

SIFAT PAPAN PARTIKEL BAMBUN PETUNG DENGAN PEREKAT BERBASIS MALTODEKSTRIN PADA DUA METODE KEMPA

(Properties of Petung Bamboo Particleboard with Maltodextrin-based Adhesive in Two Different Press Methods)

Greitta Kusuma Dewi¹, Ragil Widyorini¹, Erlina Nurul Aini² & Aqmal Nur Jihad³

¹Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281, Telp. (0274) 512102, Faks. (0274) 550541

²Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Cibinong 16911, Telp 081119333603

³Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281, Telp. (0274) 512102, Faks. (0274) 550541

E-mail : greitta.k.d@ugm.ac.id

ABSTRACT

The effect of maltodextrin-ammonium dihydrogen phosphate (M/ADP) ratios and pressing methods on the properties of medium-density particleboard made from bamboo was investigated. Maltodextrin/ADP ratios of 100/0, 90/10, and 80/20 % were used in this study. Two pressing methods were used, namely the three-steps pressing method and single step pressing method at the 5 minutes pressing time at 200°C. Particleboards' physical and mechanical properties were evaluated based on Japanese Industrial Standard (JIS) A 5908 and Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2105, such as density, moisture content, thickness swelling, water absorption, internal bonding strength, and bending strength. Brightness, water absorption, surface roughness, contact angle toward particleboard, and brittleness were also evaluated. The results showed that an increase in the ADP ratio could improve the physical and mechanical properties of the bamboo particleboard. The single-step pressing method produces higher particleboard properties than the three-steps pressing method at the 5-minute pressing time for both the 100% maltodextrin particleboard and the maltodextrin/ADP particleboard. The treatment of an 80/20 maltodextrin/ADP ratio with the single-step pressing method at 5-minutes pressing time resulted in the thickness swelling and internal bonding strength that met JIS and SNI standards. Particleboard for non-construction purposes could be achieved at a shorter pressing time than the commercial particleboard pressing time that ranged between 7-10 min in this study.

Keywords: maltodextrin, ammonium dihydrogen phosphate, ratio, pressing method, bamboo particleboard

ABSTRAK

Efek rasio maltodekstrin-amonium dihidrogen fosfat (M/ADP) dan metode kempa pada sifat papan partikel bambu petung berkerapatan sedang diselidiki. Rasio maltodekstrin/ADP 100/0, 90/10 dan 80/20 g/g% digunakan pada penelitian ini. Dua metode kempa digunakan yaitu metode kempa 3-tahap (*three-step press method*) dan kempa 1-tahap (*single-step press method*) pada lama kempa 5 menit dengan suhu 200°C. Beberapa sifat fisika dan mekanika papan partikel dievaluasi berdasarkan standar *Japanese Industrial Standard (JIS) A 5908 and Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2105* seperti kerapatan, kadar air, pengembangan tebal, keteguhan rekat internal, dan keteguhan lengkung. Tingkat kecerahan, penyerapan air, kekasaran permukaan, sudut kontak papan partikel, dan kegetasan juga dievaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan rasio ADP dapat meningkatkan sifat fisika dan mekanika papan partikel bambu petung. Metode kempa 1 tahap menghasilkan sifat papan partikel yang lebih tinggi dibanding dengan metode kempa 3 tahap pada lama kempa 5 menit untuk papan dengan perekat maltodekstrin 100% maupun perekat maltodekstrin/ADP. Perlakuan rasio maltodekstrin/ADP 80/20 g/g% dengan metode pengempaan satu tahap pada waktu kempa 5 menit menghasilkan pengembangan tebal dan kekuatan rekat internal yang memenuhi standar JIS dan SNI. Papan partikel untuk penggunaan non-konstruksi dapat dihasilkan pada waktu kempa yang lebih singkat dibanding dengan waktu kempa papan komersial yang berkisar 7-10 menit.

Kata kunci: maltodekstrin, amonium dihidrogen fosfat, rasio, metode kempa, papan partikel bambu

PENDAHULUAN

Produk berbasis kayu di dunia memiliki kaitan yang erat dengan perakat baik dalam proses pembuatan maupun proses perakitanannya. Perakat digunakan pada sekitar 80% produk berbasis kayu (Sandberg, 2016) dengan jenis perakat yang mendominasi adalah perakat berbasis formaldehida yang memiliki prosentase penggunaan 95% (Kumar & Pizzi, 2019). Di antara penggunaan tersebut, perakat berbasis formaldehida secara konvensional digunakan secara meluas (estimasi lebih dari 90%) pada produk papan partikel (Flores et al., 2011). Sifat rekat yang tinggi (reaktifitas tinggi dan cepat mengeras), cukup murah, mudah diperoleh, mudah diaplikasikan dan sifat produk yang dihasilkan sesuai yang diinginkan merupakan kelebihan perakat berbasis formaldehida (Dorieh et al., 2022), namun perakat ini memiliki kelemahan yaitu emisi yang dihasilkan dan termasuk perakat yang kurang ramah lingkungan karena asal bahan bakunya yaitu minyak bumi dan gas alam (Pizzi, 2006). Emisi 0,1-5 ppm di udara dapat menyebabkan mata berair, sensasi terbakar pada mata, hidung, dan tenggorokan, iritasi kulit, batuk dan mual, sedangkan emisi yang lebih tinggi dapat menyebabkan inflamasi saluran pernafasan bawah, penyempitan bronkus, pneumonia, dan edema paru (Galli et al., 2015). Emisi juga bersifat karsinogenik, mutagenik dan reprotoksik (Ramdugwar, Fernandes, & Gadekar, 2022). Oleh karena itu, saat ini banyak dikembangkan perakat atau pengikat alami yang diharapkan mampu mensubstitusi atau mengurangi penggunaan perakat berbasis formaldehida.

Beberapa perakat alami berbasis sakarida telah diteliti dapat digunakan sebagai perakat kayu superior dengan penambahan perlakuan tertentu. Sebagai salah satu contohnya, pati yang kurang sifat rekatnya untuk kayu berubah memiliki sifat rekat yang tinggi dan tahan terhadap air dengan perlakuan hidrolisis asam; oksidasi (menggunakan hidrogen peroksida); penambahan *crosslinker/grafter* (vinyl acetate, N-methynol acrylamide, glutaraldehyde, dimethylol-dihydroxyethyleneurea; polyvinyl alcohol, silane, isosianat, dan lain-lain); serta penambahan bahan lain (bio-oil, emulsifier, lateks, asam sitrat dan

lain-lain) (Sridach, Jonjankiat, & Wittaya 2013; Baishya & Maji, 2014; Zhang, Ding, Gu, Tan, & Zhu, 2015; Qiao et al., 2015; Xing, Li, Yu, Chen, & Chang, 2018; Gu et al., 2019; Aini, Widyorini, Prayitno, & Setyayunita, 2020; Soubam & Gupta, 2021). Perakat sakarida lainnya seperti sukrosa juga berubah menjadi perakat yang tahan air dan meningkat sifat rekatnya setelah ditambahkan asam sitrat, tanin, dan yang terbaru adalah *ammonium dihydrogen phosphate* (ADP) (Umemura, Sugihara, & Kawai, 2013; Zhao & Umemura, 2015; Widyorini, Nugraha, Rahman, & Prayitno, 2016; Umemura, Hayashi, Tanaka, & Kanayama, 2017; Zhao et al., 2018; Widyorini, 2020). Baru-baru ini, perakat berbasis sakarida lainnya yaitu maltodekstrin juga diketahui meningkat sifatnya dengan penambahan ADP (Dewi, Widyorini, & Lukmandaru, 2020; Dewi, Widyorini, & Lukmandaru, 2022).

