

**LAPORAN
PENELITIAN PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG**



**PENGEMBANGAN KOMPOSIT *AGRIBOARD* DARI LIMBAH
PERTANIAN DENGAN PEREKAT BERBASIS LATEKS KARET
ALAM**

TIM PENGUSUL

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

(SINTA ID 38578)

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.

(SINTA ID 6153956)

**JURUSAN KEHUTANAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

**HALAMAN PENGESAHAN PENELITIAN PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMPUNG**

Judul Penelitian : Pengembangan Komposit *Agriboard* dari Limbah Pertanian dengan Perak Berbasis Lateks Karet Alam

Manfaat Sosial Ekonomi : Peningkatan Nilai Tambah Limbah Pertanian

Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc.

b. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala

c. SINTA ID : 38578

d. Program Studi : Kehutanan

e. Nomor HP : 082211548516

f. Alamat Surel (E-mail) : wahyu.hidayat@fp.unila.ac.id

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.

b. Jabatan Fungsional : Lektor

c. SINTA ID : 6153956

d. Program Studi : Teknik Pertanian

Jumlah Mahasiswa yang Terlibat : 3 orang

Nama Mahasiswa : 1. Nana Aprilliana (NPM 1920011009; S2 Magister Ilmu Lingkungan)
2. Fadjri Ferza (NPM 1654071016; S1 Teknik Pertanian)
3. Mohtar Nawawi (NPM 1654071005; S1 Teknik Pertanian)

Jumlah Alumni yang Terlibat : -

Jumlah Staf yang Terlibat : -

Lokasi Kegiatan : Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian, Workshop Teknologi Hasil Hutan di Laboratorium Lapangan Terpadu, dan Laboratorium Teknologi Hasil Hutan Fakultas Pertanian Unila

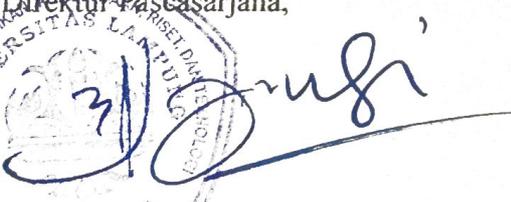
Lama Kegiatan : 6 Bulan

Biaya Penelitian : Rp. 40.000.000

Sumber Dana : DIPA BLU Unila Tahun Anggaran 2021

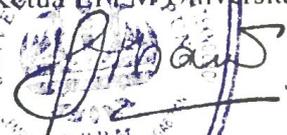
Bandar Lampung, 20 September 2021

Mengetahui,
Direktur Pascasarjana,


Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
NIP 19710415 199803 1 005

Ketua Peneliti,


Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc.
NIP 19791114 200912 1 001

Menyetujui,
Ketua LPPM Universitas Lampung,

Dr. Ir. Lusmeria Afriani, D.E.A.
NIP 19650510 199303 2 008

ABSTRAK

Indonesia merupakan penghasil singkong terbesar ketiga di dunia setelah Nigeria dan Thailand, serta produsen beras terbesar di dunia bersama dengan Thailand. Limbah pertanian merupakan salah satu bahan berlignoselulosa yang berpotensi sebagai pengganti kayu. Limbah batang singkong, sekam padi, dan serbuk kayu gergajian merupakan limbah potensial yang ada di Indonesia sebagai bahan baku alternatif kayu. Pemanfaatan limbah tersebut menjadi papan komposit (*agriboard*) dapat meningkatkan nilai tambah. Perkat yang umum digunakan dalam produksi papan komposit adalah perkat berbasis formaldehida yang bersifat karsinogenik dan dapat menyebabkan gangguan pernafasan dan kanker. Pengembangan perkat alternatif bebas formaldehida sangat penting dilakukan. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan cara substitusi bahan perkat kayu komersial dengan bahan dari sumberdaya hayati lokal seperti perkat berbasis lateks karet alam (LKA). Perkatan *agriboard* menggunakan perkat berbasis LKA akan menghasilkan inovasi dan teknologi papan komposit sebagai material berbahan lokal dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan papan komposit dari limbah batang singkong, sekam padi, dan serbuk kayu gergajian dengan menggunakan perkat berbasis LKA dengan komposisi bahan baku dan kadar perkat yang berbeda. Sifat fisis-mekanis *agriboard* yang akan dianalisis meliputi kerapatan, kadar air, daya serap air, pengembangan tebal, modulus patah (*modulus of rupture*), dan modulus lentur (*modulus of elasticity*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat fisis (daya serap air dan pengembangan tebal) dan sifat mekanis (modulus lentur, modulus patah, keteguhan rekat internal) papan *agriboard* sangat dipengaruhi oleh kombinasi partikel penyusunnya. Pencampuran partikel dengan serbuk gergaji kayu sengon yang lebih banyak (40:30:30) cukup dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis papan partikel yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *agriboard* dengan kadar perkat 20% dapat menghasilkan papan dengan sifat terbaik. Untuk mendapatkan informasi yang lebih komprehensif, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait parameter-parameter sifat fisik dan mekanis yang lain dan ketahanan kayu untuk lebih mengetahui potensi produk komposit substitusi kayu lainnya.

Kata Kunci: *Agriboard*, batang singkong, lateks karet alam, sekam padi, serbuk kayu gergajian

DAFTAR ISI

	Halaman
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Khusus	2
1.3. Urgensi Penelitian	3
1.4. Luaran Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Pemanfaatan Limbah Pertanian sebagai Bahan Baku Alternatif Produk Papan Komposit.....	5
2.2. Studi Pendahuluan yang Telah Dilaksanakan dan Hasil yang Dicapai..	7
III. METODE PENELITIAN.....	11
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	11
3.2. Bahan dan Alat.....	11
3.3. Persiapan Partikel dan Perekat Berbasis Lateks Karet Alam	12
3.4. Pembuatan <i>Agriboard</i>	13
3.5. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis <i>Agriboard</i>	13
3.6. Analisa Distribusi Perekat pada <i>Agriboard</i>	14
3.7. Analisis Data.....	14
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	15
5.1. Sifat Fisis	15
5.2. Sifat Mekanis	19
IV. KESIMPULAN DAN SARAN	22
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN	26

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan ekonomi dan pertumbuhan populasi secara global menjadi salah satu pendorong meningkatnya permintaan akan produk panel kayu, seperti papan komposit. Namun di sisi lain tren ketersediaan kayu menunjukkan penurunan (Aisien dkk, 2015), sehingga pencarian bahan baku alternatif menjadi penting untuk dilakukan. Bahan baku alternatif pengganti kayu perlu memenuhi beberapa kriteria seperti cepat tumbuh, harga bahan baku murah, ketersediaannya melimpah, dan mudah diperoleh (Febrianto dkk, 2017). Batang singkong (*Manihot esculenta*) merupakan bahan baku yang memenuhi kriteria-kriteria tersebut sehingga memiliki potensi besar sebagai sumber bahan baku alternatif untuk substitusi produk berbasis kayu di masa depan (Chaowana, 2013; Ismail dkk, 2016). Selain batang singkong, sekam padi dan serbuk gergajian merupakan limbah hasil pengolahan beras dan kayu yang melimpah, sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku alternatif pengganti kayu dalam produksi panel kayu, seperti papan komposit (Ismail dkk, 2016).

