

Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel Sengon dengan Perekat Asam Sitrat-Sukrosa

(Physical and Mechanical Properties of Sengon Particleboard Using Citric Acid-Sucrose Adhesive)

Ragil Widyorini^{1*}, Pradana A Nugraha²

¹ Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Jl. Agro No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281 Indonesia

² Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

*Penulis korespondensi: rwidyorini@ugm.ac.id

Abstract

The development of natural adhesive for particleboard has still limited. In this study, only citric acid and sucrose were used as natural adhesive for particleboard. Sengon (*Falcataria mollucana*) particle was used as the raw material. Citric acid and sucrose were dissolved in water under a certain ratio and the concentration of the solution was adjusted to 59 ~ 60%. The mixture ratio of citric acid/sucrose were 100/0, 75/25, 50/50, 25/75, and 0/100. The solution was sprayed onto particles at 7.5 and 15% resin content based on the weight of the air-dried particles. The manufacture of the particleboard with a target density of 0.9 g cm⁻³ was attempted under a press condition of 200 °C for 10 min. The results showed that addition of resin content increased the physical and mechanical properties of the boards. Highest properties of particleboard was achieved at 15% of resin content and the mixture ratio of citric acid and sucrose was 50/50. The modulus of rupture, modulus of elasticity, and internal bond strength were 10.7 MPa, 3.3 GPa, and 0.5 MPa, respectively. The thickness swelling and water absorption after water immersion for 24 h were 4.3% and 26%, respectively, indicating that the adhesion had good water resistance.

Key words: adhesive composition, citric acid, particleboard, sucrose, sengon

Abstrak

Pengembangan perekat alam untuk papan partikel masih sangat terbatas. Pada penelitian ini, asam sitrat dan sukrosa digunakan sebagai perekat alami papan partikel. Partikel sengon (*Falcataria mollucana*) digunakan sebagai bahan baku penelitian. Asam sitrat dan sukrosa dilarutkan dalam air dengan konsentrasi 59 ~ 60% pada komposisi tertentu. Rasio asam sitrat/sukrosa adalah 100/0, 75/25, 50/50, 25/75, dan 0/100. Larutan kemudian dicampur dengan partikel dengan kadar perekat 7,5% dan 15% berdasarkan berat kering udara partikel. Pembuatan papan partikel diset dengan target kerapatan 0,9 g cm⁻³ dan dikempa pada suhu 200 °C selama 10 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan jumlah kadar perekat meningkatkan sifat fisika dan mekanika papan partikel. Kualitas papan partikel tertinggi diperoleh pada papan partikel yang dibuat dengan kadar perekat 15% dan rasio asam sitrat/sukrosa adalah 50/50. Nilai tertinggi modulus patah, modulus elastisitas, dan kekuatan rekat internal papan partikel adalah 10,7 MPa, 3,3 GPa, dan 0,5 MPa. Nilai pengembangan tebal dan penyerapan air setelah direndam selama 24 jam adalah 4,3% dan 26%, mengindikasikan bahwa papan partikel mempunyai ketahanan terhadap air yang baik.

Kata kunci: asam sitrat, komposisi perekat, papan partikel, sengon, sukrosa

Pendahuluan

Isu mengenai produk ramah lingkungan menjadi salah satu poin penting yang harus diperhatikan pada pembuatan komposit. Produk komposit berbasis kayu, seperti papan partikel dan papan serat, pada umumnya masih menggunakan bahan perekat berbasis formaldehida. Kendala serius yang sering dihadapi oleh industri adalah emisi formaldehida yang dihasilkan masih cukup tinggi atau melebihi standar yang sudah ditetapkan. Emisi ini dikeluarkan dari sisa formaldehida bebas yang masih ada dalam perekat maupun formaldehida yang dilepaskan selama proses penggunaan. Data *International Agency for Research on Cancer/IARC monographs* volume 88 dan 100F (IARC 2006, 2012) menyebutkan bahwa formaldehida diklasifikasikan ke dalam grup 1, yang merupakan bahan-bahan yang mengandung bahan karsinogen yang dapat menyebabkan kanker terhadap manusia. Hal ini harus menjadi perhatian serius, karena produk papan komposit sudah menjadi kebutuhan sehari-hari manusia, seperti komponen mebel, mainan anak-anak, lantai, dinding, maupun komponen struktural.

