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul **“PENGEMBANGAN *AGRIBOARD* BERBAHAN LIMBAH BATANG SINGKONG, SEKAM PADI, DAN SERBUK KAYU SENGON DENGAN PEREKAT LATEKS KARET ALAM”** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya. Saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 23 Desember 2021

Yang membuat pernyataan



Nana Aprilliana
NPM 1920011009

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung Barat pada tanggal 17 April 1996, sebagai anak pertama dari bertiga saudara pasangan Bapak Teguh Karyono dan Ibu Utik Sunarti. Pendidikan penulis dimulai dari Taman Kanak-Kanak Tunas Harapan Rejo Basuki dan lulus pada tahun 2002. Selanjutnya penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 1 Rejo Asri pada tahun 2008, SMPN 02 Kotagajah pada tahun 2011, serta SMAN 1 Kotagajah pada tahun 2014.

Tahun 2014 penulis mengikuti Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) jalur tes dan diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Selama kuliah penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik Universitas Lampung pada tahun 2017 di Desa Varia Agung, Kecamatan Seputih Mataram, Kabupaten Lampung Tengah. Selanjutnya penulis telah melakukan kegiatan Praktik Umum di Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Lampung.

Kegiatan organisasi, penulis mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) di Universitas Lampung pada tahun 2015/2017. Selanjutnya penulis aktif pada organisasi Ikatan Mahasiswa Teknik Pertanian Indonesia (IMATETANI) pada tahun 2016/2017. Dan lulus Pendidikan strata I pada tahun 2018.

Juli 2019 penulis mendapat beasiswa program magister, dan terdaftar sebagai mahasiswa Magister Ilmu Lingkungan pada tahun tersebut. Penulis turut aktif dalam kegiatan penelitian dan turun lapang bersama para dosen.

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan tulisan ini kepada
almamaterku Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Pascasarjana Universitas Lampung

MOTTO

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, kecuali mereka mengubah keadaan mereka sendiri”

QS Ar Ra'd 11

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Pengembangan *Agriboard* Berbahan Limbah Batang Singkong, Sekam Padi, dan Serbuk Kayu Sengon dengan Perekat Lateks Karet Alam” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Ilmu Lingkungan di Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa tesis ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Karomani, M.Si., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph.D. selaku wakil Direktur Pascasarjana Bidang Akademik, Kemahasiswaan dan Alumni Universitas Lampung.
4. Dr. Maulana Muklis, S.Sos, M.IP. selaku Wakil Direktur Bidang Umum Universitas Lampung
5. Bapak Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung dan penguji utama, yang telah memberikan masukan, saran dan kritik atas penyempurnaan penulisan tesis ini serta merekomendasikan penulis mendapatkan beasiswa program S2 Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku pembimbing utama dan pembimbing akademik penulis yang telah bersedia membimbing, mengarahkan, memberikan saran, dukungan, waktu, serta tenaganya dalam proses menyelesaikan tesis ini.
7. Bapak Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc., selaku pembimbing kedua yang telah bersedia membimbing, memberikan arahan, nasihat, waktu, serta tenaganya dalam proses menyelesaikan tesis ini.

8. Bapak Dr. Muhammad Adly Rahandi Lubis., selaku pembimbing ketiga yang telah bersedia membimbing, memberikan saran, bantuan, dan motivasi, koneksi kepada penulis dalam penyusunan tesis ini.
9. Ibu Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.Si., selaku penguji kedua yang memberikan arahan, masukan, saran membangun dalam menyempurnakan tesis ini.
10. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah mendukung dan memfasilitasi perekat berbasis lateks karet alam.
11. Universitas Lampung yang telah memberikan Beasiswa Bebas SPP Pascasarjana tahun akademik 2019/2020 kepada penulis.
12. Kedua orang tua penulis Bapak Teguh Karyono dan Ibu Utik Sunarti, serta saudara kandung penulis yaitu Carena dan Galih Raka Siwi atas doa, dukungan, arahan, dan nasihatnya kepada penulis
13. Angkatan penulis Magister Ilmu Lingkungan 2019, Mbak Olla, Emi, Kak Indri, Alicya, Bang Tedy, Shalehudin, Pak Otto, Pak Dzakwan.
14. Mas Heri dan tim admin Magister Ilmu Lingkungan, atas arahan, bantuan, dan segala macam keperluan penulis selama menjalani perkuliahan hingga wisuda penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis akan menerima saran dan kritik yang bersifat membangun agar tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, Desember 2021
Penulis

Nana Aprilliana

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Kerangka Pemikiran	6
1.6 Hipotesis.....	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Pencemaran lingkungan akibat limbah pertanian	8
2.2 Limbah Batang Singkong	9
2.3 Sekam Padi.....	11
2.4 Limbah Gergaji Serbuk Sengon	12
2.5 Pemanfaatan Limbah Batang Singkong, Sekam Padi, dan Serbuk Gergaji sebagai Bahan Baku Alternatif Produk Papan Komposit	13
2.6 <i>Agriboard</i>	16
2.7 Perekat Lateks Karet Alam	18
2.8 Standar Mutu Papan Partikel	19
2.9 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Mutu Papan Partikel	20
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	22
3.2 Bahan dan Alat	22
3.3 Metode Penelitian	22
3.3.1 Persiapan Bahan Baku	23
3.3.2 Persiapan Perekat Lateks Karet Alam	27
3.3.3 Karakterisasi Perekat berbasis Lateks Karet Alam.....	28
3.3.4 Pembuatan <i>Agriboard</i>	29
3.3.5 Pengujian sifat fisis dan sifat mekanis <i>agriboard</i>	30
3.4 Analisis Data.....	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Hasil Karakteristik Lateks Karet Alam	37

4.2	Sifat Fisis Papan Partikel	41
4.2.1	Kerapatan	41
4.2.2	Kadar Air.....	43
4.2.3	Daya Serap Air	46
4.4.4	Pengembangan Tebal.....	48
4.3	Sifat Mekanis Papan Partikel.....	52
4.3.1	Keteguhan Lentur atau <i>Modulus of Elasticity</i> (MOE)	52
4.3.2	Keteguhan Patah atau <i>Modulus of Rupture</i> (MOR).....	54
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	58
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran	58
	DAFTAR PUSTAKA	60
	LAMPIRAN.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pemikiran.....	6
2. Limbah Batang Singkong	10
3. Serbuk Gergaji Sengon	13
4. Struktur Kimia Selulosa	14
5. Struktur Kimia Hemiselulosa	15
6. Struktur Kimia Lignin	16
7. Skema Reaksi Kimia LKA+PVOH+pMDI.....	19
8. Diagram Alir Penelitian	23
9. Mesin Perajang Batang Singkong (Rabakong)	24
10. Proses persiapan partikel batang singkong	25
11. Persiapan Partikel Serbuk Sengon	26
12. Persiapan partikel Sekam Padi	27
13. Persiapan Perekat LKA+PVOH+pMDI.....	27
14. Proses pembuatan papan <i>agriboard</i> :.....	29
15. Hasil papan <i>agriboard</i>	30
16. Proses pengujian kerapatan dan kadar air papan <i>agriboard</i>	31
17. Proses pengujian daya serap air dan pengembang tebal papan <i>agriboard</i>	33
18. Proses pengujian MOE dan MOR <i>agriboard</i>	34
19. Viskositas perekat berbasis LKA pada waktu yang berbeda	38

Gambar	Halaman
20. Analisa gugus fungsi perekat berbasis LKA dengan FTIR spektrosko	39
21. Analisa sifat termal perekat berbasis LKA	40
22. Nilai rata-rata kerapatan papan <i>agriboard</i>	41
23. Nilai rata-rata kadar air papan <i>agriboard</i>	44
24. Nilai rata-rata daya serap air papan <i>agriboard</i>	46
25. Nilai rata-rata pengembangan tebal papan <i>agriboard</i>	49
26. Nilai rata-rata MOE papan <i>agriboard</i>	52
27. Nilai MOR pada papan <i>agriboard</i>	55

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kualitas Fisik Batang Tanaman Ubi Kayu (Singkong)	9
2. Komposisi Kimia Sekam Padi	11
3. Karakteristik kimia kayu sengon	13
4. Standar Nilai JIS A 5908:2003 <i>Particleboard</i>	20
5. Kebutuhan Kombinasi Bahan Baku.....	26
6. Denah tata letak percobaan RAK Faktorial	35
7. Rekapitulasi analisis ragam pengaruh kerapatan terhadap papan <i>agriboard</i>	42
8. Rekapitulasi analisis ragam pengaruh kadar air terhadap papan <i>agriboard</i>	44
9. Rekapitulasi analisis ragam pengaruh daya serap air terhadap papan <i>agriboard</i>	47
10. Rekapitulasi analisis ragam pengaruh pengembang tebal terhadap papan <i>agriboard</i>	49
11. Rekapitulasi analisis ragam pengaruh MOE terhadap papan <i>agriboard</i>	53
12. Rekapitulasi analisis ragam pengaruh MOR terhadap papan <i>agriboard</i>	55
13. Kebutuhan kadar perekat LKA	67
14. Perhitungan kebutuhan bahan baku partikel (kondisi bahan baku pengovenan).....	68
15. Perhitungan kebutuhan bahan untuk papan partikel (setelah pengovenan dengan kadar air partikel 5%)	69

16.	Hasil uji sifat fisis papan <i>agriboard</i>	70
17.	Hasil uji sifat mekanis papan <i>agriboard</i>	72
18.	Rekapitulasi analisis sidik ragam RAK (SPSS 17.0).....	73
19.	Analisis Sidik Ragam SPSS 17.0	74
20.	Hasil uji lanjut DMRT kerapatan terhadap komposisi bahan papan <i>agriboard</i>	76
21.	Hasil uji lanjut DMRT DSA terhadap komposisi bahan papan <i>agriboard</i>	76
22.	Hasil uji lanjut DMRT MOE terhadap komposisi bahan papan <i>agriboard</i>	77
23.	Hasil uji lanjut DMRT MOE terhadap komposisi bahan papan <i>agriboard</i>	77
24.	Hasil uji lanjut DMRT Kadar Air terhadap kadar perekat LKA papan <i>agriboard</i>	78
25.	Hasil uji lanjut DMRT DSA terhadap kadar perekat LKA papan <i>agriboard</i>	78
26.	Hasil uji lanjut DMRT MOE terhadap kadar perekat LKA papan <i>agriboard</i>	79
27.	Hasil uji lanjut DMRT MOR terhadap kadar perekat LKA papan <i>agriboard</i>	79
28.	Tabel Anova uji lanjut DMRT Bahan*Perekat	80
29.	Tabel Hasil Uji Lanjut DMRT kerapatan terhadap interaksi bahan dan perekat.....	80
30.	Hasil Uji Lanjut DMRT DSA terhadap interaksi	81

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia kaya akan sumberdaya alam yang melimpah, seperti hasil pertanian, perkebunan, dan kehutanan. Kegiatan pasca panen menimbulkan limbah pertanian yang cukup banyak (Nurhilal, 2019). Limbah pertanian merupakan produk sampingan yang tidak dapat dilepaskan dari sistem pertanian. Penanganan limbah pertanian yang tidak tepat akan berdampak negatif seperti menyebabkan pencemaran lingkungan, pemanasan global dan perubahan iklim (Rhofita dkk., 2019). Di sisi lain, pemanfaatan limbah pertanian yang optimal dapat memberikan kontribusi terhadap nilai ekonomi, dan dapat meminimalisir limbah pertanian (Asmara dkk., 2019). Limbah pertanian antara lain sekam padi (*Oryza sativa*), batang singkong (*Manihot esculenta*), serbuk gergajian sengon (*Falcataria moluccana*). Limbah tersebut berpotensi dimanfaatkan sebagai produk papan komposit *agriboard* untuk substitusi kayu solid.

Industri kayu di Indonesia saat ini mengalami kekurangan bahan baku, khususnya dalam ketersediaan kayu (Aisien dkk., 2015). Kebutuhan kayu semakin meningkat dan tidak diimbangi dengan kemampuan hutan dalam menghasilkan kayu mengakibatkan ketersediaan kayu menurun (Febrianto dkk., 2017). Oleh karena itu, sangat penting untuk mencari bahan baku alternatif. Bahan baku alternatif pengganti kayu perlu memenuhi beberapa kriteria seperti cepat tumbuh, harga bahan baku murah, ketersediaan melimpah, dan mudah diperoleh (Febrianto dkk., 2017). Batang singkong dan sekam padi merupakan bahan berlignoselulosa yang memenuhi kriteria-kriteria tersebut sebagai untuk substitusi produk berbasis kayu di masa depan (Ismail dkk., 2016).