Indonesia merupakan penghasil singkong terbesar ketiga di dunia setelah Nigeria dan Thailand, serta produsen beras terbesar di dunia bersama dengan Thailand (BPS Provinsi Lampung, 2018; Yi dkk, 2016). 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 keseluruhan produksi singkong di Indonesia (BPS Provinsi Lampung, 2018). Pemanenan singkong menyisakan biomassa berupa batang singkong yang sebagian kecil ($\pm 10\%$) digunakan untuk kebutuhan penanaman kembali (*replanting*), sedangkan 90% sisanya menjadi limbah yang belum dimanfaatkan secara optimal (Sumada dkk, 2011). Batang singkong, sekam padi, dan serbuk gergaji merupakan bahan yang mengandung lignoselulosa, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku papan partikel masih terbatas (Amenaghawon dkk, 2016; Rita dkk, 2015). Penelitian yang mengkaji pemanfaatan campuran limbah batang singkong, serbuk gergaji, dan sekam padi sebagai bahan baku papan komposit belum pernah dilaporkan sebelumnya.

Dalam proses pembuatan papan komposit, perekat yang umum digunakan adalah urea-formaldehida (UF), melamin-formaldehida (MF), fenol-formaldehida (PF). Perekat tersebut merupakan perekat berbasis formaldehida yang bersifat karsinogenik, yang dapat menyebabkan gangguan pernafasan dan kanker. Pengembangan perekat alternatif bebas formaldehida terus dilakukan, sehingga diharapkan dapat menjadi pengganti perekat UF, MF, dan PF. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan cara substitusi bahan perekat kayu komersial dengan bahan dari sumberdaya hayati lokal, misalnya bahan berbasis karbohidrat, protein, dan lateks karet alam (LKA). Lateks karet alam sudah sejak lama dikenal sebagai bahan perekat, akan tetapi sifat adhesi dan kohesinya rendah dan daya tahannya terhadap tekanan serta panas kurang baik (Marra, 1992). Campuran LKA-stirena (LKA-St) dan perekat berbasis isosianat dapat digunakan sebagai perekat kayu lapis tipe eksterior maupun perekat kayu lamina struktural (Falah dkk, 2005; Yanto dan Hermiati, 2008; Yanto dkk, 2006).

Penelitian perekat berbahan dasar LKA yang telah dilakukan sebelumnya adalah pencampuran dengan polivinil alkohol (PVOH) sebagai sumber gugus hidroksil (OH) (Hermiati dkk, 2015). Campuran LKA dan PVOH bersama-sama membentuk polimer dasar. Penambahan isosianat sebagai agen pengikat (*cross-linker*) dapat menghasilkan perekat kempa dingin untuk kayu lamina. Belum pernah dilakukan penelitian terkait pemanfaatan perekat LKA dalam pembuatan papan komposit. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan papan komposit dari campuran limbah pertanian (*agriboard*) yang merupakan bahan lokal seperti batang singkong, sekam padi, dan serbuk gergaji dengan menggunakan perekat bebas formaldehida berbahan lokal dari lateks karet alam (LKA) menjadi penting untuk dilakukan. Kegiatan ini diharapkan mampu mendukung inovasi dan teknologi material bahan bangunan lokal dan berkelanjutan.

1.2. Tujuan Khusus

1. Mengembangkan papan komposit *agriboard* dari limbah batang singkong, sekam padi, dan serbuk gergaji dengan perekat berbasis lateks karet alam (LKA),

2. Mengetahui pengaruh komposisi bahan dan kadar perekat berbasis LKA terhadap sifat fisis-mekanis papan komposit *agriboard* dari limbah batang singkong,
3. Menghasilkan inovasi dan teknologi material bahan bangunan lokal dan berkelanjutan.

1.3. Urgensi Penelitian

Ketersediaan kayu yang berkurang di saat meningkatnya permintaan produk panel kayu membutuhkan pencarian bahan baku alternatif kayu. Selain itu, kesadaran konsumen akan produk panel kayu yang ramah lingkungan dan mendukung kearifan lokal menjadi pendorong pengembangan perekat bebas formaldehida berbasis lateks karet alam (LKA) sebagai perekat papan partikel dari limbah pertanian lokal (*agriboard*), seperti batang singkong, sekam padi, dan serbuk gergajian. Indonesia merupakan negara penghasil singkong terbesar ketiga di dunia setelah Nigeria dan Thailand, serta produsen beras terbesar di dunia bersama dengan Thailand. Pemanfaatan limbah batang singkong dan sekam padi yang merupakan bahan berlignoselulosa masih terbatas, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku papan partikel. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan papan partikel dari campuran limbah pertanian (*agriboard*) yang merupakan bahan lokal dengan menggunakan perekat bebas formaldehida berbahan lokal dari lateks karet alam (LKA) menjadi penting untuk dilakukan.

1.4. Luaran Penelitian

Luaran wajib yang telah dipenuhi adalah sebagai berikut:

1. Draft thesis mahasiswa S2 Magister Ilmu Lingkungan atas nama Nana Aprilliana (NPM 1920011009).
2. Satu artikel yang diterima untuk diterbitkan pada prosiding seminar internasional terindek SCOPUS “Effect of Natural Rubber Latex Adhesive Content on the Physical and Mechanical Properties of Agriboard from Cassava Stem Wastes”. Artikel tersebut telah dipresentasikan pada The 2nd

Universitas Lampung International Conference on Science, Technology and Environment (ULICoSTE 2021).

3. Satu draft artikel ilmiah disubmit ke jurnal Industrial Crops and Products (Scopus-Q1) berjudul “Eco-Friendly and Formaldehyde-Free Particleboard from Agro-industrial Wastes Bonded with Natural Rubber Latex for Interior Application”.
4. Hasil penelitian yang akan dipresentasikan dalam pertemuan ilmiah yang diselenggarakan LPPM Unila pada tanggal 21-22 Oktober 2021.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemanfaatan Limbah Pertanian sebagai Bahan Baku Alternatif Produk Papan Komposit

Singkong (*Manihot esculenta*) merupakan salah satu jenis tanaman pangan yang sudah lama dikenal dan 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 (Sumada dkk, 2011). Pemanenan tanaman singkong menghasilkan produk utama berupa umbi singkong dan limbah pemanenan berupa batang singkong. Bobot limbah batang singkong mampu mencapai 50% dari bobot umbi singkong setiap pemanenan (Zhu dkk, 2015). Pada umumnya, sekitar 10% limbah batang singkong digunakan untuk kebutuhan penanaman kembali (*replanting*), sedangkan 90% sisanya menjadi limbah yang belum termanfaatkan secara optimal (Ismail dkk, 2016).

Limbah batang singkong memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku untuk substitusi kayu karena kandungan lignoselulosanya (Sivamani dkk, 2018). Menurut Sumada dkk. (2011), limbah batang singkong memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi, yaitu terdiri dari 56,82% α -selulosa dan 21,72% lignin, dengan panjang serat berkisar 0,05–0,5 cm. Menurut Widodo (2013) limbah batang singkong terdiri dari kulit batang (29,75%), empulur (4,46%), dan biomassa berkayu (65,79%). Sementara itu, hasil penelitian Sumada dkk. (2011) menunjukkan bahwa kandungan kayu pada limbah batang singkong yaitu sebesar 65,38%.

Selain limbah batang singkong, sekam padi merupakan hasil sampingan dari proses penggilingan padi dimana sekitar 20% dari bobot padi adalah sekam padi (Coniwanti dkk, 2008). Sekam padi mengandung selulosa sebanyak 35%, hemiselulosa 25%, lignin 20%, abu 17% dan lainnya 3% (Shukla dkk, 2013). Papan partikel dengan komposisi bahan baku sekam padi 50% dan sengon 50% menghasilkan nilai kerapatan sebesar 0,7 g/cm³, kadar air 9,2%, pengembangan

tebal 12,3%, daya serap air 68,8%, MOE 12,0 GPa, MOR 16,0 MPa, keteguhan rekat 1,9 MPa, dan kuat pegang sekrup 62,3 kg (Prayoga dkk, 2019).