Salah satu solusi dari permasalahan-permasalahan tersebut diatas antara lain dengan mengembangkan perekat alami berbasis biomasa seperti lignin, tanin, kedelai, kitosan, dan sebagainya. Salah satu bahan perekat alami yang potensial untuk dikembangkan, seperti asam sitrat (Umemura *et al.* 2011, Umemura *et al.* 2012, Widyorini *et al.* 2012a, 2012b, 2014, 2015), dengan menggunakan bahan kayu (akasia) maupun non kayu (bambu, pelepah nipah, dan pelepah kelapa sawit). Papan partikel yang dihasilkan dapat memenuhi standard *Japanese Industrial Standard (JIS) A 5908* untuk papan partikel. Penelitian

Umemura *et al.* (2012) dan Widyorini *et al.* (2015) menunjukkan bahwa ikatan ester yang terbentuk antara gugus hidroksil dari bahan berlignoselulosa dan gugus karboksil dari asam sitrat memegang peran penting dalam menghasilkan papan partikel dengan kualitas baik.

Penggunaan bahan lain oleh Lamaming *et al.* (2013) memperlihatkan bahwa penambahan sukrosa sebanyak 20% meningkatkan modulus patah dan kekuatan rekat internal papan partikel dari pelepah kelapa sawit. Pencampuran asam sitrat dan sukrosa telah berhasil diaplikasikan oleh Umemura *et al.* (2013) pada papan partikel dari campuran kayu daun jarum. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa rasio asam sitrat/sukrosa sebanyak 25/75 memberikan sifat papan partikel yang terbaik. Penambahan sukrosa pada penelitian tersebut, ditujukan untuk menambah jumlah gugus hidroksil yang dapat berikatan dengan gugus karboksil dari asam sitrat membentuk ikatan ester (Umemura *et al.* 2013). Pencampuran sukrosa dengan tanin dilakukan oleh Zhao dan Umemura (2014) dan menghasilkan hasil yang optimal pada rasio tanin/sukrosa sebesar 25/75. Hasil analisis menggunakan *fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)* menduga adanya reaksi antara tanin dengan 5-hidroksi metil furfural (turunan dari sukrosa selama proses pemanasan) melalui ikatan dimetil eter.

Penelitian menggunakan asam sitrat maupun sukrosa ini masih relatif baru dan belum banyak dilakukan. Sifat bahan baku partikel, asam sitrat dan sukrosa yang berbeda diduga saling berinteraksi menghasilkan kualitas papan partikel yang variasi. Pada penelitian Widyorini dan Satiti (2011), papan partikel dari sengon dapat dibuat tanpa menggunakan

perekat dengan nilai yang masih dibawah standar JIS A 5908 (2003) untuk papan partikel. Penambahan asam sitrat dan sukrosa diharapkan dapat meningkatkan kualitas papan partikel dari sengon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah perekat dan komposisi perekat (asam sitrat/sukrosa) terhadap sifat fisika dan mekanika papan partikel dari sengon.

Bahan dan Metode

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah partikel sengon dengan ukuran lolos 10 mesh. Partikel sengon sebelum dicampur dengan perekat dikeringudarkan terlebih dahulu. Bahan perekat yang digunakan adalah asam sitrat dan sukrosa.

Jumlah perekat yang digunakan sebanyak 7,5 dan 15% berdasarkan berat partikel kering udara. Komposisi asam sitrat dan sukrosa divariasikan dengan rasio 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 dan 100/0, dengan konsentrasi larutan 59~60%. Setelah dicampur dengan perekat, partikel kemudian dioven pada suhu 80 °C sampai diperoleh kadar air sekitar 4~7%. Selanjutnya campuran tersebut dibuat mat dengan ukuran (25x25) cm², target ketebalan 0,7 cm dan target kerapatan 0,9 g cm⁻³. Proses pengempaan papan partikel dilakukan pada suhu 200 °C selama 10 menit. Setelah proses pengempaan, papan partikel dikondisikan selama kurang lebih 7~10 hari. Semua kondisi percobaan dilakukan ulangan sebanyak 3 kali.

