KARAKTERISTIK PAPAN PARTIKEL DARI BAMBU TANPA MENGGUNAKAN PEREKAT

The Characteristics of Binderless Particleboard Made From Bamboo

SUHASMAN[1], Muh. Yusram MASSIJAYA[2], Yusuf Sudo HADI[2], Adi SANTOSO[3]
Corresponding Author : suhasman@yahoo.com

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the phisycal and mechanical properties of binderless particleboard using bamboo as raw materials. Andong bamboo (*Gigantochloa pseudoarundinaceae*) used in this study was taken from Bogor area. Bamboo was converted using hammer mill and air dried subsequently. The particle zise was passed of the 20 mesh screener. Three types pretreatment were used to prepare the particle, namely : 1) water boiling for 30 and 60 minutes, 2) oxydation using hydrogen peroxyde, and 3) combination of water boiling for 30 minutes and oxydation using hydrogen proxide. As a control, conventional particleboards using 10 % melamine formaldehyde (MF) resin based on dry particle weight was produced. The particle which has pretreated then utilized to produce binderless particleboard with board density of 0.75 g/cm^3. The pressing conditions were 180 ^{o}C in temperature, 25 kgf/cm^2 in pressure for 20 minutes. The board characteristics were tested according to JIS A 5908 2003. The results indicated that particleboard made from particle with oxydation pretreatment performed superior characteristics compared to those of particleboard made from particle only with water boiling pretreatment. Dimensional stability and modulus of elasticity of board with oxydation pretreatment were excellent. Its was superior compared to that of conventional particleboard using melamine formaldehyde as adhesive.

Keywords : Bamboo, Binderless Particleboard, Oxydation, Hydrogen Peroxyde

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan lingkungan yang terkait dengan teknologi pembuatan papan partikel adalah penggunaan perekat yang sebagian besar di antaranya merupakan senyawa turunan minyak bumi yang tidak terbarukan. Selain itu, 96,6% (Li 2002) dari perekat tersebut merupakan perekat yang berbasis pada senyawa formaldehida seperti urea formaldehida, melamin formaldehida, maupun phenol formaldehida. Oleh karena itu, pendekatan alternatif untuk menciptakan teknologi yang lebih ramah lingkungan dalam proses pembuatan papan partikel perlu terus dikembangkan.

Metode alternatif yang dapat dikembangkan untuk menghindari permasalahan lingkungan tersebut adalah teknologi pembuatan papan partikel tanpa perekat. Hal ini dapat dilakukan dengan mengaktifkan komponen kimia yang terdapat dalam bahan lignosellulosa. Metode demikian telah dikembangkan oleh beberapa peneliti seperti Kharazipour & Hüttermann (1998) serta Widsten *et al* (2004) yang melakukan aktivasi partikel secara enzimatik, Karlsson & Kandelbauer (2002) serta Widsten *et al.* (2003) yang mengaktifkan komponen kimia kayu melalui perlakuan oksidasi menggunakan hydrogen peroksida dan katalis, Widyorini *et al.* (2005), serta Xu *et al.* (2006) yang menggunakan teknik injeksi uap panas dalam proses pengempaan papan partikel, serta Hermawan *et al.* (2007) yang menggunakan perlakuan perebusan sebelum proses kempa panas dalam pembuatan papan partikel dengan ketebalan 5 mm. Dari berbagai metode tersebut, informasi tentang teknik oksidasi partikel menggunakan hydrogen peroksida belum banyak dilaporkan, meskipun penelitian Karlsson & Kandelbauer (2002) telah menunjukkan bahwa teknik ini dapat menghasilkan papan partikel dengan nilai *internal bond* yang tinggi. Demikian halnya dengan metode perebusan yang dikembangkan oleh Hermawan *et al.* (2007) juga tampak cukup menjanjikan, namun keberhasilan teknik tersebut pada pembuatan papan yang lebih tebal belum dilaporkan.

Metode-metode alternatif tersebut seyogyanya terus dikembangkan untuk mengantisipasi berbagai kendala yang akan dihadapi dalam pembuatan papan partikel konvensional yang sangat bergantung pada keberadaan perekat. Usaha-usaha pengembangan teknologi yang memiliki prospek secara teknis dan lingkungan ini perlu dikembangkan dengan memanfaatkan bahan baku lokal (Indonesia).