Selain limbah pertanian seperti batang singkong dan sekam padi, serbuk gergaji kayu yang berasal dari proses penggergajian dan pengolahan kayu merupakan potensi bahan baku alternatif. Komposisi kimia pada serbuk gergaji kayu sama seperti kayu pada umumnya. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai papan partikel berbahan dasar serbuk gergaji kayu memiliki kerapatan berkisar 0,45-0,67 g/cm³ (Purwanto, 2016). Nilai kadar air yang dihasilkan adalah sebesar 12,1-13,2% yang telah memenuhi SNI-03-2105-2006. Sedangkan pada pengujian daya serap air, nilainya adalah 190,2-220,9%, dimana hasil tersebut tidak memenuhi standar minimal yaitu 20-75%. Pada pengujian pengembangan tebal nilai yang dihasilkan adalah 42,86-76,47%, hasil tersebut tidak memenuhi standar minimal yaitu 5-15%. Pada pengujian sifat mekanik kuat lentur, nilai MOR yang dihasilkan adalah 26,5-45,9 MPa dan nilai MOE adalah 1281,3-8542,8 MPa (Purwanto, 2016).

Limbah batang singkong, sekam padi, dan serbuk gergaji kayu merupakan bahan berlignoselulosa yang menyebabkan timbulnya sifat kuat dan kaku, sehingga ketiga bahan tersebut memiliki potensi sebagai bahan baku papan komposit (Chaowana, 2013; Ismail dkk, 2016). 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 memperkuat ikatan antara bahan baku dengan perekat (Febrianto dkk, 2017). 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/hot press* dan *kempa dingin/cold press*), dan lain-lain (Milner dan Woodard, 2016).

Pengolahan limbah batang singkong, sekam padi, dan serbuk gergaji kayu menjadi menjadi *agriboard* dapat memperbaiki sifat-sifat asalnya, meningkatkan nilai tambah limbah, dan memperkaya alternatif substitusi produk kayu solid. 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).

Perekat yang umum digunakan pada pembuatan papan partikel adalah perekat urea-formaldehida (UF). Perekat UF merupakan perekat termoseting yang akan mengeras jika dipanaskan. Perekat UF memiliki harga yang murah, waktu pengerasan yang cepat, kualitas rekat yang baik, serta tidak berwarna (Lubis dkk, 2020). Disamping keunggulannya, perekat UF memiliki dua kelemahan utama yaitu menghasilkan emisi formaldehida dan daya tahan terhadap air yang rendah. Papan partikel berikatan dengan perekat UF umumnya memiliki daya serap air dan pengembangan tebal yang tinggi, sehingga diperlukan peningkatan nilai kerapatan papan untuk memenuhi minimum persyaratan, yang berdampak terhadap biaya bahan baku dan produksi papan partikel. Selain itu, dapat dilakukan penambahan isosianat yang dapat meningkatkan daya tahan terhadap air dan mengurangi pengembangan tebal papan partikel.

2.2. Studi Pendahuluan yang Telah Dilaksanakan dan Hasil yang Dicapai

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya diarahkan pada pengembangan papan komposit dari bambu dan kayu rakyat cepat tumbuh sebagai substitusi kayu dari hutan alam dan pengembangan perekat berbasis lateks karet alam sesuai dengan peta jalan (*roadmap*) penelitian yang disajikan pada **Gambar 1**. Hasil penelitian sebelumnya (termasuk dengan Mitra) telah dipublikasikan pada jurnal-jurnal dan prosiding internasional terindeks Scopus sebagai berikut:

1. Tahun 2009: Development of Oriented Strand Board from Acacia wood (*Acacia mangium* willd): Effect of Pretreatment of Strand and Adhesive Content on the Physical and Mechanical Properties of OSB. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 37(2): 121-127.
2. Tahun 2010: Effect of Strand Combination on Dimensional Stability and Mechanical Properties of Oriented Strand Board made from Tropical Fast Growing Tree Species. *Journal of Biological Sciences*. 10(3): 267-272.

3. Tahun 2012: Properties of Oriented Strand Board made from Betung bamboo (*Dendrocalamus asper* (Schultes. f) Backer ex Heyne). *Wood Science and Technology*. 46(1): 53-62.
4. Tahun 2015: Effect of Bamboo Species and Resin Content on Properties of Oriented Strand Board Prepared from Steam-Treated Bamboo Strands. *BioResources*. 10(2): 2642-2655.
5. Tahun 2015: Characteristics and Bond Performance of Wood Adhesive Made from Natural Rubber Latex and Alkaline Pretreatment Lignin. *Procedia Chemistry* 16: 376–383.
6. Tahun 2017: Effects of Steam Treatment on Physical and Mechanical Properties of Bamboo Oriented Strand Board. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 45(6): 872-882.
7. Tahun 2019: Destructive and Non-destructive Tests of Bamboo Oriented Strand Board under Various Shelling Ratios and Resin Contents. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 47(4): 519-532.
8. Tahun 2019: Changes in Chemical Components of Steam-Treated Betung Bamboo Strands and Their Effects on the Physical and Mechanical Properties of Bamboo-Oriented Strand Boards. *European Journal of Wood and Wood Products*. 77(5): 731-739.
9. Tahun 2021: Effect of Alkali-Washing at Different Concentration on the Chemical Compositions of the Steam Treated Bamboo Strands. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 49(1): 14-22.
10. Tahun 2021: Properties of Oriented Strand Board from Alkali-washed Bamboo Strands after Steam Treatment. *BioResources*. 16(1): 987-996.

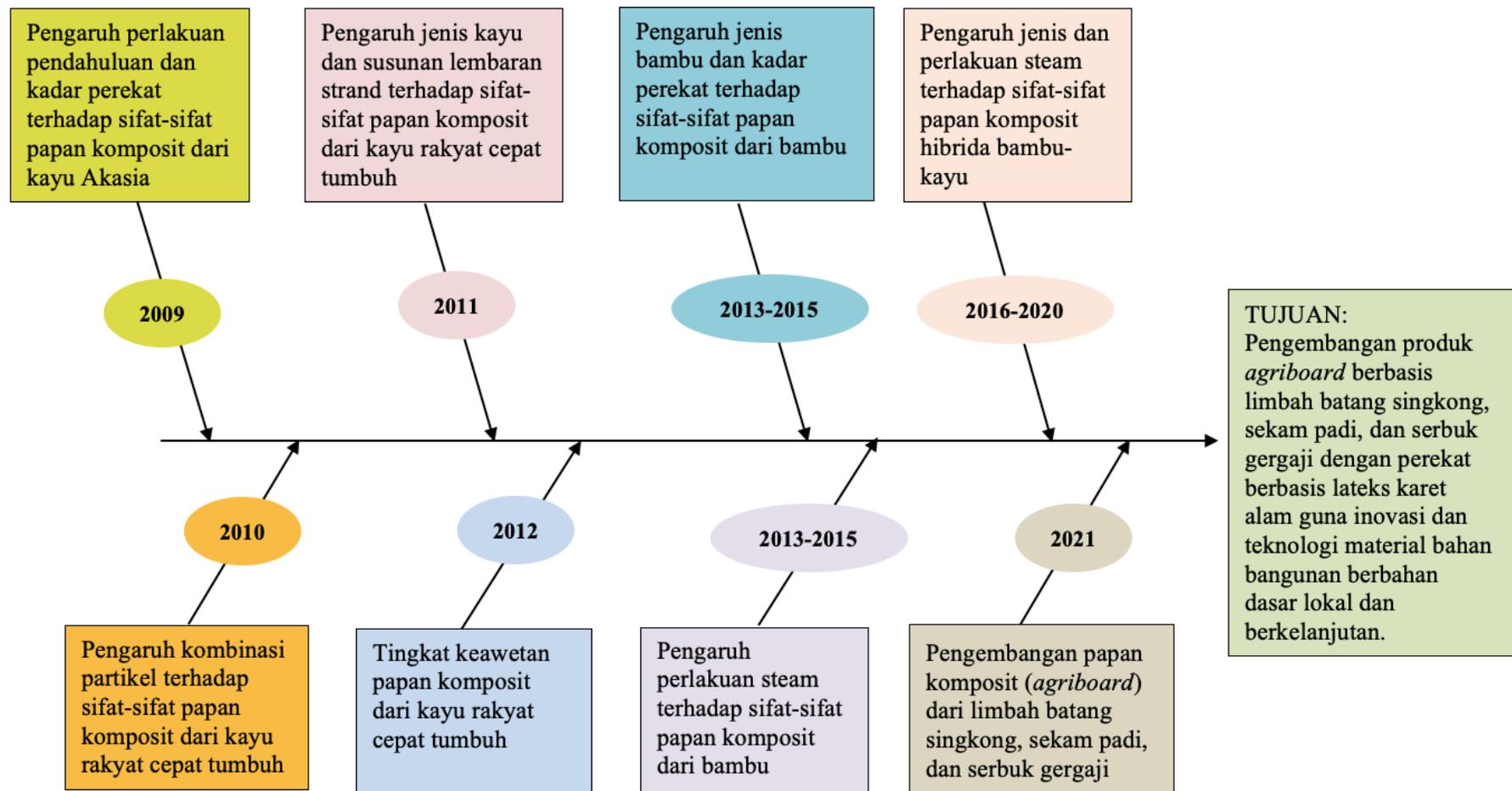
Serta beberapa artikel di jurnal nasional terakreditasi sebagai berikut:

1. Tahun 2011: Effect of Wood Species and Layer Structure on Physical and Mechanical Properties of Strand Board. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 9(2): 134-141.
2. Tahun 2012: Properties Enhancement of Rubber Wood Particleboard Laminated with Low Density Polyethylene (LDPE) Resin. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 10(2): 186-194.

3. Tahun 2013: Physical, Mechanical, and Durability Properties of OSB Prepared from CCB Treated Fast Growing Tree Species Strands. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 11(1): 55-61.
4. Tahun 2019: Durability and Dimensional Stability of Hybrid Particleboard of Bamboo-Wood with Steam and Hot Water Immersion Treatment. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 17(1): 68-82.
5. Tahun 2019: Physical and Mechanical Properties of Hybrid Particleboard from Fast Growing Wood Species and Bamboo with Heat Immersion Treatment. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 17(1): 47-57.
6. Tahun 2020: Effects of Hydrolysis on the Removal of Cured Urea-Formaldehyde Adhesive in Waste Medium-Density Fiberboard. *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1): 1-9.
7. Tahun 2021: The Removal of Cured Urea-Formaldehyde Adhesive towards Sustainable Medium Density Fiberboard Production: A Review. *Jurnal Sylva Lestari*. 9(1): 23-44.

Selain publikasi artikel ilmiah pada jurnal dan prosiding, hasil penelitian sebelumnya telah didaftarkan sebagai paten di Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual (DJKI):

1. Tahun 2015: Formulasi dan Proses Pembuatan Perekat Kayu Aqueous Polymer Isocyanate Berbasis Lateks Karet Alam, No. Pendaftaran P00201507466.
2. Tahun 2017: Proses Steam pada Untai Bambu untuk Produksi Papan Untai Bambu Berarah yang Stabil, Kuat dan Awet, No. Pendaftaran P00201709379.
3. Tahun 2019: Alat Penghancur Batang Singkong, No. Paten IDS000002295 (Status Paten: *Granted*).



Gambar 1. Peta jalan (*road map*) penelitian.

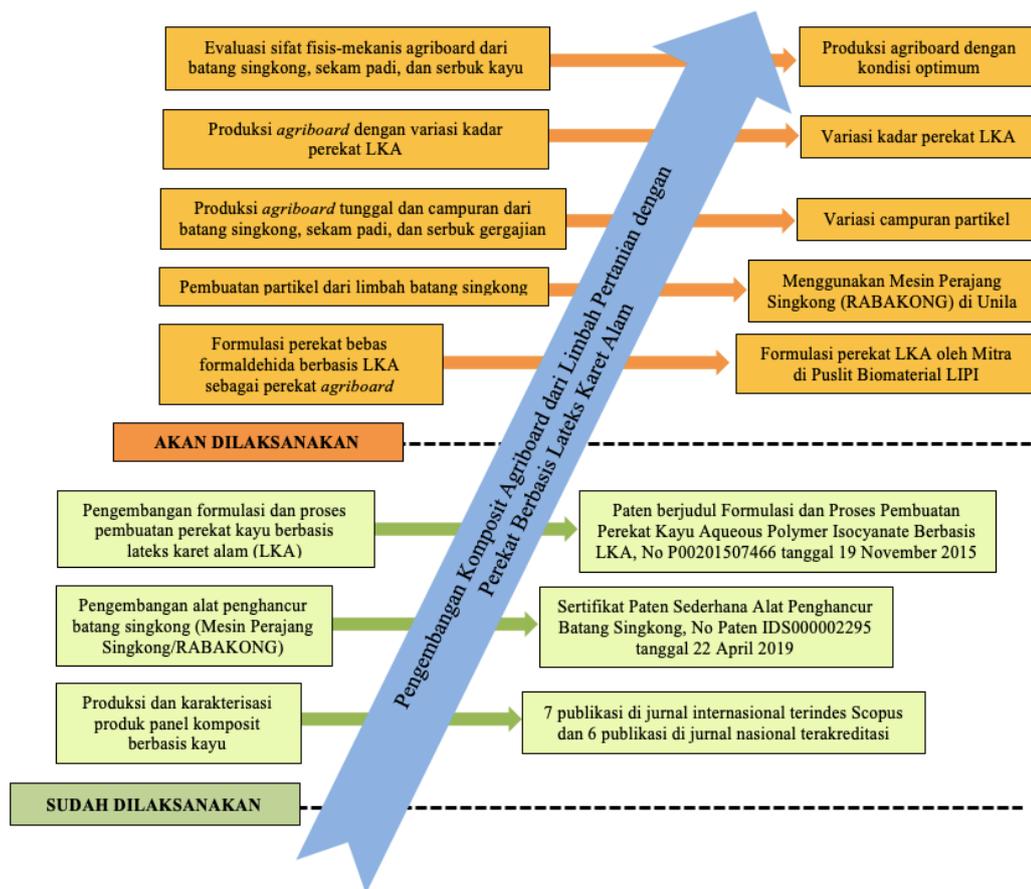
3. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Proses persiapan partikel batang singkong sekam padi, dan serbuk kayu gergajian dilakukan di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Persiapan perekat berbasis lateks karet alam (LKA) dilakukan oleh Mitra di Pusat Penelitian Biomaterial, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Cibinong. 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. Penelitian dilaksanakan selama 6 bulan mulai bulan Mei-Oktober 2021. Diagram alir penelitian yang menggambarkan penelitian yang sudah dilaksanakan dan yang dikerjakan selama waktu yang diusulkan disajikan pada **Gambar 2**.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan utama penelitian ini adalah limbah batang singkong, sekam padi, dan serbuk kayu gergajian. Jenis perekat yang digunakan adalah perekat alami berbasis lateks karet alam (LKA). Peralatan utama yang digunakan meliputi: mesin perajang batang singkong (Rabakong), mesin *hammermill*, mesin gergaji, saringan (*screen*), pengering partikel (*oven*), timbangan digital, gelas piala, alat campur perekat (*rotary blender*), cetakan papan (*former device*), kaliper, mikrometer sekrup, alat kempa panas (*hot pressing*), kamera, dan untuk pengujian papan menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*). Analisa perekat dan kualitas rekat menggunakan alat *rotational rheometer*, dan *gelation timer*. Analisis distribusi perekat menggunakan *Micro Confocal Raman 3D Hyperspectral Spectroscopy* dan FE-SEM EDX.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

3.3. Persiapan Partikel dan Perekat Berbasis Lateks Karet Alam

Penelitian ini mengkaji pengaruh jenis partikel dari limbah batang singkong, sekam padi, serbuk kayu gergajian, serta pengaruh kadar perekat terhadap sifat fisis dan mekanis *agriboard*. Bahan baku berupa limbah batang singkong diperoleh dari lahan petani yang berada di Lampung. Limbah sekam padi diperoleh dari industri penggilingan padi dan limbah serbuk kayu gergajian diperoleh dari industri penggergajian kayu rakyat di Provinsi Lampung. Sementara itu perekat lateks karet alam (LKA) diformulasikan oleh mitra di Pusat Penelitian Biomaterial LIPI, Cibinong.