Pengujian kualitas papan partikel meliputi sifat fisis dan mekanis papan partikel berdasarkan standar JIS A 5908 (2003), yaitu kadar air, kerapatan, pengembangan tebal dan penyerapan air, kekasaran permukaan, modulus patah,

modulus elastisitas, dan keteguhan rekat internal. Nilai pengembangan tebal dan penyerapan air diperoleh setelah merendam sampel berukuran (5x5x0,7) cm³ ke dalam air pada suhu ruangan selama 24 jam. Pengujian kekuatan rekat internal menggunakan sampel berukuran (5x5x0,7) cm³. Sampel uji ukuran (20x5x0,7) cm³ digunakan untuk pengujian modulus patah dan modulus elastisitas. Sebelum dilakukan pengujian modulus patah dan modulus elastisitas, enam titik di kedua permukaan pada masing-masing sampel secara acak dievaluasi dengan menggunakan alat pengujian kekasaran permukaan SRG 400. Parameter yang digunakan adalah kekasaran permukaan rata-rata (Ra).

Hasil dan Pembahasan

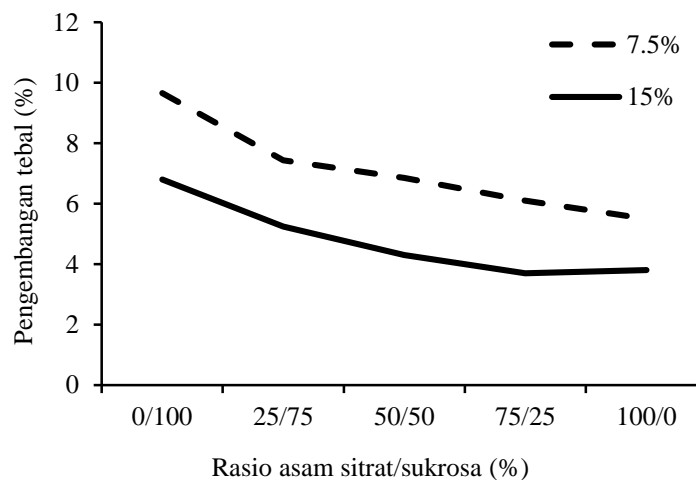
Sifat fisis

Semua papan partikel dengan perekat asam sitrat dan sukrosa tidak mengalami delaminasi. Kerapatan papan partikel rata-rata adalah 0,77 g cm⁻³ (jumlah perekat 7,5%) dan 0,89 g cm⁻³ (jumlah perekat 15%). Nilai kadar air rata-rata papan partikel sengon dengan perekat asam sitrat dan sukrosa berkisar antara 4,45-7,07 %. Standar JIS A 5908-2003 mensyaratkan nilai kadar air papan partikel berkisar 5-13%. Nilai kadar air rata-rata papan partikel dengan perekat 7,5% lebih tinggi (rata-rata 6,49%) dibandingkan dengan kadar air rata-rata papan dengan penambahan perekat 15% (rata-rata 4,96%). Hal ini menunjukkan penambahan jumlah asam sitrat dan sukrosa dapat meningkatkan stabilitas papan. Dalam proses tersebut gugus hidroksil kayu yang bersifat hidrofilik digantikan oleh ikatan ester yang lebih hidrofobik, seperti dinyatakan oleh Umemura *et al.* (2013) dan Widyorini *et al.* (2015).

