

KARAKTERISTIK PAPAN PARTIKEL BERBAHAN SEKAM PADI DENGAN PENAMBAHAN PARAFIN

Physical and Mechanical Characteristics of Particle Board Made from Rice Husks With The Addition of Paraffin

Folmer Pardosi, Tamrin Latief, dan Filli Pratama

Jurusan Teknologi Pertanian
Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Indralaya 30662

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the physical and mechanical characteristics of particle board of different size of rice husks particle with the addition of paraffin. The research used Factorial Completely Randomized Design that consisted of two treatment as factors, and each factor consisted of three levels. Each combination of treatment was replicated three times. The first factor was the size of rice husks particle (1.70 mm, 1.40 mm, 1.18 mm) and the second factor was the addition of paraffin (0%, 2%, 4%) based on dry weight of rice husks. The parameters were the density, moisture content, thickness swelling, modulus of elasticity, modulus of rupture, and internal bond. The results showed that the treatment combination between the particle size of 1.18 mm and the paraffin addition of 4% (A₃B₃) was the best treatment with the density of 438 kg/m³, moisture content of 9,04%, thickness swelling of 0,86%, modulus of elasticity of 28,33 N/mm², modulus of rupture of 0,22 N/mm², and internal bond of 0,12 N/mm².

Keywords : Particle board, rice husk, paraffin

PENDAHULUAN

Pertambahan jumlah penduduk menyebabkan kebutuhan kayu sebagai salah satu bahan konstruksi bangunan maupun furnitur semakin meningkat. Di lain pihak, ketersediaan kayu sebagai bahan baku terus menurun. Teknologi pembuatan papan partikel dapat dikembangkan sebagai salah satu alternatif untuk mengatasi keterbatasan persediaan kayu utuh sebagai bahan konstruksi bangunan maupun furnitur (Jamilah, 2009).

Papan partikel merupakan salah satu jenis produk komposit atau panel kayu yang terbuat dari partikel-partikel kayu atau bahan-bahan berlignoselulosa lainnya. Bahan-bahan tersebut diikat dengan perekat sintetis atau bahan pengikat lain kemudian dikempa panas. Proses pengikatan partikel sebaiknya dilakukan dalam bentuk perekatan antar partikel dan perekatan dengan bahan lain agar kualitas produk yang dihasilkan meningkat (Maloney, 1977 dalam Prayitno, 1997). Persediaan kayu sebagai bahan baku pembuatan papan partikel semakin berkurang. Oleh karena itu, perlu bahan alternatif sebagai pengganti bahan kayu, diantaranya sekam padi, serat eceng gondok dan purun tikus.

Sekam padi berpotensi untuk dijadikan bahan alternatif papan partikel karena memiliki sifat tidak menyusut, kaku, lurus, ringan dan tidak mudah hancur (Arbintarso dan Wibowo, 2008). Sekam padi dapat diperoleh dari proses penggilingan padi, dimana jumlahnya antara 20% sampai 30% dari berat gabah (Departemen Pertanian Republik Indonesia, 2008). Komposisi kimia sekam padi yaitu silika (18,80%-22,30%), selulosa (28%-38%) dan lignin (9%-20%) (Yunus, 2007 dalam Wahyuningsih, 2011). Penumpukan limbah sekam padi yang tidak dimanfaatkan dapat menimbulkan permasalahan terhadap lingkungan seperti pencemaran air dan tanah. Oleh karena itu, sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif untuk menggantikan bahan kayu pada pembuatan papan partikel.

Sebagai produk komposit, papan partikel memiliki stabilitas dimensi yang rendah. Papan partikel sangat mudah menyerap air pada arah tebal terutama dalam keadaan basah maupun kelembaban tinggi. Papan partikel akan mengalami pengembangan tebal antara 10% sampai 25% dari kondisi kering ke basah (Iswanto, 2008). Papan partikel mudah sekali menyerap air karena

terdiri dari bahan-bahan yang mengandung lignoselulosa sehingga bersifat higroskopis (Widarmana, 1977 dalam Hendrasetiafitri, 2002). Oleh karena itu, penambahan parafin diharapkan dapat menghambat penetrasi air ke dalam papan partikel.

Parafin merupakan lilin mineral hasil sampingan dari industri minyak bumi dimana minyak mentah diberi perlakuan untuk memisahkan fraksi volatil seperti kerosin, nafta, bensin, dan solar. Parafin memiliki titik leleh antara 48°C hingga 56°C (Fuadi, 2009). Parafin yang ditambahkan pada papan partikel berfungsi untuk menjaga stabilitas dimensi papan partikel agar bentuknya tetap stabil. Parafin memiliki struktur mikrokristalin yang mengandung minyak yang dapat melapisi permukaan partikel papan sehingga papan lebih tahan terhadap penetrasi air (Carll, 1986).

Sekam padi pada penelitian ini diolah menjadi papan partikel dengan pengempaan panas yang dilakukan manual dengan alat kempa panas. Proses pembuatan papan partikel dilakukan dengan pencampuran partikel-partikel sekam padi, polivinil asetat dan parafin cair, kemudian dikempa dingin untuk mencetak campuran dan kemudian dikempa panas untuk mengikat partikel-partikel dengan perekat. Ukuran partikel bahan dapat mempengaruhi kuat tidaknya ikatan antar partikel dan daya serap air dari papan partikel yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan partikel sekam padi dengan berbagai ukuran. Penelitian ini diharapkan menghasilkan suatu komposisi dari ukuran partikel sekam padi dan konsentrasi parafin yang dapat menghasilkan papan partikel dengan karakteristik yang sesuai dengan SNI.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa sifat fisik dan mekanik papan partikel berbahan sekam padi dengan perlakuan ukuran partikel dan penambahan parafin.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di lingkungan Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya dan di laboratorium PT. Sumatera Prima Fibreboard pada bulan November 2011 sampai dengan Februari 2012.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah 1) *hot press*, 2) timbangan digital, 3) gelas ukur 250 mL, 4) wadah, 5) kompor gas, 7) *stopwatch*, 8) *blender*, 9)

aluminium foil, 10) jangka sorong, 11) oven, 12) desikator, 13) *universal testing machine zwick roell*, 14) densitometer (DPX200), 15) mistar, dan 16) saringan dengan *aperture* 1,70 mm, 1,40 mm dan 1,18 mm.