Indonesia merupakan produsen singkong terbesar ketiga di dunia setelah Nigeria dan Thailand (Yi dkk., 2018). Produsen singkong terbesar di Indonesia

adalah Provinsi Lampung dengan luas lahan singkong mencapai 342.100 ha dan jumlah produksi sebesar 8,45 juta ton, atau 35,33% dari seluruh produksi singkong di Indonesia (BPS Lampung, 2018). Pemanenan singkong meninggalkan biomassa berupa batang singkong yang sebagian kecil ($\pm 10\%$) digunakan kebutuhan penanaman kembali (*replanting*), sedangkan 90% sisanya menjadi limbah yang tidak dimanfaatkan secara optimal (Sumada dkk., 2011). Sebagai gambaran, limbah batang singkong di Provinsi Lampung diperkirakan sebesar 1,37 juta ton/tahun (Asmara dkk., 2019). Pada umumnya, limbah biomassa batang singkong hanya dibuang atau dibakar di ladang (Ismail dkk., 2016). Keberadaan limbah batang singkong di lahan berpotensi menjadi tempat bersarangnya tikus, hama, dan penyakit yang merugikan pertumbuhan tanaman singkong (Asmara dkk., 2019).

Pasokan kayu di Indonesia di peroleh dari hutan alam, hutan tanaman rakyat dan hutan rakyat. Salah satu jenis pohon yang banyak ditanam di hutan rakyat yaitu kayu sengon (Mile, 2007). Kayu sengon telah banyak dimanfaatkan oleh masyarakat untuk bahan bangunan dan bahan baku industri pengolahan kayu (Roza dkk, 2015). Salah satu industri pengolahan kayu yang banyak menggunakan sengon adalah industri penggergajian kayu Menurut Sushardi (2009), rendemen pada industri penggergajian berkisar 40-60%. Dalam proses produksinya menghasilkan limbah kayu sengon yang tak terpakai berupa serbuk gergajian (*saw dust*), pasahan (*shaving*), potongan kecil kayu, dan lain-lain (Ramadhan, 2018). Saat ini serbuk gergaji sengon sebagai limbah kayu belum termanfaatkan secara optimal. Oleh sebab itu dapat dimanfaatkan salah satunya menjadi bahan baku pembuatan papan partikel.

Sekam padi merupakan produk samping yang melimpah dari hasil penggilingan padi. Selama ini sekam padi hanya digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran batu bata, media tanam, dan biasanya hanya dibuang begitu saja (Fauziah dkk., 2014). Penanganan sekam padi yang tidak tepat akan menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan. Untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan, diperlukan alternatif untuk memanfaatkan sekam padi ini. Salah satu alternatif yang bisa digunakan adalah menggunakan sekam padi sebagai bahan pembuatan papan partikel. Kandungan bahan dalam sekam padi banyak mengandung lignoselulosa yaitu menimbulkan sifat kaku dan kuat. Sehingga berdasarkan sifat kaku dan kuat pada sekam padi dapat dibuat sebagai papan komposit (Fathanah, 2011).

Penggunaan sekam diharapkan dapat menjadi bahan pengganti kayu yang sampai sekarang masih mendominasi pembuatan papan partikel. Papan partikel yang dibuat dari sekam dapat menjadi substitusi kayu dimana permintaan kayu di pasaran masih cukup tinggi (Fauziah dkk., 2014). Adanya substitusi kayu sebagai papan partikel diharapkan mampu mengurangi tingginya penggunaan kayu untuk kebutuhan struktural dan non struktural (Wibowo dkk., 2008).

Papan partikel adalah produk komposit 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 (Roza dkk., 2015). Proses pembuatan papan partikel jenis perekat yang umum digunakan ialah perekat industri seperti Urea Formaldehida (UF), Phenol Formaldehida (PF), Melamin Formaldehida (MH) dan lain-lain. Dalam penelitian Fathanah (2011) dan Vachlepi, dkk (2018) bahwa perekat komersial atau perekat industri menyebabkan emisi yang lebih tinggi sehingga membahayakan bagi kesehatan dan tidak ramah lingkungan (pencemaran udara). Perekat industri formaldehid bersifat karsinogenik, yang dapat memicu gangguan pernafasan serta kanker (Raharyaningsih dan Azizah 2017).

Perekat bebas formaldehid saat ini terus dikembangkan, sebagai alternatif substitusi perekat sintesis. Perekat alami yang ketersediaannya melimpah, ramah lingkungan, serta bersifat *renewable*. Perekat tersebut berasal dari protein (kulit, daging, dan tulang), dan tumbuhan (pati/tapioka, dan getah). Salah satu perekat alami yang berpotensi untuk dikembangkan adalah lateks karet alam (LKA). Lateks karet alam merupakan getah pohon karet yang berwarna putih. LKA mempunyai daya sifat rekat yang baik pada suhu kamar dan mempunyai daya tahan yang baik terhadap air hangat atau mendidih (Nurhayati, 2018). Selain itu, karet alam memiliki sifat daya elastisitas dan daya lentur yang baik, tidak mudah panas, dan tidak mudah retak (Nursandah dan Zaenuri, 2019)

Batang singkong, serbuk gergaji sengon, dan sekam padi merupakan limbah yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai papan komposit, karena mengandung lignoselulosa yang berperan penting dalam pembuatan papan komposit. Lignoselulosa terdiri dari komponen penyusun lignin, selulosa, dan hemiselulosa

yang berperan sebagai komponen utama dalam penyusunan papan komposit, menimbulkan sifat kaku dan kuat (Fathanah, 2011).

Penelitian yang mengkaji pemanfaatan limbah batang singkong sebagai papan komposit masih terbatas (Aisien dkk.,2015; Rita dkk.,2015; Amenaghawon dkk.,2016). Penelitian Aisien dkk (2015), papan komposit dengan limbah batang singkong dengan menggunakan perekat Urea Formaldehida (UF) memenuhi spesifikasi American National Standard ANSI/A208.1-1999 untuk papan partikel. Penelitian batang singkong dengan sampah plastik sebagai perekat yaitu semua papan komposit hasil penelitian ini memenuhi standar JIS 5908-2003 kecuali *Modulus of Elasticity* (MOE) dan sedangkan kadar air lebih kecil dari standar (Rita dkk., 2015). Amenaghawon dkk (2016) menyatakan papan partikel yang diproduksi dengan bahan batang singkong dan tongkol jagung pada kondisi optimal memenuhi spesifikasi American National Standard ANSI/A208.1-1999 untuk papan partikel.

Pengkajian pemanfaatan sekam padi sebagai papan komposit telah cukup banyak dilakukan sebelumnya. Fathanah (2011) bahwa nilai keteguhan tarik papan komposit telah memenuhi standar dengan kisaran nilai 7,61-18,1 kgf/cm²; Handani dan Ayu (2012) menyatakan bahwa sekam padi memiliki kemampuan ikat terhadap resin yang cukup tinggi sehingga jika dibuat papan akan menghasilkan papan yang mempunyai kekuatan relatif baik. Namun, penelitian papan komposit dengan serbuk sengon masih terbatas. Papan partikel dengan komposisi bahan baku sekam padi 50%: sengon 50% dan konsentrasi perekat 16% merupakan perlakuan yang optimum dengan nilai kerapatan 0,71 g/cm³(Prayoga dkk., 2019)

Berdasarkan hasil penelusuran literatur, penelitian tentang produk papan komposit dari campuran batang singkong, serbuk gergaji sengon, dan sekam padi menggunakan perekat berbasis lateks karet alam belum pernah dilakukan sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk dilakukan. Selain itu, pengembangan limbah batang singkong, sekam padi, dan serbuk gergaji sengon sebagai bahan baku *agriboard* diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah limbah pertanian dan mendukung usaha pelestarian sumberdaya hutan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah berdasarkan latar belakang di atas adalah sebagai berikut :

1. Perlu mendayagunakan limbah biomassa batang singkong, sekam padi, dan serbuk kayu sengon menjadi *agriboard* dalam rangka memberikan kontribusi kelangkaan kayu sekaligus untuk menurunkan masalah limbahnya.
2. Perlu menemukan kadar perekat Lateks karet alam sebagai perekat yang ramah lingkungan dalam pengembangan *agriboard*.
3. Perlu menetapkan spesifikasi teknis karakteristik *agriboard* berbahan biomassa batang singkong, sekam padi, dan serbuk gergaji sengon dengan perekat alami lateks karet alam menurut standar JIS A 5908-2003.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menemukan kombinasi campuran partikel batang singkong, serbuk gergaji sengon, dan sekam padi yang menghasilkan *agriboard* dengan sifat fisis-mekanis unggul
2. Menemukan kadar perekat berbasis lateks karet alam optimum yang menghasilkan *agriboard* dengan sifat fisis-mekanis unggul.
3. Menghasilkan teknologi pemanfaatan limbah batang singkong, serbuk gergaji sengon, dan sekam padi menjadi papan *agriboard* sesuai dengan standar JIS A 5908:2003.

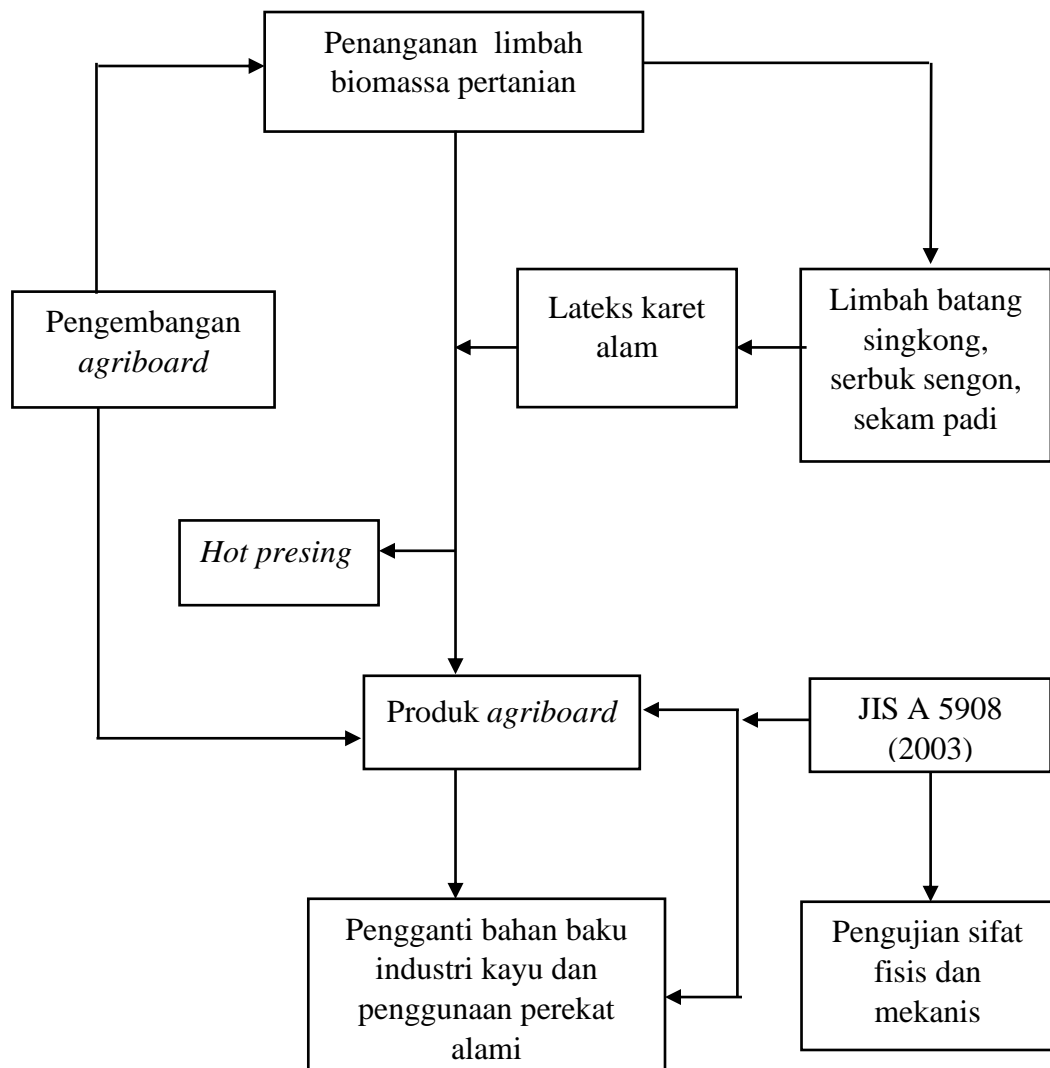
1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat paling tidak antara lain:

1. Dapat menangani moral hazard para pembakar limbah pertanian, yang merusak lingkungan, dengan pemanfaatan limbah biomassa sebagai *agriboard*.
2. Dapat meningkatkan nilai tambah limbah pertanian dan mendukung usaha pelestarian sumberdaya hutan.