Salah satu bahan baku lokal yang memiliki potensi yang sangat menjanjikan adalah bambu. Bambu memiliki pertumbuhan yang sangat cepat, ketersediannya melimpah, serta mudah dibudidayakan (Muin *et al*. 2006). Keistimewaan

[1] Mahasiswa Pascasarjana IPB Bogor/Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin, Makassar
[2] Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Bogor
[3] Pusat Penelitian Hasil Hutan, Badan Litbang Kehutanan, Departemen Kehutanan, Bogor

bambu tersebut membuat usaha optimalisasi penggunaannya terus dilakukan baik sebagai bahan konstruksi, maupun untuk produk-produk panel. Dalam bidang konstruksi, Bachtiar *et al*. (2009) telah mengembangkan pemanfaatan buluh bambu sebagai konstruksi rangka batang ruang, sementara dalam pembuatan panel, pemanfaatannya sebagai bahan baku produk OSB telah dilakukan oleh Sumardi *et al*. (2006), dan sebagai bahan baku papan semen (Suhasman *et al*. 2008). Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengembangkan teknologi pembuatan papan partikel tanpa perekat melalui perlakuan pendahuluan berupa oksidasi dan perebusan dengan memanfaatkan bambu sebagai bahan baku.

METODE

Bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinaceae*) segar yang telah ditebang dari daerah Cikeretek, Desa Ciherang Kabupaten Bogor dipotong-potong dan dibuang bagian kulit dan bukunya. Bambu tersebut kemudian dicincang menjadi serpih dengan menggunakan parang lalu dikeringudarakan. Serpih kering udara kemudian dibuat menjadi partikel dengan ukuran lolos saringan 10 mesh dengan menggunakan *hammer mill*. Partikel lalu diberi perlakuan pendahuluan yang terdiri atas 4 macam yaitu; 1) perebusan 30 menit (R30), 2) perebusan 60 menit (R60), 3) perlakuan oksidasi dengan menggunakan hydrogen peroksida 20% (berdasarkan berat kering partikel) dan 5% fero sulfat (berdasarkan berat hidrogen peroksida) (P/F/H), dan 4) perlakuan perebusan 30 menit kemudian dikeringudarakan lalu diberi perlakuan oksidasi dengan kadar bahan kimia yang sama dengan metode oksidasi sebelumnya (R30/P/F/H). Pemilihan oksidator hydrogen peroksida ini didasarkan pada pertimbangan bahwa reaksinya dengan fero sulfat akan menghasilkan hidroksil radikal yang merupakan oksidator yang sangat kuat, sehingga proses oksidasi akan berlangsung efektif. Selain itu, bahan ini dapat dibuat dari bahan-bahan yang tersedia melimpah sehingga kontinuitas ketersediaannya terjamin. Penentuan kadar hydrogen peroksida dan fero sulfat tersebut merujuk pada penelitian yang telah dilakukan oleh Karlsson dan Kandelbauer (2002).