Bahan-bahan yang digunakan adalah 1) sekam padi, 2) *polyvinyl acetate*, 3) parafin cair (KGaA 64271 Darmstadt Germany; viskositas 20% hingga 40%), dan 4) air.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF) yang terdiri dari dua faktor perlakuan dan masing-masing dengan 3 taraf perlakuan. Setiap kombinasi perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Adapun faktor yang digunakan yaitu: Faktor A : Ukuran partikel sekam padi

A₁ : 1,70 mm

A₂ : 1,40 mm

A₃ : 1,18 mm

Faktor B : Penambahan parafin (berat parafin / berat kering sekam padi)

B₁ : 0% (b/b)

B₂ : 2% (b/b)

B₃ : 4% (b/b)

Setiap perlakuan menggunakan berat sekam 300 g. Penambahan parafin berdasarkan berat sekam padi. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Penambahan parafin sebanyak 2% yaitu $2/100 \times 300 \text{ g} = 6 \text{ g}$
- Penambahan parafin sebanyak 4% yaitu $4/100 \times 300 \text{ g} = 12 \text{ g}$

Penyiapan Partikel Sekam Padi dan Perekat

Sekam padi disiapkan dan dijemur di bawah terik sinar matahari hingga kadar air 10%. Sekam padi digiling dengan *blender* dan disaring untuk mendapatkan ukuran partikel 1,70 mm, 1,40 mm dan 1,18 mm. Polivinil asetat disiapkan dengan memasukkan 200 g ke dalam wadah *stainless steel* dan diencerkan dengan menambahkan air sebanyak 20 mL (10% dari berat polivinil asetat).

Pembuatan Papan Partikel

Sekam padi ditimbang sebanyak 300 g dan dimasukkan ke dalam baskom. Polivinil asetat yang telah diencerkan dan parafin (sesuai perlakuan) ditambahkan secara perlahan ke dalam sekam padi (300 g) dan diaduk manual hingga tercampur homogen. Setelah tercampur homogen, adonan dituang ke dalam cetakan berukuran 25 cm x 20 cm x 1cm dan diratakan permukaannya secara manual dengan menggunakan tangan. Setelah adonan rata, maka dikempa dingin dengan

tekanan antara 10 kg/cm² hingga 15 kg/cm² selama 10 menit dan dilanjutkan dengan pengempaan panas menggunakan *hot press* antara 10 kg/cm² hingga 15 kg/cm² selama 15 menit (Diana, 2011).

Papan partikel yang telah terbentuk kemudian dijemur di bawah terik sinar matahari selama 2 hari agar perekatan antara partikel-partikel dengan perekat terbentuk sempurna dan untuk mengurangi kadar air papan partikel. Papan partikel dibiarkan dalam ruangan selama 1 minggu (7 hari) untuk menghilangkan tegangan-tegangan pada papan.

Papan partikel diuji (uji kerapatan, uji kadar air, uji pengembangan tebal, uji keteguhan elastis (*modulus of elasticity*), uji keteguhan patah (*modulus of rupture*), uji keteguhan rekat internal (*internal bond*)).

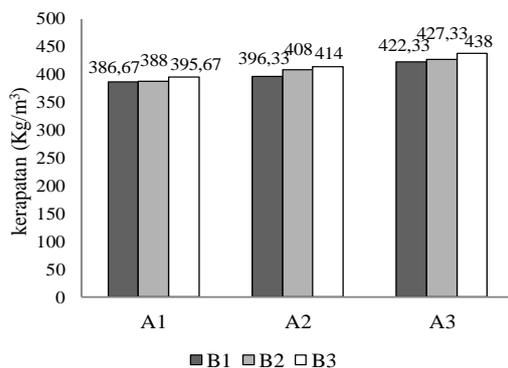
Parameter

Parameter yang diamati dalam penelitian ini yaitu: kerapatan, kadar air, pengembangan tebal, keteguhan elatis (*modulus of elasticity*), keteguhan patah (*modulus of rupture*), dan keteguhan rekat internal (*internal bond*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerapatan

Kerapatan merupakan perbandingan antara massa dengan volume (Bueche dan Hecht, 2006). Kerapatan papan partikel yang ditentukan oleh besarnya tekanan kempa panas yang diterima selama proses pembuatan papan partikel. Nilai rata-rata pengukuran kerapatan papan partikel untuk setiap kombinasi perlakuan disajikan pada Gambar 1.



Keterangan:

- A₁ : 1,70 mm B₁ : tanpa penambahan parafin
- A₂ : 1,40 mm B₂ : penambahan parafin 2%
- A₃ : 1,18 mm B₃ : penambahan parafin 4%

Gambar 1. Nilai rata-rata kerapatan papan partikel

Hasil analisis menunjukkan bahwa kerapatan papan partikel yang dihasilkan berkisar antara 386,67 kg/m³ hingga 438 kg/m³. Nilai kerapatan tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan A₃B₃ (1,18 mm dengan penambahan parafin 4%), sedangkan nilai kerapatan terendah terdapat pada kombinasi perlakuan A₁B₁ (1,70 mm tanpa penambahan parafin). Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa kerapatan papan partikel dipengaruhi sangat nyata oleh ukuran partikel, tetapi penambahan parafin dan interaksi kedua perlakuan berpengaruh tidak nyata. Hasil uji lanjut BNJ pengaruh ukuran partikel terhadap nilai kerapatan papan partikel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji BNJ pengaruh ukuran partikel terhadap nilai kerapatan papan partikel (kg/m³)

Ukuran Partikel	Rerata	BNJ _{0,05} = 20,34	BNJ _{0,01} = 26,48
A ₁	390,11	a	A
A ₂	406,11	a	AB
A ₃	429,22	b	B

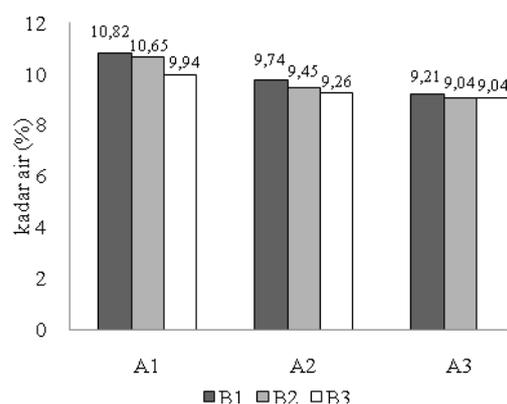
Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