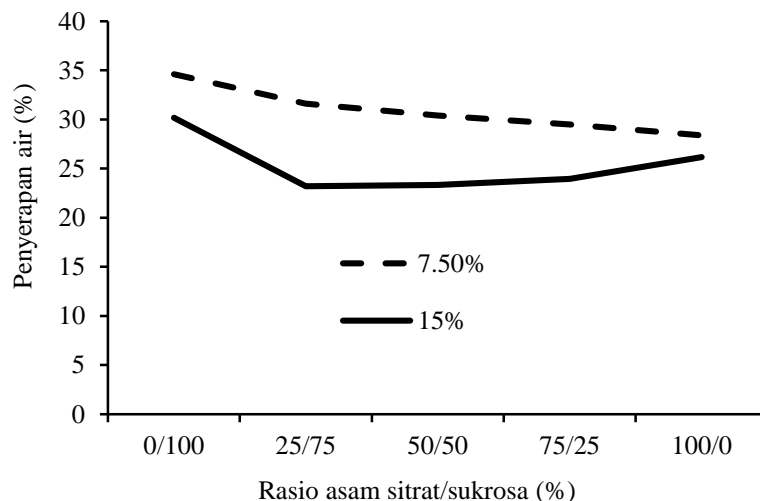
Gambar 1 menunjukkan nilai pengembangan tebal setelah sampel direndam dalam air selama 24 jam. Semua nilai pengembangan tebal papan partikel sengon pada penelitian ini sudah memenuhi standar JIS A 5908 (maksimal 12%), yaitu berkisar antara 2,9-9,65%. Secara rata-rata, papan partikel dengan perekat 7,5% menunjukkan nilai pengembangan tebal lebih tinggi atau kestabilan dimensi yang lebih jelek dibandingkan dengan papan dengan perekat 15%. Penambahan jumlah perekat asam sitrat dan sukrosa meningkatkan ketahanan papan partikel terhadap air. Penelitian Umemura *et al.* (2013) menunjukkan bahwa sistem perekatan antara asam sitrat dan sukrosa dapat menghasilkan ikatan yang tahan terhadap air atau kestabilan dimensi yang semakin meningkat.

Nilai pengembangan tebal papan partikel sengon tertinggi terjadi pada papan dengan jumlah perekat 7,5% dan komposisi 100% sukrosa, sedangkan nilai terendah adalah papan dengan jumlah perekat 15% dan komposisi

100% asam sitrat. Penambahan 20% sukrosa menyebabkan pengembangan tebal pada papan partikel batang kelapa sawit dapat berkurang dua kali dibanding papan tanpa menggunakan perekat (Lamaming *et al.* 2013). Kontribusi sukrosa dalam perekatan papan partikel dari limbah kayu daun jarum menunjukkan penurunan nilai pengembangan tebal seiring dengan bertambahnya rasio sukrosa (Umemura *et al.* 2013). Penggunaan 100% sukrosa pada papan partikel sengon menghasilkan nilai pengembangan tebal yang tertinggi, hal ini kemungkinan disebabkan karena pada suhu 200°C, sukrosa terkonversi menjadi karamel yang mengandung cukup banyak zat terlarut air. Pada penelitian ini, semua nilai pengembangan tebal yang diperoleh memenuhi standar JIS A 5908 (2003), yaitu dibawah 12%. Hal tersebut menunjukkan bahwa papan partikel sengon dengan perekat asam sitrat dan sengon mempunyai kestabilan dimensi yang baik.



Gambar 1 Nilai pengembangan tebal papan partikel pada berbagai jumlah perekat dan rasio perekat asam sitrat/sukrosa.

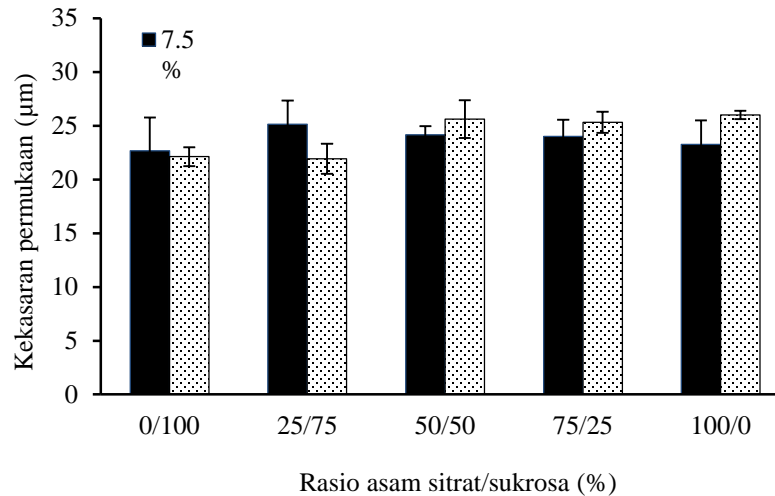


Gambar 2 Nilai penyerapan air papan partikel pada berbagai variasi jumlah perekat dan rasio perekat asam sitrat/sukrosa.