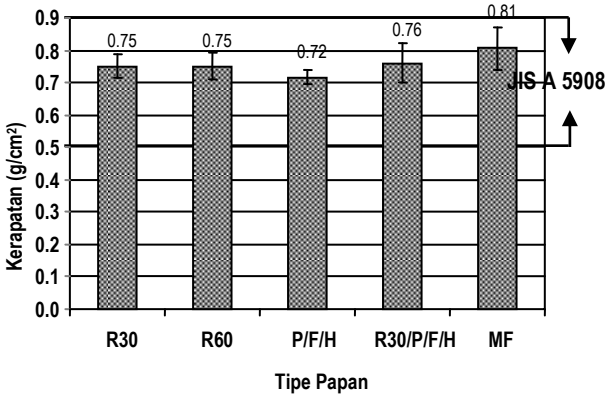
Partikel yang telah diberi perlakuan kemudian dibentuk menjadi lembaran, lalu dikempa panas selama 15 menit dengan suhu 180 ºC dan tekanan 25 kgf/cm^2. Papan yang dibuat adalah papan partikel tanpa perekat dengan dimensi 30 cm x 30 cm x 0,7 cm dengan kerapatan sasaran 0,75 g/cm^3. Sebagai pembanding, dalam penelitian ini juga dibuat papan partikel konvensional dengan menggunakan perekat melamin formaldehida (MF). Kadar padatan perekat yang digunakan adalah 10 % berdasarkan berat kering partikel. Ukuran dan kerapatan sasaran papan partikel konvensional tersebut sama dengan papan partikel tanpa perekat. Namun demikian suhu dan waktu kempa yang digunakan adalah 150 ºC dan 10 menit. Papan-papan yang telah dibuat selanjutnya dikondisikan selama 2 minggu kemudian dipotong menjadi contoh uji. Pengujian dilakukan berdasarkan JIS A 5908 2003. Parameter-parameter sifat fisik dan mekanis yang diuji meliputi kerapatan, kadar air, daya serap air, pengembangan tebal setelah perendaman 24 jam, keteguhan patah (*Modulus of rupture*), modulus elastisitas (*modulus of elasticity*), dan keteguhan rekat internal (*internal bond*).

Ulangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 4 kali, sehingga secara keseluruhan jumlah papan yang dibuat adalah 20 lembar. Hasil-hasil pengujian dirata-ratakan kemudian dibandingkan antar perlakuan dan dievaluasi kesesuaiannya dengan JIS A 5908 2003. Dalam analisis ini, data-data yang digunakan untuk parameter pengembangan tebal, dan sifat-sifat mekanis papan merupakan data terkoreksi terhadap kerapatan sasaran papan (0,75 g/cm^3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerapatan

Distribusi kerapatan papan partikel untuk masing-masing tipe papan disajikan pada Gambar 1. Data pada gambar tersebut menunjukkan bahwa kerapatan papan partikel berkisar antara 0,72 g/cm^3-0,81 g/cm^3. Jenis papan yang memiliki kerapatan tertinggi dalam penelitian ini adalah papan partikel yang dibuat dengan menggunakan perekat MF, sementara jenis papan dengan kerapatan terendah adalah papan dari partikel bambu yang diberi perlakuan oksidasi tanpa perebusan.



Keterangan:
R30 : Papan yang terbuat dari partikel dengan perlakuan perebusan 30 menit
R60 : Papan yang terbuat dari partikel dengan perlakuan perebusan 60 menit
P/F/H : Papan yang terbuat dari partikel dengan perlakuan oksidasi
R30/P/F/H : Papan yang terbuat dari partikel dengan perlakuan perebusan 30 menit dan oksidasi
MF : Papan partikel konvensional yang dibuat dengan menggunakan perekat MF 10%

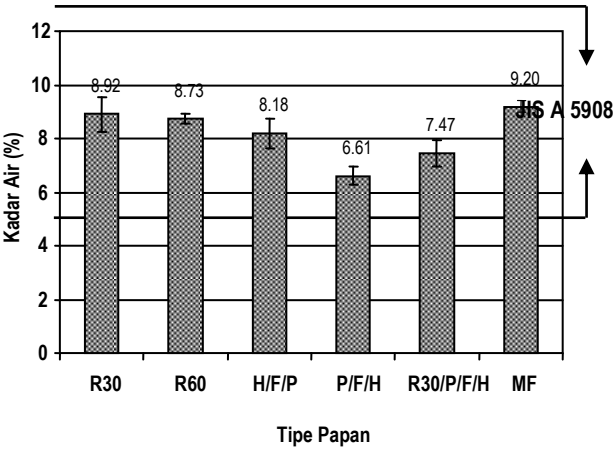
Gambar 1. Kerapatan papan (g/cm^3)