Hasil uji BNJ pada Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan A₃ (1,18 mm) berbeda nyata dengan perlakuan A₁ (1,70 mm) dan A₂ (1,40 mm). Perlakuan A₁ (1,70 mm) berbeda tidak nyata dengan perlakuan A₂ (1,40 mm). Papan dengan ukuran partikel 1,18 mm memiliki nilai kerapatan tertinggi sedangkan papan dengan ukuran partikel 1,70 mm memiliki kerapatan terendah. Partikel yang lebih kecil akan menghasilkan papan berkerapatan tinggi. Ukuran partikel sekam yang kecil dapat lebih memadat ketika dikempa panas. Hal ini disebabkan karena seluruh permukaan papan dapat terlapisi merata oleh polivinil asetat sehingga ikatan antar partikel semakin kompak. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian Mujtahid (2010) dimana semakin kecil ukuran partikel maka semakin tinggi kerapatan papan partikel yang dihasilkan.

Kadar Air

Kadar air papan partikel adalah jumlah air yang terkandung di dalam papan partikel. Kadar air papan partikel berubah-ubah sesuai dengan keadaan sekitarnya (Bahtiar, 2008). Nilai rata-rata pengukuran kadar air papan partikel untuk setiap kombinasi perlakuan disajikan pada Gambar 2.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar air papan partikel yang dihasilkan berkisar antara 9,04% hingga 10,82%. Nilai kadar air tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan A₁B₁ (1,70 mm tanpa penambahan parafin), sedangkan kadar air papan partikel terendah terdapat pada kombinasi perlakuan A₃B₂ (1,18 mm dengan penambahan parafin 2%) dan A₃B₃ (1,18 mm dengan penambahan parafin 4%).



Keterangan :
 A₁ : 1,70 mm B₁ : tanpa penambahan parafin
 A₂ : 1,40 mm B₂ : penambahan parafin 2%
 A₃ : 1,18 mm B₃ : penambahan parafin 4%

Gambar 2. Nilai rata-rata kadar air papan partikel

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa kadar air dipengaruhi sangat nyata oleh ukuran partikel, penambahan parafin dan interaksi kedua perlakuan. Hasil uji lanjut B₁ pengaruh ukuran partikel terhadap nilai kadar air papan partikel disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Uji B₁ pengaruh ukuran partikel terhadap nilai kadar air papan partikel (%)

Ukuran Partikel	Rerata	BNJ _{0,05} = 0,12	BNJ _{0,01} = 0,15
A ₃	9,09	a	A
A ₂	9,48	b	B
A ₁	10,47	c	C

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

Hasil uji B₁ pada Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan A₃ (1,18 mm) berbeda sangat nyata dibanding dengan perlakuan A₂ (1,40 mm) dan A₁ (1,70 mm). Papan partikel dengan ukuran partikel 1,18 mm (A₃) memiliki nilai kadar air terendah,

sedangkan papan partikel dengan ukuran 1,70 mm (A₁) memiliki kadar air tertinggi.

Papan partikel yang dibuat dengan partikel halus menghasilkan papan dengan kerapatan tinggi, sedangkan papan partikel yang dibuat dengan partikel kasar menghasilkan papan berkerapatan rendah. Papan partikel berkerapatan tinggi memiliki pori-pori lebih kecil dibanding dengan papan yang berkerapatan rendah. Kadar air papan partikel merupakan banyaknya air yang terkandung pada papan partikel dalam keadaan kesetimbangan dengan lingkungan sekitarnya (Wahyuningsih, 2011). Pada pengujian kadar air, papan terlebih dahulu dikondisikan pada suhu dan kelembaban ruangan selama 7 hari. Pada saat pengondisian, air dapat berpenetrasi ke permukaan papan dan mengisi rongga-rongga papan. Untuk papan partikel berkerapatan tinggi (ukuran mesh besar) akan lebih sulit menyerap air sehingga kadar air lebih sedikit. Malau (2009) menyatakan bahwa kadar air papan partikel dipengaruhi oleh banyaknya rongga-rongga kosong pada papan partikel. Adapun hasil uji lanjut B₁ pengaruh penambahan parafin terhadap nilai kadar air papan partikel disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Uji B₁ pengaruh penambahan parafin terhadap nilai kadar air papan partikel (%)

Jumlah Parafin	Rerata	BNJ _{0,05} = 0,12	BNJ _{0,01} = 0,15
B ₃	9,41	a	A
B ₂	9,71	b	B
B ₁	9,92	c	C

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

Hasil uji B₁ pada Tabel 3 menunjukkan bahwa perlakuan B₃ (penambahan parafin 4%) berbeda sangat nyata dibanding dengan perlakuan B₂ (penambahan parafin 2%) dan B₁ (tanpa penambahan parafin). Papan partikel tanpa penambahan parafin (B₁) memiliki nilai kadar air tertinggi sedangkan papan partikel dengan penambahan parafin 4% (B₃) memiliki nilai kadar air terendah.

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa kadar air cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jumlah parafin. Papan partikel dibuat menggunakan bahan yang mengandung lignoselulosa sehingga bersifat higroskopis (Widarmana, 1977 dalam Hendrasetiafitri, 2002). Kadar air papan partikel sangat bergantung pada kondisi suhu dan kelembaban di sekitarnya. Pada saat pengondisian,

partikel-partikel akan menyerap air yang ada di sekitarnya untuk mengadakan kesetimbangan dengan kelembaban sekitar. Air yang diserap oleh partikel terjadi akibat dari adanya gaya absorpsi partikel yaitu gaya tarik molekul air pada tempat ikatan hidrogen yang terdapat di dalam selulosa, hemiselulosa dan lignin (Haygreen dan Bowyer, 1989 dalam Putriani, 2005). Oleh karena itu, penambahan parafin dapat mencegah penetrasi air ke dalam papan. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada saat pengempaan panas, parafin bergerak melapisi seluruh permukaan partikel sehingga papan menjadi kedap air. Syahidah dan Cahyono (2007) menyatakan bahwa penambahan parafin berpengaruh positif terhadap kadar air karena parafin yang ditambahkan berfungsi melapisi permukaan partikel-partikel sehingga dapat menghambat penetrasi air ke dalam partikel. Adapun Hasil uji lanjut BNJ pengaruh interaksi ukuran partikel dan penambahan parafin terhadap nilai kadar air papan partikel dapat dilihat pada Tabel 4.

