

STUDI PEMBUATAN PAPAN PARTIKEL DARI LIMBAH PEMANENAN KAYU AKASIA (*Acacia mangium L.*)

Muhdi., Risnasari, I.,¹⁾ dan Putri, L. A. P²⁾

¹⁾Staf Pengajar Departemen Ilmu Kehutanan Universitas Sumatra Utara Medan

²⁾Staf Pengajar Departemen Budidaya Pertanian Universitas Sumatra Utara Medan Jln. Nazir Alwi No. 4
Telp. 0811657101

E-mail: muhdisyehamad@yahoo.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini ialah upaya pemanfaatan limbah pemanenan kayu akasia menjadi papan partikel dengan mengevaluasi sifat fisis dan mekanis kayu papan partikel kayu akasia (*Acacia mangium*) dari limbah pemanenan kayu. Penelitian ini menggunakan analisis faktorial dalam rancangan acak lengkap (RAL) dengan tiga ulangan, yang terdiri dari dua faktor yaitu faktor bahan baku (kayu bagian teras dan kayu bagian gubal) dan jenis perekat (urea formaldehide/UF dan phenol formaldehide/PF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis bahan baku dan perekat berpengaruh secara nyata terhadap karakter yang diuji. Papan partikel dapat dibuat dari limbah pemanenan kayu akasia yang dihasilkan masih ada yang di bawah standar JIS A 5908-2003. Secara keseluruhan papan partikel yang mempunyai sifat terbaik adalah papan partikel dari teras dengan perekat PF yaitu papan dengan kerapatan 0,707 g/cm³; MOR 76,55 kgf/cm²; MOE 11.135,76 kgf/cm²; dan IB 1,57 kgf/cm².

Kata kunci: Limbah pemanenan kayu, *Acacia mangium*, sifat fisis, sifat mekanis, papan partikel

ABSTRACT

This research aimed to evaluate physical and mechanical of particleboard made from logging waste of akasia wood (*Acacia mangium*) based on the vertical and horizontal areas of stems. This research used factorial analysis with 2 factors that was stem horizontal and bonded variation with 3 replication, respectively. Results of the research showed that there some characters of particleboard stil under JIS A 5908-2003 standard. This research indicated that the best particleboard from physical and mechanical properties point of view was particleboard made of core and bonded with phenol formaldehyde (PF) that mean of average of wood density was 0.707; mean of average MOR was 76.55 kgf/cm², MOE was 11,135.76 kgf/cm², and IB was 1.57 kgf/cm².

Key Words: Logging residues, *Acacia mangium*, physical properties, mechanical properties, particleboard.

PENDAHULUAN

Bahan baku industri perkayuan khususnya mebel makin lama makin sulit diperoleh dalam jumlah dan kualitas yang diinginkan. Kelestarian hutan dan industri perkayuan akan terancam bila pemanfaatan kayu yang tidak efisien dan tingginya limbah kayu di hutan dan sisa industri perkayuan (penggergajian, kayu lapis dan mebel) (Marimin *et. al.*, 2000; Enters, 2001; Elias, 2002; Muhdi, 2006; Massijaya, 2007).

Beberapa hasil penelitan menunjukkan bahwa disamping keterbatasan sumber bahan baku, volume limbah pemanenan kayu yang berasal di hutan

tanaman juga sangat besar. Muhdi (2003) menyatakan bahwa volume limbah kayu petak pemanenan kayu di hutan alam sebesar 13,70 m³/ha. Adapun limbah pemanenan kayu di hutan tanaman di Sumatera Utara rata-rata mencapai sebesar 37,29 m³/ha (Muhdi *et. al.*, 2010).

Papan partikel merupakan salah satu alternatif dalam pemenuhan kebutuhan kayu. Papan partikel dibuat dari potongan-potongan kayu kecil (limbah kayu) maupun dari bahan berlignoselulosa lainnya (Budiaman *et al.*, 2005; Tinambunan, 2001). Kebutuhan papan partikel terus meningkat. Tiap bulannya satu pabrik mebel (*furniture*) membutuhkan paling sedikit 3.000 m³ papan partikel, yang sebagian besar diimpor dari China dan Italia karena minimnya pasokan lokal (Subiyanto, 2004).