Gambar 2 menunjukkan nilai penyerapan air papan sengon dengan perekat asam sitrat dan sukrosa pada penelitian ini berkisar 21-35%. Papan dengan jumlah perekat 15% menghasilkan penyerapan air yang lebih rendah dibanding papan dengan penambahan perekat 7,5%, seperti kecenderungan pada nilai pengembangan tebal. Umemura *et al.* (2013) menyatakan terjadi reaksi antara asam sitrat dengan sukrosa dengan komponen-komponen kayu, membentuk ikatan ester yang dapat meningkatkan ketahanan yang lebih baik terhadap air. Widyorini *et al.* (2012b) menemukan bahwa terjadi penurunan nilai penyerapan air papan partikel bambu dari 43% hingga 19% seiring dengan bertambahnya asam sitrat. Nilai penyerapan air mengalami penurunan dari 90,7% menjadi 59,9% untuk papan dengan penambahan 20% sukrosa (Lamaming *et al.* 2013).

Kekasaran permukaan merupakan indikator yang penting untuk proses

tahap pelapisan maupun perekatan dengan bahan lain seperti kertas melamin (Abdolzadeh & Doolthoseini 2009). Gambar 3 menunjukkan nilai rata-rata kekasaran permukaan papan partikel ini berkisar antara 21,9-26,0 μm . Hasil tersebut mengindikasikan bahwa jumlah perekat maupun komposisi perekat pada penelitian ini tidak mempengaruhi nilai kekasaran permukaan papan partikel. Kecenderungan berbeda ditemukan pada penelitian Widyorini *et al.* (2015), dimana nilai kekasaran permukaan papan partikel bambu tanpa perekat sebesar 12,6 μm dan menurun menjadi 3,7 μm seiring dengan penambahan asam sitrat 30%. Rata-rata nilai kekasaran permukaan papan partikel komersial adalah 3,7 to 5,5 μm (Hiziroglu & Suzuki 2007). Jika dibandingkan dengan nilai-nilai tersebut, kekasaran permukaan papan partikel hasil penelitian ini masih relatif tinggi atau kasar dan masih perlu ditingkatkan lagi.



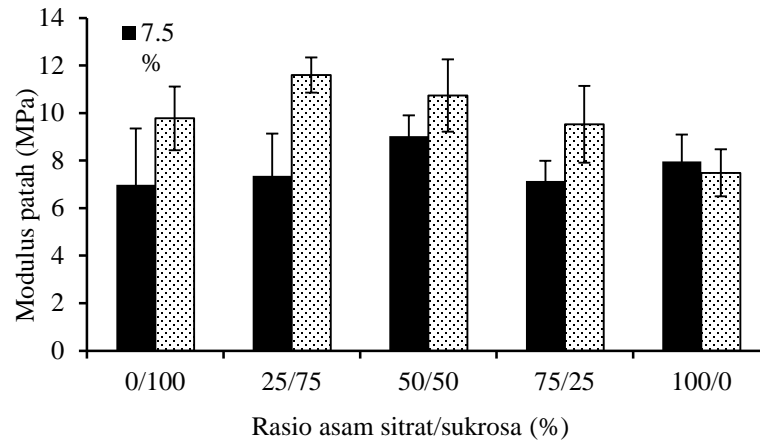
Gambar 3 Nilai kekasaran permukaan papan partikel pada berbagai variasi jumlah perekat dan rasio perekat asam sitrat/sukrosa.