ADP pada dasarnya merupakan garam yang mempercepat atau mengkatalisasi proses dehidrasi sakarida menjadi senyawa yang mengandung furan (5-hydroxymethylfurfural/5-HMF) yang reaktif (mengandung gugus hidroksil dan aldehida) serta mudah dikonversi menjadi banyak macam produk turunan (Umemura et al., 2017; Zhao et al., 2018). Zhao et al. (2018) menjelaskan bahwa 5-HMF ini terlibat dalam pengerasan papan dan mempengaruhi sifat papan yang dihasilkan. Rasio ADP pada perakat berbasis maltodekstrin diketahui mempengaruhi sifat papan partikel pelepah salak (Dewi et al., 2022). Oleh karena fungsinya yang mempercepat proses dehidrasi sakarida, rasio ADP di dalam maltodekstrin diduga mempengaruhi lama kempa optimal untuk menghasilkan papan partikel yang berkualitas.

Metode kempa diketahui mempengaruhi sifat perekatan papan partikel. Widyorini, et al. (2018) menemukan bahwa metode kempa 3-tahap (*3-step press cycle*) menghasilkan papan komposit pelepah salak berperakat asam sitrat-maltodekstrin yang lebih tinggi stabilitas dimensi dan keteguhan rekatnya dibanding metode kempa 1-tahap (*single step press cycle*) dengan waktu kempa 10 menit. Proses *breathing* (pembukaan kempa) di tengah-tengah proses pengempaan mampu mengurangi uap berlebihan selama

pengempaan panas yang dapat menyebabkan tekanan tinggi di dalam papan dan menyebabkan delaminasi (Angle's et al., 1999). Metode kempa 3-tahap juga ternyata diketahui menghasilkan papan partikel yang lebih tinggi sifatnya pada papan partikel batang sawit tanpa perekat (Cahyati & Widyorini, 2013). Namun, hal yang berbeda terjadi pada papan partikel kayu jati tanpa perekat yang mana metode kempa 1-tahap lebih baik dibandingkan dengan metode kempa 3-tahap (Prasetyo & Widyorini, 2010). Hal di atas menunjukkan bahwa metode kempa optimal mungkin berbeda berdasarkan jenis bahan baku, jumlah atau jenis perekat, interaksi di antaranya atau mungkin pengaruh lainnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio maltodekstrin/ADP dan metode kempa pada waktu kempa 5 menit terhadap sifat papan partikel bambu petung. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi menyeluruh mengenai produk hampir jadi yang dapat digunakan untuk mebel.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Limbah sebetan dan partikel bambu petung dari sentra mebel dan kerajinan Cebongan, Yogyakarta dikumpulkan, dikering-udarkan hingga $\pm 12\%$, digiling menggunakan *ring knife flaker* (*flaker* dengan mata pisau berbentuk cincin) dan disaring pada saringan 10 mesh (setara ± 2 mm) untuk menyamakan ukuran partikel. Partikel lolos 10 mesh dalam keadaan kering udara digunakan dan ditimbang sebagai bahan baku. Selain itu, maltodekstrin (*dextrose equivalent* 10-15, *food grade*) dari Zhucheng Dongxiao Biotechnology Co. Ltd (Zhucheng, China) dan *ammonium dihydrogen phosphate* (ADP) (CAS No. 7722-76-1, pro analisis) dari Merck (Darmstadt, Jerman) digunakan sebagai perekat dan katalis.

Metode

Persiapan perekat dan bahan baku

Perekat dipersiapkan dalam bentuk larutan dengan konsentrasi perekat yaitu 50% pada pelarut air, seperti yang dilakukan Dewi et al. (2022). Jumlah

perekat yang digunakan adalah 20% berdasarkan berat kering udara partikel. Larutan perekat dibuat dalam 3 rasio maltodekstrin/ADP yaitu 100/0, 90/10 dan 80/20 (%). Rasio tersebut dihitung berdasarkan berat. Di lain sisi, partikel bambu kering udara ditimbang beratnya sesuai kebutuhan untuk membuat papan partikel berukuran 25 cm x 25 cm x 1 cm dengan target kerapatan 0,7 g/cm³. Berat partikel diketahui dengan mengalikan target dimensi dan target kerapatan papan.

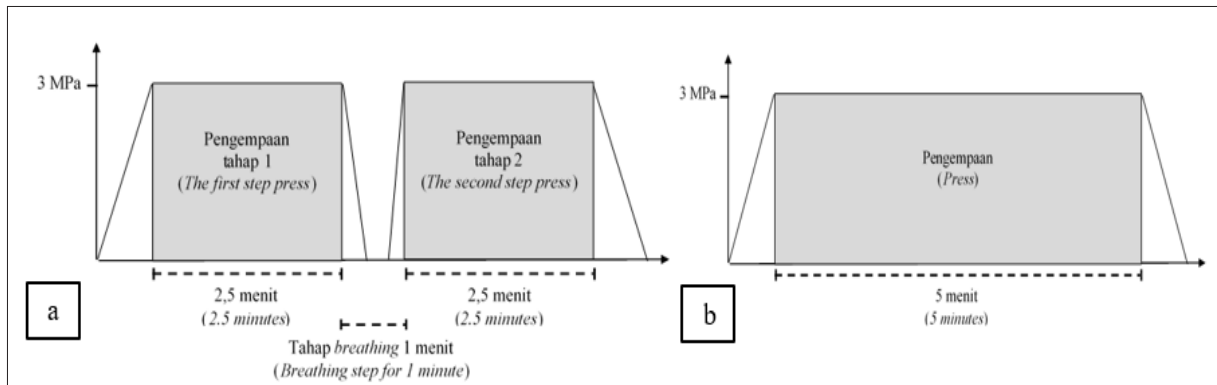
Pembuatan papan partikel

Partikel bambu petung dilaburi larutan perekat dalam keadaan hangat ($43 \pm 2^\circ\text{C}$) dengan cara disemprot, dicampur secara merata, dikering-ovenkan pada suhu 80°C selama 4 jam untuk dikurangi kadar airnya hingga $\pm 6\%$, seperti yang dilakukan oleh Widyorini et al. (2018). Partikel terlabur perekat tersebut kemudian dicetak menjadi kasuran berukuran 25 cm x 25 cm, serta dikempa panas dengan tekanan spesifik 3 MPa hingga ketebalan 1 cm (menggunakan pembatas *thickness bar*) pada suhu 200°C selama 5 menit dan menggunakan metode kempa 1 tahap dan 3 tahap (Widyorini et al. 2018). Metode kempa 3 tahap meliputi tahap pengempaan pertama, tahap pembukaan pengempaan/*breathing* selama 1 menit, dan tahap pengempaan kedua. Tahap *breathing* dilakukan pada pertengahan pengempaan yaitu pada menit ke 2,5 (Gambar 1).

Pengujian papan partikel

Papan dikondisikan selama 1 minggu sebelum dipotong menjadi sampel uji berdasarkan standar *Japanese Industrial Standard* (JIS) A 5908 (JSA, 2015) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2105 (BSN, 2006). Sampel 5 cm x 5 cm x 1 cm digunakan untuk pengujian kerapatan (K), kadar air (KA), pengembangan tebal (PT), penyerapan air (PA), dan keteguhan rekat internal (KR). Sampel 20 cm x 5 cm x 1 cm digunakan untuk pengujian warna dan kekasaran permukaan sebelum diuji keteguhan lengkung statik (LS) yaitu untuk menghasilkan nilai modulus patah (MOR) dan modulus elastisitas (MOE). Setelah diuji LS, sampel digunakan untuk uji sudut kontak papan terhadap air di bagian pinggir papan.

Pengujian sifat fisika PT dan PA dilakukan dengan merendam sampel dalam air bersuhu



Gambar 1. Metode pengempaan a) 3 tahap, dan b) 1 tahap pada lama kempa 5 menit

ruangan selama 24 jam dan dihitung perubahan tebal dan berat berdasarkan kondisi awal. Selain itu, sifat kekasaran permukaan diukur dengan mengukur kekasaran rata-rata (R_a) dari 12 titik pada 2 permukaan papan menggunakan SRG 4000 *Roughness Tester* (Bosworth Instrument, Ohio). Selanjutnya, sudut kontak papan partikel terhadap air diukur menggunakan metode *sessile drop* yaitu dengan cara meneteskan air dengan menggunakan jarum suntik di atas permukaan papan, memfoto jatuhnya tetesan setelah 10 detik dari sisi tegak lurus arah tetesan menggunakan Dino-Lite Digital Microscope (AM413ZT, Dino Lite), serta mengukur sudut yang terbentuk menggunakan aplikasi DinoCapture 2.0. Pengujian warna dilakukan dengan menggunakan *Color Reader CR-10* (Konica Minolta Sensing Inc., Japan).