3. Dapat memberikan informasi ilmiah sifat fisis-mekanis *agriboard* dari limbah batang singkong, sekam padi, dan serbuk gergaji sengon.

1.5 Kerangka Pemikiran



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

1.6 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat kombinasi partikel batang singkong, sekam padi, dan serbuk sengon yang memiliki sifat fisis dan mekanis yang unggul.
2. Terdapat kadar perekat LKA yang optimum sesuai sifat fisis-mekanis papan *agriboard*.
3. Papan *agriboard* yang dihasilkan dapat memenuhi standar atau kriteria di industri komposit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran lingkungan akibat limbah pertanian

Pencemaran lingkungan hidup adalah dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan (Akib, 2014). Pencemaran lingkungan akibat limbah pertanian seperti sekam padi, batang singkong, dan serbuk gergaji sengon seperti berikut ini.

Limbah batang singkong saat ini umumnya hanya dibuang dan dibakar di ladang. Hal ini menjadi tempat bersarangnya tikus, hama, dan penyakit yang merugikan pertumbuhan tanaman singkong (Sumada dkk., 2011). Sementara limbah batang singkong dibakar di ladang menyebabkan pencemaran udara, karena menimbulkan CO (karbon monoksida), emisi gas rumah kaca, perubahan iklim dan pemanasan global (Rhofita dkk., 2019).

Pabrik penggilingan padi terdapat tumpukan pembuangan sekam padi kering yang menjadi masalah karena perlu tempat penampungan yang luas dan tertutup supaya tidak terbawa angin dan mencemari udara. Selain itu, sekam padi dibakar di sawah yang berdampak pencemaran lingkungan berupa emisi gas hasil pembakaran (Ngahwan, 2006). Namun bila sekam dimasukkan ke dalam tanah sawah, akan mengganggu pertumbuhan padi karena sekam mengandung lignin dan selulosa yang cukup besar yang tidak dapat langsung terurai di dalam tanah sehingga akan menurunkan produktivitas padi (Rahmiati dkk., 2019).

Limbah serbuk kayu sengon di industri pengolahan kayu, dibiarkan membusuk, ditumbuk, dan dibakar. Penanganan tersebut berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, serbuk gergaji yang dihasilkan oleh industri penggergajian dimanfaatkan sebagai media tanam, briket arang, dan papan partikel (Mustofa, 2020).

2.2 Limbah Batang Singkong

Singkong (*Manihot esculenta*) adalah jenis tanaman pangan yang dibudidayakan oleh masyarakat di Indonesia. Umbi singkong dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan, bahan pakan, dan bahan baku industri. Provinsi Lampung merupakan produsen singkong terbesar di Indonesia dengan luas lahan singkong mencapai 342.100 ha dan jumlah produksi sebesar 8,45 juta ton (BPS Lampung, 2018).

Klasifikasi ubi kayu (Wahyu, 2009):

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Sub Divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledoneae
Ordo	: Euphorbiales
Famili	: Euphorbiaceae
Genus	: Manihot
Spesies	: <i>Manihot Esculenta Crantz</i>

Tabel 1. Kualitas Fisik Batang Tanaman Ubi Kayu (Singkong)

Komponen	Kandungan (%)
Kulit Kayu	29,75
Empulur	4,46
Kayu	65,79

Sumber Widodo, dkk. 2013

Menurut Widodo (2013) menunjukkan bahwa limbah batang singkong memiliki kandungan kayu sebesar 65,79%. Sementara itu, hasil penelitian Sumada dkk. (2011) menunjukkan bahwa kandungan kayu pada limbah batang singkong yaitu sebesar 65,38%. Menurut hasil dari kedua penelitian tersebut disimpulkan bahwa kandungan kayu dari limbah batang singkong mempunyai kisaran yang sama pada berbagai varietas tanaman singkong.

Produk utama pemanenan tanaman singkong adalah umbi. Sementara kegiatan pemanenan menghasilkan limbah pemanenan berupa batang singkong. Bobot limbah batang singkong mencapai 50% dari bobot umbi singkong setiap pemanenannya (Zhu dkk, 2015). 10% limbah batang singkong digunakan untuk

kebutuhan penanaman kembali (*replanting*), sedangkan 90% sisanya menjadi limbah yang belum dimanfaatkan secara optimal (Sumada dkk., 2011).



Gambar 2. Limbah Batang Singkong (Asmara, 2019)

Penanganan limbah batang singkong saat ini hanya dibuang atau dibakar dilahan oleh petani. Hal tersebut menimbulkan dampak yang merugikan bagi lingkungan sekitar, seperti menjadi sarang tikus dan organisme pengganggu tanaman lainnya yang dapat menyerang tanaman singkong dan tanaman budidaya lainnya (Asmara dkk., 2019). Di beberapa negara berkembang, limbah batang singkong telah digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak (Howler, 2012). Namun penggunaan kayu bakar dari limbah batang singkong sudah jarang dijumpai dalam masyarakat, lebih ke penggunaan jenis-jenis kayu bakar yang lain.

Limbah batang singkong memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku untuk substitusi kayu karena kandungan lignoselulosanya (Sivamani dkk., 2018), yang terdiri dari 56,82% α -selulosa dan 21,72% lignin, dengan Panjang serat berkisar 0,05-05 cm (Sumanda dkk., 2011). Menurut Widodo (2013) limbah batang singkong terdiri dari kulit kacang (29,75%), empulur (4,46%) dan biomassa berkayu (65,79). Sementara itu, hasil penelitian Sumanda dkk (2011), menunjukkan bahwa kandungan kayu pada limbah batang singkong yaitu sebesar 65,38%.

Kandungan lignoselulosa dalam batang singkong berfungsi sebagai komponen utama untuk memberikan sifat kuat dan kaku terhadap karakteristik papan *agriboard*.

2.3 Sekam Padi

Sekam padi merupakan sisa dari proses pengolahan hasil pertanian padi. Sekam padi biasanya digunakan untuk media bercocok tanam, briket arang sekam, dan pakan ternak. Selain itu, sekam padi biasanya dibakar sembarangan sehingga menimbulkan polusi terhadap lingkungan disekitarnya. Pemanfaatan sekam padi saat ini masih sangat sedikit, sehingga sekam tetap menjadi bahan limbah yang mengganggu (Rahmiati dkk., 2019).

Terdapat beberapa kendala yang menjadi penyebab sekam padi tidak digunakan secara komersil/industri yaitu: kurangnya pengetahuan dan kesadaran masyarakat akan potensial yang dimiliki oleh sekam padi, hambatan dari teknologi menyebabkan sekam padi tidak dapat diproses menjadi barang bernilai jual yang lebih tinggi, dan masalah sosial dan ekonomi.

Ditinjau dari komposisi kimiawinya, sekam padi mengandung beberapa unsur penting di dalamnya (Rahmiati dkk., 2019). Komposisi kimia sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Kimia Sekam Padi

Komposisi Kimia Sekam Padi	Kandungan (%)
Kadar air	32,40 – 11,35
Protein Kasar	1,70 – 7,26
Lemak	0,38 – 2,98
Serat	31,37 – 49,92
Abu	13,16 – 29,04
Pentosa	16,94 – 21,95
Sellulosa	34,43 – 43,80
Lignin	21,40 – 46,97

Sumber : Handani dan Ayu (2012)

Sekam padi memiliki beberapa keunggulan seperti kemampuan terhadap kelembaban, tidak mudah berjamur dan tidak berbau (Murdiyono, 2009). Sekam padi tidak mengandung bagian yang keras, tidak mengalami penyusutan, tidak mengerucut, tidak terpelintir, terbelah atau melengkung. Sekam padi juga kuat, kaku, lurus dan ringan, mudah diperoleh dan dijumpai di masyarakat serta memiliki

harga yang jauh lebih murah daripada kayu gelondongan atau kayu solid (Arbintarso, 2008).

Sekam padi yang sebagian besar masih dimanfaatkan secara langsung sebagai bahan bakar konvensional. Pengolahan lanjut dari sekam menjadi bahan material dan sebagai bahan komposit, belum dilakukan secara optimal (Ngahwan, 2006). Sekam padi yang digunakan sebagai papan komposit perlu diketahui komposisi campurannya dan proses pemadatannya agar dihasilkan papan yang memenuhi standar (Arifin, 2017). Variasi campuran sekam padi dan bahan pengikat serta berbagai variasi pemadatan (*compression ratio*) akan menghasilkan karakter tertentu yang dapat merubah sifat fisis dan mekanisnya papan komposit (Fathanah, 2011). Pemanfaatan papan komposit dari sekam padi dapat digunakan dalam komponen bahan bangunan rumah, peredam panas, dan tempat penyimpanan, seperti untuk membuat meja, plafon, penyimpanan dingin maupun dinding api (Fathanah, 2011).

Pemilihan sekam padi sebagai bahan baku pembuatan papan partikel dikarenakan sekam padi memenuhi syarat sebagai serat yang berbentuk bulir dan kemampuan ikat terhadap perekat yang cukup tinggi, sehingga jika sekam padi dibuat papan partikel dengan perekat sebagai pengikatnya akan dihasilkan papan partikel yang mempunyai kekuatan yang relatif baik (Handani dan Ayu, 2012).

2.4 Limbah Gergaji Serbuk Sengon

Kayu sengon termasuk tanaman perkebunan yang banyak di budidayakan oleh masyarakat. Karena budidaya kayu sengon memenuhi kriteria:relatif mudah, cepat tumbuh, massa panennya pendek, dapat ditebang pada umur 5-7 tahun (Mustofa, 2020). Permintaan penggunaan kayu sengon saat ini cukup tinggi, sehingga menyebabkan industri penggergajian kayu mengolah kayu sengon menjadi barang jadi atau barang yang sesuai dengan permintaan konsumen.

Limbah serbuk kayu hasil penggergajian akan mengalami peningkatan sesuai dengan permintaan. Umumnya limbah yang berupa serbuk gergajian hanya digunakan sebagai bahan bakar tungku, dibakar atau bahkan tidak dipakai sama sekali (ditumpuk), sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Karakteristik kimia kayu sengon dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik kimia kayu sengon

Komposisi Kimia Kayu Sengon	Kandungan (%)
Selulosa	49,40
Hemiselulosa	24,10
Lignin	26,50

Sumber : Martawijaya (1977).

Serbuk gergaji adalah sisa hasil produksi berupa butiran-butiran kayu yang dihasilkan dari proses menggergaji. Serbuk gergajian kayu didapat dari limbah perkayuan dan pertanian. Limbah serbuk gergaji yang ada di Indonesia mencapai 0,78 juta m³/tahun (Rahman, 2018). Pengolahan kayu yang menghasilkan limbah berupa serbuk gergaji salah satunya adalah pengolahan kayu sengon. Pemanfaatan serbuk sengon pada masyarakat rata-rata digunakan untuk *bag log* pada produksi jamur (Prayoga, 2019) dan sebagai bahan baku triplek, panel kayu dan kayu lapis (Kurniawan, 2018).