Oleh karena itu pemanfaatan limbah pemanenan kayu akasia menjadi papan partikel merupakan salah satu alternatif dalam rangka optimalisasi pemanfaatan sumber daya kayu yang semakin terbatas dan diharapkan dapat memberikan nilai tambah. Data dan informasi aspek fisis dan mekanis papan partikel dari limbah pemanenan kayu sangat penting, sehingga diperlukan penelitian pembuatan papan partikel dari limbah tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah upaya pemanfaatan limbah pemanenan kayu akasia menjadi papan partikel dengan mengevaluasi sifat fisis dan mekanis kayu papan partikel kayu akasia dari limbah pemanenan kayu.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan Universitas Sumtra Utara Medan; Laboratorium Penggergajian kayu Intitut Pertanian Bogor; Laboratorium Biokomposit Intitut Pertanian Bogor, Laboratorium Fisika Kayu Intitut Pertanian Bogor; dan Laboratorium Mekanika Kayu Intitut Pertanian Bogor. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu mangium.

Prosedur Penelitian

Penelitian di laboratorium bertujuan untuk menentukan sifat dasar kayu dari limbah pemanenan kayu dengan melihat sifat fisis dan mekanis dari limbah pemanenan kayu mangium. Kegiatan utama di laboratorium meliputi: (a). persiapan bahan baku; (b). pembuatan contoh uji; (c). penyiapan bahan untuk contoh uji; (d). pengujian sifat fisis; dan (e) pengujian sifat mekanis.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan analisis factorial masing-masing tiga ulangan dalam rancangan acak lengkap (RAL), yang terdiri dari dua faktor yaitu faktor bahan baku dan kadar perekat. Bahan baku terdiri dari dua taraf yaitu: kayu bagian teras dan kayu bagian gubal. Jenis perekat terdiri dari dua taraf yaitu UF dan PF. Setiap perlakuan dilakukan tiga kali ulangan sehingga diperoleh contoh uji papan partikel $2 \times 2 \times 3 = 12$ papan partikel.

Persiapan Bahan Baku

Bahan baku untuk penelitian ini diambil dari limbah pemanenan kayu dari pohon yang ditebang. Contoh uji untuk sifat pengolahan diambil dari limbah batang kayu *Acacia mangium*.

Pembuatan Papan Partikel

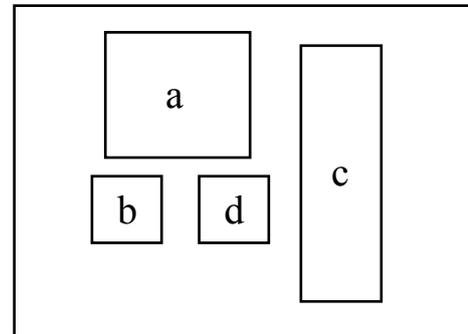
Limbah kayu akasia dipotong-potong dengan menggunakan golok sampai berbentuk serpih. Partikel dibuat dari serpihan tersebut dengan menggunakan alat *disk refiner*. Untuk mendapatkan ukuran partikel yang diharapkan dilakukan tiga kali proses penggilingan. Papan partikel yang akan dibuat mempunyai target kerapatan $0,7 \text{ gram/cm}^3$ dan ketebalan 1 cm (Tsomuis, 1991).

Tahapan pembuatan papan partikel yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Partikel dibuat dari serpihan limbah kayu akasia dengan menggunakan disk refiner, setelah partikel dikeringkan dalam oven hingga mencapai kadar air 2%-5%.
- Penimbangan bahan yang dibutuhkan, dimana kadar perekat urea formaldehyde (UF) dan phenol formaldehyde (PF).
- Pencampuran partikel dengan perekat dilakukan dengan *rotary blender*. Partikel tersebut dimasukkan ke dalam *rotary blender*, kemudian perekat disemprotkan dengan menggunakan *spray gun* ke dalam blender yang diputar sampai campuran tersebut merata.
- Pembentukan papan partikel dilakukan di atas cetakan yang berukuran $35 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$, lalu dikempa dingin dengan cara ditekan-tekan secara manual. Setelah itu dilakukan pengempaan pada suhu 160°C selama 10 menit dengan tekanan 24 kg/cm^2 .
- Sebelum dilakukan pengujian, dilakukan proses pengkondisian selama 2 minggu, agar kadar air papan partikel mencapai kadar air kesetimbangan. Setelah itu papan partikel dipotong untuk membuat contoh uji untuk pengujian yang mengacu pada *Japanese Industrial Standard (JIS) A 5908-2003, Based Particleboard and Decorative Particleboard Type 8*. Sifat-sifat yang diuji meliputi sifat fisis (kerapatan, kadar air, data serap air dan pengembangan tebal) serta sifat mekanis (*modulus of rupture/MOR*, *modulus of elasticity*, *internal bond* dan kuat pegang sekrup).