Pengujian sifat mekanika KR dilakukan dengan menarik sampel pada arah yang sejajar dengan permukaan papan pada kecepatan 2 mm/menit hingga sampel terbelah pada bagian tengah. Pengujian LS dilakukan dengan memberikan beban tegak lurus permukaan sampel di tengah-tengah sampel (di antara 2 bantalan) pada kecepatan 10 mm/menit hingga sampel patah. Pengujian KR dan LS dilakukan dengan menggunakan alat UTM Instron tipe 3369. Kegetasan (*brittleness*) diolah dengan menggunakan hasil tegangan dan regangan pengujian LS. Kegetasan dihitung berdasarkan Phuong, Shida, & Saito (2007) dengan membandingkan luas area elastik dan luas total area hingga beban maksimal yang diukur dengan bantuan *software ImageJ*. Semua pengujian dilakukan 3 ulangan.

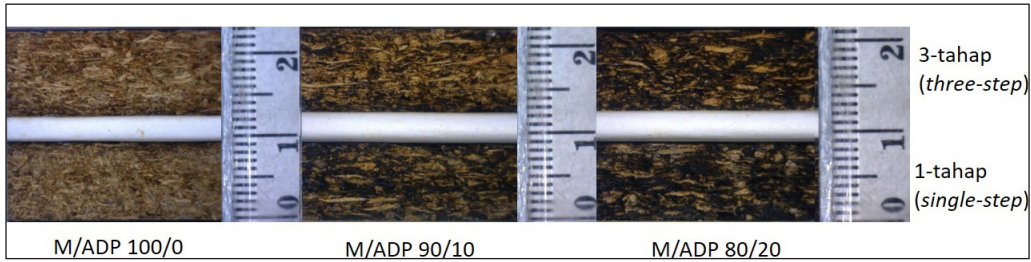
Analisis data

Data tiap parameter uji dianalisis dengan menggunakan analisis varian dua arah (*two-way analysis variance*) pada taraf uji 1% dan 5% untuk mengetahui efek masing-masing variabel dan interaksi antar variabel terhadap sifat papan partikel. P-value di bawah 1% dan 5% menandakan bahwa variabel mempengaruhi parameter uji secara berurutan dengan sangat signifikan dan signifikan, sedangkan p-value di atas 5% menandakan variabel tidak mempengaruhi parameter uji (non signifikan). Pada hasil Anova yang signifikan, uji lanjut Tukey/*honestly significant difference* (HSD) dilakukan untuk mengetahui perlakuan mana yang berbeda signifikan.

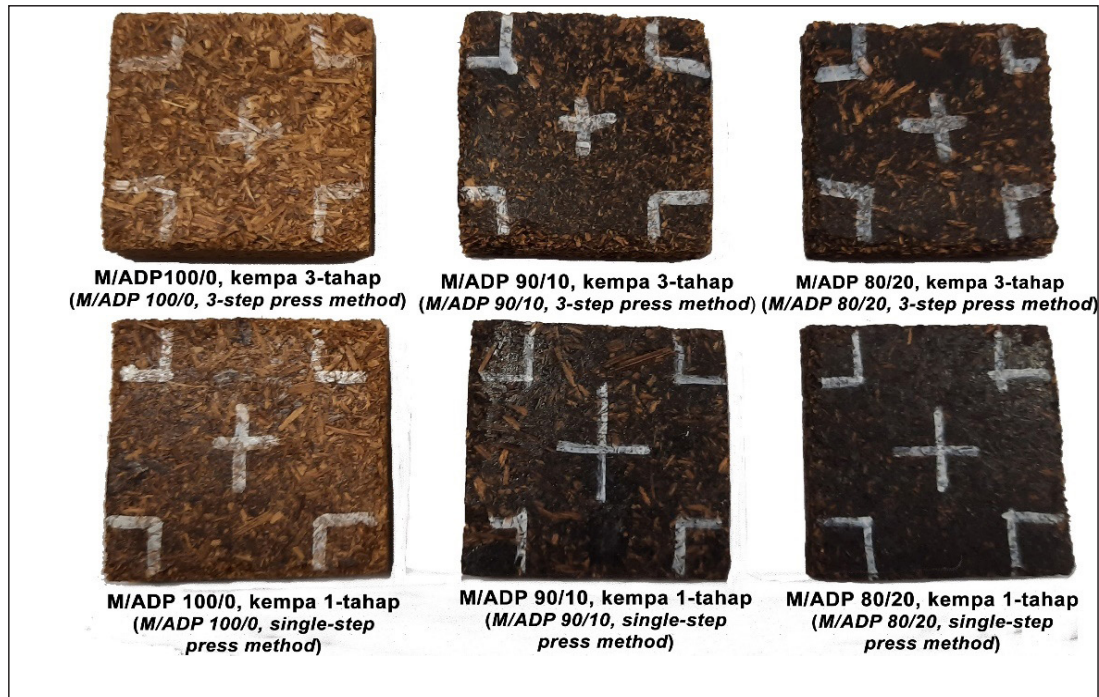
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Visual Papan Partikel

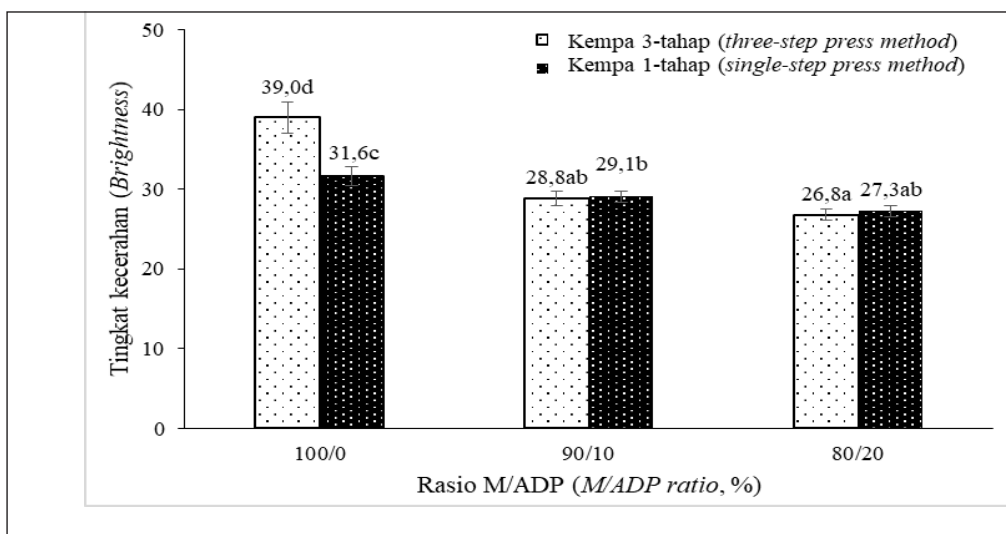
Kenampakan visual papan partikel bambu petung dengan perekat berbasis maltodekstrin dapat dilihat pada Gambar 2 yang menunjukkan kenampakan samping (tebal) dan Gambar 3 yang menunjukkan kenampakan permukaan. Gambar 2 dan 3 menunjukkan seiring penambahan ADP, papan partikel menjadi semakin gelap. Pengukuran warna dengan menggunakan *color reader* juga menunjukkan perubahan tingkat kecerahan papan partikel seiring dengan peningkatan rasio ADP ($p < 0,01$) dan perbedaan metode kempa yang digunakan ($p < 0,01$).