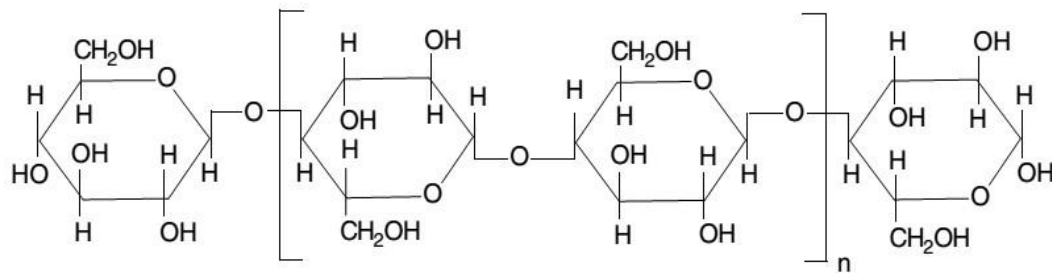
Gambar 3. Serbuk Gergaji Sengon (Rahman, 2018)

2.5 Pemanfaatan Limbah Batang Singkong, Sekam Padi, dan Serbuk Sengon sebagai Bahan Baku Alternatif Produk Papan Komposit

Limbah batang singkong, sekam padi, dan serbuk kayu sengon mengandung lignoselulosa yang terdiri dari komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kandungan tersebut menyebabkan timbulnya sifat kuat dan kaku (Fathanah, 2011).

Limbah batang singkong memiliki kandungan selulosa 56,82% dan lignin 21,72% (Sumada, 2011). Handani dan Ayu (2012) melaporkan sekam padi memiliki kandungan kimia selulosa 50%, dan lignin 25-30%. Sedangkan Martawijaya (1977) melaporkan kayu sengon memiliki kandungan kimia selulosa 49%, hemiselulosa 24%, dan lignin 26%. Sehingga ketiga bahan tersebut memiliki potensi sebagai bahan baku papan komposit (Ismail dkk., 2016).

Selulosa ($C_6H_{10}O_5$)_n merupakan polisakarida terdiri atas rantai linier (memanjang dan tidak bercabang) (Harum, 2017). Setiap tahun jutaan ton selulosa dimanfaatkan untuk pembuatan kertas, tekstil, dan perabotan kayu. Selulosa mempunyai kelarutan yang besar dalam air, karena banyaknya kandungan gugus hidroksi yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan air. Struktur kimia selulosa disajikan pada Gambar 4.

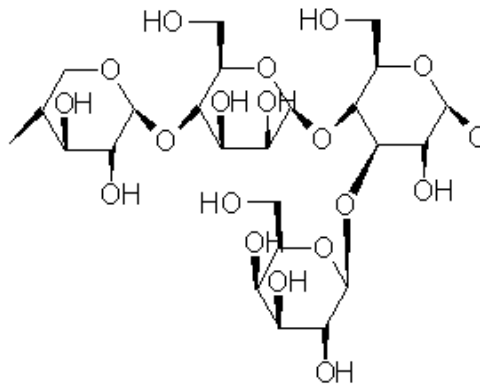


Gambar 4. Struktur Kimia Selulosa (Mohanty, 2005)

Pemanfaatan selulosa dengan menghidrolisis selulosa menjadi glukosa, namun proses tersebut sulit dilakukan karena polimer selulosa saling menumpuk dan berikatan dan membentuk serat panjang yang sangat kuat. Sifat-sifat selulosa terdiri dari sifat fisika dan sifat kimia. Selulosa dengan rantai panjang mempunyai sifat fisik yang lebih kuat, lebih tahan lama terhadap degradasi yang disebabkan oleh pengaruh panas, bahan kimia maupun pengaruh biologis (Harum, 2017). Sifat fisika dari selulosa yang penting adalah panjang, lebar, tebal molekulnya, tidak larut dalam air maupun pelarut organik, bersifat higroskopis (mudah menyerap air serta melepaskan uap air).

Hemiselulosa ($C_5H_{10}O_5$)_n merupakan polisakarida yang mengandung banyak monomer gula berbeda. Monomer gula ini dapat terdiri atas pentose (xilosa,

rhamnosa, and arabinosa), heksosa (glukosa, manosa, dan galaktosa), asam uronat, dan gugus asetil (Harum, 2017). Seperti halnya selulosa, hemiselulosa perlu dihidrolisis menjadi xilosa untuk memanfaatkannya. Struktur kimia hemiselulosa disajikan pada Gambar 5.

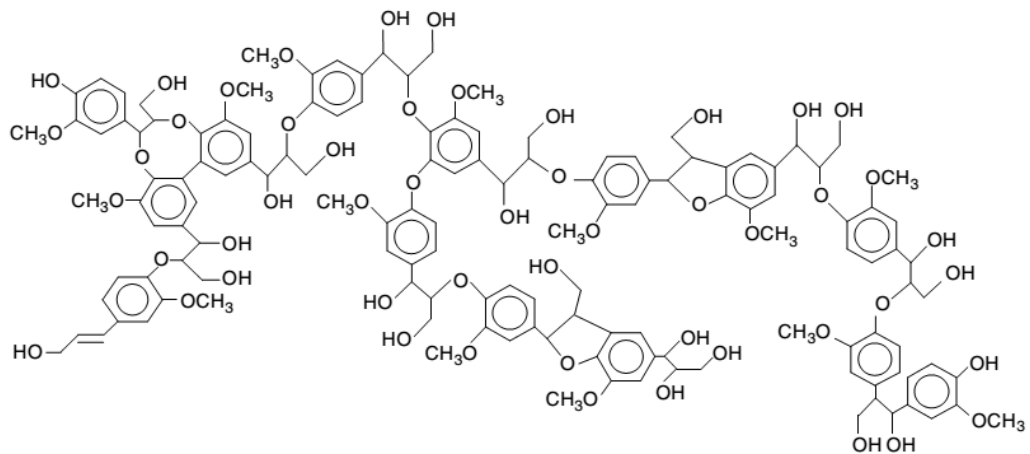


Gambar 5. Struktur Kimia Hemiselulosa (Mohanty, 2005)

Perbedaan Hemiselulosa dengan Selulosa yaitu: Hemiselulosa mudah larut dalam alkali tapi sukar larut dalam asam, sedangkan selulosa adalah sebaliknya. Hemiselulosa bukan merupakan serat-serat panjang seperti selulosa. Hasil hidrolisis selulosa akan menghasilkan D-glukosa, sedangkan hasil hidrolisis hemiselulosa menghasilkan D-xilosis dan monosakarida. Kandungan hemiselulosa yang tinggi memberikan kontribusi pada ikatan antara serat, karena hemiselulosa bertindak sebagai perekat dalam setiap serat tunggal (Harum, 2017).

Lignin adalah struktur kompleks yang berada pada dinding sel primer, sebagai penyokong struktur lignoselulosa. Unit penyusunnya berupa polimer fenilpropan yang terdiri dari guaiasil, syringil dan p-hidroksifenil yang dihubungkan oleh ikatan eter (β -O-4), dan ikatan C-C Lignin merupakan faktor utama yang menyulitkan degradasi lignoselulosa dengan enzim. Selain lignin adalah hambatan utama untuk mengakses selulosa dan hemiselulosa, interaksi hidrofobik lignin dengan molekul enzim menyebabkan ikatan yang menurunkan kemampuan enzim menghidrolisis selulosa (Harum, 2017).

Struktur kimia lignin disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur Kimia Lignin (Mohanty, 2005)

Lignin berfungsi sebagai bahan perekat atau sel-sel selulosa yang membuat kayu menjadi kuat. Lignin merupakan polimer 3 dimensi yang bercabang banyak. Lignin mampu mengurangi daya pengembangan serat serta ikatan antar serat (Harum, 2017).

Ikatan antara serat sebagai pengisi dan matrik sebagai pengikat terdiri dari ikatan kimia dan ikatan elektrostatis. Ikatan kimia merupakan ikatan antar elektron donor dan elektron penerima. Ikatan kimia terdiri dari ikatan ion, ikatan kovalen dan Van der Waals. Ikatan elektrostatis merupakan ikatan yang hanya terjadi pada material yang mampu memindahkan elektron akibat adanya gaya elektrostatis (Mohanty, 2005). Gaya elektrostatis antara partikel batang singkong, serbuk kayu sengon, dan sekam padi dengan muatan gaya tarik menarik muatan listrik dari gugus fungsional perekat LKA mempengaruhi kekuatan *agriboard*. Selain itu menentukan daya tahan keawetan terhadap serangan mikroba ataupun proses oksidasi dari papan *agriboard*.

2.6 *Agriboard*

Papan partikel adalah produk komposit 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 (Roza dkk., 2015).

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya (Mikael dkk, 2014). Material komposit tersusun dari dua komponen utama yaitu matrik (bahan pengikat) dan *filler* (bahan pengisi). *Filler* adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk (Hamdi, 2010). Papan partikel mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan papan kayu solid seperti: bebas cacat, ukuran dan kerapatan papan partikel dapat disesuaikan dengan kebutuhan, tebal dan kerapatannya seragam serta mudah dikerjakan, mempunyai sifat isotropis, serta sifat dan kualitasnya dapat diatur (Hidayat dkk., 2013). Selain itu kelebihan papan partikel seperti bebas mata kayu, tidak mudah pecah dan tidak mudah retak (Maloney, 1997). Pembuatan papan partikel berdasarkan pada pertimbangan ekonomis yaitu untuk memanfaatkan limbah dari berbagai jenis tumbuhan-tumbuhan (Roza dkk., 2015).

Papan komposit merupakan produk panel yang terbuat dari bahan kayu atau bahan berlignoselulosa lainnya yang dicampur dengan perekat sintesis atau bahan pengikat lain kemudian dikempa untuk mempekuat ikatan antara bahan baku dengan perekat (Febrianto dkk., 2017). Pengolahan limbah batang singkong, sekam padi, dan serbuk gergaji sengon menjadi *agriboard* dapat meningkatkan nilai tambah limbah, dan memperkaya alternatif substitusi produk kayu solid (Adediran dkk., 2019). Papan komposit disebut juga sebagai papan rekayasa (*engineered composite panel*) karena sifat-sifatnya dapat dimodifikasi dengan menerapkan parameter-parameter produksi yang tepat seperti penggunaan jenis perekat, komposisi campuran, rasio pemadatan (*compression ratio*), kerapatan target, teknik pengempaan (kempa panas dan kempa dingin) (Milner dan Woodard, 2016).

Berbagai upaya dilakukan untuk mengatasi kekurangan bahan baku kayu, diantaranya dengan mensubstitusi penggunaan kayu yang selama ini dipergunakan. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai substitusi penggunaan kayu adalah papan komposit.

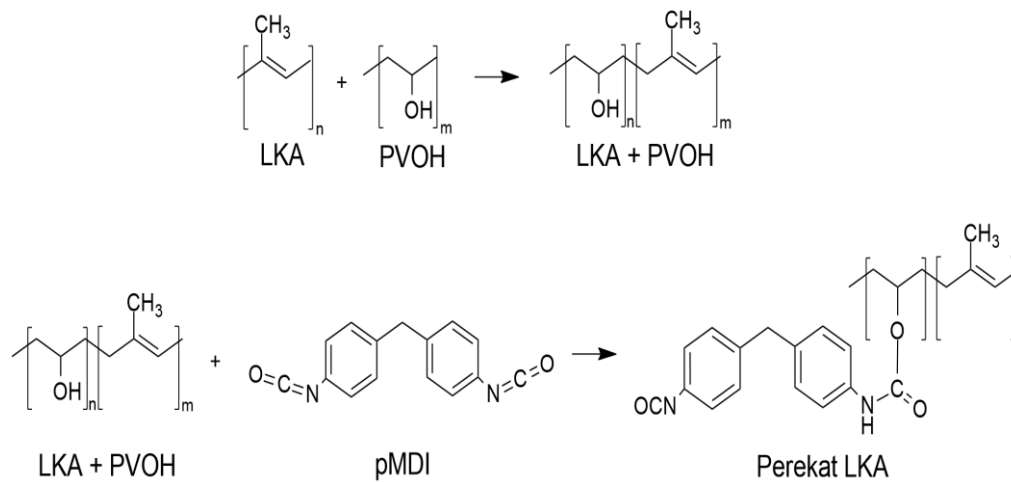
2.7 Perekat Lateks Karet Alam

Lateks karet alam adalah getah pohon karet yang diperoleh dari pohon karet (*Hevea brasiliensis*), berwarna putih dan berbau segar. Umumnya lateks karet alam hasil penyadapan mempunyai kadar karet kering antara 20-35%, serta bersifat kurang baik sehingga harus segera diolah secepat mungkin (Nurhayati, 2018).