Hasil uji BNJ pada Tabel 4 menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan A_3B_3 (1,18 mm dengan penambahan parafin 4%) berbeda tidak nyata dibanding dengan kombinasi perlakuan A_3B_2 (1,18 mm dengan penambahan parafin 2%), A_3B_1 (1,18 mm tanpa penambahan parafin) dan A_2B_3 (1,40 mm dengan penambahan parafin 4%), tetapi berbeda sangat nyata dengan kombinasi perlakuan lainnya.

Tabel 4. Uji BNJ pengaruh interaksi ukuran partikel dan penambahan parafin terhadap nilai kadar air papan partikel (%)

Perlakuan	Rerata	BNJ _{0,05} = 0,28	BNJ _{0,01} = 0,34
A_3B_3	9,04	a	A
A_3B_2	9,04	a	A
A_3B_1	9,21	ab	AB
A_2B_3	9,26	ab	AB
A_2B_2	9,45	b	BC
A_2B_1	9,74	c	CD
A_1B_3	9,94	c	D
A_1B_2	10,65	d	E
A_1B_1	10,82	d	E

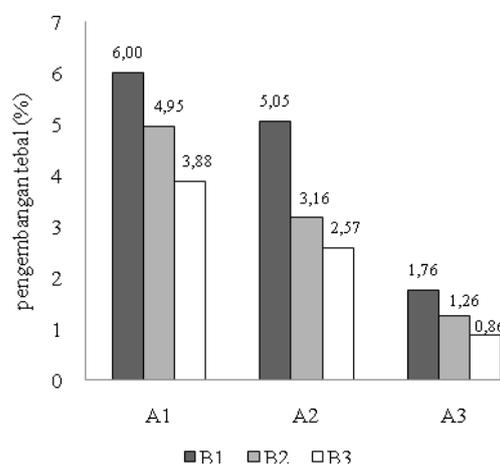
Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

Hasil uji BNJ pada Tabel 4 menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan A_3B_3 (1,18 mm dengan penambahan parafin 4%) berbeda tidak nyata dibanding dengan

kombinasi perlakuan A_3B_2 (1,18 mm dengan penambahan parafin 2%), A_3B_1 (1,18 mm tanpa penambahan parafin) dan A_2B_3 (1,40 mm dengan penambahan parafin 4%), tetapi berbeda sangat nyata dengan kombinasi perlakuan lainnya.

Kadar air papan partikel merupakan akumulasi dari jumlah air yang mengisi pori-pori, jumlah uap air yang diserap oleh partikel dan kadar air bahan baku (Widarmana, 1977 dalam Iswanto, 2008). Ukuran partikel yang lebih besar memungkinkan untuk menghasilkan papan partikel dengan kerapatan rendah. Papan partikel berkerapatan rendah memiliki ikatan antar partikel yang kurang kompak sehingga banyak rongga-rongga yang terbentuk. Papan partikel berkerapatan rendah mudah ditembus oleh uap air. Pada saat pengondisian, air akan mencoba berpenetrasi dan memenuhi seluruh rongga-rongga yang terbentuk. Oleh karena itu, semakin besar volume rongga yang terbentuk maka semakin banyak air yang terkandung pada papan partikel. Penelitian ini menunjukkan bahwa parafin dapat menghambat penetrasi air pada papan partikel sekam padi. Parafin yang ditambahkan berfungsi melapisi seluruh permukaan partikel sehingga partikel tidak dapat menyerap uap air di sekitarnya.

Pengembangan Tebal



Keterangan :
 A₁ : 1,70 mm B₁ : tanpa penambahan parafin
 A₂ : 1,40 mm B₂ : penambahan parafin 2%
 A₃ : 1,18 mm B₃ : penambahan parafin 4%

Gambar 3. Nilai pengembangan tebal dengan kombinasi perlakuan ukuran partikel dan penambahan parafin

Pengembangan tebal merupakan kenaikan tebal contoh uji terhadap tebal awal pada saat direndam selama 24 jam yang

dinyatakan dalam persentase (SNI 03-2105-2006). Nilai rata-rata pengukuran pengembangan tebal papan partikel untuk setiap kombinasi perlakuan disajikan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai pengembangan tebal papan partikel yang dihasilkan berkisar antara 0,86% sampai 6,00%. Nilai pengembangan tebal tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan A₁B₁ (1,70 mm tanpa penambahan parafin), sedangkan nilai pengembangan tebal terendah terdapat pada kombinasi perlakuan A₃B₃ (1,18 mm dengan penambahan parafin 4%).

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa pengembangan tebal papan partikel dipengaruhi sangat nyata oleh ukuran partikel, penambahan parafin dan interaksi kedua perlakuan. Hasil uji lanjut BNJ pengaruh ukuran partikel terhadap nilai pengembangan tebal papan partikel disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Uji BNJ pengaruh ukuran partikel terhadap nilai pengembangan tebal papan partikel (%)

Ukuran Partikel	Rerata	BNJ _{0,05} = 0,32	BNJ _{0,01} = 0,41
A ₃	1,29	a	A
A ₂	3,59	b	B
A ₁	4,94	c	C

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

Hasil uji BNJ pada Tabel 5 menunjukkan bahwa perlakuan A₃ (1,18 mm) berbeda sangat nyata dibanding dengan perlakuan A₂ (1,40 mm) dan A₁ (1,70 mm). Pengembangan tebal tertinggi dimiliki oleh perlakuan A₁ (1,70 mm) sedangkan pengembangan terendah dimiliki oleh perlakuan A₃ (1,18 mm). Nilai pengembangan tebal yang tinggi mengindikasikan bahwa papan yang dihasilkan memiliki stabilitas dimensi yang kurang baik, dan sebaliknya nilai pengembangan tebal yang rendah menunjukkan bahwa papan yang dihasilkan memiliki stabilitas dimensi yang baik. Data pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pengembangan tebal cenderung menurun seiring dengan semakin kecil ukuran partikel.