Meskipun penelitian ini telah didisain untuk menghasilkan papan dengan kerapatan seragam sebesar 0,75 g/cm^3, akan tetapi hasil penelitian ini menunjukkan adanya variasi. Hal ini terutama ditemukan pada jenis papan yang dibuat dengan menggunakan perekat melamin formaldehida yang kerapatan aktualnya jauh lebih tinggi dari kerapatan sasaran, sementara jenis papan yang dibuat dengan perlakuan oksidasi tanpa perebusan memiliki kerapatan yang lebih rendah dari kerapatan sasaran. Kerapatan tinggi pada papan partikel dengan perekat MF tampaknya dipengaruhi oleh keberadaan perekat dan waktu kempa yang lebih singkat serta suhu kempa yang lebih rendah. Dengan kondisi demikian, maka jumlah air yang dapat diuapkan selama proses pengempaan lebih sedikit. Selain itu bahan-bahan mudah menguap lebih sedikit yang terlepas. Adapun kerapatan papan partikel yang lebih rendah pada papan yang dibuat dengan perlakuan oksidasi secara langsung lebih disebabkan oleh degradasi sebagian komponen kimia kayu. Hal tersebut telah dibuktikan dengan terjadinya penurunan kadar komponen kimia kayu setelah perlakuan oksidasi. Hasil pengamatan laboratorium menunjukkan bahwa kelarutan ekstraktif partikel bambu yang telah dioksidasi menurun rata-rata 2-13% dalam berbagai pelarut dibandingkan partikel bambu yang belum dioksidasi, sementara kadar lignin dan selulosa menurun masing-masing 3,5% dan 2,2%. Selain itu, reaksi eksotermik yang terjadi selama proses oksidasi yang menghasilkan suhu yang cukup tinggi (> 100 ºC) juga menyebabkan terbakarnya partikel-partikel bambu yang sangat halus.

Kadar Air

Kadar air masing-masing jenis papan partikel disajikan pada Gambar 2. Data pada gambar tersebut menunjukkan bahwa kadar air papan yang tertinggi adalah papan partikel konvensional yang dibuat dengan menggunakan perekat MF, sementara papan dengan kadar air terendah adalah papan partikel yang diberi perlakuan oksidasi secara langsung. Kecenderungan yang terjadi pada kadar air keseimbangan masing-masing jenis papan partikel relatif sama dengan kerapatannya. Papan partikel dengan perekat MF memiliki kadar air tertinggi yang menunjukkan bahwa uap air yang terlepas pada saat kempa panas cenderung lebih sedikit. Dengan demikian pada saat pengkondisian, maka kadar air kesetimbangan yang dicapai menjadi lebih tinggi. Oleh karena kerapatan air lebih tinggi dari kerapatan kayu, maka jumlah air yang lebih banyak dalam papan cenderung akan meningkatkan kerapatan papan pada kondisi kering udara.

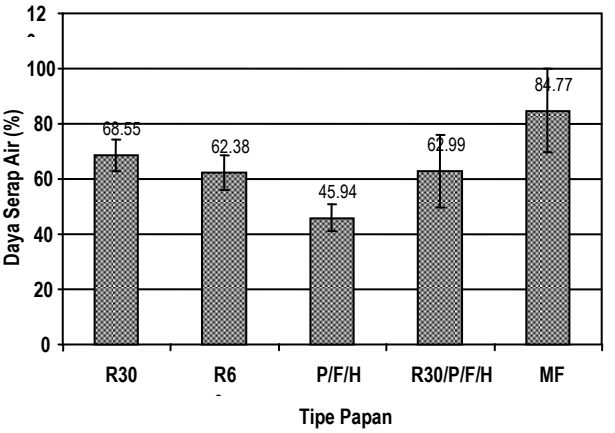
Pengamatan secara visual juga menunjukkan bahwa papan dengan perlakuan oksidasi cenderung sulit menyerap air. Hal ini tampaknya disebabkan oleh cukup banyaknya lignin yang terekspos di permukaan papan. Sebagaimana diketahui, lignin merupakan komponen yang cenderung hidropobik sehingga akan menghambat penyerapan air dari udara. Kondisi demikian menjadi penyebab sehingga kadar air keseimbangan papan partikel dengan perlakuan oksidasi cenderung lebih rendah.