Pengujian Papan Partikel Pengambilan Contoh Uji

Setelah selesai pengkondisian, lembaran-lembaran papan partikel dipotong menjadi bagian-bagian contoh uji seperti terlihat pada Gambar 1. Pengambilan contoh uji dan pengujian mengacu pada *Japanese Industrial Standard JIS A 5908-2003*.



Gambar 1. Pola pemotongan contoh uji.

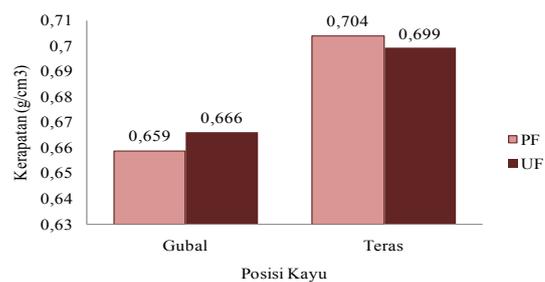
Keterangan :

- Contoh uji kerapatan dan kadar air, berukuran $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$
- Contoh uji daya serap air dan pengembangan tebal berukuran $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$
- Contoh uji keteguhan lentur (*modulus of elasticity/MOE*) dan keteguhan patah (*modulus of rupture/MOR*), berukuran $5 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$
- Contoh uji keteguhan rekat internal (*internal bond*), berukuran $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerapatan

Kerapatan merupakan banyaknya massa per satuan volume. Semakin tinggi kerapatan menyeluruh papan dari suatu bahan-bahan tertentu, semakin tinggi kekuatannya. Tetapi sifat-sifat papan seperti kestabilan dimensi mungkin berpengaruh jelek oleh kerapatan (Bowyer *et al.*, 2003; Pandit dan Rahmat, 2002). Data hasil pengujian kerapatan papan partikel disajikan dalam bentuk histogram (Gambar 2).



Gambar 2. Nilai rata-rata kerapatan papan partikel.

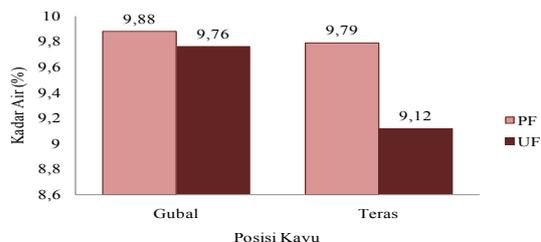
Nilai kerapatan papan partikel pada target kerapatan $0,7 \text{ g/cm}^3$ berdasarkan hasil penelitian ini adalah berkisar antara $0,666-0,704 \text{ g/cm}^3$ dengan nilai rata-rata $0,685 \text{ g/cm}^3$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerapatan yang dihasilkan masih di bawah kerapatan sasaran ($0,7 \text{ g/cm}^3$).

Standar *Japanese Industrial Standard (JIS) A 5908-2003, Based Particleboard dan Decorative Particleboard, Type 8*, yang mensyaratkan $0,40-0,90 \text{ g/cm}^3$. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata kerapatan papan partikel yang dihasilkan

memenuhi standar *Japanese Industrial Standart (JIS) A 5908-2003, Based Particleboard dan Decorative Particleboard, Type 8*, dengan target kerapatan 0,7 g/cm³.

Kadar Air

Kadar air merupakan banyaknya kandungan air yang terdapat di dalam papan partikel dalam keadaan kesetimbangan dengan lingkungan di sekitarnya. Nilai hasil pengujian kadar air papan partikel disajikan dalam bentuk histogram (Gambar 3).