Pengembangan perekat LKA (Lateks Karet Alam) adalah pengembangan inovasi sederhana, mudah diaplikasikan pada produk kayu lamina dan kayu lapis, namun mempunyai dampak terhadap penggunaan perekat dalam industri kayu, untuk substitusi perekat *low temperature setting* sangat berpotensi mensubstitusi perekat komersial (Vahlepi, dkk. 2018). Perekat ini dapat dibuat dengan mudah dan sederhana, bahkan mempunyai batasan emisi yang rendah sehingga aman dalam pembuatan panel kayu. Selain ramah lingkungan, perekat berbahan dasar lka ini mempunyai sifat daya rekat yang baik pada suhu kamar dan mempunyai daya tahan yang baik terhadap air hangat atau mendidih.

Potensi lain dari LKA yaitu dikembangkan menjadi bahan dasar perekat *aqueous polymer isocyanate* (API) yang berpotensi untuk mensubstitusi perekat komersial jenis *low temperature setting* seperti perekat API dengan bahan dasar polimer sintetis ataupun *polymeric methylene diphenyl diisocyanate* (pMDI) (Nurhayati, 2018). Agar dapat diaplikasikan perekat LKA perlu penambahan *Polivinil Alkohol* (PVOH) untuk meningkatkan daya rekat LKA dengan menghasilkan gugus hidroksil pada campuran perekat LKA + PVOH dan pMDI sebagai *crosslinking* (Fatriasari, dkk. 2010). Formula polimer perekat dasar LKA dan PVOH dengan penambahan pMDI sebagai pengikat silang.

Berikut skema reaksi kimia LKA+PVOH+pMDI ditunjukkan pada Gambar 7:



Gambar 7. Skema Reaksi Kimia LKA+PVOH+pMDI

Perekat jenis Urea Formadehida yang beredar di pasaran harganya cukup mahal sehingga diciptakan perekat LKA berpeluang dapat menjadi solusinya sebagai substitusi perekat sintesis. Perekat jenis *low temperature setting* ini juga bermanfaat bagi industri kecil karena proses aplikasinya tidak memerlukan panas atau suhu tinggi, dan dapat menggunakan peralatan yang sederhana. Namun struktur kimia yang istimewa juga membawa beberapa kekurangan: perekat dalam lem karet alam atau pita perekat memiliki jumlah perekat terbatas dan kohesi pada suhu di atas 70°C, memerlukan penstabil untuk menahan penuaan dan lingkungan dalam hal paparan terhadap UV dan ozon, serta sangat tidak tahan terhadap bahan kimia dan pelarut (Nurhayati, 2018).

2.8 Standar Mutu Papan Partikel

Penelitian ini menggunakan standar JIS A 5908:2003 (Japanese Industrial Standard A 5908: 2003) Persyaratan sifat fisis dan mekanis papan partikel yang harus dipenuhi pada Tabel 4.

Tabel 4. Standar Nilai JIS A 5908:2003 *Particleboard*

No	Sifat Fisis Mekanis	JIS A 5908-2003
1	Kerapatan (g/cm^3)	0,4-0,9
2	Kadar air (%)	5-13
3	Pengembangan Tebal (%)	Maks 12
4	MOR (N/mm^2)	Min 7,84
5	MOE (N/mm^2)	Min 2000

2.9 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Mutu Papan Partikel

Menurut Maloney (1993) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi mutu papan partikel yaitu:

a. Berat jenis partikel

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. Berat jenis partikel mempengaruhi daya serap air, dan pengembang tebal.

b. Zat ekstraktif partikel

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

c. Jenis partikel

Sifat dari jenis partikel berbeda-beda untuk pembuatan papan partikel. Sehingga jenis partikel mempengaruhi sifat-sifat dari mutu papan partikel.

d. Campuran jenis kayu

Keteguhan lentur papan partikel dari campuran jenis kayu ada diantara keteguhan lentur papan partikel 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 daripada yang dibuat dari serbuk karena ukuran tatal lebih besar daripada serbuk. Karena itu, papan partikel strukturan 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

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

h. Pengolahan Proses

Produksi papan partikel berlangsung secara otomatis. Meskipun 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 menurun.

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Produksi *agriboard* dilakukan di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pengujian sifat fisis dan mekanis *agriboard* dilakukan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pengujian karakterisasi LKA di Pusat Riset Biomaterial, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Penelitian dilaksanakan selama 5 bulan dari Januari- Mei 2021.

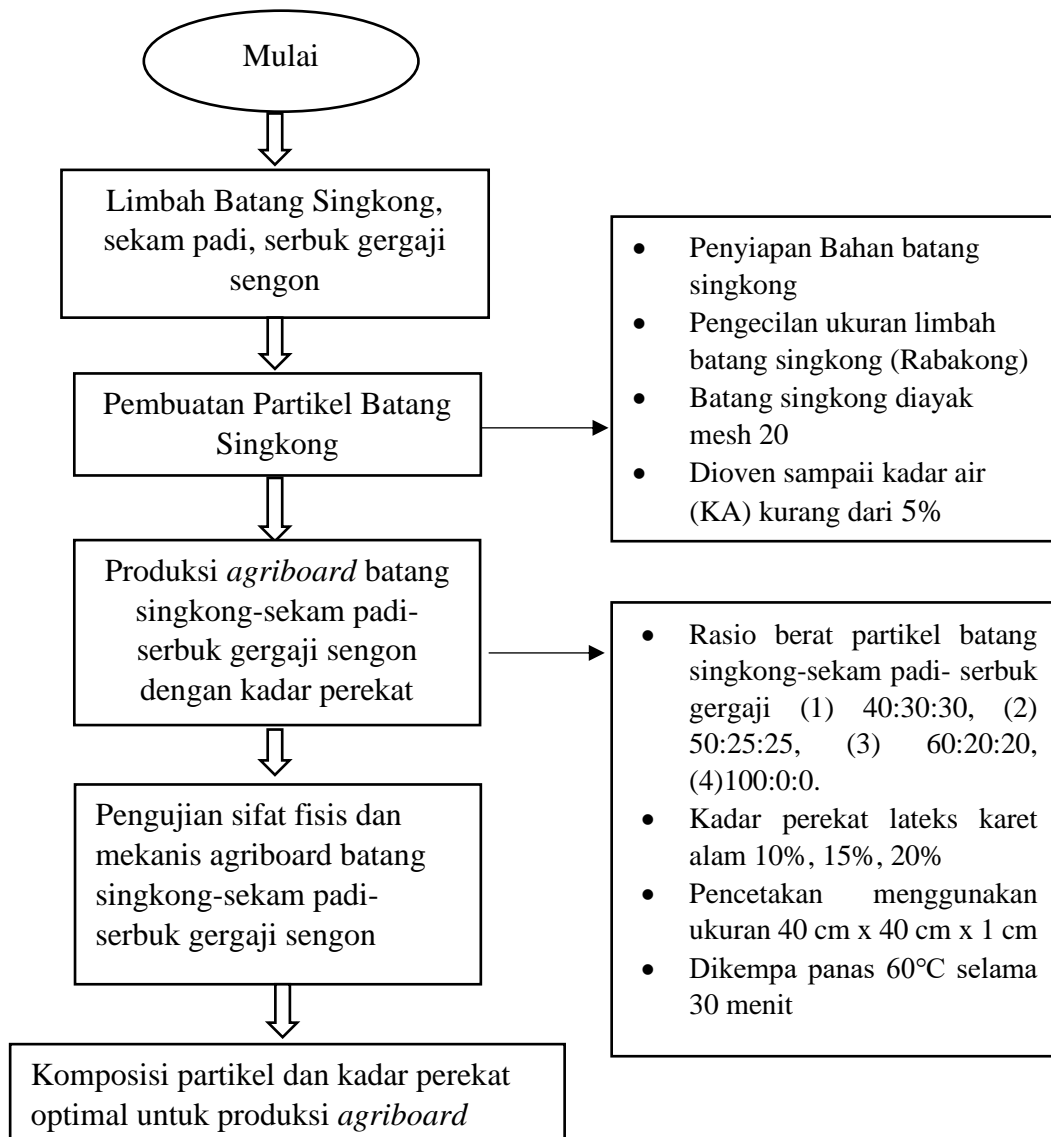
3.2 Bahan dan Alat

Bahan penelitian adalah limbah batang singkong, serbuk gergaji sengon, dan sekam padi. Jenis perekat yang digunakan adalah perekat lateks karet alam. Peralatan yang digunakan meliputi: mesin perajang batang singkong (Rabakong), *mesin hammermill*, mesin gergaji, saringan (*screen*), pengering partikel (*oven*), timbangan digital, caliper, ember, kayu pengaduk, masker, sarung tangan, alat kempa panas (*hot pressing*), kamera, dan pengujian papan menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) merk Testometer. Pengujian karakterisasi LKA menggunakan rheometer putar. pH meter digital, FTIR (*fourier Transform Infrared*), DSC 400 (*Differential Scanning Calorimetry*).

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini mengkaji pengaruh jenis partikel dari limbah batang singkong, serbuk gergaji sengon, sekam padi dan pengaruh kadar perekat terhadap sifat fisis dan mekanis *agriboard*.

Diagram alir tahapan penelitian disajikan pada Gambar 8.



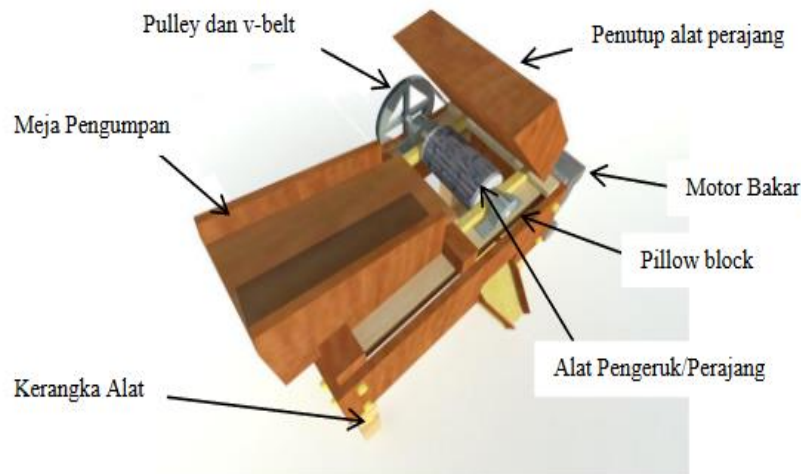
Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

3.2.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku. Limbah batang singkong di peroleh dari desa Adijaya, Kecamatan Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah ($4^{\circ}56'27.1''S$ $105^{\circ}11'10.7''E$). Serbuk gergaji sengon diperoleh dari desa Karangrejo, Kecamatan Banjarsari, Kota Metro Utara ($5^{\circ}05'03.0''S$ $105^{\circ}19'32.3''E$). Sekam padi diperoleh dari Desa Marga Agung, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan

(5°18'51.8"S 105°12'13.1"E). Sementara perekat lateks karet alam didapat dari Pusat Riset Biomaterial, Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Limbah batang singkong digiling dengan mesin perajang batang singkong (Rabakong) dengan tujuan untuk pengecilan ukuran. Berikut ini adalah mesin rabakong yang disajikan pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Mesin Perajang Batang Singkong (Rabakong)

Prinsip kerja mesin rabakong menggunakan motor bakar sebagai motor penggerak yang langsung terhubung dengan poros menggunakan pulley dan v-belt yang akan menggerakkan atau memutar poros pisau pencacah. Pada saat mesin dihidupkan motor menggerakkan poros pisau kemudian batang singkong masuk melalui meja pengumpan lalu secara otomatis batang singkong dirajang oleh pisau yang berputar. Batang singkong yang telah dirajang akan keluar melalui bagian pengeluaran, kemudian dipisahkan partikel dan kulit arinya.