Pembuatan partikel batang singkong menggunakan mesin perajang batang singkong (Rabakong) yang dikembangkan sebelumnya oleh anggota tim peneliti (Asmara dkk., 2019). Partikel dari batang singkong, sekam padi, dan limbah serbuk kayu gergajian kemudian disaring untuk memperoleh ukuran yang

seragam. Partikel yang sudah terseleksi dikeringkan dengan cara pengeringan bertahap, yaitu dengan diangin-anginkan selama beberapa hari kemudian dilanjutkan dengan pengeringan dalam kilang pengering (*oven*) sampai kadar air partikel mencapai kurang dari 5%.

Formulasi perekat lateks karet alam (LKA) dilakukan dengan mencampur LKA (kadar padatan 60%) dengan polivinil alkohol (kadar padatan 10%) menggunakan perbandingan 1:1. Campuran dasar tersebut selanjutnya diaduk hingga rata. Agen pengikat (*cross-linker*) berupa isosianat ditambahkan sebanyak 5%-10% dari berat total perekat. Karakteristik dasar perekat seperti kadar padatan, viskositas, dan waktu jelatinasi dianalisa menggunakan *oven*, *rheometer*, dan *gelation timer*.

3.4. Pembuatan *Agriboard*

Sebanyak 36 papan *agriboard* tunggal dan campuran dibuat dengan rasio berat antara partikel batang singkong, sekam padi, serbuk kayu gergajian sebagai berikut: (1) 40:30:30, (2) 50:25:25, (3) 60:20:20, (4) 100:0:0. Untuk mengetahui kadar perekat optimum, digunakan perekat LKA dengan kadar 5%, 10%, dan 15%. Pencampuran perekat dengan partikel dilakukan dengan menggunakan rotary blender. *Agriboard* dibuat dengan ukuran 30 cm × 30 cm × 1 cm dengan target kerapatan 0,7 g/cm³. Partikel disusun di dalam cetakan papan (*former device*), kemudian dikempa panas dengan tekanan sebesar 25 kg/cm², suhu 160°C, dan waktu kempa selama 6 menit. *Agriboard* yang telah dibuat selanjutnya 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 kondisi kesetimbangan.

3.5. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis *Agriboard*

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

3.6. Analisa Distribusi Perekat pada *Agriboard*

Distribusi perekat LKA dianalisa menggunakan bantuan *Micro Confocal Raman 3D Hyperspectral Spectroscopy* dan FE-SEM EDX. Bahan baku yang digunakan sebelum menjadi papan dianalisa dengan kedua alat tersebut sebagai data dasar. Selanjutnya, papan *agriboard* hasil uji kuat rekat internal dianalisa dengan kedua alat tersebut untuk melihat distribusi perekat yang terjadi.

3.7. Analisis Data

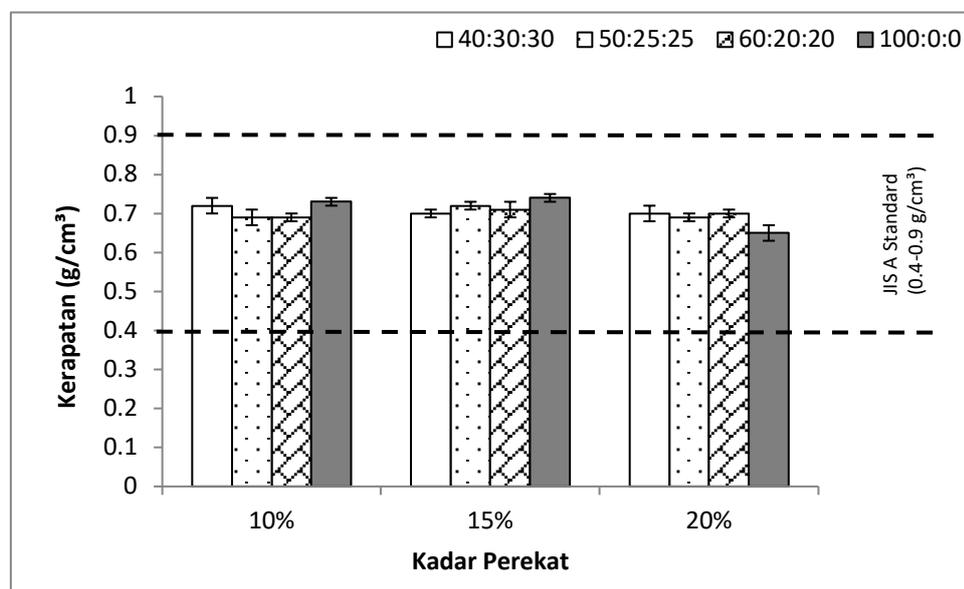
Penelitian ini menggunakan analisis data dengan rancangan percobaan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dan terdiri dari 2 (dua) faktor yaitu 4 (empat) jenis kombinasi partikel dan 3 (tiga) taraf kadar perekat. Setiap perlakuan dilakukan 3 (tiga) kali ulangan. Untuk melihat adanya pengaruh kombinasi partikel 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. Data hasil pengujian juga dibandingkan dengan persyaratan JIS A 5908 (2003) untuk mengetahui apakah sifat-sifat papan yang dibuat memenuhi standar atau tidak.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sifat Fisis

4.2.1 Kerapatan

Nilai kerapatan rata-rata papan agriboard ditampilkan pada Gambar 3. Berdasarkan data pada Gambar 3 diketahui bahwa nilai rata-rata kerapatan papan partikel kayu dan bambu hasil penelitian berkisar antara 0,65-0,74 g/cm³. Nilai rata-rata kerapatan terendah (0,65 g/cm³) terdapat pada papan kombinasi 100:0:0 (singkong: sekam padi: serbuk gergaji) dengan kadar perekat lateks karet alam 20%. Sedangkan nilai rata-rata kerapatan tertinggi (0,74 g/cm³) terdapat pada papan kombinasi 40:30:30 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan kadar perekat lateks karet alam 20%. Secara keseluruhan, kerapatan papan agriboard hasil penelitian hampir mencapai kerapatan target sebesar 0,70 g/cm³. Kerapatan papan partikel kayu dan bambu yang dihasilkan dalam penelitian ini seluruhnya memenuhi standar JIS A 5908 (2003) yang mensyaratkan bahwa standar kerapatan papan partikel 0,4-0,9 g/cm³.