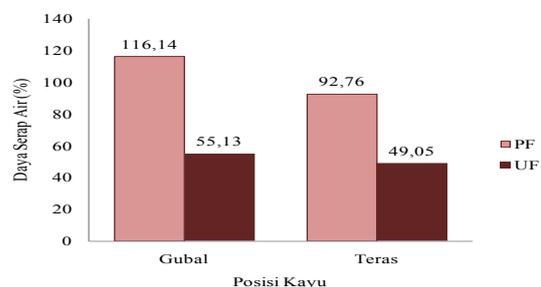
Gambar 3. Grafik kadar air papan partikel.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa kadar air papan partikel antara 9,12-9,88% dengan nilai rata-rata 9,64%. Kadar air papan partikel yang dihasilkan lebih rendah daripada kadar air bahan baku/kayunya (rata-rata 31,99 %). Hal ini terjadi sebagai akibat dari perlakuan panas yang diterima papan partikel pada saat pengempaan (Massijaya *et al.* 1999).

Standar JIS A 5908-2003, mensyaratkan bahwa papan partikel mempunyai kadar air antara 5-13 %. Hasil peneliitan ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata kerapatan papan partikel yang dihasilkan memenuhi standar.

Daya Serap Air (DSA)

Daya serap air merupakan kemampuan dari papan partikel dalam menyerap airdselama dilakukan perendaman 24 jam. Air tersebut mengisi ruang-ruang kosong dalam papan. Nilai hasil pengujian daya serap air dari papan partikel disajikan dalam bentuk histogram (Gambar 4).

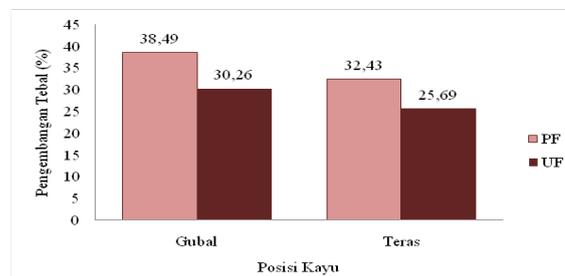


Gambar 4. Grafik daya serap air papan partikel.

Dari hasil pengujian nilai DSA dengan perendaman 24 jam papan partikel adalah 49,05-116,14 % dengan nilai rata-rata 78,28%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor jenis bahan baku dan variasi jenis perekat mempengaruhi daya serap air papan partikel yang dihasilkan. Standar JIS A 5908-2003, tidak mensyaratkan nilai daya serap air.

Pengembangan Tebal

Pengembangan tebal merupakan bertambahnya dimensi tebal papan akibat dari air yang mengisi rongga dalam papan tersebut setelah direndam selama 24 jam (Bowyer *et al.*, 2003). Data hasil pengujian pengembangan tebal setelah direndam dalam air selama 24 jam dalam bentuk histogram (Gambar 5).



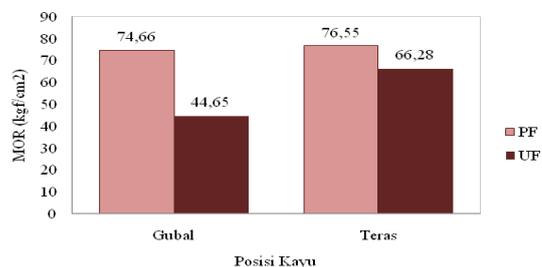
Gambar 5. Grafik pengembangan tebal papan partikel.

Dari hasil pengujian nilai pengembangan tebal dengan perendaman 24 jam papan partikel adalah 25,69-38,49% dengan nilai rata-rata 31,72%. Pada Gambar 5 menunjukkan rata-rata pengembangan tebal papan partikel yang menggunakan perekat UF lebih rendah dibandingkan menggunakan perekat PF. Standar JIS A 5908-2003 mensyaratkan nilai maksimal pengembangan tebal sebesar 12%. Dengan demikian pada penelitian ini, nilai pengembangan tebal semua papan partikel yang dihasilkan tidak memenuhi standar.

Sifat Mekanis

Keteguhan Patah (*Modulus of Rapture/MOR*)

Keteguhan Patah (*Modulus of Rapture/MOR*) merupakan ukuran beban maksimum yang dapat diterima oleh kayu. MOR ini ditentukan dari beban maksimum dikali jarak sangga dibagi luas penampangnya. Beban maksimum diperoleh dari pengujian contoh uji hingga contoh uji tersebut mengalami rusak/patah. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai MOR yang disajikan dalam histogram (Gambar 6).