Partikel batang singkong yang sudah dipisahkan dilakukan penggilingan dengan *mesin hammermill* untuk memperoleh ukuran partikel lebih kecil dengan ukuran mesh 20. Partikel yang sudah terseleksi dikeringkan, pengeringan tahap pertama dilakukan pengeringan udara dengan diangin-angin selama 4 hari sampai kadar air 25%. Pengeringan tahap kedua dioven dengan suhu $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ sampai kadar air kurang dari 5%. Berikut adalah tahapan proses persiapan partikel batang singkong yang disajikan pada Gambar 10 di bawah ini.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 10. Proses persiapan partikel batang singkong menjadi partikel yang lebih halus. (a) Limbah batang singkong, (b) perajangan batang singkong, (c) pengeringan batang singkong di bawah sinar matahari, (d) pembentukan partikel batang singkong yang lebih kecil dengan *mesin hammermill*, (e) pengayakan partikel batang singkong mesh 20.

Kebutuhan kombinasi bahan baku sesuai dengan persentase perekat disajikan pada Tabel 5 dan perhitungan lebih rinci disajikan pada Lampiran B (Tabel 15).

Tabel 5. Kebutuhan Kombinasi Bahan Baku

Kombinasi Bahan	Kadar Perekat Lateks Karet Alam %								
	10			15			20		
	BS (g)	SG(g)	SP (g)	BS (g)	SG (g)	SP (g)	BS (g)	SG(g)	SP(g)
40:30:30	427,6	320,7	320,7	409,0	306,8	306,8	329,2	294,0	294,0
50:25:25	534,5	267,3	267,3	511,2	255,6	255,6	490,0	245,0	245,0
60:20:20	641,4	213,8	213,8	613,6	204,5	204,5	588,0	196,0	196,0
100:0:0	1069,1	-	-	1022,6	-	-	980,0	-	-

Keterangan: BS = Batang Singkong SG = Serbuk Sengon SP = Sekam Padi

Persiapan partikel serbuk sengon dan sekam padi yang diperoleh dari petani dilakukan dengan persiapan pemisahan dari benda-benda asing. Partikel tersebut kemudian dikeringkan menggunakan oven sampai kadar air 5%. Berikut ini adalah partikel serbuk sengon disajikan pada Gambar 11, dan partikel sekam padi disajikan pada Gambar 12.

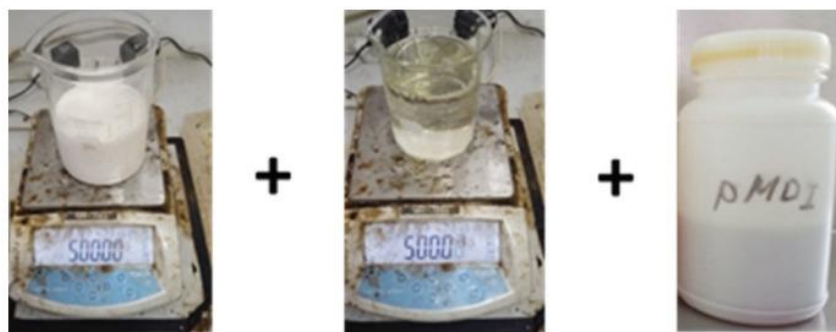


Gambar 11. Persiapan Partikel Serbuk Sengon



Gambar 12. Persiapan partikel Sekam Padi

3.3.2 Persiapan Perekat Lateks Karet Alam



Gambar 13. Persiapan Perekat LKA+PVOH+pMDI

Konsentrasi perekat LKA sebelumnya 60%. Kemudian dilakukan pengenceran dengan air mencapai konsentrasi 50% untuk mempermudah pengaplikasian perekat ke dalam bahan.

Dengan menggunakan rumus:

$$X = \frac{6}{5}Y$$

Keterangan:

X = Jumlah LKA 50% yang diinginkan

Y = Jumlah LKA 60% yang diambil

X.Y = air yang ditambahkan

Persiapan perekat lateks karet alam yaitu bahan lateks karet alam (LKA), polivinil alkohol (PVOH), kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai filler, pMDI sebagai *cross-linker*. Proses pencampuran perekat yaitu dengan menuangkan LKA+PVOH

ke dalam ember, dan menambahkan CaCO_3 sebanyak 3% dari berat total perekat. Mengaduk rata campuran. Setelah itu menambahkan pMDI sebanyak 5% dari berat total perekat. Mengaduk Kembali sampai rata. Selanjutnya perekat dapat digunakan dalam waktu 30 menit (setelah pengentalan akan meningkat dan sulit untuk diaplikasikan).

3.3.3 Karakterisasi Perekat berbasis Lateks Karet Alam

Karakterisasi perekat berbasis LKA dilakukan sesuai dengan metode yang dipublikasikan pada penelitian sebelumnya (Lubis dkk., 2021b, 2021a). Kandungan padatan non-volatil dari perekat berbasis LKA ditentukan dengan mengeringkan sampel pada $105\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ selama 3 jam. Kandungan padatan perekat berbasis LKA dihitung dengan membagi sampel kering dengan sampel basah. Viskositas perekat berbasis LKA diukur dengan menggunakan rheometer putar (Rheolab QC, Anton Paar, Austria) pada kecepatan konstan 100 rpm, pada suhu $27 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$, dan menggunakan silinder konsentris No. 27. Waktu gelatinasi perekat berbasis LKA ditentukan menggunakan pengukur waktu gelatinasi (Techne GT-6, Coleparmer, USA) pada $27 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$. pH perekat berbasis LKA juga diukur menggunakan pH meter digital (Orion Star A211, ThermoScientific, Amerika Serikat). *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Spektrometer (Spectrum Two, Perkin Elmer, Amerika Serikat) digunakan untuk menganalisa perubahan gugus fungsi perekat berbasis LKA pada kisaran bilangan gelombang $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ dengan resolusi 2 cm^{-1} . Sekitar 16 scan rata-rata untuk latar belakang dan spektrum sampel, masing-masing. Normalisasi dilakukan untuk menormalkan spektrum perekat berbasis LKA menggunakan Perangkat Lunak Spectrum (Ver. 10.5.3, Perkin Elmer Inc., Amerika Serikat).

Differential Scanning Calorimetry (DSC 4000, Perkin Elmer, Amerika Serikat) digunakan untuk memantau sifat termal perekat berbasis LKA pada rentang pemindaian $50\text{ }^\circ\text{C}$ hingga $100\text{ }^\circ\text{C}$, dan laju pemanasan $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$. Gas nitrogen yang diinjeksi dengan laju alir $20\text{ mL}/\text{menit}$ digunakan sebagai *purge gas*. Suhu puncak (T_p) dihitung dengan menggunakan Software Pyris (Ver. 11.1.1.0492, Pyris, USA).

3.3.4 Pembuatan *Agriboard*

Agriboard campuran akan dibuat dengan rasio berat bahan baku utama antara partikel batang singkong, serbuk gergaji sengon, dan sekam padi sebagai berikut: 1) 40:30:30, 2) 50:25:25, 3) 60:20:20, 4) 100:0:0 dengan perekat karet lateks alam dengan kadar 10%, 15%, dan 20%. Pencampuran perekat dengan partikel dilakukan secara manual. *Agriboard* dibuat dengan ukuran 40 cm x 40 cm x 1 cm (Panjang x lebar x tebal) dengan target kerapatan 0,7 g/cm³. Partikel disusun di dalam cetakan papan (*former device*), kemudian dikempa panas (60°C) selama 30 menit. *Agriboard* yang telah dibuat selanjutnya akan dikondisikan pada suhu ruangan (25-30°C) dengan kelembaban relatif antara 75-85% selama 2 minggu agar kadar airnya sesuai dengan kadar air lingkungan atau dalam keadaan setimbang. Berikut proses pembuatan papan *agriboard* disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Proses pembuatan papan *agriboard*: (a) penimbangan partikel batang singkong, serbuk sengon, dan sekam padi (b) penimbangan perekat LKA, (c) blending bahan baku dan perekat, (d) pengempaan panas papan *agriboard*

Berikut hasil pembuatan papan agriboard disajikan dalam Gambar 15.



Gambar 15. Hasil papan *agriboard*

3.3.5 Pengujian sifat fisis dan sifat mekanis *agriboard*

Pengujian sifat fisis dan mekanis *agriboard* menggunakan standar JIS A 5908 (2003). Sifat fisis yang diuji adalah kerapatan, kadar air (KA), daya serap air (DSA), dan pengembang tebal (PT) Sifat mekanis yang diuji meliputi modulus patah (*modulus of rupture/MOR*), dan modulus lentur (*modulus of elasticity/MOE*).

a. Kerapatan

Pengujian kerapatan berukuran (10x10x1) cm³ ditimbang beratnya (g), dan diukur dimensi panjang dan lebar untuk menentukan volume uji (cm³) (Gambar 16). Nilai kerapatan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D \text{ (g/cm}^3\text{)} = B/V$$

Dimana D adalah kerapatan (g/cm³), B adalah berat contoh uji kering udara (g), dan V adalah volume contoh uji kering udara (cm³).

b. Kadar Air (KA)

Pengujian kadar air dilakukan pada keadaan kering oven. Pengujian berukuran (10x10x1) cm³ ditimbang untuk mengetahui berat awal (B₀). Sampel dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 103±2°C. Contoh uji kering ditimbang kembali (B₁) (Gambar 16). KA dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$KA \text{ (\%)} = 100 \times (B_0 - B_1) / B_1$$

Dimana KA adalah kadar air (%), B₀ adalah berat awal contoh uji setelah pengkondisian (g), dan B₁ adalah berat kering oven contoh uji (g).

Berikut merupakan pengujian kerapatan dan kadar air disajikan pada Gambar 16.



(a)

(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 16. Proses pengujian kerapatan dan kadar air papan *agriboard*: (a) Penimbangan papan *agriboard*. (b) Pengukuran dimensi papan *agriboard*, (c) pengeringan dengan dioven 24 jam, (d) Penimbangan setelah di oven, (e) pengukuran dimensi papan *agriboard*.

c. Daya Serap Air

Daya serap air dihitung setelah direndam air selama 24 jam (Gambar 17). Pengujian berukuran $(5 \times 5 \times 1)$ cm³ ditimbang berat awalnya (B_1). Sampel kemudian direndam dalam air dingin selama 24 jam, dan setelah itu ditimbang beratnya (B_2). Daya serap air dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$DSA (\%) = 100 \times (B_2 - B_1) / B_1$$

Dimana DSA adalah daya serap air (%), B_1 adalah berat contoh uji sebelum perendaman (g), dan B_2 adalah berat contoh uji setelah perendaman (g).

d. Pengembangan Tebal (PT)

Pengembangan tebal dihitung dengan mengukur tebal contoh uji sebelum dan setelah direndam dalam air selama 24 jam (Gambar 17). Pengujian pengembangan tebal berukuran sama dengan contoh uji daya serap air. Pengembangan tebal didasarkan pada tebal sebelum direndam (T_1) yang diukur pada keempat sisi dan dirata-ratakan dalam kondisi kering udara dan tebal setelah perendaman (T_2) dalam air dingin selama 24 jam. Pengembangan tebal dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$PT (\%) = 100 \times (T_2 - T_1) / T_1$$

Dimana PT adalah pengembangan tebal (%), T_1 adalah tebal contoh uji sebelum perendaman (mm), dan T_2 adalah tebal contoh uji setelah perendaman (mm).

a. MOE (*Modulus of Elasticity*) dan MOR (*Modulus of Rupture*)

Pengujian MOE (keteguhan lentur) dan MOR (keteguhan patah) dilakukan pada semua papan (Gambar 18), MOE diuji dengan menggunakan *universal testing machine* Testometer (Model M500-25CT, TESTOMETRIC, USA) dan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$MOE (N/mm^2) = \frac{\Delta P \times L^3}{4 \times \Delta Y \times b \times t^3} \quad MOR (N/mm^2) = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times t^2}$$

Dimana MOE adalah keteguhan lentur (N/mm²), MOR adalah keteguhan patah (N/mm²), ΔP adalah beban pada batas proporsional (N), P adalah beban maksimum (N), ΔY adalah defleksi/lenturan pada beban batas proporsional (mm), L adalah jarak sangga (mm), b adalah lebar contoh uji (mm), dan t adalah tebal contoh uji (mm).