Gambar 2. Kadar Air Papan (%)

Daya Serap Air

Daya serap air masing-masing jenis papan disajikan pada Gambar 3. Data tersebut menunjukkan kecenderungan daya serap air yang rendah pada papan yang mengalami perlakuan oksidasi. Hal ini mengindikasikan adanya perubahan sifat higroskopisitas papan yang diberi perlakuan oksidasi. Sementara itu, jenis papan dengan daya serap air tertinggi adalah papan yang dibuat dengan menggunakan perekat MF. Meskipun MF dikenal sebagai perekat yang cukup tahan air, namun jika dilihat dari data yang diperoleh dalam penelitian ini, tampak bahwa jenis papan tersebut masih menyerap air cukup besar. Bahkan dibandingkan dengan papan yang diberi perlakuan perebusan, nilai daya serap airnya masih lebih tinggi.



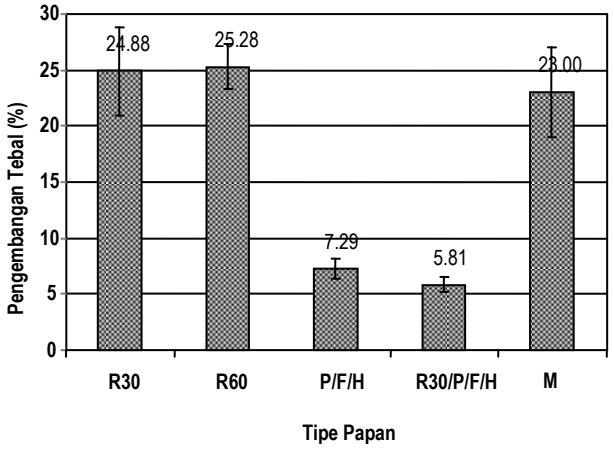
Gambar 3. Daya serap air (%)

Pengembangan Tebal

Data pengembangan tebal papan disajikan pada Gambar 4. Data tersebut menunjukkan bahwa terdapat

perbedaan yang sangat ekstrim antara papan yang dibuat dengan perlakuan oksidasi tanpa atau dengan perebusan dibandingkan tipe-tipe papan lainnya. Fakta ini mengindikasikan adanya perubahan struktur kimia dalam komponen partikel bambu sehingga menjadi lebih stabil. Fenomena ini dapat disebabkan oleh terjadinya ikatan silang antara gugus radikal yang dihasilkan akibat proses oksidasi maupun adanya ikatan silang antar gugus hidroksil (Widsten *et al*. 2003). Gugus radikal yang dihasilkan selama proses oksidasi tampaknya dapat membentuk ikatan kovalen selama proses kempa panas sehingga ikatannya lebih kuat dan stabil. Hal ini menyebabkan jenis papan partikel yang dibuat dengan perlakuan oksidasi ini memiliki stabilitas dimensi yang jauh lebih baik dibandingkan dengan metode perebusan yang kemungkinan ikatannya lebih didominasi oleh ikatan hidrogen.

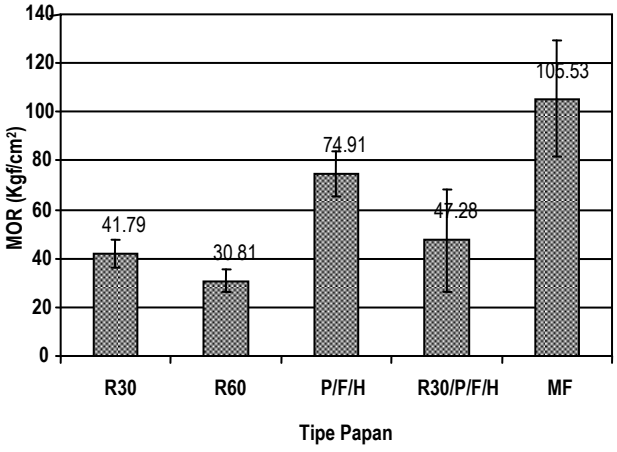
Stabilitas dimensi yang tinggi pada papan partikel yang dibuat dengan metode oksidasi merupakan petunjuk yang menggembirakan. Hal ini mengindikasikan bahwa jenis papan tersebut sangat tahan air atau kelembaban yang tinggi. Dengan karakteristik demikian, maka papan ini potensial dikembangkan untuk penggunaan eksterior.