Gambar 6. Nilai rata-rata MOR papan partikel.

Nilai MOR papan partikel adalah antara 44,65-76,55 kgf/cm² dengan nilai rata-rata 66,08 kgf/cm². Nilai MOR tertinggi adalah papan partikel yang diberi perlakuan kayu teras dengan perekat PF yaitu 76,55 kgf/cm².

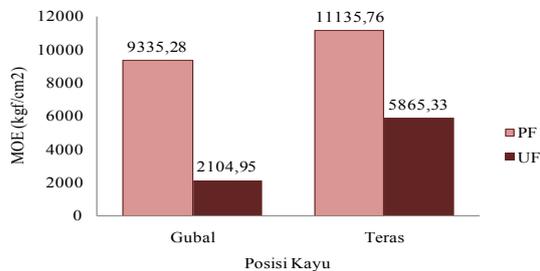
Dengan meningkatnya kerapatan papan, nilai MOR cenderung menjadi lebih tinggi (Massijaya *et al.*, 1999). Hal ini diduga disebabkan karena

pada papan dengan kerapatan yang lebih tinggi mempunyai jumlah ikatan antar partikel yang lebih banyak dibandingkan dengan papan partikel yang berkerapatan lebih rendah.

Standar JIS A 5908 2003 mensyaratkan nilai minimal MOR sebesar 80 kgf/cm². Dengan demikian pada penelitian ini, nilai pengembangan tebal semua papan partikel yang dihasilkan tidak memenuhi standar. Jadi papan partikel yang dihasilkan pada penelitian ini tidak ada yang memenuhi standar.

Keteguhan Lentur (*Modulus of Elasticity/MOE*)

Keteguhan Lentur (*Modulus of Elasticity/MOE*) merupakan ukuran ketahanan kayu dalam mempertahankan perubahan bentuk akibat adanya beban dan berhubungan langsung dengan kayu. Semakin tinggi nilai MOE, maka semakin elastis. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai MOE yang disajikan dalam histogram (Gambar 7).



Gambar 7. Nilai rata-rata MOE papan partikel.

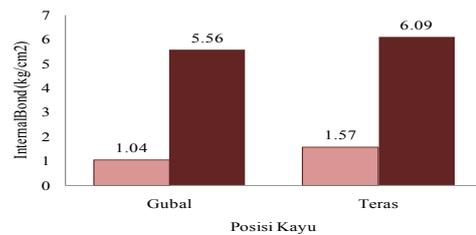
Hasil penelitian menunjukkan nilai MOE papan partikel antara 2.104,95-11.135,76 kgf/cm² dengan nilai rata-rata 7110,33 kgf/cm². Nilai MOE tertinggi adalah papan partikel yang diberi perlakuan kayu teras dengan perekat PF yaitu 11.135,76 kgf/cm².

Dengan meningkatnya kerapatan papan, nilai MOE cenderung menjadi lebih tinggi. Hal ini diduga disebabkan karena pada papan dengan kerapatan yang lebih tinggi mempunyai jumlah ikatan antar partikel yang lebih banyak sehingga mempunyai kemampuan yang lebih tinggi dalam menahan beban yang mengenai papan dibandingkan dengan papan yang berkerapatan rendah (Massijaya *et al.*, 1999).

Standar JIS A 5908-2003 mensyaratkan nilai minimal MOE sebesar 20.000 kgf/cm². Dengan demikian pada penelitian ini, nilai pengembangan tebal semua papan partikel yang dihasilkan tidak memenuhi standar. Jadi papan partikel yang dihasilkan pada penelitian ini tidak ada yang memenuhi standar yang disyaratkan JIS.

Ikatan Internal (*Internal Bond/IB*)

Salah satu sifat kekuatan penting yang lain dari papan partikel adalah *Internal Bond* (IB) yaitu kekuatan tarik tegak lurus bidang panil. Ikatan internal adalah ukuran tunggal terbaik tentang kualitas pembuatan suatu papan partikel karena menunjukkan kekuatan ikatan antar partikel-partikel (Bowyer *et al.*, 2003). Nilai hasil pengujian Internal Bond papan partikel dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Nilai rata-rata IB papan partikel.

