

**OPTIMASI PROSES PRODUKSI PAPAN PARTIKEL
DARI AMPAS BIJI JARAK PAGAR (*Jatropha curcas* L.)**

**PROCESS OPTIMIZATION OF PARTICLE BOARD PRODUCTION
FROM JATROPHA (*Jatropha curcas* L.) SEED CAKE**

Fherdes Setiawan¹⁾, Ika Amalia Kartika^{2)*}, Mohamad Yani²⁾, Dede Hermawan³⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Sekolah Pasca Sarjana IPB,
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

²⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, FATETA IPB
Kampus IPB Darmaga P.O. Box 220 Bogor 16602, Telp: 62-251-8621974 / 8620224
E-mail: ikatk@yahoo.com

³⁾Departemen Teknologi Hasil Hutan, FAHUTAN IPB

Makalah: Diterima 1 Juli 2015; Diperbaiki 12 Februari 2016; Disetujui 26 Februari 2016

ABSTRACT

Jatropha seed cake contained fiber and protein compounds that can be utilized as a biocomposite products such as particle board. The optimization of production process of particle board conducted with four factors : moisture content, steaming time, pressing temperature, and pressing time. The experimental design used central composite design (CCD) by using response surface method (RSM). Physical and mechanical properties (density, moisture content, water absorption, MOR and MOE) were tested with JIS A 5908-2003. The quality of particleboard from jatropha seed cake were density 0.88 – 1.15 g/cm³, moisture content 6.53 – 10.27%, water absorption at 2 hours 17 – 46%, water absorption at 24 hours 31 – 54%, MOR 36.2 – 275 kg_f/cm², and MOE 2200 – 14500 kg_f/cm². The optimization models multi response was evaluated. The optimum of production process was obtained at moisture content 15%, steaming time 25 minutes, pressing temperature 180°C, and pressing time 8 minutes, where the quality of particleboard product were at moisture content 6.51%, water absorption at 24 hours 34.67%, MOR 275 kg_f/cm², and MOE 14600 kg_f/cm².

Keywords : jatropha seed cake, particleboard, response surface method

ABSTRAK

Ampas biji jarak sebagai campuran serat dan protein merupakan komposit alami yang dapat dimanfaatkan menjadi produk biokomposit seperti papan partikel. Optimasi proses produksi papan partikel dilakukan dengan empat faktor perlakuan kadar air bahan, waktu kukus, suhu kempa, dan waktu kempa. Rancangan percobaan menggunakan *central composite design* (CCD) dengan metode *response surface method* (RSM). Respon parameter mutu papan partikel meliputi sifat fisik-kimia sesuai dengan JIS A 5908-2003. Kualitas produk papan partikel dari ampas biji jarak pagar adalah densitas 0,88 – 1,15 g/cm³, kadar air 6,53 – 10,27%, penyerapan air dalam 2 jam 17 – 46%, penyerapan air dalam 24 jam 31 – 54%, MOR 36,2 – 275 kg_f/cm², dan MOE 2.200 – 14.500 kg_f/cm². Model optimasi multi respon telah dievaluasi. Kondisi proses produksi optimum diperoleh pada kadar air bahan 15%, waktu kukus 22 menit, suhu kempa 180°C, dan waktu kempa 8 menit dengan respon yang dihasilkan kadar air 6,51%, daya serap air 34,67%, MOR 275kg_f/cm², dan MOE 14.600 kg_f/cm².

Kata kunci : ampas jarak pagar, papan partikel, *response surface method*

PENDAHULUAN

Biji jarak pagar telah digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel dengan kadar minyak mencapai 38%, dan hasil samping berupa ampas biji jarak pagar yang mengandung komponen - komponen seperti protein (18%), serat (15,5%), air (6,2%), abu (5,3%), dan karbohidrat (17%) (Nurcholis dan Sumarsih, 2007). Sejauh ini, ampas biji jarak pagar dimanfaatkan sebagai biobriket (Budiman *et al.*, 2010), pakan ternak (Sudrajat *et al.*, 2008) atau pupuk organik (Rivaie, 2006).

Campuran serat dan protein dapat dianggap sebagai komposit alami (Evon *et al.*, 2010)

sebagaimana ampas biji jarak pagar yang dapat dimanfaatkan menjadi produk komposit seperti papan partikel melalui proses kempa panas. Pada umumnya pembuatan papan partikel atau papan komposit memanfaatkan bahan dengan komponen utamanya adalah lignin, selulosa dan hemiselulosa dengan menggunakan perekat sintesis seperti urea formaldehida (UF) dan fenol-formaldehida (PF). Penggunaan perekat sintesis memiliki dampak buruk terhadap lingkungan dan kesehatan. Upaya dalam mengurangi penggunaan perekat sintesis dalam pembuatan papan partikel telah banyak dilakukan dengan memanfaatkan perekat alami seperti protein (Li *et al.*, 2009; Evon *et al.*, 2010; Ciannamea *et al.*, 2010). Protein memiliki kemampuan sebagai

perekat alami karena protein mampu berikatan dengan polimer lain melalui proses kempa panas.

Penggunaan protein sebagai perekat alami telah dilakukan dalam pembuatan papan partikel dari ampas tanaman bunga matahari oleh Evon *et al.* (2010). Karakteristik papan yang dihasilkan adalah MOR (*modulus of rupture*) sebesar 11,3 – 115 kg_f/cm² dan MOE (*modulus of elasticity*) sebesar 21.100-22.200 kg_f/cm² yang diperoleh pada kondisi proses suhu pengempaan 180-200°C, tekanan kempa 320 kg_f/cm² dan waktu kempa 60 detik. Li *et al.* (2009) memanfaatkan serat kayu dengan protein kedelai sebagai perekat alami. Karakteristik papan yang dihasilkan yaitu MOR sebesar 337 kg_f/cm² dan MOE 28.470kg_f/cm², pengembangan tebal 23,9% dan daya serap air 64,3%. Kondisi proses untuk memperoleh hasil tersebut adalah kadar air bahan sebesar 35%, suhu pengempaan 192 -200°C dan waktu pengempaan 13 – 14,5 menit. Dalam penelitian yang lainnya, Ciannamea *et al.* (2010) memproduksi papan partikel kerapatan medium dari sekam padi dengan menggunakan perekat alami dari konsentrat protein kacang kedelai. Karakteristik papan yang dihasilkan yaitu MOR 184 kg_f/cm², MOE sebesar 28.440kg_f/cm² dan *internal bonding* (IB) 4,5 kg_f/cm².

Penelitian pembuatan papan partikel dari ampas biji jarak pagar telah dilakukan oleh Lestari dan Kartika (2012) dengan mutu papan partikel yang dihasilkan adalah kerapatan 0,79 - 0,91 g/cm³, kadar air 7,07 - 10,06%, pengembangan tebal 14,88 - 30,60%, daya serap air 51,67 - 82,93%, MOR 20 – 65 kg_f/cm², dan MOE 2.300-5.100 kg_f/cm² pada kondisi proses kadar air bahan 10 - 20% dan suhu kempa 140 - 180°C selama 8 – 12 menit. Penelitian ini dilanjutkan oleh Kartika *et al.* (2013) dengan menambahkan faktor perlakuan pengukusan (0 – 60 menit) dan penambahan gliserol (0 - 4%) pada suhu dan tekanan yang telah ditetapkan yaitu 200°C dan 200 kg_f/cm². Mutu papan partikel yang dihasilkan adalah kerapatan 0,7 – 0,9 g/cm³, kadar air 6 – 9%, daya serap air 50 – 100%, pengembangan tebal 20 – 28%, MOE 2.700 – 8.000 kg_f/cm², dan MOR 15 – 66 kg_f/cm².