Sifat mekanis

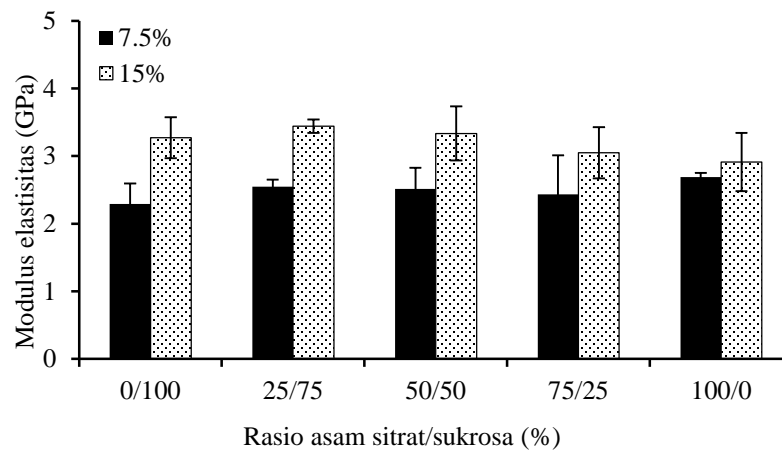
Nilai rerata MOR papan berkisar antara 6,98-11,60 MPa (Gambar 4). Pada penambahan perekat 15%, kecuali 100% asam sitrat, semua komposisi perekat memberikan nilai modulus patah yang melebihi standar JIS A 5908 tipe 8, minimal 8 MPa. Penambahan perekat 7,5% dengan komposisi rasio asam sitrat/sukrosa (50/50) memberikan nilai modulus patah 9 MPa. Keteguhan lengkung statik pada papan partikel dari limbah kayu daun jarum meningkat seiring dengan meningkatnya rasio sukrosa (Umemura *et al.* 2013). Hasil penelitiannya memperlihatkan nilai MoR papan partikel dengan jumlah perekat 20% meningkat dari 10,7 MPa (100% asam sitrat) menjadi 20,1 MPa (25% asam sitrat 75% sukrosa), kemudian turun menjadi 11,6 MPa (100% sukrosa). Hasil yang sama juga dapat dilihat pada penelitian ini. Nilai MOR papan sengon meningkat dari 7,5 MPa (100% asam sitrat) menjadi 11,6 MPa (25% asam sitrat 75% sukrosa) dan 9,8 MPa (100% sukrosa) pada papan dengan jumlah perekat 15%. Lamaming *et al.* (2013) juga menyatakan bahwa

penambahan sukrosa dapat meningkatkan modulus patah papan partikel batang kelapa sawit dengan nilai tertinggi diperoleh pada papan dengan penambahan sukrosa 20% (13,6 MPa).

Nilai rerata modulus elastisitas (MOE) papan partikel sengon berkisar antara 2,3-3,4 GPa (Gambar 5). Semua nilai MOE papan pada penelitian ini memenuhi standar JIS A 5908-2003 tipe 8 yaitu minimal 2 GPa. Hal yang menarik adalah sebagian besar hasil penelitian ini dapat memenuhi standar tipe 13 (minimal 2,5 GPa). Nilai MoE papan sengon meningkat dari 2,9 GPa (100% asam sitrat) menjadi 3,4 GPa (25% asam sitrat 75% sukrosa) dan 3,3 GPa (100% sukrosa) pada papan dengan jumlah perekat 15%. Nilai MoE papan sengon dengan jumlah perekat 15% dapat melebihi standar tipe 18 yaitu minimal 3 GPa, kecuali untuk perekat 100% asam sitrat. Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian Widyorini *et al.* (2015) dengan menggunakan tiga jenis bambu dengan perekat 100% asam sitrat sebanyak 15%, yang menghasilkan nilai MoE yang relatif tinggi yaitu 3,3-4 GPa.



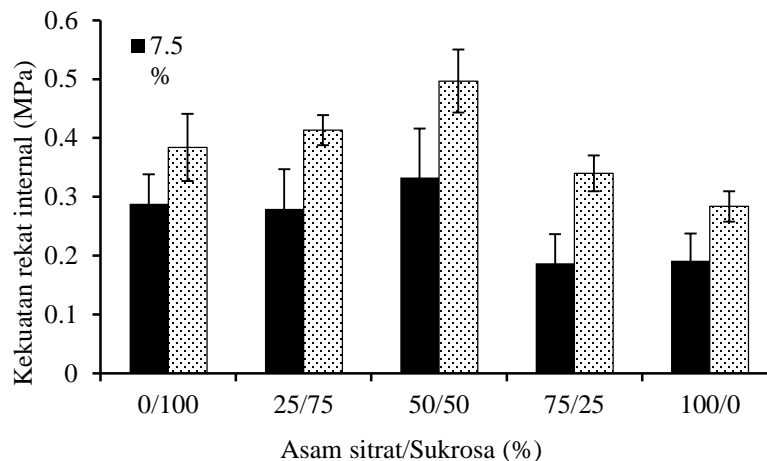
Gambar 4 Nilai modulus patah papan partikel pada berbagai variasi jumlah perekat dan rasio perekat asam sitrat/sukrosa.