Gambar 2. Penampakan samping papan partikel bambu petung



Gambar 3. Penampakan permukaan papan partikel bambu petung



Gambar 4. Tingkat kecerahan papan partikel bambu petung pada berbagai rasio maltodekstrin/ADP dan metode kempa

Nilai tingkat kecerahan (L^*) menurun

secara signifikan dari M/ADP 100/0 ke 90/10 dan 80/20, namun pada M/ADP 90/10 ke 80/20, tingkat kecerahan papan relatif sama (Gambar 4). Perubahan warna (ΔE^*) antara papan partikel M/ADP 100/0 dengan M/ADP 90/10 dan 80/20 rata-rata sebesar 11,60 dan 15,87. Adapun ΔE^* antara M/ADP 90/10 dan 80/20 lebih kecil, yaitu sebesar 4,49. Penambahan ADP menyebabkan papan partikel menjadi lebih gelap mungkin disebabkan oleh dehidrasi dan karamelisasi perekat maltodekstrin serta oksidasi dan dehidrasi lignin dan karbohidrat yang meninggalkan jejak warna gelap (Sundqvist, Karlsson, & Westernmark, 2006; Srinivas & Pandey, 2012). Maltodekstrin memiliki warna awal putih susu, sedangkan bambu petung memiliki warna awal cokelat muda. Katalis ADP dan panas pada pengempaan diduga tidak hanya mendehidrasi maltodekstrin, tetapi juga mengdehidrasi bambu. ADP mampu meningkatkan dehidrasi selulosa secara signifikan pada suhu 170-300°C dalam proses pirolisis lignoselulosa (Li et al., 2020).

Metode kempa 1 tahap cenderung menghasilkan papan yang lebih gelap dibanding metode kempa 3 tahap pada kenampakan permukaan dan samping (Gambar 2-3), sesuai dengan hasil pengujian tingkat kecerahan papan partikel ($p < 0,01$) (Gambar 4). Nilai ΔE^* rata-rata antara metode kempa 1 tahap dan 3 tahap adalah sebesar 4,95. Selain perubahan tingkat kecerahan, kerapatan/kemampatan papan partikel metode kempa 1 tahap terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan metode kempa 3 tahap terutama pada rasio M/ADP 100/0 dan 90/10 pada kenampakan samping (Gambar 2). Nilai kerapatan papan juga menunjukkan hal yang sama dimana metode kempa 1 tahap memiliki tren nilai kerapatan yang lebih tinggi dibanding metode kempa 3 tahap pada 2 rasio perekat tersebut, bahkan signifikan pada M/ADP 100/0 (Tabel 1). Perbedaan transfer/perambatan panas selama proses pengempaan pada 2 metode kempa diduga menyebabkan perbedaan di atas. Panas membantu dehidrasi, karamelisasi dan pengerasan perekat selama pengempaan.

B. Sifat Fisika dan Mekanika Papan Partikel

Papan partikel bambu petung yang dihasilkan memiliki dimensi akhir yang meningkat ($\pm 2-3$ cm pada dimensi panjang dan lebar) yang disebabkan oleh lemahnya ikatan antar partikel saat menerima tekanan kempa saat awal proses pengempaan, sehingga kerapatan yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan target (berkisar antara 0,644-0,693 g/cm³) (Tabel 1). Namun, papan partikel berhasil dibuat tanpa delaminasi dan dapat diuji semua parameter sifat fisika dan mekanikanya. Kadar air papan partikel berkisar antara 6,16-8,64% (Tabel 1) dan memenuhi standar JIS A 5908 (JSA, 2015) yang mensyaratkan kadar air papan partikel 5-13% dan SNI 03-2105 (BSN, 2006) yang mensyaratkan kadar air papan partikel tidak melebihi 14%. Kadar air ini penting dikontrol pada kisaran tersebut untuk menghindari perubahan dimensi yang signifikan akibat perubahan kelembaban sekitar.

Sifat fisika papan partikel lain seperti pengembangan tebal (PT), penyerapan air (PA), sudut kontak (SK) dan kekasaran permukaan (KP) papan dapat dilihat pada Tabel 1. Rasio M/ADP dan metode kempa mempengaruhi PT, PA, SK dan KP secara signifikan (Tabel 2). Nilai PT, PA dan KP cenderung menurun seiring dengan peningkatan rasio ADP dalam perekat maltodekstrin dan penggunaan metode kempa 1-tahap. Hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan sifat papan partikel terutama pada sifat kestabilan dimensi-ketahanan terhadap air dan kemudahan pelapisan/perekatan dengan bahan lain (vinil, venir dan lain-lain) karena permukaan papan yang semakin halus. PT pada papan rasio M/ADP 80/20 di 2 metode kempa dan papan rasio M/ADP 90/10 di metode kempa 1 tahap bahkan mampu memenuhi standar JIS A 5908 (JSA, 2015) untuk penggunaan papan partikel dasar/dekoratif (*base/decorative particleboard*) hingga papan partikel struktural (*structural particleboard*) yang mensyaratkan maksimal PT 12%, serta memenuhi standar SNI

03-2105 (BSN, 2006) untuk papan partikel dasar/dekoratif (maksimal 12%) dan papan struktural (maksimal 25% jika tebal papan $\leq 12,7$ mm) hanya dengan waktu kempa 5 menit. Namun, kekasaran permukaan papan partikel penelitian ini masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan kekasaran permukaan papan partikel komersial di Jepang dan Thailand yang secara berturut-turut yaitu 3,67-5,46 μm dan 8,23 μm , tetapi kekasaran permukaan papan penelitian ini berada di kisaran papan partikel di Indonesia yaitu 6,13-14,20 μm

dengan jenis partikel kayu tertentu (Hiziroglu, Jarusombuti, & Fueangvivat, 2004; Hiziroglu & Suzuki, 2007; Hiziroglu, Hadi, & Hermawan, 2008).

Peningkatan rasio ADP menurunkan nilai PT, PA dan KP pada masing-masing metode kempa (Tabel 1). Penurunan nilai PT terjadi signifikan dari rasio M/ADP 100/0 ke 90/10, yaitu 62% pada metode kempa 3-tahap dan 80,4% pada metode kempa 1-tahap. Peningkatan rasio ADP yang lebih

Tabel 1. Sifat fisika papan partikel bambu petung

Rasio M/ADP (M/ADP ratio, %)	Metode Kempa (Pressing Method)	Sifat Fisika (Physical Properties)				
		Kerapatan (g/cm ³)	KA (%)	PT (%)	PA (%)	KP (μm)
100/0	3-tahap (three-step)	0,644 \pm 0,007a	8,6 \pm 0,5	53,3 \pm 7,8c	197 \pm 12c	15,6 \pm 1,4c
90/10		0,648 \pm 0,007a	7,8 \pm 0,6	20,1 \pm 0,7b	111 \pm 11b	12,0 \pm 1,0b
80/20		0,669 \pm 0,011ab	7,3 \pm 0,2	8,6 \pm 2,2a	53 \pm 7a	10,1 \pm 0,4ab
100/0	1-tahap (single step)	0,693 \pm 0,012b	7,9 \pm 0,2	50,7 \pm 5,8c	147 \pm 21,8b	11,8 \pm 1,2a
90/10		0,659 \pm 0,008a	6,7 \pm 0,6	9,9 \pm 1,5a	49,7 \pm 8,3a	9,7 \pm 0,9a
80/20		0,644 \pm 0,004a	6,4 \pm 0,6	7,2 \pm 0,9a	44,6 \pm 8,2a	9,6 \pm 0,7a

Keterangan (Remarks): KA = kadar air (*moisture content*), PT = pengembangan tebal (*thickness swelling*), PA = penyerapan air (*water absorption*), KP = kekasaran permukaan (*surface roughness*), angka diikuti dengan huruf yang berbeda pada masing-masing sifat fisika papan menandakan perbedaan yang signifikan (*numbers followed by different letters showed a significant differences*).