Penelitian yang dilakukan oleh Lestari dan Kartika (2012) dan Kartika *et al.* (2013) belum melakukan prediksi respon mutu papan partikel pada masing kombinasi taraf faktor perlakuan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian optimasi proses produksi papan partikel dari ampas biji jarak pagar perlu dilakukan dengan membuat model matematika yang menyatakan hubungan kombinasi taraf faktor perlakuan terhadap mutu papan partikel untuk memperoleh hasil yang optimum. Pemilihan faktor dan taraf perlakuan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan hasil penelitian Lestari dan Kartika (2012) dan Kartika *et al.* (2013) dimana faktor kadar air ampas, waktu kukus, suhu kempa, dan waktu kempa berpengaruh nyata terhadap mutu papan yang dihasilkan. Nilai tengah

taraf faktor yang selanjutnya akan dioptimasi adalah kadar air ampas 20%, waktu kukus 30 menit, suhu kempa 160°C, dan waktu kempa 6 menit.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui sifat fisik dan mekanik papan partikel ampas biji jarak pagar dan menentukan kombinasi taraf faktor (kadar air ampas, waktu kukus, suhu kempa, dan waktu kempa) yang optimum untuk menghasilkan mutu papan partikel yang terbaik.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan papan partikel ini adalah ampas biji jarak pagar hasil ekstraksi minyak secara mekanis. Bahan baku diperoleh dari PT. Jedo Indonesia. Alat-alat yang digunakan yaitu mesin kempa panas, *universal testing machine* (UTM) dengan merk INSTRON, jangka sorong, timbangan, alat pemotong papan, peralatan untuk uji proksimat dan alat-alat gelas lainnya.

Metode

Pembuatan papan partikel dari ampas biji jarak pagar melalui tahapan perlakuan pendahuluan (peningkatan kadar air ampas dan pengukusan), pembuatan lembaran dan proses pengempaan papan. Ampas biji jarak pagar dikeringkan dan digiling dengan menggunakan *willey mill* untuk mendapatkan serbuk berukuran 50 mesh. Ampas biji jarak pagar selanjutnya dikarakterisasi dengan menganalisis kadar air, kadar minyak, kadar protein, kadar abu, kadar serat kasar, dan kadar karbohidratnya (SNI 01-2891-1992). Pada pembuatan papan partikel, ampas biji jarak pagar sebelumnya diberi perlakuan peningkatan kadar air ampas sebesar 10, 15, 20, 25, dan 30%, serta pengukusan selama 0, 15, 30, 45 dan 60 menit.

Papan partikel ampas biji jarak pagar yang diproduksi berukuran 10 cm x 10 cm x 0,5 cm. Kerapatan papan partikel ditargetkan sebesar 0,9 g/cm³ dengan cara mengatur jumlah bahan dan dimensi cetakan papan. Jumlah bahan yang digunakan sebanyak 45 g dengan target dimensi papan partikel 10 cm x 10 cm x 0,5 cm dengan volume 50 cm³. Pembentukan lembaran (*mat forming*) papan partikel dilakukan dengan menempatkan ampas pada cetakan. Pada proses ini, diusahakan pendistribusian campuran pada alat pencetak tersebar secara merata agar diperoleh kerapatan yang seragam.

Proses pengempaan dilakukan setelah lembaran papan partikel terbentuk. Proses pengempaan dilakukan dengan menggunakan mesin kempa panas pada suhu 120 – 200°C selama 2 – 10 menit dan tekanan sebesar 200 kg_f/cm². Setelah pengempaan, papan partikel dikondisikan selama 14 hari pada suhu 30°C untuk menghilangkan tegangan-tegangan pada papan setelah pengempaan.

Papan partikel ampas biji jarak pagar selanjutnya dipotong-potong menjadi contoh uji yang mengacu pada ASTM D 143:2007. Pengujian sifat fisik dan mekaniknya mengacu pada JIS A 5908 : 2003. Parameter-parameter fisik dan mekanik yang diuji meliputi kadar air, kerapatan, daya serap air, keteguhan patah (MOR), dan kekuatan lentur (MOE).

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan gabungan terpusat (*Central Composite Design, CCD*) dengan faktor – faktor yang diteliti meliputi kadar air bahan (10 – 30%), waktu kukus (0 – 60 menit), suhu kempa (120 – 200°C) dan waktu kempa (2 – 10 menit) (Tabel 1). Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah dengan analisis statistik ANOVA dengan selang kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing faktor dan interaksinya terhadap mutu papan partikel. Optimasi dilakukan untuk memperoleh nilai faktor - faktor yang optimum pada masing-masing respon dengan menggunakan *Response Surface Methode* (RSM). Program yang digunakan dalam pengolahan data adalah *Design Expert 9.0.8*.

Model yang digunakan untuk optimasi adalah polynomial orde kedua dengan rumus sebagai berikut (Montgomery, 2001) :

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

Keterangan :

- Y : Respon pengamatan
- β_0 : Titik potong
- β_i : Koefisien linier
- β_{ii} : Koefisien kuadratik
- β_{ij} : Koefisien interaksi perlakuan
- X_i : Kode perlakuan untuk faktor X ke i
- X_j : Kode perlakuan untuk faktor X ke j
- ε : Galat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Ampas Biji Jarak Pagar

Berdasarkan hasil uji proksimat ampas biji jarak pagar (Tabel 2), kadar protein dan serat kasar memiliki nilai yang cukup tinggi. Kadar protein yang diperoleh pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya (Diebel *et al.*, 2012) yaitu sekitar 21%, sedikit lebih rendah (22,9%) dari hasil penelitian Lestari *et al.* (2011) dan lebih tinggi (18,1%) dari penelitian Kartika *et al.* (2013). Kadar protein yang diperoleh dalam penelitian Lestari dan Kartika (2012) mencapai 34,68%, lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian yang lainnya. Hal ini disebabkan karena proses pengecilan ukuran ampas hingga menjadi 40

mesh mengurangi proporsi kadar serat yang tidak lolos dalam proses penyaringan sehingga meningkatkan proporsi kadar protein pada bahan.

Serat kasar yang merupakan komponen tertinggi mencapai 38,70% tidak jauh berbeda dengan penelitian sebelumnya (38,6%) (Kartika *et al.*, 2013) dan lebih tinggi dari penelitian Hidayat *et al.* (2014) yaitu 25,9%. Kadar serat yang diperoleh pada penelitian Lestari dan Kartika (2012) jauh lebih rendah yaitu 18,83%. Hal ini berbanding terbalik dengan proporsi protein yang semakin meningkat akibat proses pengecilan ukuran dan penyaringan. Protein dan serat menjadi komponen utama dalam pembuatan papan partikel tanpa perekat (*binderless particleboard*).