Kerapatan memiliki hubungan positif terhadap nilai pengembangan papan partikel. Papan partikel berkerapatan tinggi memiliki ikatan antar partikel yang kompak sehingga apabila direndam air selama 24 jam (pengujian pengembangan tebal), papan partikel dapat mempertahankan stabilitas dimensinya tetap stabil. Hal ini disebabkan karena kerekatan

seluruh permukaan partikel terjadi secara sempurna dan menimbulkan sifat yang sukar untuk mengembang pada saat jenuh air. Pertambahan tebal papan partikel setelah perendaman air selama 24 jam terjadi akibat dari usaha partikel-partikel yang saling berikatan untuk mencoba membebaskan diri dari gaya akibat pengempaan panas (Hadi, 1988 dalam Iswanto, 2008). Hasil uji lanjut BNJ pengaruh penambahan parafin terhadap nilai pengembangan tebal papan partikel disajikan pada Tabel 10.

Hasil uji BNJ pada Tabel 6 menunjukkan bahwa perlakuan B₃ (penambahan parafin 4%) berpengaruh sangat nyata dibanding dengan perlakuan B₂ (penambahan parafin 2%) dan B₁ (tanpa penambahan parafin).

Tabel 6. Uji BNJ pengaruh penambahan parafin terhadap nilai pengembangan tebal papan partikel (%)

Jumlah Parafin	Rerata	BNJ _{0,05} = 0,32	BNJ _{0,01} = 0,41
B ₃ (4%)	2,44	a	A
B ₂ (2%)	3,12	b	B
B ₁ (0%)	4,27	c	C

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

Pada Tabel 6 terlihat bahwa adanya hubungan yang positif antara penambahan parafin dengan pengembangan tebal papan partikel. Semakin banyak kadar parafin yang ditambahkan ke dalam papan maka pengembangan tebal semakin menurun. Carll (1986) menyatakan bahwa parafin memiliki struktur mikrokristalin yang mengandung minyak yang dapat melapisi permukaan partikel papan sehingga papan lebih tahan terhadap penetrasi air. Menurut Syahidah dan Cahyono (2007), parafin yang ditambahkan berfungsi sebagai pelapis pada permukaan partikel-partikel sehingga dapat menghambat masuknya air ke dalam papan partikel. Hasil uji BNJ pengaruh interaksi perlakuan ukuran partikel dan penambahan parafin terhadap nilai pengembangan tebal papan partikel disajikan pada Tabel 7.

Hasil uji BNJ pada Tabel 7 menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan A₃B₃ (1,18 mm dengan penambahan parafin 4%) berbeda tidak nyata dibanding dengan A₃B₂ (1,18 mm dengan penambahan parafin 2%), tetapi berbeda sangat nyata dengan kombinasi perlakuan lainnya.

Pengembangan tebal memiliki korelasi dengan sifat daya serap air, yang artinya

semakin tinggi daya serap air maka semakin tinggi pengembangan tebal papan partikel. Pada pengujian pengembangan tebal, papan direndam di dalam air selama 24 jam. Perendaman yang dilakukan menyebabkan air masuk dan merusak konsistensi dimensi papan partikel. Papan partikel yang diberi parafin mengalami penurunan nilai pengembangan tebal. Hal ini terjadi karena parafin memberi lapisan tipis dipermukaan partikel yang berfungsi sebagai penghalang terjadinya kontak antara partikel dengan air sehingga sifat higroskopis partikel berkurang (Putriani, 2005).

Tabel 7. Uji BNJ pengaruh interaksi ukuran partikel dan penambahan parafin terhadap nilai pengembangan tebal papan partikel (%)

Perlakuan	Rerata	BNJ _{0,05} = 0,75	BNJ _{0,01} = 0,93
A ₃ B ₃	0,86	a	A
A ₃ B ₂	1,26	ab	A
A ₃ B ₁	1,76	b	AB
A ₂ B ₃	2,57	c	B
A ₂ B ₂	3,16	cd	BC
A ₁ B ₃	3,88	d	C
A ₁ B ₂	4,95	e	D
A ₂ B ₁	5,05	e	D
A ₁ B ₁	6,00	f	E

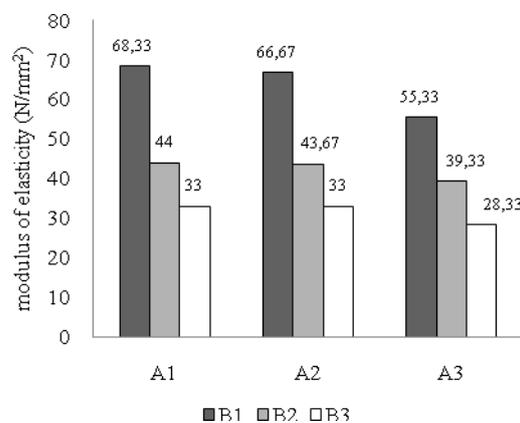
Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

Begitu juga halnya dengan kerapatan, papan partikel dengan kerapatan tinggi memiliki pengembangan tebal yang kecil karena ikatan antar partikelnya kompak. Pembuatan papan partikel dari partikel yang berukuran kecil menghasilkan papan partikel berkerapatan tinggi. Papan partikel berkerapatan tinggi sukar ditembus oleh air karena teksturnya yang padat per volume. Papan partikel berkerapatan rendah akan lebih mudah ditembus oleh air karena banyaknya rongga-rongga yang terbentuk. Air yang masuk ke dalam papan partikel akan mengisi seluruh rongga. Pada saat papan partikel jenuh air, partikel-partikel akan mencoba melepaskan diri dari ikatan antar partikel hingga terjadi pengembangan ke arah tebal. Oleh karena itu, penggunaan partikel yang kecil dapat menurunkan nilai pengembangan tebal papan partikel.

Modulus of Elasticity

Modulus of elasticity merupakan kemampuan suatu bahan menahan lentur tanpa

terjadi perubahan bentuk yang tetap (Fithriani *et al.*, 2006). Nilai rata-rata pengukuran *modulus of elasticity* papan partikel untuk setiap kombinasi perlakuan disajikan pada Gambar 4.