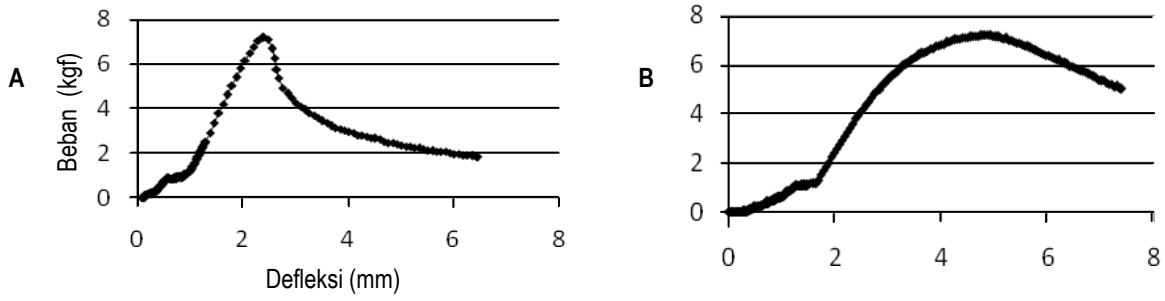
Gambar 4. Pengembangan tebal (%)

Keteguhan Patah

Nilai keteguhan patah masing-masing jenis papan disajikan pada Gambar 5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi keteguhan patah di antara kelima jenis papan yang dibuat cukup signifikan. Nilai keteguhan patah tertinggi dari papan yang dibuat tanpa perekat diperoleh pada papan yang dibuat dengan perlakuan oksidasi tanpa perebusan. Nilai keteguhannya 1,5 sampai 2,5 kali keteguhan jenis-jenis papan lainnya. Namun demikian nilai keteguhan tersebut masih lebih rendah dari papan partikel konvensional yang dibuat dengan menggunakan perekat MF. Selain perbedaan nilai keteguhan, pola kerusakan papan partikel yang dibuat dengan menggunakan perekat juga berbeda dengan papan yang dibuat dengan perlakuan oksidasi. Papan partikel dengan perekat MF mengalami proses patah secara perlahan sehingga grafik beban yang dibentuknya relatif landai. Pola tersebut relatif sama dengan papan yang dibuat dengan perlakuan perebusan 30 dan 60 menit. Hal ini berbeda dengan papan yang dibuat dengan perlakuan oksidasi, di mana kerusakan contoh uji berlangsung serentak sehingga papan langsung kehilangan kekuatan dalam menahan beban secara tiba-tiba. Pola kerusakan demikian dapat dilihat dari grafik hubungan antara beban dengan kerusakan yang terjadi sebagaimana pada Gambar 6.



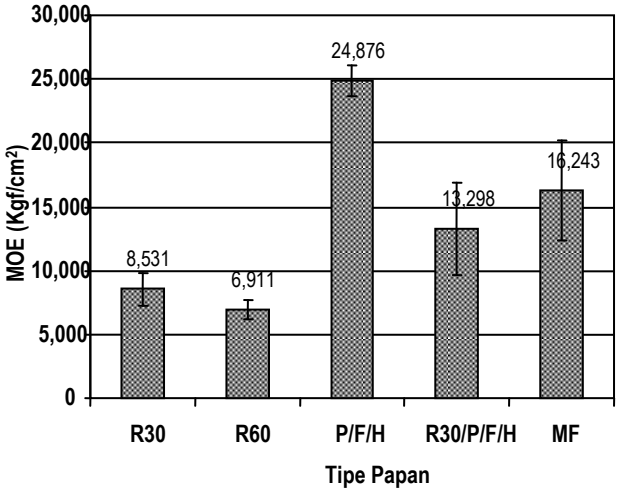
Gambar 5. Nilai keteguhan patah (Kgf/cm^2)



Gambar 6. Grafik pola kerusakan contoh akibat pemberian beban dan defleksi yang terjadi (a) papan partikel dengan perlakuan oksidasi, (b) papan partikel dengan perekat MF.