Tabel 2. Karakteristik ampas biji jarak pagar

Komposisi	Nilai (% bb)
Protein	21,25 ± 0,14
Minyak	10,75 ± 0,06
Air	10,01 ± 0,04
Serat Kasar	38,70 ± 0,05
Kadar Abu	6,15 ± 0,07
Karbohidrat (<i>By different</i>)	13,16 ± 0,20

Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat sebagai pengisi dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut matrik. Sebagai campuran serat dan protein ampas biji jarak pagar termasuk dalam komposit alami dengan serat sebagai bahan utamanya dan protein sebagai perekat alami. Protein dapat dijadikan sebagai perekat alami yang ramah lingkungan menggantikan urea-formaldehida (UF) dan phenol-formaldehida (PF) dalam pembuatan papan partikel (Ciannamea *et al.* 2010). Menurut Mo *et al.* (2001), daya rekat pada protein disebabkan oleh proses denaturasi yaitu perubahan struktur protein yang menjadi relatif lebih longgar dan acak akibat panas. Hal tersebut meningkatkan daya rekat protein dengan polimer lain seperti serat. Protein juga kaya akan grup polar seperti grup hidroksi, amida, dan grup karboksil sehingga dapat menyebabkan terjadinya interaksi antara grup polar protein dengan grup polar serat (selulosa, hemiselulosa, dan lignin). Menurut Lestari *et al.* (2011), protein pada ampas biji jarak pagar memiliki daya rekat yang hampir sama bahkan lebih baik dibandingkan dengan perekat komersial seperti kasein yang digunakan sebagai perekat label. Perekat yang terbuat dari protein ampas biji jarak pagar dalam larutan NaOH 0,055 M memiliki viskositas yang lebih tinggi (4338 cP) dibandingkan kasein (888 cP) dengan bobot massa kering yang sama (13%). Selain itu, protein ampas biji jarak pagar memiliki waktu *set time* yang lebih cepat (2,25 menit) dibandingkan kasein (2,5 menit). Sebaliknya waktu *open time* protein ampas biji jarak pagar lebih lama (8 - 9,5 menit)

dibandingkan kasein (3,5 menit). Berdasarkan perbandingan tersebut, protein ampas biji jarak pagar mengindikasikan sifat sebagai perekat alami yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan perekat komersial seperti kasein.

Kadar lemak/minyak yang masih tersisa dari hasil proses ekstraksi adalah sebesar 10,75% (Tabel 2). Nilai ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hidayat *et al.* (2014), yaitu sebesar 12,0%, dan lebih besar dari kadar minyak ampas biji jarak pagar yang dihasilkan dalam penelitian Lestari dan Kartika (2012) dan Kartika *et al.* (2013) yang masing-masing nilainya 4,8% dan 7,6%. Kadar minyak yang tersisa pada ampas sangat dipengaruhi oleh metode ekstraksi minyak yang digunakan. Ampas biji jarak pagar yang digunakan dalam penelitian ini dan yang digunakan oleh Hidayat *et al.* (2014) adalah hasil pengepresan secara mekanis. Metode pengepresan secara mekanis akan menyebabkan sebagian minyak tertinggal pada ampas dan alat. Lestari dan Kartika (2012) dan Kartika *et al.* (2013) menghasilkan ampas biji jarak pagar dari hasil samping proses pembuatan biodiesel melalui proses transesterifikasi *in situ*. Proses transesterifikasi *in situ* lebih efektif dalam mengekstraksi minyak pada biji jarak pagar sehingga tidak banyak minyak yang tertinggal pada ampas yang dihasilkan. Sisa minyak pada ampas berdampak negatif terhadap kualitas papan yang dihasilkan seperti warna papan yang gelap dan bau yang tidak enak (Hidayat *et al.*, 2014). Kadar minyak pada bahan dapat dikurangi dengan menggunakan pelarut organik seperti heksan, petroleum eter, benzen dan karbon tetraklorida.

Kadar air ampas yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 10,01% (Tabel 2). Kadar air yang dihasilkan dalam penelitian ini cukup tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian Lestari dan Kartika (2012), Kartika *et al.* (2013) dan Hidayat *et al.* (2014) yang masing-masing nilainya 5,64%, 6,6%, dan 4,1%. Kadar air yang lebih tinggi ini dapat disebabkan karena terjadinya penyerapan air dari udara selama penyimpanan ampas secara terbuka sebelum diproduksi menjadi papan partikel. Kandungan serat pada ampas yang bersifat higroskopis menyebabkan bahan mudah menyerap air dari udara sehingga kadar air pada bahan meningkat. Pada dasarnya air pada bahan berperan sebagai plastisizer yang dapat mengurangi suhu eksotermik protein dan meningkatkan pergerakan rantai polipeptida protein (Li *et al.*, 2009). Hal tersebut memungkinkannya untuk berinteraksi lebih mudah dengan polimer lain.

Karakteristik Produk Papan Partikel Ampas Biji Jarak Pagar

Sifat fisik dan mekanik papan partikel ampas biji jarak pagar yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Kerapatan

Kerapatan papan partikel merupakan salah satu sifat fisik yang sangat berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik lainnya. Kerapatan menunjukkan perbandingan satuan massa dengan volume. Dalam penelitian ini kerapatan papan yang diperoleh berkisar antara 0,88 – 1,15 g/cm³ (Tabel 3) dengan rata-rata 1,01 g/cm³. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kerapatan berada di atas standar JIS A 5908 : 2003 (0,40 – 0,90 g/cm³) untuk papan partikel kategori kerapatan sedang. Nilai kerapatan yang dihasilkan dalam penelitian ini lebih tinggi dari nilai kerapatan target sebesar 0,9 g/cm³. Hal ini disebabkan karena ukuran partikel bahan yang diperkecil hingga 50 mesh. Ukuran partikel yang semakin kecil meningkatkan luas permukaan bahan sehingga ikatan antar partikel semakin meningkat (Okuda dan Sato, 2004). Banyaknya partikel-partikel bahan yang saling berikatan menjadikan papan lebih kompak dan padat sehingga berdampak pada peningkatan nilai kerapatan.

Berdasarkan hasil analisis regresi untuk respon kerapatan papan partikel diperoleh model linier (orde ke-1) dengan signifikansi model yang berpengaruh nyata ($p = 0,0016$). Model interaksi dan kuadratik memiliki signifikansi yang tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) sehingga model yang dipilih adalah model linier. *Lack of fit* model linier memiliki nilai $p > 0,05$, hal ini menunjukkan bahwa model yang didapatkan telah tepat. Koefisien determinasi cukup kecil ($R^2 = 0,298$). Hal ini disebabkan oleh nilai kerapatan sangat dipengaruhi oleh keseragaman kerapatan yang telah ditetapkan pada saat proses produksi papan partikel. Model ini tidak dapat dijadikan sebagai model optimasi karena tidak dapat diperoleh titik stasioner (maksimum/minimum). Model respon kerapatan yang diperoleh adalah $Y = 1,00 - 0,036X_1 + 0,026X_2$.

Kadar Air

Kadar air papan partikel yang dihasilkan dalam penelitian ini antara 6,47– 10,27% dengan rata-rata 7,88%. Secara keseluruhan kadar air papan partikel telah memenuhi standar JIS 5908-2003 yaitu 5 – 13%. Berdasarkan hasil analisis ragam pada model linier, keempat faktor perlakuan berpengaruh nyata terhadap kadar air papan. Kadar air bahan dan waktu kukus berpengaruh meningkatkan kadar air papan, sedangkan suhu dan waktu kempa berpengaruh sebaliknya. Besarnya pengaruh dari masing-masing faktor tersebut dapat dilihat pada model respon kadar air, $Y = 7,86 + 0,54 X_1 + 0,34 X_2 - 0,55X_3 - 0,47 X_4$.

Besarnya pengaruh masing-masing faktor dapat dilihat berdasarkan besarnya nilai koefisien regresi (negatif/positif) yang dimiliki. Nilai terbaik untuk respon kadar air adalah 6,43% pada kondisi proses optimum untuk kadar air ampas 15%, waktu kukus 15 menit, suhu kempa 180°C, dan waktu kempa 8 menit. Kriteria penetapan respon kadar air adalah nilai minimum.