Hasil penelitian menunjukkan nilai IB papan partikel antara 1,04-6,09 kgf/cm² dengan nilai rata-rata 3,57 kgf/cm². Nilai IB tertinggi adalah papan partikel yang diberi perlakuan kayu teras dengan perekat UF yaitu 6,09 kgf/cm². Dilihat dari nilai IB yang dihasilkan maka penggunaan papan partikel adalah untuk penggunaan struktural dan non struktural.

Dengan meningkatnya kerapatan papan, nilai MOE cenderung menjadi lebih tinggi (Massijaya *et al.*, 2009). Hal ini diduga disebabkan karena pada papan dengan kerapatan yang lebih tinggi mempunyai jumlah ikatan antar partikel yang lebih banyak sehingga mempunyai kemampuan yang lebih tinggi dalam ikatan-ikatan antar partikel dibandingkan dengan papan yang berkerapatan rendah.

Standar JIS A 5908-2003 mensyaratkan nilai minimal IB sebesar 1,5 kg/cm². Dengan demikian pada penelitian ini, nilai IB pada hampir semua papan partikel yang dihasilkan memenuhi standar JIS, kecuali pada perlakuan kayu gubal dengan perekat PF. Rendahnya nilai IB dapat terjadi akibat rendahnya ikatan antara perekat dan siperekat. Bowyer *et al.* (2003) menyatakan bahwa IB dipengaruhi oleh pencampuran partikel dengan perekat, pembentukan lembaran dan pengempaan.

Papan Partikel Terbaik

Hasil pengujian sifat fisis dan mekanis papan partikel penelitian ini diberikan peringkat dengan nilai terkecil adalah nilai terbaik. Hasilnya dijumlahkan sehingga total nilai terkecil menunjukkan kualitas papan terbaik. Pada Tabel 3 berikut disajikan rekapitulasi peringkat pengujian sifat fisis dan mekanis papan partikel.

Tabel 3. Hasil rekapitulasi peringkat pengujian sifat fisis dan mekanis.

Karakter	Gubal PF	Gubal UF	Teras PF	Teras UF
Sifat Fisis				
• Kerapatan	4	3	1	2
• Kadar Air	1	3	2	4
• Daya Serap Air	1	3	2	4
• Pengembangan Tebal	1	3	2	4
Sifat Mekanis				
• <i>Modulus of Rapture</i>	2	4	1	3
• <i>Modulus of Elasticity</i>	2	4	1	3
• <i>Internal Bond</i>	4	2	3	1
Total	15	22	12	21

Berdasarkan data pada Tabel 3, diperoleh papan partikel terbaik adalah papan partikel yang dibuat dari partikel kayu teras dengan perekat PF. Penggunaan perekat PF dengan bahan baku dari bagian teras kayu akasia dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis papan partikel (Kurniawan 2007; Malik dan Santosa, 2003).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa papan partikel yang dibuat dari bahan baku limbah pemanenan kayu mangium ditinjau dari sifat fisis dan mekanisnya dapat digunakan sebagai komponen mebel. Hal ini sejalan dengan pernyataan Abdurachman dan Hadjib (2006) yang menyatakan bahwa papan partikel mangium berdasarkan sifat fisis dan mekanism aman digunakan sebagai komponen rumah baik di dalam ruangan khususnya plafon, penyekat ataupun sebagai dinding yang tidak terlalu menahan beban. Hasil Malik dan Santosa (2005), menyatakan bahwa papan lamina yang berasal dari pembalakan hutan tanaman cocok dibuat produk kayu rekonstitusi untuk keperluan struktural.

SIMPULAN

Papan partikel dapat dibuat dari limbah pemanenan kayu akasia yang dihasilkan masih ada yang di bawah standar JIS A 5908-2003 sehingga penggunaan yang sesuai adalah untuk papan nonstruktrual seperti mebel (*furniture*). Secara keseluruhan papan partikel yang mempunyai sifat paling terbaik adalah papan partikel dari teras dengan perekat PF yaitu papan dengan kerapatan 0,707 g/cm³; nilai daya serap air 92,76 %; pengembangan tebal 32,43 %; MOR 76,55 kgf/cm²; MOE 11.135,76 kgf/cm²; dan IB 1,57 kgf/cm².