Tabel 2. Analisis varian (Anova) pengaruh rasio M/ADP, metode kempa & interaksi keduanya terhadap sifat papan partikel

	Nilai p (p-value)		
	Rasio M/ADP (M/ADP ratio, R)	Metode Kempa (Pressing method, M)	Interaksi (The interaction, R & M)
Tingkat kecerahan (<i>Brightness</i>)	6,61 x 10 ^{-15**}	4,0 x 10 ^{-6**}	3,31 x 10 ^{-8**}
Kerapatan (<i>Density</i>)	2,7 x 10 ^{-2*}	1,2 x 10 ^{-2*}	3,2 x 10 ^{-5**}
Kadar air (<i>Moisture content</i>)	9,2 x 10 ^{-4**}	3,1 x 10 ^{-3**}	8,0 x 10 ^{-1ns}
Pengembangan tebal (<i>Thickness swelling</i>)	5,8 x 10 ^{-10**}	1,3 x 10 ^{-6**}	4,5 x 10 ^{-4**}
Penyerapan air (<i>Water absorption</i>)	2,2 x 10 ^{-9**}	2,0 x 10 ^{-5**}	7,5 x 10 ^{-3**}
Kekasaran permukaan (<i>Surface roughness</i>)	4,6 x 10 ^{-5**}	4,0 x 10 ^{-4**}	3,5 x 10 ^{-2*}
Sudut kontak papan partikel (<i>Contact angle towards particleboard</i>)	1,2 x 10 ^{-1ns}	2,2 x 10 ^{-6**}	2,3 x 10 ^{-9**}
Keteguhan rekat internal (<i>Internal bonding strength</i>)	4,8 x 10 ^{-6**}	3,6 x 10 ^{-7**}	2,5 x 10 ^{-3**}
Modulus patah (<i>Modulus of rupture</i>)	5,7 x 10 ^{-4**}	3,7 x 10 ^{-5**}	5,9 x 10 ^{-3**}
Modulus elastisitas (<i>Modulus of elasticity</i>)	3,9 x 10 ^{-6**}	4,2 x 10 ^{-5**}	3,8 x 10 ^{-3**}
Kegetasan (<i>Brittleness</i>)	4,4 x 10 ^{-8**}	2,9 x 10 ^{-7**}	3,4 x 10 ^{-6**}

Keterangan (Remarks): ** signifikansi pada taraf uji 1% (*significant at 1% test level*), * signifikansi pada taraf uji 5% (*significant at 5% test level*), ns = non signifikan

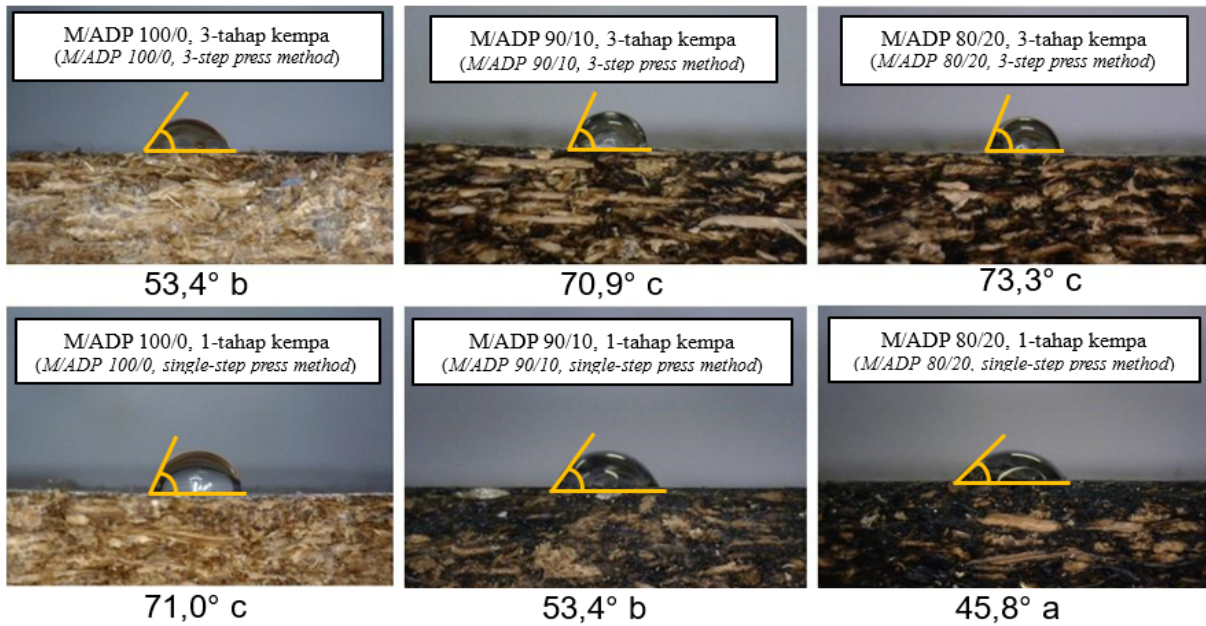
tinggi yaitu dari 90/10 ke 80/20 menurunkan nilai PT signifikan pada metode kempa 3-tahap, namun tidak signifikan pada metode kempa 1-tahap. Tren yang sama juga terjadi pada PA. Kekasaran permukaan turun signifikan dari rasio M/ADP 100/0 ke 90/10 pada metode kempa 3-tahap, namun peningkatan rasio ADP yang lebih tinggi tidak signifikan menurunkan kekasaran permukaan. Berbeda dengan metode kempa 3-tahap, peningkatan rasio ADP pada metode kempa 1 tahap tidak menurunkan kekasaran permukaan papan secara signifikan. Peningkatan sifat fisika papan partikel bambu petung diduga disebabkan oleh peningkatan ikatan antar partikel dengan semakin meningkatnya rasio ADP, seperti yang ditunjukkan pada hasil keteguhan rekat internal. Selain itu, perubahan pada sifat maltodekstrin menjadi material yang tahan air dengan adanya ADP dan panas diduga menjadi penyebab peningkatan sifat fisika papan. Sama seperti pada perekat berbasis sakarida lainnya yaitu sukrosa-ADP (Umemura et al., 2017; Zhao et al., 2018), ketidak larutan perekat maltodekstrin yang telah mengeras (*the cured maltodextrin*) dan kestabilan dimensi dan ketahanan dimensi papan partikel pelepah salak berperekat maltodekstrin meningkat seiring peningkatan rasio ADP (Dewi et al., 2020, 2022). *Fourier transform infrared* (FTIR) kedua jenis perekat menunjukkan munculnya substansi yang mengandung furan dan gugus karbonil, yang berperan dalam peningkatan ketahanan air, ketika masing-masing ditambahkan ADP dan panas.

Metode kempa 1-tahap menghasilkan sifat fisika yang lebih baik dibandingkan dengan metode kempa 3-tahap. Hasil ini berbeda dengan hasil penelitian Widyorini et al., (2018) pada papan partikel pelepah salak berperekat asam sitrat-maltodekstrin yang menggunakan waktu kempa 10 menit dan penelitian Ahmad et al., (2019) pada papan batang sawit terkompresi (impregnasi dan densifikasi) fenol formaldehida bermolekul kecil dengan waktu kempa 30-40 menit. Metode kempa 3-tahap yang menambahkan tahap *breathing* di tengah-tengah waktu kempa dikembangkan dengan tujuan mengeluarkan uap jenuh berlebih pada bahan berkadar air sehingga tidak menghalangi proses perekatan bahan tersebut dan menimbulkan delaminasi (Angle's