Tabel 3. Sifat fisik dan mekanik papan partikel ampas biji jarak pagar

Kadar Air (%)	Suhu Kempa (°C)	Waktu Kempa (menit)	Waktu Kukus (menit)	Kerapatan (g/cm ³)		Kadar Air (%)		DSA 2 Jam (%)		DSA 24 Jam (%)		MOR (kgf/cm ²)		MOE (kgf/cm ²)	
15	140	4	15	1,02	± 0,03	7,13	± 0,05	33	± 2,01	46	± 3,58	89,1	± 5,0	3.900	± 300
25	140	4	15	0,92	± 0,01	9,22	± 0,15	40	± 0,72	43	± 2,07	36,2	± 0,8	2.200	± 400
15	180	4	15	1,04	± 0,04	6,87	± 0,01	25	± 0,25	43	± 4,84	166,5	± 16,8	8.000	± 500
25	180	4	15	0,95	± 0,23	8,27	± 0,14	36	± 4,92	40	± 4,49	96,7	± 19,9	5.100	± 1.000
15	140	8	15	1,08	± 0,05	7,37	± 0,22	20	± 4,28	38	± 2,93	160,9	± 0,6	8.200	± 1.100
25	140	8	15	1,02	± 0,04	7,91	± 0,12	29	± 0,02	34	± 4,78	140,4	± 8,4	6.300	± 700
15	180	8	15	1,05	± 0,04	7,40	± 0,23	17	± 0,18	33	± 0,64	253,7	± 18,3	12.900	± 2.200
25	180	8	15	0,99	± 0,05	6,54	± 0,05	25	± 2,89	41	± 2,96	177,2	± 1,7	8.900	± 800
15	140	4	45	0,98	± 0,02	8,28	± 0,32	40	± 4,36	43	± 1,56	95,9	± 0,1	4.000	± 2.200
25	140	4	45	0,90	± 0,02	10,27	± 0,16	46	± 2,75	50	± 0,27	42,3	± 1,1	3.300	± 800
15	180	4	45	1,02	± 0,08	7,44	± 0,65	36	± 5,75	48	± 0,32	267,6	± 9,2	12.800	± 500
25	180	4	45	0,91	± 0,11	9,65	± 1,57	36	± 1,23	42	± 5,83	120,6	± 6,9	6.100	± 700
15	140	8	45	0,98	± 0,05	7,37	± 0,22	40	± 3,05	46	± 0,51	189,5	± 11,0	8.200	± 400
25	140	8	45	0,90	± 0,02	9,66	± 1,13	42	± 2,43	49	± 4,25	104,0	± 0,6	5.900	± 700
15	180	8	45	1,14	± 0,10	6,53	± 0,47	20	± 2,91	39	± 0,06	261,8	± 10,4	14.500	± 1.000
25	180	8	45	1,07	± 0,14	7,29	± 0,08	40	± 1,44	42	± 6,00	146,2	± 2,70	5.400	± 400
10	160	6	30	1,11	± 0,04	7,33	± 0,17	29	± 1,17	36	± 1,57	220,6	± 5,40	10.800	± 1.600
30	160	6	30	1,00	± 0,05	7,73	± 0,14	35	± 1,06	35	± 1,99	135,9	± 1,40	5.800	± 400
20	120	6	30	1,01	± 0,04	9,48	± 0,38	30	± 3,58	39	± 2,34	99,2	± 0,90	4.200	± 200
20	200	6	30	1,15	± 0,01	6,47	± 0,31	30	± 4,41	33	± 3,13	195,8	± 21,9	7.700	± 200
20	160	2	30	0,98	± 0,03	8,83	± 0,07	43	± 5,59	54	± 4,76	51,5	± 0,5	2.500	± 600
20	160	10	30	1,01	± 0,11	6,68	± 0,14	25	± 6,34	31	± 0,68	238,8	± 2,3	11.500	± 1.100
20	160	6	0	1,00	± 0,04	7,30	± 0,01	27	± 2,34	33	± 2,49	116,6	± 4,3	4.200	± 600
20	160	6	60	1,03	± 0,07	8,51	± 0,73	38	± 0,57	44	± 0,90	132,5	± 9,8	3.800	± 500
20	160	6	30	1,04	± 0,08	7,54	± 0,27	33	± 5,38	36	± 4,14	235,9	± 25	11.300	± 1.800

Peningkatan kadar air bahan dan lamanya waktu kukus menyebabkan kadar air papan semakin tinggi (Gambar 2). Semakin tinggi kadar air bahan maka semakin tinggi kadar air papan komposit (Hakim dan Febrianto, 2005). Semakin lama waktu pengukusan maka air pengukusan akan semakin banyak yang terserap oleh bahan. Kadar air ampas dan waktu kukus optimum untuk respon kadar air papan partikel adalah 15% dan 15 menit. Pada kadar air ampas dan waktu kukus tersebut, kadar air papan partikel meningkat mendekati kadar optimum.

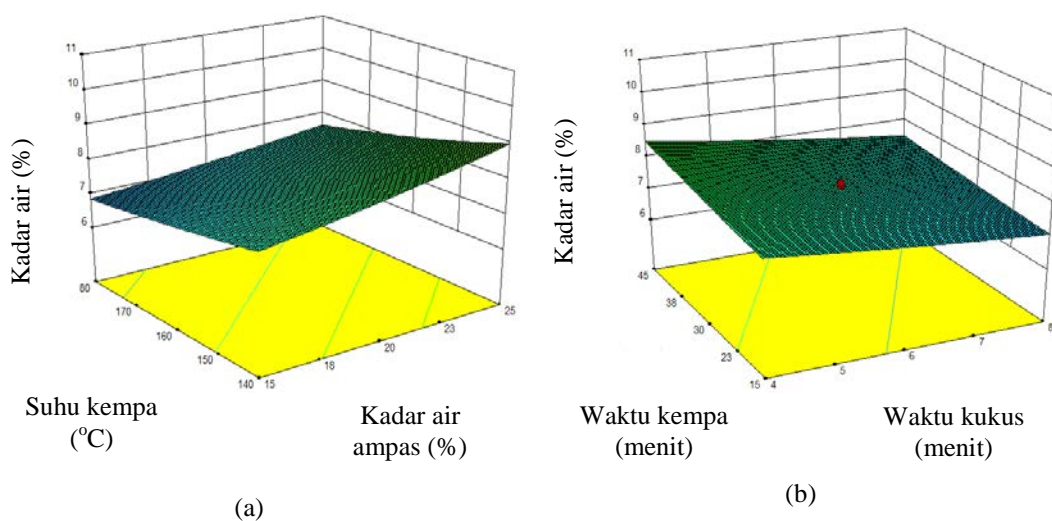
Waktu kempa dan suhu kempa akan mempengaruhi banyaknya uap air yang terlepas pada saat proses pengempaan papan. Semakin lama waktu kempa dan semakin tinggi suhu kempa maka akan semakin banyak air yang terlepas dari bahan sehingga kadar air pada papan akan semakin berkurang (Gambar 2). Proses pemanasan selama produksi papan partikel menyebabkan terbentuknya ikatan hidrogen antar molekul lignin-selulosa dan lignin-hemiselulosa (Nadhari *et al.*, 2013) berdampak pada berkurangnya gugus hidroksil yang bersifat hidrofilik pada papan. Hal ini menyebabkan sifat higroskopis papan menjadi berkurang. Suhu dan waktu kempa optimum untuk respon kadar air adalah 180°C selama 8 menit. Pada suhu dan waktu kempa tersebut proses pembentukan ikatan antara protein dan serat berlangsung secara efektif sehingga meminimumkan kadar air pada papan.