Keterangan :
 A₁ : 1,70 mm B₁ : tanpa penambahan parafin
 A₂ : 1,40 mm B₂ : penambahan parafin 2%
 A₃ : 1,18 mm B₃ : penambahan parafin 4%

Gambar 4. Nilai *modulus of elasticity* dengan kombinasi perlakuan ukuran partikel dan penambahan parafin

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *modulus of elasticity* berkisar antara 28,33 N/mm² sampai 68,33 N/mm². Nilai *modulus of elasticity* tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan A₁B₁ (1,70 mm tanpa penambahan parafin), sedangkan kombinasi perlakuan terendah pada A₃B₃ (1,18 mm dengan penambahan parafin 4%). Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa nilai *modulus of elasticity* dipengaruhi sangat nyata oleh ukuran partikel, penambahan parafin dan interaksi kedua perlakuan. Hasil uji lanjut BNJ pengaruh ukuran partikel terhadap nilai *modulus of elasticity* papan partikel disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Uji BNJ pengaruh ukuran partikel terhadap nilai *modulus of elasticity* papan partikel (N/mm²)

Ukuran Partikel	Rerata	BNJ _{0,05} = 1,97	BNJ _{0,01} = 2,56
A ₃	41,00	a	A
A ₂	47,78	b	B
A ₁	48,44	b	B

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

Hasil uji BNJ pada Tabel 8 menunjukkan bahwa perlakuan A₃ (1,18 mm) berbeda sangat nyata dibanding dengan

perlakuan A₂ (1,40 mm) dan A₁ (1,70 mm). Perlakuan A₂ (1,40 mm) berbeda tidak nyata dibanding dengan perlakuan A₁ (1,70 mm).

Data pada Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai *modulus of elasticity* menurun seiring bertambah kecilnya ukuran partikel. Sesuai dengan pernyataan Wahyuningsih (2011) yang menyatakan bahwa nilai *modulus of elasticity* menurun jika ukuran partikel penyusun papan partikel semakin kecil. Partikel berukuran besar dapat menghasilkan papan partikel dengan elastisitas tinggi. Hal ini terjadi karena pada saat pengempaan, partikel berukuran besar tersusun saling menyilang. Partikel-partikel yang saling menyilang memiliki elastisitas yang tinggi. Hal ini disebabkan partikel yang saling menyilang mampu menahan beban hingga lentur karena adanya ikatan yang saling menopang antar partikel. Penjelasan tersebut sesuai dengan pernyataan Sutigno (1994) dalam Malau (2009) yang menyatakan bahwa bentuk partikel pipih dengan ukuran yang lebih besar akan menghasilkan papan partikel dengan nilai *modulus of elasticity* yang semakin tinggi. Adapun hasil uji lanjut BNJ pengaruh jumlah parafin terhadap nilai *modulus of elasticity* papan partikel disajikan pada Tabel 9.

Hasil uji BNJ pada Tabel 9 menunjukkan bahwa perlakuan B₃ (penambahan parafin 4%) berpengaruh sangat nyata dibanding dengan perlakuan B₂ (penambahan parafin 2 %) dan B₁ (tanpa parafin). Perlakuan B₃ (penambahan parafin 4%) memiliki nilai *modulus of elasticity* terendah, sedangkan perlakuan B₁ (tanpa penambahan parafin) memiliki nilai *modulus of elasticity* tertinggi.

Tabel 9. Uji BNJ pengaruh penambahan parafin terhadap nilai *modulus of elasticity* papan partikel (N/mm²)

Jumlah parafin	Rerata	BNJ _{0,05} = 1,97	BNJ _{0,01} = 2,56
B ₃	31,44	a	A
B ₂	42,33	b	B
B ₁	63,44	c	C

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

Penambahan parafin ke dalam papan partikel berpengaruh negatif terhadap nilai *modulus of elasticity*. Hal ini terlihat pada Tabel 13 dimana nilai *modulus of elasticity* menurun jika kadar parafin bertambah. Penambahan parafin yang terlalu banyak dapat menurunkan daya rekat polivinil asetat. Hal ini diduga oleh sifat minyak pada parafin yang

dapat mengurangi sifat rekat polivinil asetat. Menurut Maloney (1993) dalam Hendrasetiafitri (2002) menyatakan bahwa penambahan parafin kurang dari 1% tidak mempengaruhi kekuatan papan partikel, akan tetapi penambahan parafin lebih dari 1% dapat menurunkan kekuatan papan partikel. Adapun hasil uji lanjut BNJ pengaruh interaksi ukuran partikel dan penambahan parafin terhadap nilai *modulus of elasticity* papan partikel disajikan pada Tabel 10.

Hasil uji BNJ pada Tabel 10 menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan A₃B₃ (1,18 mm dengan penambahan parafin 4%) berpengaruh tidak nyata dibanding dengan kombinasi perlakuan A₁B₃ (1,70 mm dengan penambahan parafin 4%) dan A₂B₃ (1,40 mm dengan penambahan 4%), tetapi berpengaruh sangat nyata dibanding perlakuan lainnya. Nilai *modulus of elasticity* yang tinggi menunjukkan bahwa papan partikel mampu kembali ke bentuk semula jika diberi beban. Sebaliknya, nilai *modulus of elasticity* yang rendah menunjukkan bahwa papan partikel yang dihasilkan tidak mampu kembali ke bentuk semula jika diberi beban.

Tabel 10. Uji BNJ pengaruh interaksi ukuran partikel dan penambahan parafin terhadap nilai *modulus of elasticity* papan partikel (N/mm²)

Perlakuan	Rerata	BNJ _{0,05} = 4,68	BNJ _{0,01} = 5,74
A ₃ B ₃	28,33	a	A
A ₁ B ₃	33,00	a	A
A ₂ B ₃	33,00	a	A
A ₃ B ₂	39,33	b	B
A ₂ B ₂	43,67	b	B
A ₁ B ₂	44,00	b	B
A ₃ B ₁	55,33	c	C
A ₂ B ₁	66,67	d	D
A ₁ B ₁	68,33	d	D