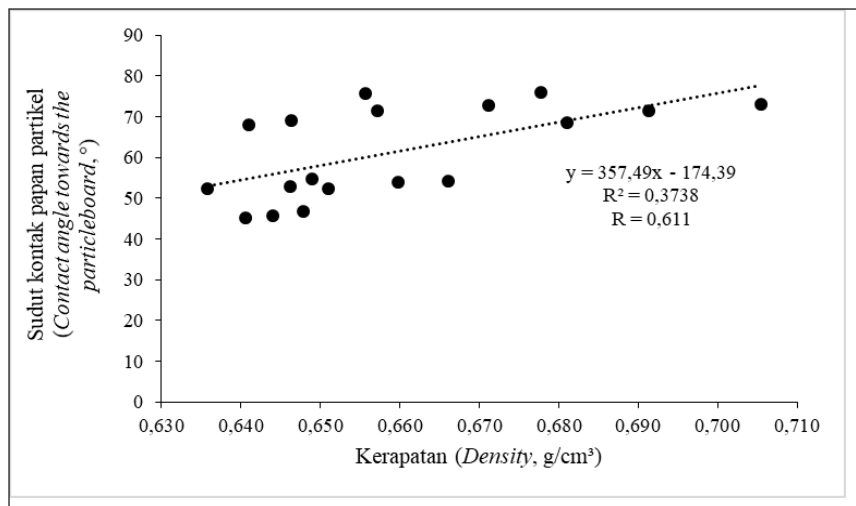
et al., 1999; Widyorini et al., 2018). Waktu kempa yang singkat (5 menit) pada penelitian ini diduga belum menghasilkan uap jenuh bertekanan tinggi selama pengempaan panas yang mampu mengganggu perekatan. Oleh karena itu, metode kempa 1-tahap justru memberikan panas yang intens pada semua bagian papan selama pengempaan dibandingkan dengan metode kempa 3-tahap yang membutuhkan waktu perambatan panas kembali setelah tahap *breathing*. Pengerasan perekat metode kempa 1-tahap menjadi lebih sempurna dan meningkatkan sifat papan partikel.

Sudut kontak papan partikel dipengaruhi oleh metode kempa dan interaksi antara rasio M/ADP dan metode kempa (Tabel 2). Pada metode kempa 3-tahap, peningkatan rasio ADP justru meningkatkan sudut kontak. Sebaliknya, peningkatan rasio ADP pada papan yang dikempa dengan metode kempa 1-tahap justru menurunkan sudut kontak secara signifikan (Gambar 4). Tren nilai sudut kontak berbanding lurus dengan tren kerapatan papan partikel pada penelitian ini. Analisis regresi linier menunjukkan bahwa sudut kontak memiliki keterkaitan yang lebih tinggi dengan kerapatan ($R=0,61$) (Gambar 5) dibandingkan dengan kekasaran permukaan ($R=0,02$), kadar air ($R=0,30$), dan penyerapan air ($R= 0,13$). Sudut kontak papan partikel bambu terhadap air berkisar antara $45,8-73,3^\circ$ (Gambar 4). Sudut kontak di bawah 90° menunjukkan keterbasahan tinggi yang diduga akan menyebarkan cairan dengan baik (Young 1805 dalam Benkreif et al., 2021). Sudut kontak papan partikel terhadap air dapat membantu untuk memprediksi sifat keterbasahan permukaan papan terhadap bahan finishing berbasis air. Sudut kontak $71-94^\circ$ menghasilkan *coating* berbasis akrilik berpelarut air yang sifat rekatnya cukup baik (Žigon et al., 2022).

Peningkatan keteguhan rekat internal (KR) secara signifikan terjadi pada metode 3-tahap dari rasio 100/0 dan 90/10 ke 80/20 (Gambar 6a). Sementara, pada metode kempa 1 tahap, rasio ADP tidak berpengaruh pada KR. Sama seperti sifat fisika, hal ini mungkin berkaitan dengan perambatan panas. KR yang memenuhi standar JIS A 5908 dan SNI 03-2105 tipe 8 (0,15 MPa atau $1,5 \text{ kgf/cm}^2$) diperoleh dari rasio MADP 80/20



Gambar 4. Sudut kontak papan partikel terhadap air

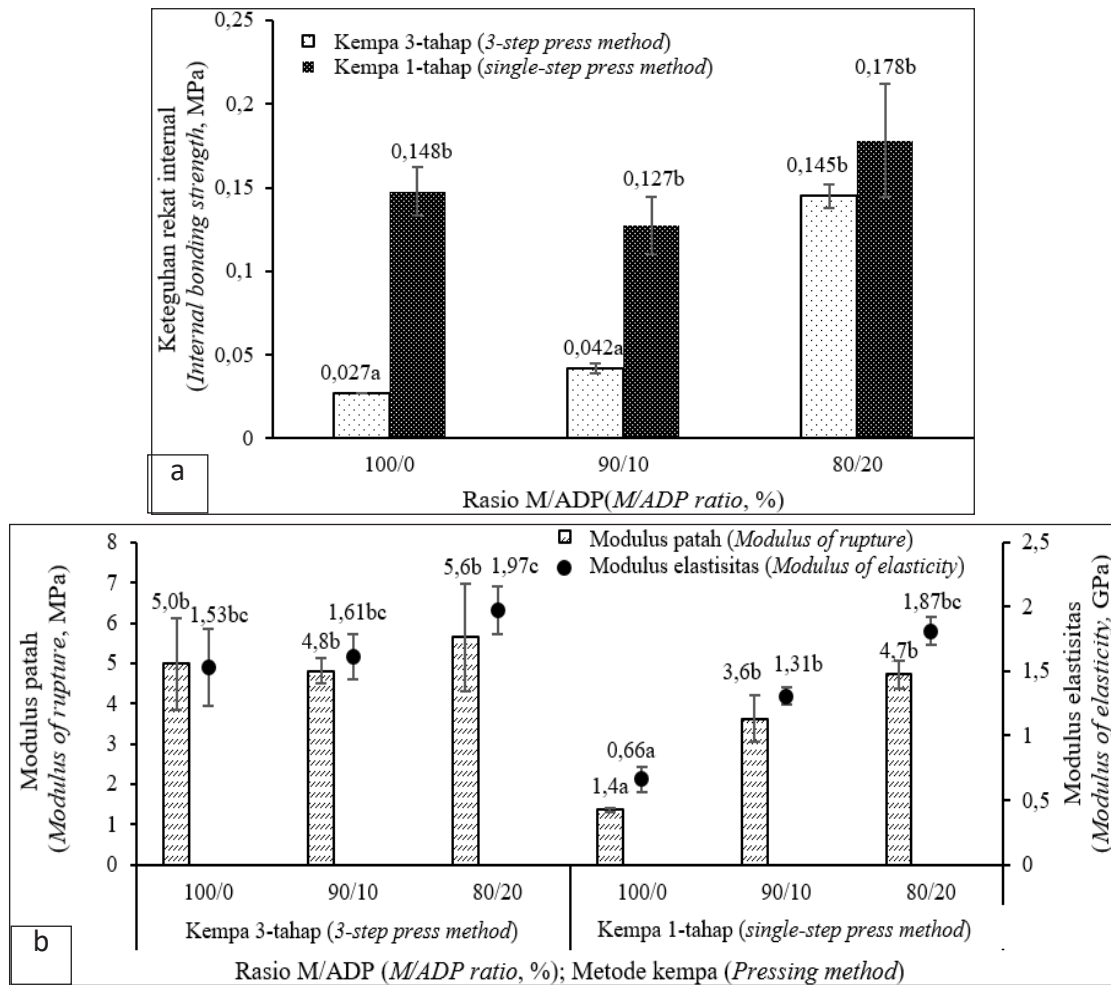


Gambar 5. Hubungan sudut kontak papan partikel dengan kerapatan papan partikel

dengan metode kempa 1-tahap. KR penelitian ini lebih rendah dibandingkan KR papan partikel ampas sorgum dengan menggunakan perekat asam sitrat yang kondisi pengempaan (suhu dan waktu) sama, namun kerapatan papannya lebih tinggi ($\pm 0,8 \text{ g/cm}^3$) yaitu $\pm 0,65 \text{ MPa}$ (Kusumah, Umemura, Guswenrivo, Yoshimura, Kanayama, 2017a).