Daya serap air papan partikel selama 2 jam sebesar 17 – 46% dengan rata-rata 32,6%, dan daya serap air selama 24 jam sebesar 31 – 54% dengan rata-rata 40,44%. JIS A 5908-2003 tidak menetapkan standar daya serap air papan partikel, akan tetapi daya serap air yang terbaik adalah yang paling rendah. Daya serap air papan partikel yang

dihasilkan dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Hidayat *et al.* (2014) yang mencapai 74%. Nilai daya serap air yang dihasilkan dalam penelitian ini dipengaruhi oleh kerapatan papan partikel yang cukup tinggi. Peningkatan nilai kerapatan berpengaruh menurunkan daya serap air papan partikel (Okuda dan Sato, 2004). Pada kerapatan papan partikel yang tinggi, ruang kosong di antara partikel-partikel bahan penyusun papan semakin berkurang sehingga mengurangi ruang yang dapat diisi oleh air dan pada akhirnya tidak banyak air yang dapat terserap ke dalam papan partikel. Hal yang sama dikemukakan oleh Kollman dan Cote (1975) bahwa tingkat kerapatan papan yang semakin baik dapat menghambat masuknya air yang berasal dari luar. Semakin tinggi kerapatan maka rongga kosong pada papan yang dapat diisi oleh air semakin berkurang. Papan partikel yang memiliki kerapatan yang tinggi, partikelnya akan semakin kompak dan padat sehingga tidak banyak terdapat rongga atau pori di antara jalinan partikel yang dapat diisi oleh air.

Daya Serap Air (DSA)

Berdasarkan hasil analisis ragam, keempat faktor berpengaruh nyata terhadap daya serap air dengan perendaman selama 2 jam, sedangkan untuk perendaman 24 jam hanya waktu kempa dan waktu kukus yang berpengaruh nyata. Perbedaan faktor – faktor yang berpengaruh terhadap DSA 2 jam dan 24 jam disebabkan karena penyerapan air selama 2 jam di awal akan berlangsung maksimal, sedangkan di atas 2 jam sampai dengan 24 jam, kemampuan daya serap air akan menurun dan mungkin konstan sebelum 24 jam.

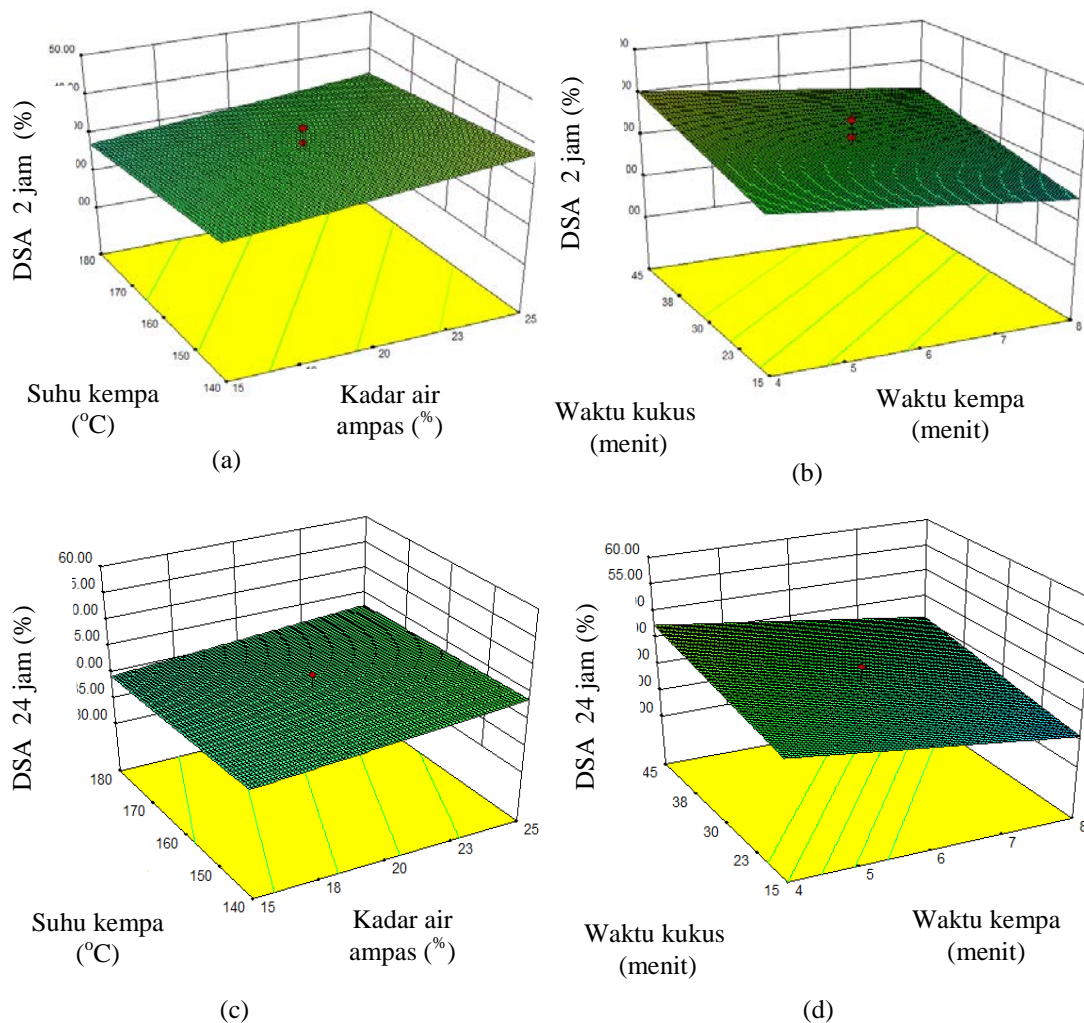


Gambar 2. Respon permukaan kadar air papan partikel untuk pengaruh faktor kadarair ampas - suhu kempa (a) dan waktu kukus -waktu kempa (b)

Besarnya pengaruh dari masing-masing faktor tersebut dapat dilihat pada model respon DSA selama 2 jam, $Y = 32,81 + 3,14X_1 + 4,07X_2 - 2,28X_3 - 3,51X_4$ dan model respon DSA selama 24 jam, $Y = 40,72 + 0,18X_1 + 1,92X_2 - 1,29X_3 - 3,99X_4$. Kadar air bahan dan waktu kukus berperan dalam meningkatkan respon daya serap air (Gambar 3). Hal yang sama juga terjadi pada respon kadar air papan dan sebaliknya terhadap respon kerapatan.

Tekanan uap yang terbentuk akibat peningkatan kadar air ampas dan proses pengukusan menyebabkan pembentukan ikatan internal antar serat dan daya rekat protein tidak bekerja secara efektif sehingga tidak banyak ikatan yang terbentuk dan berdampak pada peningkatan volume rongga kosong pada papan yang dapat diisi oleh air (Ciannamea *et al.*, 2010). Kadar air dan waktu kukus optimum untuk respon daya serap air 2 jam dan 24 jam adalah 15% selama 15 menit. Pada kadar air dan waktu kukus tersebut, kadar air bahan meningkat dan membantu proses denaturasi protein.