Gambar 5 Nilai modulus elastisitas spesifik papan partikel pada berbagai variasi jumlah perekat dan rasio perekat asam sitrat/sukrosa.

Papan partikel sengon yang dihasilkan penelitian ini mempunyai nilai kekuatan rekat internal yang cukup tinggi (Gambar 6). Hasil pengujian kekuatan rekat internal pada penelitian ini berkisar antara 0,19-0,50 MPa, melebihi persyaratan JIS A 5908-2003 tipe 8 (minimal 0,15 MPa) dan tipe 18 (minimal 0,3 MPa). Penggunaan perekat asam sitrat 100% asam sitrat sebanyak 15% memberikan nilai kekuatan rekat internal sebesar 0,28 MPa, lebih rendah dibandingkan dengan papan partikel dari bambu dengan jenis dan jumlah perekat

yang sama, yaitu 0,34-0,4 MPa (Widyorini *et al.* 2015). Kekuatan rekat internal papan partikel sengon meningkat akibat penambahan sukrosa. Nilai kekuatan rekat internal terbaik pada penelitian ini adalah papan partikel dengan jumlah perekat 15% dan komposisi perekat asam sitrat/sukrosa (50/50), yaitu 0,5 MPa yang jauh melebihi JIS A 5908-2003 tipe 18 (0,3 MPa). Nilai kekuatan internal yang tinggi ini menunjukkan adanya ikatan yang baik antara asam sitrat dan sukrosa serta gugus hidroksil pada kayu sengon.



Gambar 6 Nilai kekuatan rekat internal spesifik papan partikel pada berbagai variasi jumlah perekat dan rasio perekat asam sitrat/sukrosa.

Sifat mekanika dari papan partikel dengan perekat asam sitrat dan sukrosa sangat dipengaruhi oleh rasio asam sitrat dan sukrosa (Umemura *et al.* 2013). Umemura *et al.* (2013) menunjukkan bahwa papan partikel dari kayu daun jarum memiliki nilai keteguhan rekat internal tertinggi pada komposisi asam sitrat/sukrosa (25/75), sedangkan nilai kekuatan rekat internal papan partikel sengon tertinggi pada penelitian ini pada komposisi asam sitrat/sukrosa (50/50). Penambahan sukrosa diduga dapat menambah gugus hidroksil yang berikatan dengan gugus karboksil dari asam sitrat untuk membentuk ikatan ester yang bersifat hidrofobik. Ikatan ester yang terjadi dapat meningkatkan kekuatan baik fisik maupun mekanik papan partikel. Penambahan sukrosa dalam campuran juga berakibat pada penurunan gugus karboksil yang dapat berikatan dengan gugus hidroksil.

Lamaming *et al.* (2013) menyatakan bahwa penambahan sukrosa dapat meningkatkan keteguhan rekat internal dari papan partikel dari batang kelapa sawit. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa sukrosa dapat

berperan sebagai perekat alami pada partikel sengon. Nilai kekuatan rekat internal papan partikel sengon dengan perekat 100% sukrosa adalah 0,29 MPa untuk jumlah perekat 7,5% dan 0,38 MPa untuk jumlah perekat 15%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sukrosa juga dapat berperan secara mandiri sebagai agen pengikat pada papan partikel.