Modulus patah (MOR) dan modulus elastisitas (MOE) papan meningkat seiring dengan peningkatan rasio ADP pada penggunaan

metode kempa 1 tahap (Gambar 6b), sedangkan pada metode kempa 3-tahap, penambahan ADP tidak berpengaruh terhadap modulus patah dan modulus elastisitas. Penambahan rasio setiap 10% meningkatkan modulus patah dan modulus elastisitas papan. Semua papan partikel pada penelitian ini belum dapat memenuhi standar modulus patah dan modulus elastisitas standar JIS dan SNI (minimal modulus patah 8 MPa dan minimal modulus elastisitas 2 GPa). MOR papan penelitian ini juga belum mampu memenuhi standar ANSI (*American National Standard Institute*) A208.1-1999 tipe M1 dan MS untuk papan partikel

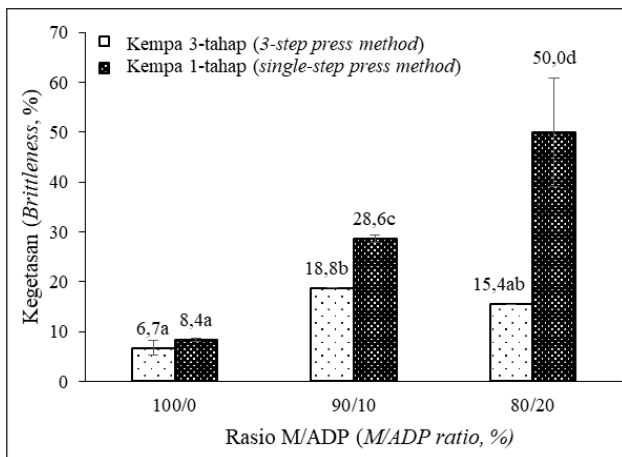


Gambar 6. a) Keteguhan rekat internal, dan b) Keteguhan lengkung statik papan partikel bambu petung

industri dan rak yaitu 11-12,5 MPa, namun beberapa MOEnya telah memenuhi standar ANSI tipe M1 dan MS (1,725 GPa dan 1,9 GPa) dan standar EN (*European Norm*) 310-1993 untuk mebel (1,6 GPa) (Semple, Sackey, Park, & Smith, 2005; Nemli & Çolakoğlu, 2005). Penggunaan papan untuk mebel menjadi kurang tepat karena MOR dan KR belum memenuhi standar, namun papan dapat digunakan untuk papan tulis, pajangan, dan lain-lain yang tidak membutuhkan kekuatan tinggi. Upaya peningkatan MOR dan MOE diperlukan pada penelitian lebih lanjut.

Kegetasan menunjukkan sifat suatu bahan yang patah ketika terkena stress, tetapi memiliki kecenderungan sedikit deformasi elastis sebelum patah (Zhang, 2011). Lebih lanjut, suatu material yang getas memiliki sifat yang tidak ulet (*non-ductile*), kekuatan tekan tinggi, namun kekuatan tarik rendah. Papan partikel penelitian ini memiliki kegetasan

berkisar antara 6,7-50% (Gambar 7) yang cenderung lebih rendah atau menyerupai papan partikel ampas sorgum dengan perekat sukrosa ($\pm 37\%$) (Kusumah et al., 2017b). Papan partikel bambu menjadi lebih getas dengan semakin tinggi rasio ADP, terutama pada metode kempa 1 tahap. Kegetasan dapat meningkat lebih dari 6x dengan penggunaan rasio ADP 20% dibandingkan tanpa penggunaan ADP pada metode kempa 1-tahap. Fenomena ini dapat menunjukkan adanya degradasi lignoselulosa oleh adanya ADP dan panas. Pada *scrimber* bambu yang dikenai perlakuan panas, kegetasan bambu meningkat signifikan yang disebabkan oleh degradasi polisakarida dan aransemenn kimia lignin yang sangat intens pada suhu 200°C (Shangguan, Gong, Zhao, & Ren, 2016).



Gambar 7. Kegetasan papan partikel bambu petung

KESIMPULAN

Sifat papan partikel bambu petung dipengaruhi signifikan oleh rasio maltodekstrin/ADP dan metode pengempaan. Peningkatan rasio ADP meningkatkan sifat papan partikel. Pengempaan 1 tahap terbukti lebih baik digunakan pada lama pengempaan 5 menit. Penggunaan perekat maltodekstrin/ADP 80/20 dengan metode pengempaan 1 tahap pada waktu kempa 5 menit menghasilkan papan partikel bambu petung terbaik pada penelitian ini dan dapat digunakan untuk produk yang tidak membutuhkan kekuatan tinggi (*non-load-bearing use*) seperti untuk papan tulis, pajangan, dan lain-lain. Waktu kempa penelitian ini lebih singkat dibanding dengan waktu kempa papan komersial (7-10 menit).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diberikan kepada Anhdika Lazari Giri yang telah membantu penelitian. Penelitian ini mendapat dukungan dana dari Program Peningkatan Kapasitas Peneliti Dosen Muda Universitas Gadjah Mada Tahun Anggaran 2023.

KONTRIBUSI PENULIS

Semua penulis berkontribusi dalam mencetuskan ide dan mengembangkan desain penelitian. GKD dan ENA melakukan percobaan, pengujian, pengumpulan data dan analisis data yang kemudian ditulis oleh GKD, RW, ENA, dan ANJ.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N. A., Bakar, E. S., Lee, S. H., & Zaidon, A. (2019). Effects of pressing cycles and durations on the properties of compreg oil palm wood. *Wood Material Science and Engineering*, *14*(2), 59–65. <https://doi.org/10.1080/17480272.2017.1378264>
- Aini, E. N., Widyorini, R., Prayitno, T. A., & Setyayunita, T. (2020). Characteristics of bamboo particleboard bonded with citric acid-starch using three-step press cycle method. *Key Engineering Materials*, *840*, 543-550. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.840.543>
- Angle's, M. N., Reguant, J., Montané, D., Ferrando, F., Farriol, X., & Salvado', J. (1999). Binderless composites from pretreated residual softwood. *Journal of Applied Polymer Science*, *73*, 2485–2491.
- Baishya, P., & Maji, T. K. (2014). Studies on effects of different cross-linkers on the properties of starch-based wood composites. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, *2*(7), 1760–1768. <https://doi.org/10.1021/sc5002325>
- Benkreif, R., Brahmia, F. Z., & Csiha, C. (2021). Influence of moisture content on the contact angle and surface tension measured on birch wood surfaces. *European Journal of Wood and Wood Products*, *79*(4), 907–913. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01666-6>
- BSN. (2006). Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2105-2006: Papan partikel. In *Badan Standarisasi Nasional (BSN)* (pp. 1–27). Badan Standarisasi Nasional.
- Cahyati, M., & Widyorini, R. (2013). *Pengaruh Siklus Pengempaan dan Ukuran Partikel terhadap Sifat Papan Partikel Tanpa Perekat dari Batang Kelapa Sawit* [Skripsi, Universitas Gadjah Mada]. <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- Dewi, G. K., Widyorini, R., & Lukmandaru, G. (2020). Effect of ammonium dihydrogen phosphate (ADP) addition as catalyst on the curing maltodextrin adhesives properties. *Key Engineering Materials*, *840*, 551–557. www.scientific.net.
- Dewi, G. K., Widyorini, R., & Lukmandaru, G. (2022). Application of maltodextrin-based adhesive on particleboard made from salacca frond. *BioResources*, *17*(1), 190–206.
- Dorieh, A., Selakjani, P. P., Shahavi, M. H., Pizzi, A., Ghafari Movahed, S., Farajollah Pour, M., & Aghaei, R. (2022). Recent developments in the performance of micro/nanoparticle-modified urea-formaldehyde resins used as wood-based composite binders: A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *114*. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2022.103106>