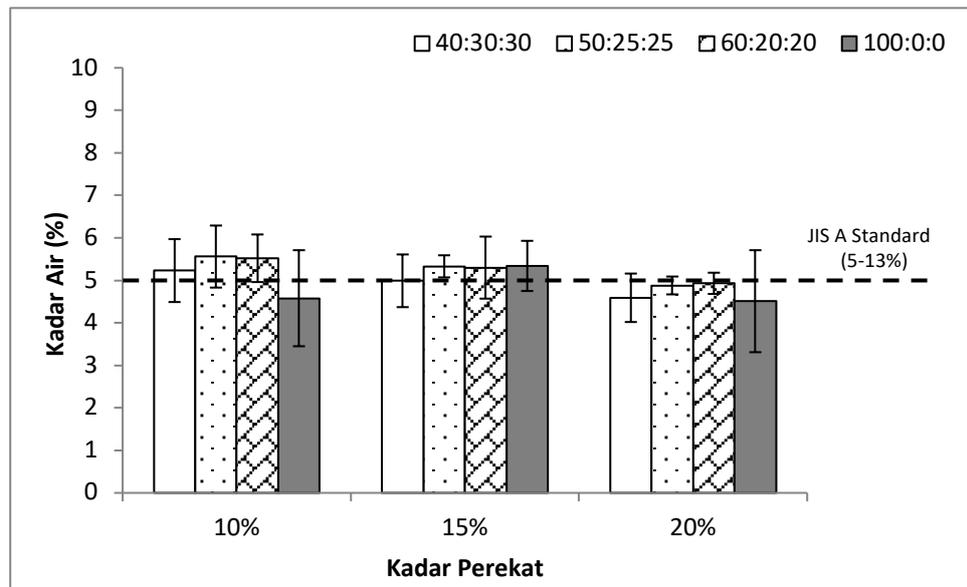


Gambar 3. Nilai kerapatan *Agriboard* pada berbagai kombinasi partikel dan kadar perekat berbasis lateks karet alam.

Hasil analisis statistik pada tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa faktor kombinasi jenis partikel dan kadar perekat tidak berpengaruh nyata terhadap kerapatan papan partikel. Hasil analisis statistik juga menunjukkan bahwa interaksi antara kombinasi partikel dan kadar perekat tidak berpengaruh nyata terhadap kerapatan papan, terlihat dari p-value > 0,05.

4.2.2 Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu sifat fisis papan yang menunjukkan kandungan air papan dalam keadaan kesetimbangan dengan lingkungan sekitarnya terutama kelembaban udara. Nilai rata-rata kadar air papan partikel yang dihasilkan disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Nilai kadar air *Agriboard* pada berbagai kombinasi partikel dan kadar perekat berbasis lateks karet alam.

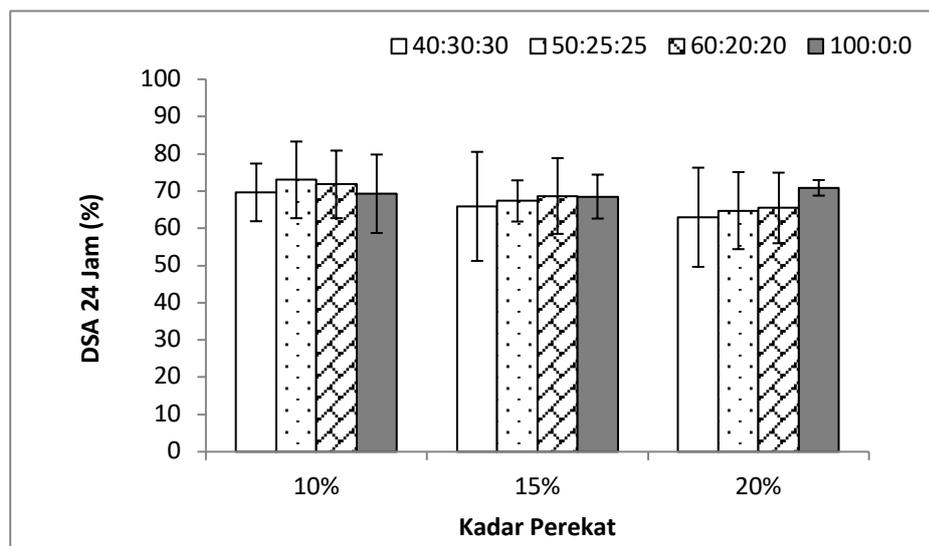
Berdasarkan data pada Gambar 4 diketahui bahwa nilai rata-rata kadar air papan partikel hasil penelitian berkisar antara 4,51-5,56%. Nilai rata-rata kadar air terendah (4,51%) terdapat pada papan kombinasi 40:30:30 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan kadar perekat lateks karet alam 20%. Sedangkan nilai rata-rata kadar air tertinggi (5,56%) terdapat pada papan kombinasi 50:25:25 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan kadar perekat 10%. Keunggulan papan komposit dibandingkan papan dari kayu solid adalah memiliki kadar air

yang lebih rendah karena pada proses produksi papan melalui proses pengempaan panas. Selain itu partikel bagian dalam papan (tengah/inti) tidak bebas menyerap air sebagai akibat adanya ikatan rekat, dengan catatan selama ikatan tersebut tidak rusak (Massijaya, 1997).

Hasil analisis statistik pada tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa faktor kombinasi partikel, kadar perekat, dan interaksi antara kombinasi partikel dan kadar perekat seluruhnya berpengaruh nyata terhadap kadar air papan partikel sebagaimana terlihat dari p-value kurang dari 0,05. Berdasarkan standar JIS A 5908 (2003) yang mensyaratkan bahwa standar kadar air papan partikel 5-13%, nilai kadar air papan partikel hasil penelitian ini seluruhnya belum semua memenuhi standar.

4.2.3 Daya Serap Air (DSA) 24 Jam

Daya serap air merupakan kemampuan papan dalam menyerap air yang diuji dengan cara perendaman dalam air selama 24 jam. Pengujian tersebut perlu dilakukan karena ciri papan komposit yang mudah menyerap air sehingga daya serap air merupakan masalah pada papan partikel (Bowyer et al. 2003). Nilai rata-rata daya serap air papan partikel ditampilkan pada Gambar 5.

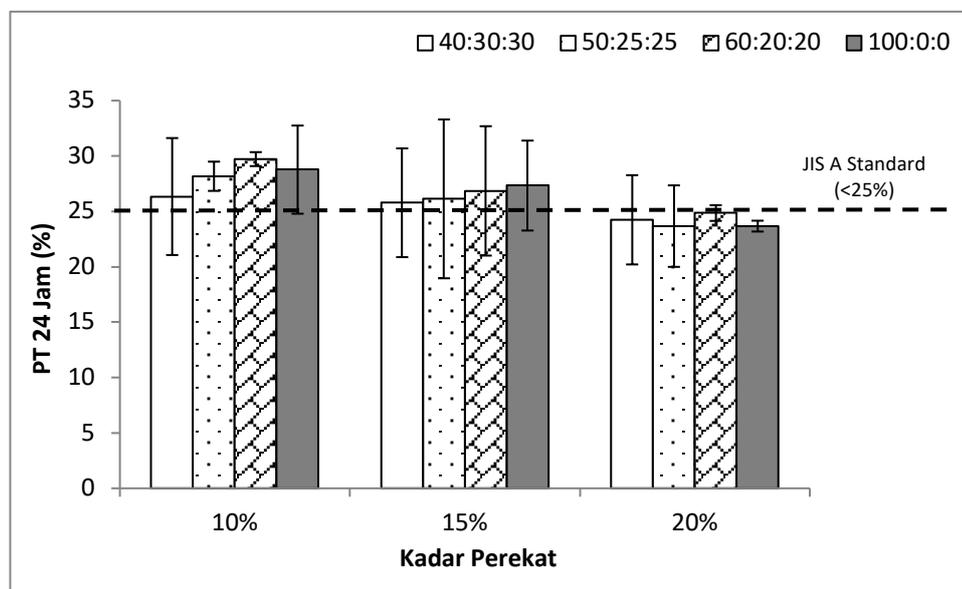


Gambar 5. Nilai DSA 24 jam *Agriboard* pada berbagai kombinasi partikel dan kadar perekat berbasis lateks karet alam.