Pengujian daya serap air dan pengembang tebal papan *agriboard* disajikan pada Gambar 17:



(a)



(b)



(c)



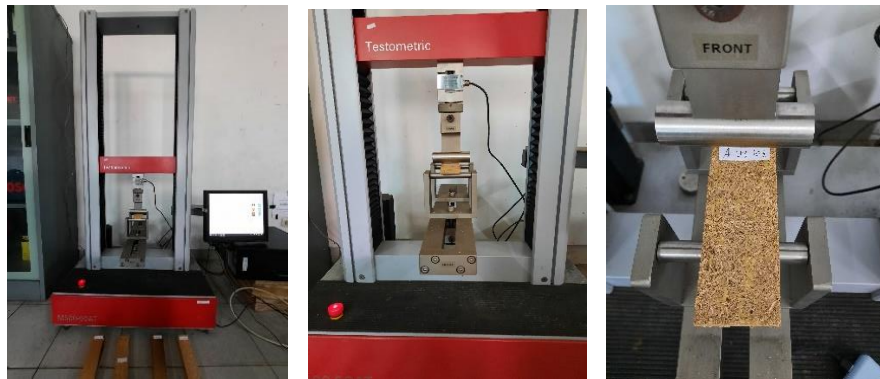
(d)



(e)

Gambar 17. Proses pengujian daya serap air dan pengembang tebal papan *agriboard*. (a) Penimbangan papan *agriboard*, (b) Pengukuran dimensi papan *agriboard*, (c) perendaman selama 24 jam, (d) Penimbangan setelah di oven, (e) pengukuran dimensi papan *agriboard*.

Pengujian MOE dan MOR disajikan pada Gambar 18.



(a)



(b)



(c)

Gambar 18. Proses pengujian MOE dan MOR *agriboard*. (a) Peletakan sampel papan ke mesin UTM, (b) pengujian MOE dan MOR papan *agriboard*, (c) Hasil papan *agriboard* setelah pengujian MOE dan MOR

3.4 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis data dengan rancangan percobaan Rancangan Acak Kelompok Faktorial (RAKF). Terdiri dari 2 (dua) faktor yaitu 4 (empat) jenis kombinasi partikel dan 3 (tiga) taraf kadar perekat. Setiap perlakuan akan dilakukan 3 (tiga) kali ulangan.

Rasio berat bahan baku utama (B) antara partikel batang singkong, serbuk gergaji sengon, dan sekam padi sebagai berikut: 40:30:30 (B1), 50:25:25 (B2), 60:20:20 (B3), dan 100:0:0 (B4). Untuk mengetahui kadar perekat (P) optimum, digunakan perekat karet lateks alam dengan kadar 10% (P1), 15% (P2), dan 20% (P3). Masing-masing kombinasi perlakuan diulang (U) sebanyak tiga kali sehingga terdapat 36 satuan percobaan. Tata letak percobaan RAK Faktorial disajikan pada: Tabel 6.

Tabel 6. Denah tata letak percobaan RAK Faktorial

B ₁ P ₃ U ₃	B ₁ P ₂ U ₃	B ₁ P ₁ U ₁
B ₁ P ₃ U ₁	B ₁ P ₁ U ₃	B ₁ P ₂ U ₁
B ₁ P ₁ U ₂	B ₁ P ₂ U ₂	B ₁ P ₃ U ₂
B ₂ P ₂ U ₂	B ₂ P ₁ U ₁	B ₂ P ₂ U ₁
B ₂ P ₁ U ₂	B ₂ P ₂ U ₃	B ₂ P ₃ U ₃
B ₂ P ₃ U ₁	B ₂ P ₁ U ₃	B ₂ P ₃ U ₂
B ₃ P ₃ U ₁	B ₃ P ₂ U ₃	B ₃ P ₂ U ₂
B ₃ P ₁ U ₂	B ₃ P ₃ U ₂	B ₃ P ₁ U ₃
B ₃ P ₃ U ₃	B ₃ P ₂ U ₁	B ₃ P ₁ U ₁
B ₄ P ₁ U ₁	B ₄ P ₂ U ₂	B ₄ P ₂ U ₁
B ₄ P ₃ U ₂	B ₄ P ₃ U ₃	B ₄ P ₃ U ₁
B ₄ P ₁ U ₃	B ₄ P ₂ U ₃	B ₄ P ₁ U ₂

Keterangan: alur randomisasi bersifat horizontal mengarah ke samping

Pengolahan data menggunakan aplikasi SPSS 17.0 dan microsoft exel 2013.

Model linier rancangan acak kelompok 2 faktor yaitu :

$$Y_{ij} = \mu + R_k + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Keterangan :

- Y_{ij} = Nilai respon pengaruh faktor kombinasi limbah batang singkong, serbuk gergaji sengon dan sekam padi pada taraf ke-i dan kadar perekat LKA ke-j
 μ = Rata-rata pengamatan
 R_k = Pengaruh kelompok ke-k
 α_i = Pengaruh perlakuan kombinasi limbah batang singkong, serbuk gergaji sengon dan sekam padi pada taraf ke-i
 β_j = Pengaruh kadar perekat LKA pada taraf ke-j
 $(\alpha\beta)_{ij}$ = Interaksi antara α_i dan β_j
 ϵ_{ijk} = Pengaruh eror/galat yang muncul dari percobaan dalam kombinasi limbah batang singkong, serbuk gergaji sengon dan sekam padi pada taraf ke-i dan kadar perekat LKA ke-j dan kelompok ke-k
 i = Kombinasi limbah batang singkong, serbuk gergaji sengon dan sekam padi
 j = kadar perekat LKA

Untuk melihat adanya pengaruh kombinasi partikel dan kadar perekat terhadap respon maka dilakukan analisis keragaman pada tingkat kepercayaan 95% (nyata), dan 99% (sangat nyata).

Untuk melihat pengaruh perlakuan mana yang berbeda nyata terhadap respon yang diuji dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test (DMRT)*. Data hasil pengujian juga dibandingkan dengan persyaratan JIS A 5908 (2003) untuk mengetahui apakah sifat-sifat papan yang dibuat memenuhi standar atau tidak.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pencampuran partikel dengan serbuk gergaji kayu sengon yang lebih banyak (40:30:30) cukup dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis papan partikel yang dihasilkan.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *agriboard* dengan kadar perekat 20% dapat menghasilkan papan dengan sifat terbaik.
3. Teknologi papan *agriboard* yang dihasilkan dari penelitian ini telah memenuhi standar JIS A 5908:2003 pada sifat fisis yaitu kerapatan dan kadar air, sementara sifat mekanis papan *agriboard* belum memenuhi standar.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh kombinasi partikel yang memenuhi sifat fisis dan mekanis sesuai standart JIS A 5908:2003. Seperti penambahan partikel kayu sengon dengan porsentase yang lebih banyak.
2. Pembuatan papan *agriboard* ini layak dipertimbangkan untuk dikembangkan, dengan syarat adanya teknologi yang lebih baik yang menunjang dalam proses pembuatan papan partikel seperti adanya mesin *rotary blender*, modifikasi alat pengempaan, dan alat penunjang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Adediran, A.A., Olawale, O., Ojediran, J., Aladegboye, S., Atoyebi, O.D., Akinlabi, E.T., dan Olayanju, T.M.A. 2019. Properties of agro-based hybrid particleboards. *Procedia Manufacturing*. 35: 442-446. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.05.064.
- Aisien, F.A., Amenaghawon, A.N., dan Bienose, K.C. 2015. Particle boards produced from cassava stalks: Evaluation of physical and mechanical properties. *South African Journal of Science*. 111(5): 1-4.
- Akib, M. 2014. Hukum Lingkungan. *Rajagrafindo persada*: Depok.
- Amenaghawon, N.A., Osayuki-Aguebor, W., dan Okiesimen, C.O. 2016. Production of particle boards from corn cobs and cassava stalks: Optimisation of mechanical properties using response surface methodology. *J. Mater. Environ. Sci*. 7(4): 1236-1244.
- Arbintarso, E.S., dan Wibowo, H. 2008. Modulus Elastis dan Modulus Pecah Papan Partikel Sekam Padi. *Jurnal Teknologi Technoscientia*. 1: 23-28
- Arifin., Meldayanoor., Rusuminto. 2017. Pemanfaatan Limbah Plastik *Polyprohylene* PP dan Sekam Padi Menjadi Papan Partikel. *Jurnal Teknologi Agroindustri*. 4(2): 101-110
- Asmara, S., Kuncoro, S., dan Zulkarnain, I. 2019. Pelatihan penanganan limbah batang singkong menggunakan mesin perajang batang singkong (rabakong) di Desa Tanjung Bulan, Kecamatan Kasui, Way Kanan. Sakai Sambayan — *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*. 3(2): 68- 74.
- Bufalino, L., Albino, V.C.S., VA de Sa, Correa, A.A.R., Mendes, L.M. AND Almemeida NA. 2012. Particleboards Made from Australian Red Cedar Proccesing Variables and Evaluation of Mixed-Species. *J. Tropical Forest Science*, 24 (2), pp. 162 Fore.

- Bowyer, J. L., Shmuslsky, R., Haygreen, J.G. 2003. Forest Product an Wood Science:An introduction. *Blackwell Publishing*. Oxford
- BPS Provinsi Lampung. 2018. Provinsi Lampung Dalam Angka 2017. *BPS Provinsi Lampung*. 364 Hal.
- Fathanah, U. 2011. Kualitas Papan Komposit dari Sekam Padi dan Plastik HDPE Daur Ulang Menggunakan *Maleic Anhydride* (MAH) sebagai Compatibilizer. *Jurnal Rekayasa Kimia Lingkungan*. 8(2): 53-59
- Fatriasari W., Ruhendi S. 2010. Fortifikasi Perekat Lateks Karet Alam-Stirena dengan Isosianat: Karakteristik dan Aplikasinya pada Kayu Lapis. IPB. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*
- Fauziah., Wahyuni D., Lapanporo B.P. 2014. Analisis Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel Berbahan Dasar Sekam Padi. *POSITRON*.IV(2) 60-63
- Febrianto, F., Sahroni, Hidayat, W., Bakar, E.S., Kwon, G.J., Kwon, J.H., Hong, S.I., and Kim, N.H. 2012. Properties of Oriented Strand Board made from Betung Bamboo (*Dendrocalamus asper* (Schultes. f) Backer ex Heyne). *Wood Science and Technology*. 46(3):53-62.
- Febrianto, F., Sumardi,I., Hidayat, W., dan Maulana, S. 2017. *Papan Untai Bambu Berarah:Material Unggul untuk Komponen Bahan Bangunan Struktur*. IPB Press,Bogor, Indonesia. ISBN 978-602-440-102-3
- Fortuna, Ratu. 2009. Kualitas Papan Semen Dari Sekam Padi (*Oryza sativa*Linn). *Skripsi*. Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor
- Fransiskus, B., Sucipto, T., A.H, Iswanto, dan I. Azhar. 2010. Karakteristik Papan Partikel dari Limbah BKS dengan Menggunakan Tiga Jenis Perekat. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*. Vol. 3 No 2. Hal. 72-76
- Hadi, Y.S. 1998. Pengaruh Rendaman Panas Papan Partikel Kayu Terhadap Stabilitas Dimensi Papan Partikel Meranti Merah. *Buletin Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Teknologi II*(1).
- Hamdan, S.; Muhamad, M.; Hassan, J. Thermal Analysis of Natural Rubber. *J. Rubber Res*. 2000, 3(1), 25–33.