- Flores, J. A., Pastor, J. J., Martínez-Gabarrón, A., Gimeno-Blanes, F. J., Rodríguez-Guisado, I., & Frutos, M. J. (2011). Arundo donax chipboard based on urea-formaldehyde resin using under 4mm particles size meets the standard criteria for indoor use. *Industrial Crops and Products*, 34(3), 1538–1542. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.05.011>
- Galli, C. L., Bettin, F., Metra, P., Fidente, P., De Dominicis, E., & Marinovich, M. (2015). Novel analytical method to measure formaldehyde release from heated hair straightening cosmetic products: Impact on risk assessment. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 72(3), 562–568. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.05.010>
- Gu, Y., Cheng, L., Gu, Z., Hong, Y., Li, Z., & Li, C. (2019). Preparation, characterization and properties of starch-based adhesive for wood-based panels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 247–254. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.088>
- Hiziroglu, S., Hadi, S., & Hermawan, D. (2008). Surface quality of commercially manufactured particleboard panels in Indonesia. *Journal of Tropical Wood Science and Technology*, 6(1), 13–16.
- Hiziroglu, S., Jarusombuti, S., & Fueangvivat, V. (2004). Surface characteristics of wood composites manufactured in Thailand. *Building and Environment*, 39(11), 1359–1364. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.02.004>
- Hiziroglu, S., & Suzuki, S. (2007). Evaluation of surface roughness of commercially manufactured particleboard and medium density fiberboard in Japan. *Journal of Materials Processing Technology*, 184, 436–440. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.11.011>
- JSA. (2015). Japan Industrial Standard (JIS) A 5908: Particleboards. In *Japan Standards Association* (pp. 1–52).
- Kumar, R. N., & Pizzi, A. (2019). Environmental Aspects of Adhesives-Emission of Formaldehyde. In *Adhesives for Wood and Lignocellulosic Materials* (pp. 293–315).
- Kusumah, S. S., Arinana, A., Hadi, Y. S., Guswenrivo, I., Yoshimura, T., Umemura, K., Tanaka, S., & Kanayama, K. (2017). Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid in the manufacturing of particleboard. III: Influence of adding sucrose on the properties of particleboard. *BioResources*, 12(4), 7498–7514.
- Kusumah, S. S., Umemura, K., Guswenrivo, I., Yoshimura, T., & Kanayama, K. (2017). Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard II: Influences of pressing temperature and time on particleboard properties. *Journal of Wood Science*, 63(2), 161–172. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1605-0>
- Li, S., Li, S., Wang, C., & Zhu, X. (2020). Catalytic effects of ammonium dihydrogen phosphate on the pyrolysis of lignocellulosic biomass: Selective production of furfural and levoglucosenone. *Fuel Processing Technology*, 209, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106525>
- Phuong, L. X., Shida, S., & Saito, Y. (2007). Effects of heat treatment on brittleness of *Styrax tonkinensis* wood. *Journal of Wood Science*, 53(3), 181–186. <https://doi.org/10.1007/s10086-006-0841-0>
- Pizzi, A. (2006). Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: Opportunities and issues. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 20(8), 829–846. <https://doi.org/10.1163/156856106777638635>
- Prasetyo, D. H., & Widyorini, R. (2010). *Pengaruh Waktu Ekstraksi dan Metode Pengempaan terhadap Sifat Papan Partikel Tanpa Perekat Limbah Pengetaman Kayu Jati (Tectona grandis L.f)* [Skripsi, Universitas Gadjah Mada]. <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- Qiao, Z., Gu, J., Lv, S., Cao, J., Tan, H., & Zhang, Y. (2015). Preparation and properties of isocyanate prepolymer/corn starch adhesive. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 29(13), 1368–1381. <https://doi.org/10.1080/01694243.2015.1030157>
- Ramdugwar, V., Fernandes, H., & Gadekar, P. (2022). Study of scavengers for free formaldehyde reduction in phenolic resins used in polychloroprene based contact adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2022.103122>
- Sandberg, D. (2016). Additives in Wood Products—Today and Future Development. In A. Kutnar & S. S. Muthu (Eds.), *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes* (pp. 105–172). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0655-5_4
- Shangguan, W., Gong, Y., Zhao, R., & Ren, H. (2016). Effects of heat treatment on the properties of bamboo scrimber. *Journal of Wood Science*, 62(5), 383–391. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1574-3>
- Souham, T., & Gupta, A. (2021). Eco-friendly natural rubber latex and modified starch-based adhesive for wood-based panels application-A review. *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication*, 3(1), 49–53. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/MIJEEC>
- Sridach, W., Jonjankiat, S., & Wittaya, T. (2013). Effect of citric acid, PVOH, and starch ratio on the properties of cross-linked poly(vinyl alcohol)/

- starch adhesives. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 27(15), 1727–1738. <https://doi.org/10.1080/01694243.2012.753394>
- Srinivas, K., & Pandey, K. K. (2012). Effect of heat treatment on color changes, dimensional stability, and mechanical properties of wood. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 32(4), 304–316. <https://doi.org/10.1080/02773813.2012.674170>
- Sundqvist, B., Karlsson, O., & Westermark, U. (2006). Determination of formic-acid and acetic acid concentrations formed during hydrothermal treatment of birch wood and its relation to colour, strength and hardness. *Wood Science and Technology*, 40(7), 549–561. <https://doi.org/10.1007/s00226-006-0071-z>
- Umemura, K., Hayashi, S., Tanaka, S., & Kanayama, K. (2017). Changes in physical and chemical properties of sucrose by the addition of ammonium dihydrogen phosphate. *Journal of The Adhesion Society of Japan*, 53(4), 112–117.
- Umemura, K., Sugihara, O., & Kawai, S. (2013). Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard. *Journal of Wood Science*, 59(3), 203–208. <https://doi.org/10.1007/s10086-013-1326-6>
- Widyorini, R. (2020). Evaluation of physical and mechanical properties of particleboard made from petung bamboo using sucrose-based adhesive. *BioResources*, 15(3), 5072–5086.
- Widyorini, R., Nugraha, P. A., Rahman, M. Z. A., & Prayitno, T. A. (2016). Bonding ability of a new adhesive composed of citric acid-sucrose for particleboard. *BioResources*, 11(2), 4526–4535.
- Widyorini, R., Umemura, K., Septiano, A., Soraya, D. K., Dewi, G. K., & Nugroho, W. D. (2018). Manufacture and properties of citric acid-bonded composite board made from salacca frond: Effects of maltodextrin addition, pressing temperature, and pressing method. *BioResources*, 13(4), 8662–8676. <https://doi.org/10.15376/biores.13.4.8662-8676>
- Xing, J., Li, T., Yu, Y., Chen, C., & Chang, J. (2018). Development and characterization of a new bio-adhesive for wood using cassava starch and bio-oil. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 87, 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.09.005>
- Zhang, H. (2011). *Building Materials in Civil Engineering* (H. Zhang, Ed.). Woodhead Publishing.
- Zhang, Y., Ding, L., Gu, J., Tan, H., & Zhu, L. (2015). Preparation and properties of a starch-based wood adhesive with high bonding strength and water resistance. *Carbohydrate Polymers*, 115, 32–57. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.063>
- Zhao, Z., Hayashi, S., Xu, W., Wu, Z., Tanaka, S., Sun, S., Zhang, M., Kanayama, K., & Umemura, K. (2018). A novel eco-friendly wood adhesive composed by sucrose and ammonium dihydrogen phosphate. *Polymers*, 10(11), 1–14. <https://doi.org/10.3390/polym10111251>
- Zhao, Z., & Umemura, K. (2015). Investigation of a new natural particleboard adhesive composed of tannin and sucrose. 2. Effect of pressing temperature and time on board properties, and characterization of adhesive. *BioResources*, 10(2), 2444–2460.
- Žigon, J., Kovač, J., & Petrič, M. (2022). The influence of mechanical, physical and chemical pre-treatment processes of wood surface on the relationships of wood with a waterborne opaque coating. *Progress in Organic Coatings*, 162, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106574>