Nilai rata-rata daya serap air papan 24 jam berkisar antara 62,95-72,99%. Nilai rata-rata daya serap air terendah (62,95%) terdapat pada papan kombinasi 40:30:30 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan kadar perekat 20%. Sedangkan nilai rata-rata kadar air tertinggi (72,99%) terdapat pada papan kombinasi 50:25:25 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan kadar perekat 10%. Massijaya dan Kusumah (2005) menyatakan bahwa air yang masuk ke dalam papan dibedakan atas 2 macam, yaitu air yang masuk ke dalam papan dan mengisi rongga-rongga kosong di dalam papan serta air yang masuk ke dalam partikel kayu penyusun papan. Hasil dari penelitian ini tidak bisa dibandingkan dengan menggunakan standar JIS A 5908 (2003) karena standar tersebut tidak menetapkan nilai daya serap air papan partikel.

4.2.4 Pengembangan Tebal 24 Jam

Pengembangan tebal merupakan perubahan dimensi papan dengan bertambahnya ketebalan dari papan tersebut. Nilai rata-rata pengembangan tebal papan partikel setelah direndam selama 24 jam dapat dilihat pada Gambar 6.



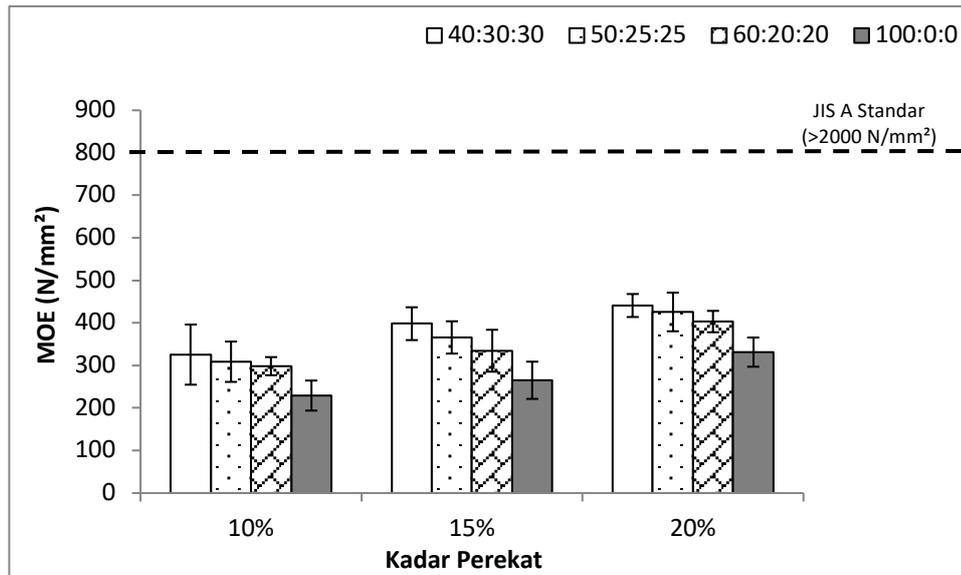
Gambar 6. Nilai pengembangan tebal 24 jam *Agriboard* pada berbagai kombinasi partikel dan kadar perekat berbasis lateks karet alam.

Nilai rata-rata pengembangan tebal papan 24 jam hasil penelitian berkisar antara 23,67-28,77%. Nilai rata-rata pengembangan tebal terendah (23,67%) terdapat pada papan kombinasi 50:25:25 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan kadar perekat 20%. Sedangkan nilai rata-rata pengembangan tebal tertinggi (28,77%) terdapat pada papan kombinasi 100:0:0 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan kadar perekat 10%. Pengembangan tebal dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: penyusunan partikel, kerapatan kayu asal, kerapatan papan partikel, dan distribusi perekat. Menurut Nuryawan et al. (2007), pengembangan tebal terjadi akibat adanya tegangan internal (internal stress) yang ditimbulkan setelah proses pengempaan. Selain itu kerusakan dari jaringan ikatan perekat (kekuatan ikatan antara partikel atau tekanan pada ikatan perekat) juga mempengaruhi besarnya pengembangan tebal yang terjadi (Munawar, 2008). Penyusunan partikel yang tidak teratur juga akan mengakibatkan timbulnya rongga sehingga akan memudahkan air masuk ke dalam celah-celah antar partikel. Berdasarkan standar JIS A 5908 (2003) yang mensyaratkan bahwa standar pengembangan tebal papan partikel <25%, nilai pengembangan tebal papan partikel hasil penelitian ini seluruhnya belum semua memenuhi standar.

4.2. Sifat Mekanis

4.2.5 Modulus lentur (*Modulus of Elasticity (MOE)*)

Nilai modulus lentur (MOE) berhubungan langsung dengan kekuatan papan, yaitu ketahanan papan terhadap pembengkokkan. Bowyer et al (2003) menambahkan bahwa nilai MOE juga menunjukkan kemampuan blending, pembentukan lembaran dan pengempaan dalam produksi papan komposit. Nilai rata-rata MOE papan agriboard disajikan pada Gambar 7.



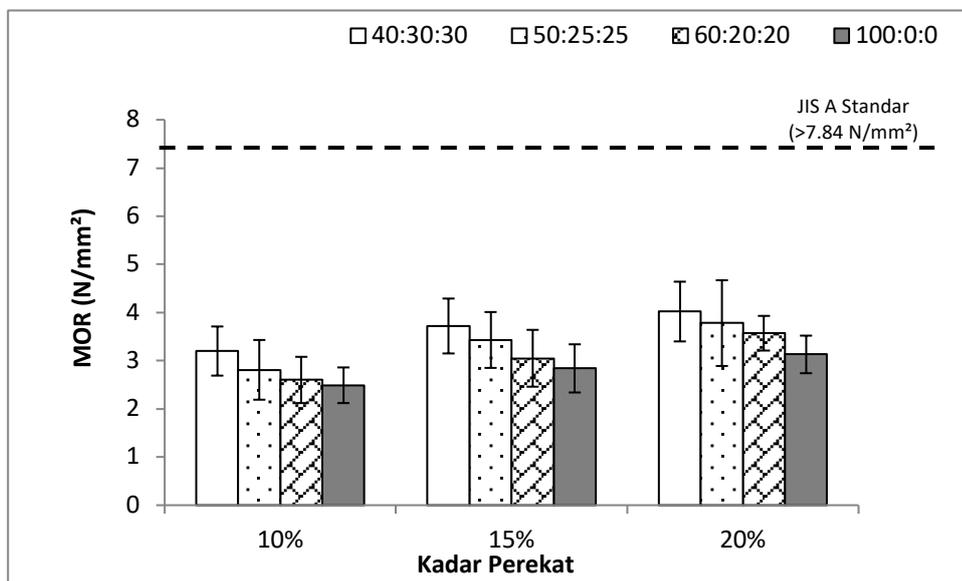
Gambar 7. Nilai MOE *Agriboard* pada berbagai kombinasi partikel dan kadar perekat berbasis lateks karet alam.

Nilai rata-rata MOE papan partikel hasil penelitian berkisar antara 229-441 N/mm². Nilai rata-rata MOE terendah (229 N/mm²) terdapat pada papan kombinasi 100:0:0 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan kadar perekat lateks karet alam 10%. Sedangkan nilai rata-rata MOE tertinggi (441 N/mm²) terdapat pada papan kombinasi 40:30:30 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan kadar perekat 20%. Hasil analisis statistik dengan menunjukkan bahwa faktor kombinasi, kadar perekat serta interaksi antara kedua faktor tersebut seluruhnya berpengaruh sangat nyata terhadap nilai MOE. Berdasarkan standar JIS A 5908 (2003), MOE seluruh papan belum memenuhi standar yang disyaratkan.

Haygreen dan Bowyer (1989) menyatakan bahwa kekuatan lentur papan dipengaruhi oleh jenis bahan baku, kerapatan papan, dan kadar perekat yang digunakan. Tsoumist (1991) menyatakan bahwa kadar air juga mempengaruhi kekuatan papan, karena kelembaban akan menurunkan kekuatan papan.