Pengaruh faktor suhu kempa (Gambar 3a,c) dan waktu kempa (Gambar 3b,d) akan menurunkan daya serap air. Peningkatan suhu dan waktu kempa membantu pergerakan protein dan distribusinya pada permukaan serat sehingga permukaan serat tertutupi (Talavera *et al.*, 2007). Semakin banyak permukaan serat yang tertutup oleh protein berdampak pada meningkatnya daya kohesi antar permukaan serat (Evon *et al.*, 2010). Banyaknya ikatan yang terbentuk pada papan partikel mengurangi volume rongga kosong pada papan yang akan menurunkan daya serap air. Suhu dan waktu kempa optimum untuk respon DSA 2 jam dan 24 jam adalah 180°C selama 8 menit. Pada suhu dan waktu kempa tersebut proses distribusi protein pada permukaan serat berlangsung secara efektif dan membantu perubahan fisiko kimia pada serat sehingga memudahkan terbentuknya ikatan antar partikel.



Gambar 3. Respon permukaan DSA 2 jam untuk faktor suhu kempa-kadar air (a) waktu kukus-waktu kempa (b) dan respon permukaan DSA 24 jam untuk faktor suhu kempa-kadar air (c) dan waktu kukus-waktu kempa (d)

Modulus of Rupture (MOR)

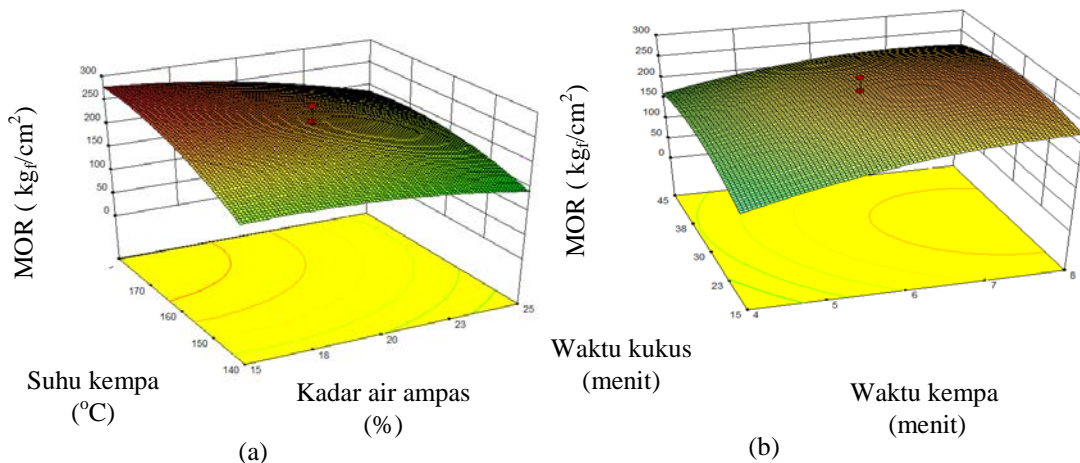
MOR yang diperoleh pada penelitian ini antara 36,2 – 275 kg_f/cm² dengan rata-rata 151 kg_f/cm². Nilai MOR yang diperoleh dalam penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat *et al.* (2014) yang memperoleh nilai MOE sebesar 200 kg_f/cm². Ukuran partikel bahan yang diperkecil hingga 50 mesh diduga berpengaruh meningkatkan nilai MOR. Hasil penelitian Okuda dan Sato (2004) menunjukkan bahwa ukuran partikel yang semakin kecil berpengaruh meningkatkan nilai MOR. Ukuran partikel yang semakin kecil meningkatkan luas permukaan bahan yang memungkinkan partikel-partikel bahan berikatan satu sama lain.

Berdasarkan hasil analisis ragam, faktor yang berpengaruh nyata terhadap MOR yaitu kadar air, suhu kempa, waktu kempa, interaksi antara kadar air dan suhu kempa, kadar air dan waktu kukus, suhu dan waktu kempa, serta suhu kempa dan waktu kukus. Pengaruh variabel faktor terhadap respon dapat dilihat pada model respon MOR, $Y = 235,86 - 32,95X_1 + 5,80X_2 + 34,37X_3 + 37,23X_4 - 14,75 X_1^2 - 28,18X_2^2 - 22,43X_3^2 - 23,02X_4^2 - 11,39X_1X_2 - 12,28X_1X_3 + 1,58X_1X_4 + 6,06X_2X_3 - 10,55X_2X_4 - 8,99X_3X_4$. Hasil optimasi dengan menggunakan model kuadratik untuk respon MOR diperoleh titik maksimum respon MOR pada nilai 275 kg_f/cm² dengan kondisi proses optimum kadar air bahan 20%, waktu kukus 30 menit, suhu kempa 173°C, dan waktu kempa 7 menit. Respon permukaan hubungan interaksi faktor yang berpengaruh nyata terhadap MOR dapat dilihat pada Gambar 4.

Peningkatan kadar air bahan sampai dengan 20% meningkatkan nilai respon MOR sampai pada titik maksimum kemudian setelah kadar air di atas 20% respon MOR menurun (Gambar 4a). Keberadaan air sampai pada taraf yang optimum berperan dalam mengurangi suhu eksotermik protein dan meningkatkan pergerakan rantai polipeptida

protein yang memungkinkannya untuk berinteraksi lebih mudah dengan polimer yang lain. Akan tetapi, kadar air yang melebihi kadar optimum (35%) berdampak negatif terhadap kekuatan papan partikel akibat peningkatan tekanan uap yang terbentuk pada saat proses pengempaan sehingga proses terbentuknya ikatan tidak berlangsung efektif (Li *et al.*, 2009). Air pada bahan berperan dalam membantu protein terdispersi sehingga meningkatkan luas permukaan yang berikatan pada permukaan serat. Peningkatan kadar air sampai pada taraf optimum (20%) berpengaruh nyata meningkatkan nilai MOR. Sebaliknya, kadar air yang melebihi taraf optimum ($\geq 20\%$) menurunkan nilai MOR. Peningkatan kadar air pada bahan tidak terlepas dari proses pengukusan. Peningkatan kadar air bahan di atas 20% dapat mengalami peningkatan yang melebihi kadar optimum setelah proses pengukusan.

Waktu pengukusan selama 30 menit merupakan waktu optimum dengan respon MOR yang maksimum. Peningkatan waktu pengukusan sampai dengan 30 menit berdampak positif dalam meningkatkan MOR sampai pada titik maksimum dan sebaliknya waktu kukus yang melebihi 30 menit berdampak menurunkan MOR. Peningkatan waktu kukus sampai pada waktu yang optimum berperan dalam meningkatkan kadar air bahan sampai pada kadar yang optimum. Peningkatan waktu kukus yang menyebabkan peningkatan kadar air yang melebihi kadar optimumnya berdampak sebagaimana kadar air yang melebihi batas optimumnya. Peningkatan suhu sampai dengan 173°C meningkatkan nilai respon MOR sampai pada titik maksimum kemudian turun ketika suhu telah melewati 173°C. Hal ini dapat disebabkan karena pengaruh komponen-komponen pada ampas biji jarak pagar khususnya protein mulai terdegradasi pada saat suhu di atas 173°C.