Modulus Elastisitas

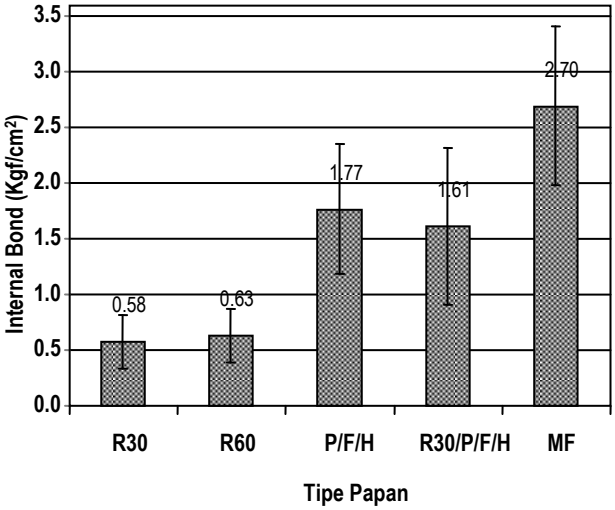
Data modulus elastisitas masing-masing jenis papan disajikan pada Gambar 7. Berbeda dengan keteguhan patahnya, nilai modulus elastisitas justru paling tinggi pada papan yang dibuat dengan perlakuan oksidasi. Nilainya 1,9-3,6 kali dibandingkan dengan jenis papan partikel tanpa perekat lainnya. Sementara dibandingkan dengan papan partikel yang menggunakan perekat MF, nilainya 1,5 kali lebih tinggi. Perbedaan nilai modulus ini juga diindikasikan oleh grafik pada Gambar 6. Grafik tersebut menunjukkan *trend* garis hubungan antara beban dan defleksi yang lebih tegak pada Gambar (a), dibandingkan dengan Gambar (b) yang menunjukkan pertambahan defleksi (sumbu x) pada pertambahan beban (sumbu y) tertentu. Berdasarkan data modulus elastisitas tersebut dapat disimpulkan bahwa meskipun papan partikel konvensional yang menggunakan perekat MF memiliki keteguhan patah paling tinggi dibandingkan dengan seluruh jenis papan partikel tanpa perekat yang dibuat, akan tetapi dalam hal kekakuan, maka papan yang diberi perlakuan oksidasi tanpa perebusan memiliki nilai yang jauh lebih baik. Perlakuan oksidasi ini berpengaruh terhadap struktur ikatan antar partikel kayu seperti terbentuknya ikatan silang, esterifikasi, ikatan hidrogen, dan kondensasi lignin dan furfural (Pantze *et al*. 2008), sehingga membuat papan yang dihasilkan menjadi lebih kaku. Nilai MOE yang lebih tinggi dari papan partikel yang menggunakan perekat MF merupakan indikasi yang menarik karena dalam penggunaannya, salah satu kelemahan mendasar papan partikel adalah nilai MOE yang rendah, sehingga cenderung mengalami perubahan bentuk selama penggunaannya.



Gambar 7. Nilai MOE (Kgf/cm^2)

Internal Bond

Nilai *internal bond* masing-masing jenis papan disajikan pada Gambar 8. Data pada gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai *internal bond* tertinggi tetap dicapai oleh papan partikel yang menggunakan perekat MF. Namun demikian papan partikel dengan perlakuan oksidasi baik tanpa maupun dengan perlakuan perebusan cukup baik dan memenuhi JIS A 5908 2003 untuk papan partikel tipe 8. Nilai *internal bond* ini mengindikasikan bahwa kekuatan ikatan yang terbentuk secara kimia pada papan partikel tanpa perekat dengan perlakuan oksidasi ternyata masih lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan ikatan yang dibentuk oleh perekat MF.



Gambar 8. Nilai *Internal Bond* (Kgf/cm^2)

KESIMPULAN

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik papan partikel tanpa perekat yang dibuat dengan perlakuan pendahuluan berupa oksidasi menghasilkan papan partikel dengan stabilitas dimensi dan modulus elastisitas yang tinggi. Nilainya bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan papan partikel konvensional yang dibuat dengan menggunakan perekat MF. Meskipun demikian, dalam hal keteguhan patah dan *internal bond* nilainya masih lebih rendah dibandingkan papan partikel konvensional. Dibandingkan dengan JIS A 5908 2003, maka papan partikel tanpa perekat yang dibuat dengan perlakuan oksidasi tanpa perebusan, memenuhi hampir semua parameter yang ditetapkan dalam standar untuk papan partikel tipe 8. Hanya nilai keteguhan patah yang nilainya masih sedikit di bawah standar. Hasil-hasil tersebut mengindikasikan bahwa pengembangan teknologi papan partikel tanpa perekat dengan menggunakan bahan baku bambu melalui perlakuan oksidasi memiliki potensi pengembangan lebih lanjut untuk menghasilkan papan partikel dengan karakteristik yang unggul.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih *kepada The Osaka Gas Foundation of International Cultural Exchange* (OGFICE) melalui Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Institut Pertanian