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

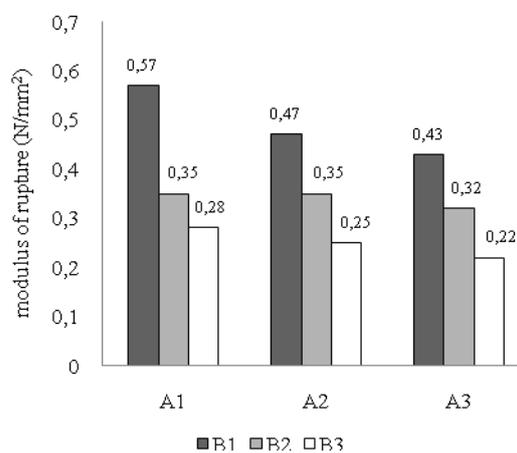
Nilai *modulus of elasticity* mengalami penurunan akibat bertambah banyak parafin yang digunakan. Hal ini diduga karena sifat minyak pada parafin dapat menurunkan sifat rekat polivinil asetat. Nilai *modulus of elasticity* semakin menurun dengan semakin kecil ukuran partikel. Sekam padi memiliki bentuk yang relatif sama dimana memiliki ketebalan yang sama. Ukuran partikel 1,70 mm lebih besar dibanding dengan partikel 1,18 mm sehingga partikel yang berukuran besar

dapat saling menyilang ketika dikempa. Partikel-partikel yang dipadatkan dengan susunan saling menyilang mampu menahan beban lebih besar sehingga lebih elastis.

Modulus of Rupture

Modulus of rupture adalah kekuatan lentur statis suatu bahan menahan beban maksimum per satuan luas hingga bahan tersebut patah (Prasetyo, 2006). Nilai rata-rata pengukuran *modulus of rupture* papan partikel untuk setiap kombinasi perlakuan disajikan pada Gambar 5.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *modulus of rupture* berkisar antara 0,22 N/mm² sampai dengan 0,57 N/mm². Nilai *modulus of rupture* tertinggi dimiliki oleh A₁B₁ (1,70 mm tanpa penambahan parafin), sedangkan nilai *modulus of rupture* terendah dimiliki oleh A₃B₃ (1,18 mm dengan penambahan parafin 4%).



Keterangan :
 A₁ : 1,70 mm B₁ : tanpa penambahan parafin
 A₂ : 1,40 mm B₂ : penambahan parafin 2%
 A₃ : 1,18 mm B₃ : penambahan parafin 4%

Gambar 5. Nilai *modulus of rupture* dengan kombinasi perlakuan ukuran partikel dan penambahan parafin

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa ukuran partikel dan penambahan parafin berpengaruh sangat nyata terhadap *modulus of rupture*, namun interaksi kedua perlakuan berpengaruh tidak nyata. Hasil uji lanjut BNJ pengaruh ukuran partikel terhadap nilai *modulus of rupture* papan partikel disajikan pada Tabel 11.

Hasil uji BNJ pada Tabel 11 menunjukkan bahwa perlakuan A₃ (1,18 mm) tidak berbeda nyata terhadap perlakuan A₂ (1,40 mm), tetapi berbeda sangat nyata terhadap perlakuan A₁ (1,70 mm). Nilai *modulus of rupture* tertinggi terdapat pada perlakuan perlakuan A₁ (1,70 mm) dan

terendah pada perlakuan A₃ (1,18 mm). Nilai *modulus of rupture* yang tinggi mengindikasikan bahwa papan partikel yang dihasilkan tidak mudah patah, sedangkan nilai *modulus of rupture* yang rendah mengindikasikan bahwa papan partikel yang dihasilkan mudah patah.

Tabel 11. Uji BNJ pengaruh ukuran partikel terhadap nilai *modulus of rupture* papan partikel (N/mm²)

Ukuran Partikel	Rerata	BNJ _{0,05} = 0,05	BNJ _{0,01} = 0,06
A ₃	0,33	a	A
A ₂	0,36	a b	A B
A ₁	0,40	b	B

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

Sutigno (2011) menyatakan bahwa papan partikel yang terbuat dari tatal memiliki kekuatan yang lebih baik dibanding yang terbuat dari serbuk. Partikel ukuran tatal lebih besar daripada partikel ukuran serbuk. Hal tersebut serupa dengan Tabel 15 dimana terjadi penurunan nilai *modulus of rupture* akibat semakin kecil ukuran partikel. Ukuran partikel 1,18 mm lebih kecil dibanding dengan partikel 1,70 mm. Susunan partikel-partikel yang berukuran besar dapat menahan beban lebih besar dibanding dengan partikel-partikel kecil. Hal ini disebabkan karena partikel-partikel yang terbentuk saling menyilang membagi beban ke seluruh ikatan partikel. Wahyuningsih (2011) menyatakan bahwa semakin kecil ukuran partikel penyusun papan partikel maka nilai *modulus of rupture* papan partikel tersebut akan semakin kecil. Hasil uji lanjut BNJ pengaruh penambahan parafin terhadap nilai *modulus of rupture* papan partikel disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Uji BNJ pengaruh penambahan parafin terhadap nilai *modulus of rupture* papan partikel (N/mm²)

Jumlah parafin	Rerata	BNJ _{0,05} = 0,05	BNJ _{0,01} = 0,06
B ₃	0,25	a	A
B ₂	0,34	b	B
B ₁	0,49	c	C

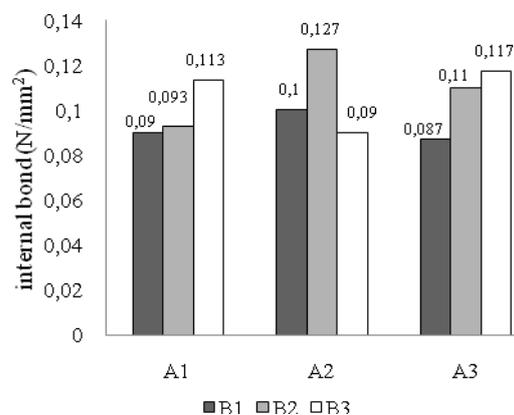
Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah berbeda tidak nyata

Berdasarkan hasil uji lanjut BNJ pada Tabel 12, perlakuan B₃ (penambahan parafin 4%) berpengaruh sangat nyata dibanding dengan perlakuan B₂ (penambahan parafin 2%)

dan B₁ (tanpa penambahan parafin). Penambahan kadar parafin berpengaruh negatif terhadap nilai *modulus of rupture*. Data pada Tabel 12 menunjukkan bahwa nilai *modulus of rupture* cenderung menurun dengan bertambah banyak kadar parafin. Hal ini disebabkan oleh kandungan minyak pada parafin yang dapat menurunkan sifat rekat polivinil asetat. Semakin banyak parafin yang ditambahkan maka semakin berkurang daya rekat polivinil asetat. Penurunan daya rekat menyebabkan papan partikel yang dihasilkan mudah patah. Maloney (1993) dalam Hendrasetiafitri (2002) menyatakan bahwa penambahan parafin kurang dari 1% tidak mempengaruhi kekuatan papan partikel, akan tetapi penambahan parafin lebih dari 1% dapat menurunkan kekuatan papan partikel.