Gambar 4. Respon permukaan MOR untuk pengaruh faktor kadar air dan suhu kempa (a); waktu kukus dan waktu kempa (b)

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Diebel *et al.* (2012) menunjukkan bahwa ampas biji jarak pagar mulai terdegradasi pada suhu 172°C. Hidayat *et al.* (2014) juga menemukan hal yang sama bahwa sifat termal ampas biji jarak pagar yang ditandai oleh reaksi endotermik sampai dengan reaksi eksotermik terjadi pada rentang suhu antara 40 dan 173°C. Pada rentang suhu endotermik dan eksotermik memungkinkan terjadinya perubahan yang bersifat *irreversible* pada protein dan serat dan menyebabkan terjadinya reaksi ikatan silang antara protein dan serat. Peningkatan suhu berpengaruh nyata meningkatkan nilai MOR papan. Hal yang sama juga terjadi pada penelitian Okuda dan Sato (2004) dan Talavera *et al.* (2007). Selama denaturasi protein oleh panas, struktur protein berubah menjadi relatif lebih longgar dan acak, sehingga hal tersebut meningkatkan daya rekat protein dengan serat. Rentang suhu terbaik bagi protein untuk mengalami proses denaturasi sehingga memudahkannya dalam berikatan dengan senyawa lain adalah 120-180°C (Hidayat *et al.*, 2014). Proses yang terjadi selama pengempaan papan partikel adalah pada saat protein mengalami proses denaturasi akibat pengaruh suhu, sejumlah ikatan pada molekul protein seperti ikatan hidrogen terputus sehingga banyak grup polar protein (hidroksil amida dan karboksil) yang terbuka dan dapat berikatan dengan grup hidroksil pada serat. Suhu disamping memiliki pengaruh yang positif juga dapat berdampak negatif terhadap MOR. Peningkatan suhu $\geq 200^\circ\text{C}$ menyebabkan protein terdegradasi menjadi fragmen-fragmen kecil dan menyebabkan kehilangan daya rekatnya sehingga kemampuan protein untuk berikatan dengan molekul lain pun akan berkurang (Kartika *et al.*, 2013). Selain karena pengaruh suhu, denaturasi protein dapat terjadi karena faktor lain seperti asam/basa, pelarut organik, deterjen dan urea (Mo *et al.*, 2001).

Modulus of Elasticity (MOE)

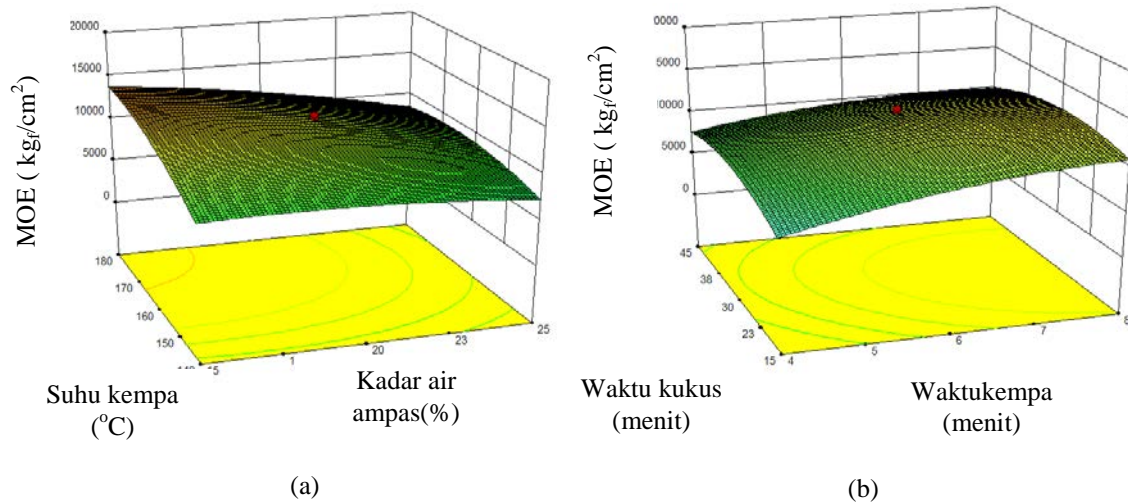
MOE adalah sifat yang berhubungan langsung dengan kekakuan papan komposit. Semakin tinggi nilai MOE maka papan komposit akan semakin tahan terhadap perubahan bentuk. MOE papan partikel yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah 2.200 – 14.500 kg_f/cm² dengan rata-rata 7.100 kg_f/cm². Nilai ini cukup rendah bahkan lebih rendah dari standar MOE untuk papan berkerapatan sedang sebesar 20.000 kg_f/cm² (JIS A 5908:2003). Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat *et al.* (2014), nilai MOE yang diperoleh dalam penelitian ini masih cukup jauh. Nilai MOE yang diperoleh oleh Hidayat *et al.* (2014) adalah sebesar 43.000 kg_f/cm². Nilai MOE dipengaruhi oleh komposisi lignoselulosa pada bahan. Nilai MOE akan meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan lignoselulosa (Talavera *et al.*, 2007). Proses penggilangan dan penyaringan

saat proses perlakuan pendahuluan pada bahan menyebabkan berkurangnya lignoselulosa. Sebagian partikel bahan yang tersaring karena ukuran yang lebih besar dari 50 mesh adalah cangkang kulit yang banyak mengandung lignoselulosa.

Berdasarkan hasil analisis ragam, faktor-faktor yang berpengaruh nyata adalah faktor linier kadar air bahan, suhu dan waktu kempa, faktor kuadratik kadar air bahan, suhu kempa, waktu kempa dan waktu kukus, dan faktor interaksi kadar air bahan dan suhu kempa, waktu kempa dan waktu kukus. Sedangkan faktor-faktor yang tidak berpengaruh nyata adalah faktor linier waktu kukus, faktor interaksi kadar air dan waktu kempa, suhu dan waktu kempa, serta suhu dan waktu kukus. Pengaruh variabel faktor baik secara linier, interaksi dan kuadratik diperoleh persamaan model MOE, $Y = 11302,33 - 1621,37X_1 + 172,30X_2 + 1606,85X_3 + 1790,87X_4 - 598,35X_1^2 - 1673,29 X_2^2 - 1171,40 X_3^2 - 929,36 X_4^2 - 517,17X_1X_2 - 1018,05X_1X_3 - 322,75 X_1X_4 + 186,60X_2X_3 - 578,77 X_2X_4 - 343,60 X_3X_4$. Hasil optimasi dengan menggunakan model kuadratik untuk respon MOE diperoleh titik maksimum MOE pada nilai 12.500 kg_f/cm² dengan kondisi optimum kadar air bahan 20%, waktu kukus 29 menit, suhu kempa 171°C dan waktu kempa 8 menit.

Peningkatan MOE optimum sampai dengan kadar air ampas 20%, di atas 20% nilai respon MOE berangsur menurun (Gambar 5a). Peningkatan kadar air pada bahan tidak terlepas dari waktu pengukusan. Waktu pengukusan yang optimum adalah 29 menit. Peningkatan kadar air di atas 20% dan waktu kukus di atas 29 menit menyebabkan MOE menurun. Hal ini disebabkan karena peningkatan kadar air dan waktu pengukusan yang melebihi waktu optimum menyebabkan kadar air pada bahan terlalu tinggi. Peningkatan kadar air sampai pada batas optimum berperan dalam meningkatkan MOE (Li *et al.*, 2009). Akan tetapi jika melebihi batas optimum dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada papan akibat tekanan uap yang dihasilkan.

Peningkatan suhu kempa sampai dengan 171°C berpengaruh meningkatkan nilai MOE sampai pada titik maksimum, akan tetapi respon MOE berangsur menurun ketika suhu melewati 171°C. Hal ini disebabkan karena pada suhu di atas 171°C ampas biji jarak pagar mulai terdegradasi sebagaimana dilaporkan oleh Diebel *et al.* (2012) bahwa ampas biji jarak pagar mulai terdegradasi pada suhu 172°C. Peningkatan suhu pengempaan tidak terlepas dari lamanya waktu pengempaan. Peningkatan waktu pengempaan hingga 8 menit berpengaruh meningkatkan respon MOE sampai pada titik maksimum. Peningkatan suhu dan waktu pengempaan berpengaruh meningkatkan nilai MOE (Li *et al.*, 2009; Okuda dan Sato, 2009).