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DP2M Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui skim Hibah Bersaing Perguruan Tinggi Tahun 2009-2011. Ibu Istie S. Rahayu, S.Hut, MSi selaku penanggung jawab UTM dan Ibu Arinana, S.Hut, MSi penanggung jawab Instron IPB beserta laboran Pak Atin, Pak Irvan, Pak Abdullah dan Pak Kikin sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman & Hadjib N. 2006. Pemanfaatan kayu hutan rakyat untuk komponen bangunan. Prosiding Seminar Hasil Litbang Hasil Hutan. Hal. 130-148.
- Bowyer J.L., Shmulsky, R., & Haygreen, J.G. 2003. Forest Products and Wood Science An Introduction 4th Edition. IOWA State Press A Blackwell Publ, USA.
- Budiawan, A., Rawenda, & Gustian, R. 2005. Limbah pemanenan di petak tebangan pada perusahaan hutan tanaman industri di PT Inhutani II dan Perum Perhutani KPH Banten. Jurnal Teknologi Hasil Hutan, Vol. 18(2):26-37
- Elias. 2002. Pemanenan Kayu Berdampak Rendah, Buku I. IPB Press. Bogor.
- Enters, T. 2001. Trash or Treasure ? Logging and Mill Residues in Asia and the Pasific. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Regional Office for Asia and the Pasific. Bangkok.
- Kurniawan, R. 2007. Studi pembuatan papan partikel binderless dari inti kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). Skripsi Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Malik, J & Santosa, A. 2005. Keteguhan lentur statis balok lamina dari tiga jenis kayu limbah pembalakan hutan tanaman. Jurnal Penelitian Hasil Hutan. Vol. 23 (5) : 385-397.
- Malik, J & Santosa, A. 2003. Sari hasil penelitian mangium. www.dephut.go.id/penelitian/mangium.htm [21 Oktober 2010].
- Marimin, Massijaya, M.Y., Hermawan, A., Kusnanto, H., Muslich, & Mudjijanto. 2000. Analisis Supply Demand Hasil Hutan Kayu. Lembaga Penelitian IPB bekerjasama dengan Direktorat Jenderal Pengusahaan Hutan Produksi Departemen Kehutanan dan Perkebunan.
- Massijaya, Y. M. 2007. Industri Pengolahan Kayu Indonesia Ditinjau dari Sudut Ketersediaan Upaya Penyelamatan Bahan Baku. Makalah. Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan IPB Bogor.
- Massijaya, Y.M., Hadi, Y.S., Tambunan, B. & I. Sunarni. 1999. Studi pembuatan papan patikel dari limbah kayu dan plastic polistirena. Jurnal Teknologi Hasil Hutan Vol 12 (2).
- Muhdi. 2003. Limbah Pemanenan Kayu Akibat Teknik Pemanenan Kayu di Hutan Alam Tropika. Kultura Vol. 38 (2) : 83-88.
- Muhdi. 2006. Residual Stand Damage Caused by Conventional and Reduced Impact Logging in Natural Forest (A Case Study in Forest Concession Areas of PT. Suka Jaya Makmur, West Kalimantan), Komunikasi Penelitian Vol. 18 (3) : 28-30.

- Muhdi., Risnasari, I. & Putri L.A.P. 2010. Kuantifikasi Limbah Kayu Akibat Pemanenan Kayu pada Hutan Tanaman di Sumatera Utara. *Jurnal Rekayasa Penelitian*, Vol. (3) : 32-41.
- Pandit, I.K.N. & H. Rahmat. 2002. *Anatomi Kayu: Pengantar sifat kayu sebagai bahan baku*. Yayasan Penerbit Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Subiyanto. 2004. Limbah kayu dibuang sayang. *Harian Republika*. www.republika.co.id/koran_detail.asp?id=244907&kat_jd=13 [23 September 2011]
- Tinambunan, D. 2001. Pemborosan Kayu Dalam Pemanenan Hutan Alam di Luar Pulau Jawa dan Upaya Mengatasinya. *Buletin Hasil Hutan*, Vol. 2 (1).
- Tsoumis, G. 1991. *Science and Technology Wood. Structure, Properties, Utilizatuion*. Van Vostrand Reinhold Inc. USA.
- Waspada. 2007. Departemen Kehutanan Kucurkan Dana Bagi Pengembangan Hutan Tanaman. *Medan*, 5 Maret 2007.