4.2.6 Modulus patah (*Modulus of Rupture (MOR)*)

Modulus patah merupakan kemampuan papan menahan beban hingga batas maksimum (keteguhan patah). Nilai rata-rata modulus patah papan agriboard disajikan pada Gambar 8. Nilai rata-rata MOR berkisar antara 2,4-4,41 N/mm². Nilai rata-rata MOR terendah (2,4 N/mm²) terdapat pada papan kombinasi 100:0:0 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan kadar perekat 10%. Sedangkan nilai rata-rata MOR tertinggi (4,41 N/mm²) terdapat pada papan kombinasi 40:30:30 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan kadar perekat 20%.



Gambar 8. Nilai MOR *Agriboard* pada berbagai kombinasi partikel dan kadar perekat berbasis lateks karet alam.

Jika dilihat dari kombinasinya, umumnya papan dengan kombinasi 40:30:30 (singkong, sekam padi, serbuk gergaji) dengan berbagai kadar perekat yang digunakan menghasilkan nilai MOR yang lebih tinggi dibandingkan papan kombinasi yang lain. Kayu sengon memiliki sifat-sifat yang relatif lebih baik dibandingkan dengan jenis kombinasi lain yang digunakan. Jika dilihat dari faktor kadar perekat pada papan, nilai MOR papan agriboard dengan kadar perekat 20% merupakan papan yang terbaik, diikuti dengan papan dengan kadar perekat 15% dan 10%. Nilai MOR dari semua kombinasi papan partikel belum memenuhi standar JIS A 5908 (2003).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Limbah batang singkong dan perekat perekat berbasis lateks karet alam berpotensi untuk digunakan sebagai pengganti produk komposit kayu yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, terutama untuk aplikasi non-struktural dan interior.

1. Sifat fisis (daya serap air dan pengembangan tebal) dan sifat mekanis (modulus lentur, modulus patah, keteguhan rekat internal) papan agriboard sangat dipengaruhi oleh kombinasi partikel penyusunnya. 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.

5.2. Saran

Untuk mendapatkan informasi yang lebih komprehensif, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait parameter-parameter sifat fisik dan mekanis yang lain dan ketahanan kayu untuk lebih mengetahui potensi produk komposit substitusi kayu lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Amenaghawon, N.A., Osayuki-Aguebor, W., dan Okieimen, 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.
- 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.
- Bowyer, J.L., Shmulky, and J.G. Haygreen. 2003. *Forest Products and Wood Science an Introduction*. Fourth Edition, Iowa State University Press.
- BPS Provinsi Lampung. 2018. *Provinsi Lampung Dalam Angka 2017*. BPS Provinsi Lampung. 364 Hal
- Chaowana, P. 2013. Bamboo: An Alternative Raw Material for Wood and Wood-Based Composites. *Journal of Materials Science Research*. 2(2): 90-102.
- Coniwanti, P., Srikandhy, R., Apriliyanni. 2008. Pengaruh Proses Pengeringan, Normalitas HCl, dan Temperatur Pembakaran pada Pembuatan Silika dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Kimia*. 1(15): 5-11.
- Falah, F., Fatriasari, W. and Hermiati, E. 2005. Quality Changes of Wood Adhesive Made of Natural Rubber Latex-Styrene during Storage. *Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium, Denpasar 29 – 31 August 2005*, pp. 215-219.
- 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.
- Fei, H., Ma, X.X., Zhang, B., Chen, X.F., Liu, X.M., Fang, C.H., Fei, B.H. 2019. Microwave-vacuum drying of round bamboo: A study of the physical properties. *Construction and Building Materials*. 211: 44-51. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.221.
- Gauss, C., Araujo, V.D., Gava, M., Barbosa, J.C., dan Junior, H.S. 2019. Bamboo particleboards: recent developments. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*. 49: 1-9. DOI: 10.1590/1983-40632019v4955081
- Hermiati, E., Lubis, M.A.R., Risanto, L., Laksana, R.P.B., and Zaini, L.H. 2015. Characteristics and Bond Performance of Wood Adhesive made from Natural Rubber Latex and Alkaline Pretreatment Lignin. *Procedia Chemistry*. 16: 376-383. DOI: 10.1016/j.proche.2015.12.067

- Hidayat, W., Sya'bani, M.I., Purwawangsa, H., Iswanto, A.H., and Febrianto, F. 2011. Effect of wood species and layer structure on physical and mechanical properties of strand board. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 9(2):134-140.
- Hidayat, W., Carolina, A., and Febrianto, F. 2013. Physical, Mechanical, and Durability Properties of OSB Prepared from CCB Treated Fast Growing Tree Species Strands. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 11(1):55-61.
- 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.
- Japanese Standard Association. 2003. *Japanese Industrial Standard Particle Board JIS A 5908*. Japanese Standard Association. Jepang.
- Lubis, M.A.R., Hidayat, W., Zaini, L.H., dan Park, B.D. 2020. Effects of Hydrolysis on the Removal of Cured Urea-Formaldehyde Adhesive in Waste Medium-Density Fiberboard. *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1): 1-9. DOI: 10.23960/jsl181-9.
- Marra, A.A. 1992. *Technology of Wood Bonding: Principles in Practice*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 72 – 74.
- Massijaya, M.Y. 1997. *Development of Boards Made from Waste Newspaper [disertasi]*. Tokyo University, Japan.
- Massijaya, M.Y., dan Kusumah, S.S. 2005. Analisis Kelayakan Teknis Papan Komposit dari Limbah Kayu dan Karton Gelombang untuk Bahan Bangunan dan Meubel. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan*, 18 (2).
- 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
- Prayoga, D., Dirhamsyah, dan Nurhaida. 2019. Kualitas Papan Partikel Berdasarkan Komposisi Sekam Padi dan Kayu Sengon dengan Variasi Kadar Perekat. *Jurnal Hutan Lestari*. 7(2): 752-760.
- Purwanto, D. 2016. Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel dari Limbah Campuran Serutan Rotan dan Sebuk Kayu. *Jurnal Riset Industri*. 10(3): 125-133.
- 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.
- Shukla, S.K., Nidhi, Sudha, Pooja, Namrata, Charu, Akshay, Silvi, Manisha, Rizwana, Bharadvaja, A., Dubey, G.C., and Tiwari, A. 2013. Preparation and Characterization of Cellulose Derived from Rice Husk for Drug Delivery. *Adv. Mat. Lett.* 4 (9), 714-719.

- Sivamani, S., Chandrasekaran, A.P., Balajii, M., Shanmugaprakash, M., Hosseini-Bandegharai, A., and Baskar, R. 2018. Evaluation of The Potential of Cassava-Based Residues for Biofuels Production. *Environment Science Biotechnology*. 17: 553-570.
- Sumada, K., Tamara, E.P., dan Alqani, F. 2011. Kajian Proses Isolasi α -Selulosa dari Limbah Batang Tanaman Manihot esculenta Crantz. yang efisien. *Jurnal Teknik Kimia*. 5(2) : 434-438..
- Widodo, L.U., Sumada, K., Pujiastuti, C., dan Karaman, N. 2013. Pemisahan α -Selulosa dari Limbah Batang Ubi Kayu Menggunakan Larutan Natrium Hidroksida. *Jurnal Teknik Kimia*. 7: 43-47.
- Yanto, D.H.Y., Fatriasari, W., Hermiati, E. 2006. Fortifikasi Deernol 33E dan PI-120 pada perekat lateks karet alam - stirena. *Widyariset*. 9: 49-54.
- Yanto, D.H.Y., Hermiati, E. 2008. Campuran lateks karet alam – stirena dan poliisosiyanat sebagai perekat kayu lamina. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 6(2): 63-68.
- 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.
- 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.