Internal Bond

Internal bond merupakan keteguhan rekat antar partikel-partikel penyusun papan partikel. *Internal bond* dipakai sebagai indikator daya tahan papan terhadap kemungkinan pecah atau hancur (Prasetyo, 2006). Nilai rata-rata pengukuran *internal bond* papan partikel untuk setiap kombinasi perlakuan disajikan pada Gambar 6.



Keterangan :

A₁ : 1,70 mm B₁ : tanpa penambahan parafin
 A₂ : 1,40 mm B₂ : penambahan parafin 2%
 A₃ : 1,18 mm B₃ : penambahan parafin 4%

Gambar 6. Nilai *internal bond* dengan kombinasi perlakuan ukuran partikel dan penambahan parafin

Dari Gambar 6 terlihat bahwa nilai *internal bond* berkisar antara 0,087 N/mm² sampai dengan 0,127 N/mm². Nilai *internal bond* tertinggi dimiliki oleh kombinasi perlakuan A₂B₂ (1,40 mm dengan penambahan parafin 2%), sedangkan nilai *internal bond* terendah dimiliki oleh A₃B₁ (1,18 mm tanpa penambahan parafin). Hasil analisis

keragaman menunjukkan bahwa perlakuan ukuran partikel, perlakuan penambahan parafin dan interaksi kedua perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap nilai *internal bond*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Ukuran partikel berpengaruh sangat nyata terhadap kerapatan, kadar air, pengembangan tebal, *modulus of elasticity*, *modulus of rupture*, tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap *internal bond*. Penambahan parafin berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air, pengembangan tebal, *modulus of elasticity* dan *modulus of rupture*, tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap kerapatan dan *internal bond*. Interaksi ukuran partikel dan penambahan parafin berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air, pengembangan tebal dan *modulus of elasticity*, tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap kerapatan, *modulus of rupture* dan *internal bond*.

Pada penelitian ini, papan partikel ukuran 1,18 mm dengan penambahan parafin 4% (A₃B₃) merupakan perlakuan terbaik dengan kerapatan 438 kg/m³, kadar air 9,04%, pengembangan tebal 0,86%, *modulus of elasticity* 28,33 N/mm², *modulus of rupture* 0,22 N/mm² dan *internal bond* 0,12 N/mm².

Saran

Papan partikel yang dihasilkan masih belum memenuhi standar SNI 03-2105-2006 khususnya karakteristik mekanik yaitu *modulus of elasticity*, *modulus of rupture* dan *internal bond*. Disarankan papan partikel yang dihasilkan sebaiknya digunakan sebagai *paving block* atau penutup dinding dan plafon.

DAFTAR PUSTAKA

- Arbintarso, E. S. dan Wibowo, H. 2008. Modulus Elastis dan Modulus Pecah Papan Partikel Sekam Padi. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 1(1):21-25.
- Bahtiar, A. 2008. Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel dari Bahan Baku Limbah Penyulingan Biji Pala dengan Kayu Karet. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Carll, C. 1986. Wood Particleboard and Flakeboard: Types, Grades, and Uses. United States department of Agriculture.

- Departemen Pertanian Republik Indonesia. 2008. Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif Dalam Rumah Tangga Petani. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Diana, Y. 2011. Sifat Fisik Papan Partikel Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) dengan Kadar Air Purun dan Konsentrasi Perekat yang Berbeda. Skripsi. Universitas Sriwijaya, Indralaya.
- Fithriani, D., Nugroho, T., dan Basmal, J. 2006. Pengaruh Waktu Pengempaan Terhadap Karakteristik Papan Partikel dari Limbah Padat Pengolahan *Gracilaria* sp. Jurnal. Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.
- Fuadi. 2009. Kualitas Papan Partikel Tandan Kosong Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Menggunakan Perekat Aminoplast. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hendraseti Fitri, C. 2002. Pengembangan Teknologi Papan Komposit dari Limbah Batang Pisang (*Musa* sp.) : Sifat Fisis dan Mekanis Papan pada Berbagai Kadar Perekat dan Parafin. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Iswanto, H. A. 2008. Pengujian Siklis Papan Partikel. Karya Tulis. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Jamilah, M. 2009. Kualitas Papan Komposit dari Limbah Batang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) dan Polyethylene (PE) Daur Ulang. Skripsi. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Malau, M. K. 2009. Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Bahan Baku dalam Pembuatan Papan Partikel. Skripsi. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Mujtahid. 2010. Pengaruh Ukuran Serbuk Aren Terhadap Kekuatan Bending, Densitas dan Hambatan Panas Komposit Semen-Serbuk Aren (*Arenga pinnata*). Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Prasetyo, A. 2006. Kualitas Papan Partikel Limbah dan Likuida Bambu dengan Fortifikasi Melamin Formaldehid. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Prayitno, A. T. 1997. Kajian Distribusi Perekat pada Pembuatan Papan Partikel. Buletin Kehutanan, (31):37-50.
- Putriani, V. 2005. Kualitas Papan Partikel Core Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) pada Berbagai Kadar Parafin Dalam Bentuk Emulsi. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sidabutar, R. N. 2009. Pengaruh Parafin pada Pembuatan Papan Partikel Serat Acak Sabut Kelapa. Skripsi. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- SNI 03-2105-2006. 2006. Papan Partikel. Badan Standarisasi Nasional.
- Sutigno, P. 2011. Mutu Produk Papan Partikel. Karya Tulis. Departemen Kehutanan.
- Syahidah dan Cahyono, D. T. 2007. Stabilisasi Dimensi Kayu dengan Aplikasi Parafin Cair. Jurnal Perennial, 4(1):18-22.
- Wahyuningsih, S. N. 2011. Pengaruh Perendaman dan Geometri Partikel Terhadap Kualitas Papan Partikel Sekam Padi. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.