Gambar 5. Respon permukaan MOE untuk pengaruh faktor kadar air ampas - suhu kempa (a) dan waktu kukus - waktu kempa (b)

Optimasi Multi Respon

Optimasi multi respon dilakukan untuk mendapatkan kombinasi perlakuan terbaik dengan memperhatikan semua respon. Berdasarkan hasil pengujian model pada masing-masing respon yang telah dilakukan sebelumnya, optimasi dilakukan dengan memasukkan semua unsur respon (kerapatan, kadar air, daya serap air, MOR dan MOE) ke dalam program *design expert 9.0.8* untuk diperoleh pilihan-pilihan solusi terbaik. Sebelum optimasi, parameter-parameter yang dijadikan sebagai *input* pengolahan data perlu ditentukan kriterianya (minimum atau maksimum) sesuai dengan tujuan pengolahan data. Berdasarkan nilai *desirability* yang tertinggi solusi optimal yang disarankan adalah solusi dengan parameter kadar air 15%, waktu kukus 25 menit, suhu kempa 180°C dan waktu kempa 8 menit, dengan prediksi nilai respon kerapatan 1,09 g/cm³, kadar air papan 6,51%, DSA 2 jam 22,64%, DSA 24 jam 34,67%, MOR 275,4 kgf/cm², dan MOE 14.600 kgf/cm². Hasil prediksi ini tidak jauh berbeda dengan hasil aktualnya. Dengan demikian model optimasi ini sudah baik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Ampas hasil ekstraksi minyak biji jarak pagar memiliki karakteristik bahan dengan kadar serat (38,70%) dan protein (21,25%) yang cukup tinggi sehingga berpeluang untuk dimanfaatkan menjadi produk biokomposit seperti papan partikel. Papan partikel ampas biji jarak pagar yang dihasilkan dalam penelitian memiliki sifat fisik dan mekanik sebagai berikut : kerapatan sedang-tinggi (0,88 – 1,15 g/cm³), kadar air 6,53 – 10,27%, DSA 2 jam 17 – 46%, DSA 24 jam 31 – 54%, MOR 36,2 – 275 kgf/cm² dan MOE 2.200 – 14.500 kgf/cm².

Model hubungan antara respon sifat fisik seperti kerapatan, kadar air, DSA 2 jam dan 24 jam terhadap variabel faktor bersifat linier (orde pertama), sedangkan model hubungan antara respon sifat mekanik seperti MOR dan MOE terhadap variabel faktor bersifat kuadratik (orde kedua). Pada model kuadratik sifat mekanik dapat diperoleh kondisi optimum dengan karakteristik titik stasioner maksimum.

Kondisi proses produksi hasil optimasi multi respon diperoleh pada faktor kadar air 15%, waktu kukus 25 menit, suhu kempa 180°C dan waktu kempa 8 menit dengan prediksi nilai respon kadar air 6,51%, daya serap air 2 jam 22,64%, daya serap air 24 jam 34,67%, kerapatan 1,09 g/cm³, MOR 275,4 kgf/cm², dan MOE 14.600 kgf/cm².

Saran

Nilai ketegangan lentur (MOE) yang dihasilkan pada penelitian ini masih dibawah standar sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan beberapa jenis plastisizer seperti propilen glikol, etilen glikol, dan dietilen glikol.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiman S, Sukrido, dan Harliana A. 2010. Pembuatan biobriket dari campuran ampas biji jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) dengan sekam sebagai bahan bakar alternatif. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses. ISSN 1411- 4216. Jurusan Kimia FMIPA UNJANI.
- Ciannamea EM, Stefani PM, dan Ruseckaite RA. 2010. Medium - density particle board from modified rice husk and soybean protein concentrate - based adhesives. *Biores Technol.* 101:818-825

- Evon P, Vanderbossche V, Pontalier P, Rigal L. 2010. Thermo - mechanical behaviour of the raffinate resulting from the aqueous extraction of sunflower whole plant in twin-screw extruder: manufacturing of biodegradable agomaterials by thermo - pressing. *Adv Mat Res.* 112:63-72.
- Diebel W, Reddy MM, Misra M, Mohanty A. 2012. Material property characterization of co - products from biofuel industries : potential uses in value - added biocomposites. *Biomass and Bioen.* 37:88 - 96.
- Hakim L dan Febrianto F. 2005. Karakteristik fisis papan komposit dari serat batang pisang (*MusaSP*) dengan perlakuan alkali. *Peronema Forestry Sci.* 1:21- 26.
- Hidayat H, Keijsers ERP, U. Prijanto, van Dam JEG, HJ Heeresc. 2014. Preparation and properties of binderless boards from *Jatropha curcas* L. seed cake. *Ind Crops Prod.* 52: 245-254.
- [JSA] Japanese Standars Association. 2003. *Japanese Industrial Standars JIS A 5908 : 2003. Particleboard.*
- Kartika IA, Fahma F, Yani M, Hermawan D. 2013. Sifat fisik dan mekanik papan partikel dari bungkil biji jarak pagar. *J Tek Ind Pert.* 23(2):109-119.
- Kollman FJP dan Cote WA. 1975. *Principle Of Wood Science Technolog Volume 2. Wood Based Material.* New York: Springer-Verlag.
- Lestari D, Mulder WJ, dan Sanders JPM. 2011. *Jatropha* seed protein functional properties for technical applications. *Biochem Eng J.* 53 : 297 - 304.
- Lestari S dan Kartika IA. 2012. Pembuatan papan partikel ampas biji jarak pagar pada berbagai proses. *E-J Agroind Indo.* 1(1) : 11- 17.
- Li X, Li Y, Zhong Z, Wang D, Ratto JA, Sheng K, Sun XS. 2009. Mechanical and water soaking properties of medium density fiberboard with wood fiber and soybean protein adhesive. *Biores Technol.* 100:3556-3562.
- Montgomery DC. 2001. *Design and Analysis of Experiments* 5th ed. New York: John Wiley dan Sons, Inc.
- Mo X, Cheng E, Wang D, Susan Sun X. 2001. Compression and tensile strength of low-density straw protein particleboard. *Ind Crops Prod.* 14:1-9.
- Nadhari WNA, Hashim R, Sulaiman O, Sato M, Sugitomo T, Selamat ME. 2013. Utilization of oil palm trunk waste for manufacturing of binderless particleboard: optimization study. *Biores.* 8(2):675-1696.
- Nurcholis M dan Sumarsih S. 2007. *Jarak Pagar dan Pembuatan Biodiesel.* Yogyakarta: Kanisius.
- Okuda N dan Sato N. 2004. Manufacture and mechanical properties of binderless boards from kenaf core. *J Wood Sci.* 50:53 - 61.
- Rivaie AA. 2006. Potensi ampas biji jarak pagar sebagai pupuk organik. *Info Tek Jarak Pagar.* 1(3):9 - 12.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia.1992. *Cara Uji Makanan dan Minuman.* Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Sudrajat R, Lussy DW, dan Setiawan D. 2008. Detoksifikasi dan uji toksistas akut limbah Bungkil biji jarak pagar terhadap tikus putih. *J Penel Hasil Hutan.* 26(2):148 - 165.
- Talavera FJF, Guzm´an JAS, Richter HG, Due˜nas, RS, Quirarte JR. 2007. Effect of production variables on bending properties, water absorption and thickness swelling of bagasse/plastic composite boards. *Ind Crops Prod.* 26:1-7.