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan asam sitrat dan sukrosa dapat digunakan sebagai perekat alami papan partikel, baik secara mandiri maupun dalam campuran. Kualitas papan partikel yang dihasilkan dapat memenuhi standar JIS A 5908 untuk papan partikel. Penambahan jumlah perekat asam sitrat dan sukrosa berpengaruh terhadap penurunan nilai kadar air, penyerapan air, pengembangan tebal, serta peningkatan nilai kerapatan, modulus patah, modulus elastisitas dan keteguhan rekat internal. Komposisi perekat berpengaruh terhadap nilai keteguhan rekat internal. Penambahan jumlah perekat 7,5% dengan rasio asam sitrat/sukrosa (50/50) memberikan

kualitas papan partikel sengon yang sudah dapat memenuhi standar JIS A 5908 tipe 8. Sifat papan partikel sengon yang tertinggi diperoleh pada papan partikel dengan penambahan jumlah perekat 15% serta komposisi perekat asam sitrat/sukrosa (50/50) dengan nilai rata-rata kadar air papan (5,1%), kerapatan ($0,9 \text{ g cm}^{-3}$), pengembangan tebal (4,3 %), penyerapan air (26,15%), kekasaran permukaan ($25,61 \text{ } \mu\text{m}$), modulus patah (10,7 MPa), modulus elastisitas (3,3 GPa), dan keteguhan rekat internal (0,5 MPa).

Daftar Pustaka

- Abdolzadeh H & Doosthoseini K. 2009. Evaluation of old corrugated container and wood fiber application on surface roughness of three-layer particleboard. *Bioresources* 4(3):970-978.
- Hiziroglu S, & Suzuki S. 2007. Evaluation of surface roughness of 464 commercially manufactured particleboard and medium density fiberboard in Japan. *J Mater Proc Technol* 184:436-440.
- [IARC] International Agency for Research on Cancer. 2012. *Chemical Agents and Related Occupations Volume 100 F: A Review of Human Carcinogens*. Paris: WHO. pp. 431-436.
- [IARC] International Agency for Research on Cancer. 2006. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 88: Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol*. Paris: WHO. pp. 431-436.
- [JIS] Japan Industrial Standard. 2003. *Particleboard A5908*. Tokyo: Japanese Standard Association.
- Lamaming J, Othman S, Tamoko S, Rokiah H, Norafizah S, Sato M. 2013. Influence of chemical components of oil palm on properties of binderless particleboard. *J Agric Life Sci*. 8(3): 3358-3371.
- Rachman O, Malik J. 2011. *Penggerak dan Pemesinan Kayu untuk Industri Perakayuan Indonesia*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Kehutanan.
- Umemura K, Ueda T, Munawar SS, Kawai S. 2011. Application of citric acid as natural adhesive for wood. *J Appl Polym Sci*. 123:1991-1996.
- Umemura K, Ueda T, Kawai S. 2012. Characterization of wood-based molding bonded with citric acid. *J Wood Sci*. 58:38-45.
- Umemura K, Sugihara O, Kawai S. 2013. Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard. *J Wood Sci*. 59:203-208.
- Widyorini R, Satiti DA. 2011. Characteristics of Binderless Particleboards made from Heat-treated Wood Species. *Proc 3rd International Symposium of Indonesian Wood Research Society*; Yogyakarta, 3-4 November 2011. Pp. 125-129.
- Widyorini R, Prayitno TA, Kurniawan BA, Wicaksono BH. 2012a. Pengaruh konsentrasi asam sitrat dan suhu pengempaan terhadap kualitas papan partikel dari pelepah nipah. *J Ilmu Kehutanan* VI(1):61-70.

- Widyorini R, Yudha AP, Ngadianto A, Prayitno TA, Umemura K, Kawai S. 2012b. Development of Bio-based Composite Made From Bamboo And Oil Palm Frond. Proc BIOCOMP 2012 (11th Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium); Shizuoka, Japan. 27-30 November 2012. Pp. 219-225.
- Widyorini R, Yudha AP, Isnain R, Awaludin A, Prayitno TA, Ngadianto A, Umemura K. 2014. Improving the physico-mechanical properties of eco-friendly composite made from bamboo. *Advanced Mater. Res.* 896: 562-565.
- Widyorini R, Umemura K, Isnain R, Putra DR, Awaludin A, Prayitno TA. 2015. Manufacture and Properties of Citric Acid-Bonded Particle Board Made from Bamboo Materials. *Europ J Wood & Wood Prod.* (first online publication).
- Zhao Z, Umemura K. 2014. Investigation of a new natural particleboard adhesive composed of tannin and sucrose. *J Wood Sci.* 60:269-277.
- Riwayat naskah:
 Naskah masuk (*received*): 30 Maret 2015
 Diterima (*accepted*): 2 Juni 2015