- Hamdi,S., Arhamsyah, 2010, Sifat Fisis Mekanis Papan Partikel dari Limbah Kayu Gergajian Berdasarkan Ukuran Partikel, *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, Vol. 2, No. 2, Hal. 13-17
- Handani, S., Ayu, M. 2012. Sifat Mekanik Papan Partikel Sekam Padi dengan Resin Polyester Tak Jenuh (Yukallac 157). *Jurnal Ilmu Fisika*. Universitas Andalas. 4(1):26-30
- Harum, A. D. 2017. Prospek Pengembangan Teknologi Radiasi Sebagai Perlakuan Pendahuluan Biomassa Lignoselulosa. *Jurnal Volume Nuklir*. Vol 11 (2)
- Haygreen, J.G., and Bowyer, J.L. 1993. *Hasil Hutan dan Ilmu dan Ilmu Kayu Suatu Pengantar*, diterjemahkan oleh Hadikusumo, S.A dan Prawirohotmodjo, S. Gajah Mada University. Press. Yogyakarta
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J.H., Febrianto, F., Lee, S.H., and Kim, N.H. 2016. Effect of treatment duration and clamping on the properties of heat-treated okan wood. *Bioresources*. 11(4): 10070-10086. DOI: 10.15376/biores.11.4.10070-10086
- Howeler, R.H. 2012. Dry Matter Accumulation and Nutrient Absorption and Distribution During The Growth Cycle of Cassava. *The Cassava Handbook*. CIAT. Cali.
- Ismail, N.I., Nordin, K., Hamzah, N., Jamaluddin, M.A., dan Bahari, S.A. 2016. Physical properties of cassava (*Manihot esculenta*) stem at different locations along the height. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*. 4(3): 115-118.
- JIS A5908-2003. *Particleboard*. Japanese Industrial Association. Japan.
- Kelley, W.D. 1997. Interactions of *Phytophthora cinnamomi* and *Trichoderma* spp. in relation to propagule production in soil cultures at 26 degrees CI. *Can J Microbiol*, 23, 288-294
- Kurniawan, M., Junus. S., Sidhartawan. R. 2018. Pengaruh Volume Fraksi Perekat Terhadap Kekuatan Bending Komposit Partikel Kayu Sengon Dengan Metode Hot Press. *Jurnal Stator*. 1(1): 67-70
- Lubis, M.A.R., Falah, F., Harini, D., Sudarmanto, Kharisma, A., Tjahyono, B., Fatriasari, W., Suryanegara, L., Subiyanto, B., Iswanto, A.H., 2021a.

Enhancing the Performance of Natural Rubber Latex with Polymeric Isocyanate as Cold-Pressing and Formaldehyde Free Adhesive for Plywood. *Journal of Adhesion*

- Lubis, M.A.R., Sari, F.P., Laksana, R.P.B., Fatriasari, W., Hermiati, E., 2021b. Ambient curable natural rubber latex adhesive cross-linked with polymeric isocyanate for bonding wood. *Polymer Bulletin* <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03845-0>
- Maloney TM. 1993. *Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing*. Miller Freeman Inc. California.
- Martawijaya, A dan Kartasujana, I. 1977. *Ciri Umum, Sifat dan Kegunaan Jenis-Jenis Kayu Indonesia*. Bogor: Departemen Pertanian.
- Massijaya MY. S. Hadi, B Tambunan, ES Bakar, WA Subari. 2008. Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Komponen Bahan Baku Papan Partikel. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan*. XIII (2): 18-24.
- Mikael, I., Hartono, R., dan Sucipto, T., 2014, Kualitas Papan Partikel Dari Campuran Ampas Tebu dan Partikel Mahoni Dengan Berbagai Variasi Kadar Perekat Phenol Formaldehida, *Jurnal Kehutanan USU*, Vol. 5, No. 2, Hal. 1-8.
- Mile, Y. 2007. *Prinsip-Prinsip Dasar dalam Pemilihan Jenis, Pola Tanam dan Teknik Produksi Agribisnis Hutan Rakyat*. Info Teknis Vol.5 No.2 September 2007. Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan. Yogyakarta
- Milner, H.R., dan Woodard, A.C. 2016. Sustainability of engineered wood products, Ed(s): Jamal M. Khatib, In *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Sustainability of Construction Materials (Second Edition)*, *Woodhead Publishing*, Pages 159-180. DOI: 10.1016/B978-0-08-100370-1.00008-1.
- Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T., et al. 2005. *Natural Fibers, Biopolymer and Biocomposites*. CRC Press, Boca Raton, 20-21.
- Murdiyono, M.N.S. 2009. Studi Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Impak dan Bending Komposit Serat Rami Bermatrik Polytester dengan Core

Sekam Padi Bermatrik Urea Formaldehide. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah

- Mustofa, K., Kurdiansyah., Thamrin, G.A.R. 2020. Efek Variasi Perbandingan Komposisi Perekat Resin Limbah Gergajian Kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba*) dan Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*) Terhadap Sifat Fisika dan Mekanika Papan Partikel. *Jurnal Sylva Scientiae*. 3 (1) 127-139
- Nurhayati, C. 2018. Penggunaan Lateks Karet (*Hevea Brasiliensis*) Untuk Lem Kayu Lapis dengan Variasi Temperatur dan Waktu Depolimerisasi Untuk Meningkatkan Mutu Lem. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 29 (2) 137-146
- Nurhilal, M. 2017. Karakteristik Papan Partikel Sekam Padi. Variasi Campuran Dedak (Sekam Padi Giling) dan Rasio Kompaksi. *Seminar Nasional Vokasi dan Teknologi*. Denpasar-Bali
- Nursandah, F dan Zaenuri, M. 2019. Penelitian Penambahan Karet Alam (Lateks) Pada Campuran Laston AC-WC Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal CIVILLa* Vol 4 No 2
- Ngahwan. 2006. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Untuk Pembuatan Komposit Hambat Panas Menggunakan Matrik Resi. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 7, No. 1, Hal 17-23
- Prayoga, D., Dirhamsyah., Nurhaida. 2019. Kualitas Papan Partikel Berdasarkan Komposisi Sekam Padi dan Kayu Sengon Dengan Variasi Kadar Perekat. *Jurnal Hutan Lestari*. 7(2): 752-760
- Putra, E. 2011. Kualitas Papan Partikel Batang Bawah, Batang Akar dan Cabang Kayu Jabon (*Anthocephalus candamba* Miq.). *Skripsi*. IPB. Bogor.
- Radabutra, S.; Khemthong, P.; Saengsuwan, S.; Sangya, S. Preparation and Characterization of Natural Rubber Bio-Based Wood Adhesive: Effect of Total Solid Content, Viscosity, and Storage Time. *Polym. Bull*. 2020, 77(5), 2737–2747. DOI: 10.1007/s00289-019-02881-1.
- Raharyaningsih, M. A dan Azizah, R..2017. Kadar Formaldehid Udara dan Iritasi Mata Pada Pekerja di Area Produksi Pabrik Perekat Kayu di Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. Vol. 9, No. 2 Juli 2017: 191–199

- Rahman, N.B.N., Sudarisman., Nugroho, E. 2018. Pengaruh Ukuran Butir, Fraksi Volume dan Penambahan Aseton Terhadap Kekuatan *Flexural* Papan Komposit Papan Partikel Serbuk Gergaji Kayu Sengon – Matrik *Polyester*. *Jurnal material dan proses manufaktur*. 2(2): 110-118
- Rahmiati, F., Amin, G., & German, E. 2019. Pelatihan Pemanfaatan Limbah Padi Menjadi Arang Sekam Untuk Menambah Pendapatan Petani. *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2), 159–164
- Ramadhan, A., Hendrawan, A. 2018. Pengolahan Limbah Sengon Untuk Dijadikan Produk Perhiasan. Universitas Telkom. *e-Proceeding of Art & Design*. 5(3): 2526-2533
- Rhofita, E.I., Chana, L.A.W. 2019. Pemanfaatan Limbah Jerami Padi di Desa Garon Kecamatan Balerejo, Kabupaten Madiun. *Jurnal Inovasi Hasil Pengabdian Masyarakat*. 2 (2) :120-131
- Rita, R., Setyawati, D., dan Usman, F.H. 2015. Sifat Fisik dan Mekanik Papan Komposit dari Batang Singkong dan Limbah Plastik Berdasarkan Pelapisan dan Komposisi Bahan Baku. *Jurnal Hutan Lestari*. 3(2): 337 – 346.
- Roihan, A., Hartanto, R., Sucipto, T. 2015. Kualitas papan partikel dari komposisi partikel batang kelapa sawit dan mahoni dengan berbagai variasi kadar perekat phenol formaldehida. *Peronema Forestry Science Journal*, vol. 4, no. 2, 2015, pp. 10-18
- Rolere, S.; Liengprayoon, S.; Vaysse, L.; Sainte-Beuve, J.; Bonfils, F. Investigating Natural 435 Rubber Composition with Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy: A Rapid and Non-Destructive Method to Determine Both Protein and Lipid Contents Simultaneously. *Polym. Test*. 2015, 43, 83–93. DOI: 10.1016/j. polymertesting.2015.02.011.
- Roza, D., Dirhamsyah, M., Nurhaida. 2015. Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel dari Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria.L*) dan Serbuk Kelapa (*Cocos Nuciferal.L*). *Jurnal Hutan Lestari*. Vol. 3(3): 374-382
- Rustianto, T., Ellyawan, S.A. 2009. Karakteristik Papan Partikel dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Mesin*. 9(1): 151-156

- Ruhendi, S., D. S. Koroh., F. Syahmani., H. Yanti., Nurhaida, S. Saad., T. Sucipto. 2007. *Analisis Perekat Kayu*. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Savitri, M., dan Mora. 2021. Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel dari Serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit, Kayu Meranti dan Tempurung Kelapa Bertulang Anyaman Bambu. *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 10, No. 3, Juli 2021, hal.357 – 363
- Setiawan B. 2008. Kualitas Papan Partikel Sekam Padi. Skripsi. Departemen Hasil Hutan. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Sivamani, S., Chandrasekaran, A.P., Balaji, M., Shanmugaorakash, M., Bandegharai, A.H., dan Baskar, R. 2018. Evaluation of the Potential of Cassava-Based Residues for Biofuels Production. *Rev Enciron Sci Biotechnol*. 17: 533-570
- Subiyanto, B., Saragih, R., Husin, E. 2003. Pemanfaatan Serbuk Sabut Kelapa Sebagai Bahan Penyerap Air dan Oli Berupa Panel Papan Partikel. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* Vol.1. No. 1
- Sumada, K., Tamara, E.P., dan Alqani, F. 2011. Kajian Proses Isolasi A-Selulosa dari Limbah Batang Tanaman *Manihot esculenta* Crantz. yang efisien. *Jurnal Teknik Kimia*. 5(2) : 434-438.
- Surya, M.I., Astuti, I.P. 2017. Keanekaragaman dan Potensi Tumbuhan di Kawasan Hutan Lindung Gunung Pesagi Lampung Barat. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 3(2): 211-215
- Sushardi, 2001. *Pemanfaatan Limbah Pertanian untuk Pembuatan Papan Tiruan*. *Prosiding Seminar Nasional “Pemanfaatan Sumberdaya Lokal untuk Pembangunan Pertanian Berkelanjutan “Universitas Wangsa Mangala, Yogyakarta*. ISBN: 979-96792-0-6.
- Yi, F.J., Munandar, J.M., dan Irwanto, A.K. 2018. Analisis Daya Saing dan Strategi Ekspor Singkong Olahan Indonesia ke China. *Jurnal Manajemen dan Organisasi*. 9(2): 91-101.
- Vachlepi, A., Purbaya, M. 2018. Pengaruh Pengenceran Lateks Terhadap Karakteristik dan Mutu Teknis Karet Alam. *Prosiding Seminar Nasional 1 Hasil Litbangyasa Industri*.

- Wahyu, M.K., 2009. Pemanfaatan pati singkong sebagai bahan baku edible film. *Teknoin* Vol. 23 No. 1 Maret 2017: 43- 48
- Wibowo, H. Rusianto, T., dan Ikhsan. M. 2008. Pengaruh Kepadatan dan Ketebalan terhadap Sifat Isolator Panas Papan Partikel Sekam Padi, *Jurnal Teknologi*, vol. 1, No 2, 107-111
- Widodo, L.U., Sumada, K., Pujiastuti, C., dan Karaman, N. 2013. Pemisahan Alpha-Selulosa dari Limbah Batang Ubi Kayu Menggunakan Larutan Natrium Hidroksida. *Jurnal Teknik Kimia*. 7 : 43-47.
- Wongthep, W.; Srituileong, S.; Martwiset, S.; Amnuaypanich, S. Grafting of Poly (Vinyl Alcohol) on Natural Rubber Latex Particles. *J. Appl. Polym. Sci.* 2013, 127(1), 104–110. DOI: 10.1002/app.37829.
- Zhu, W., Lestander, A.T., Orberg, H., Wei, M., Hedman, B., Ren, J., Xie, G., and Xiong, S. 2015. Cassava Stems: A New Resource to Increase Food And Fuel Production. *GCB Bioenergy*. 7: 72-83.