Bogor, atas dukungan dana yang diberikan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bachtiar G, Surjokusumo S, Hadi YS, Nugroho N. 2009. Aplikasi Buluh Bambu untuk Konstruksi Rangka Batang Ruang. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis, Vol. 7 (1): 22-26.

Hermawan D, Saputro EP, Kurniawan R, 2007. Papan Partikel dari Core-Kenaf Tanpa Perekat Sintetis. Prosiding Seminar Masyarakat peneliti kayu Indonesia (MAPEKI X), Pontianak, 9 - 11 Agustus 2007.

[JIS] Japanese Industrial Standar. 2003. Particleboards. Japanese Standards Association (JSA) A 5908-1994. Japan.

Karlsson O, Westermark U. 2002. Resin-Free Particleboard by oxidation of wood. Di dalam: Humphrey P E, compiler. Proceedings of The 6th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium & Workshop on The Chemical Modification of Cellulosics. Portland, Oregon, USA. hlm 149-153.

Kharazipour A, Hüttermann A. 1998. Biotechnologycal Production of Wood Composites. In : Bruce A, J W Palfreyman, editors. Forest Product Biotechnology. UK, Taylor & Francis Ltd.

Li K. 2002. Use of Marine Ahesive Protein as a Model to Develop Formaldehyde-Free Wood Adhesives. Di dalam: Humphrey P E, compiler. Proceedings of The 6th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium & Workshop on The Chemical Modification of Cellulosics. Portland, Oregon, USA. hlm 58-67.

Muin M, Suhasman, Oka NP, Putranto B, Baharuddin, Millang S. 2006. Pengembangan Potensi dan Pemanfaatan Bambu sebagai Bahan Baku Konstruksi dan Industri di Sulawesi Selatan. Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah. Makassar. 73p.

Pantze A, Karlsson O, Westermark U, 2008. Esterification of Carboxylic Acids on Cellulosic Material: Solid State Reactions. Holzforschung 62: 136–141

Suhasman, Bakri, Massijaya MY. 2008. Fundamental Properties of Cement Board made from Bamboo. Proceeding of International Symposium on Wood Science and Technology IAWPS 2008, Harbin, China September 27th ~ 29th, 2008.

Sumardi I, Suzuki S, Ono K. 2006. Some Important Properties of Strandboard Manufactured from Bamboo. Forest Product Journal. 56 (6) : 59-63.

Widsten P, Qvintus-Leino P, Tuominen S, Laine JE. 2003. Manufacture of Fiberboard from Wood Fibers Activated with Fenton's Reagent (H_2O_2/$FeSO_4$). Germany. Holzforschung, 57: 447–452.

Widsten P, Qvintus-Leino P, Tuominen S, Laine JE. 2003. Manufacture of Fiberboard from Wood Fibers Activated with Fenton's Reagent (H_2O_2/$FeSO_4$). Germany. Holzforschung 57: 447–452.

Widsten P, Tuominen S, Qvintus-Leino P, J E Laine, 2004. The Influence of High Defibration Temperature on the Properties of Medium-Density Fiberboard (MDF) Made from Laccase-Treated Softwood Fibers. Wood Sci Technol 38: 521–528.

Widyorini R, Xu J, Umemura K, Kawai S. 2005. Manufacture and Properties of Binderless Particleboard from Bagasse I: Effects of Raw Material Type, Storage Methods, and Manufacturing Process. Japan. Journal of Wood Science, 51 : 648–654.

Xu J, Widyorini R, Yamauchi H, Kawai S. 2006. Development of Binderless Fiberboard from Kenaf Core. Japan. Journal of Wood Science 51 : 415-420 .