TEKNIK REKAYASA PEMADATAN KAYU II : Sifat Fisik dan Mekanik Kayu Agatis (*Agathis lorantifolia* Salisb.) Terpadatkan dalam Konstruksi Bangunan Kayu

Sulistyono [1] Naresworo Nugroho[2] Surjono Surjokusumo [2]

[1] Staf Pengajar pada Fakultas Kehutanan Universitas Winaya Mukti
[2] Staf Pengajar pada Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

Pemadatan kayu dapat dilakukan dengan 2 langkah utama, yaitu perlakuan perendaman, perebusan dan pengukusan agar kayu bersifat plastis dan perlakuan pemadatan pada arah tegak lurus serat. Proses plastisasi dan pemadatan kayu yang sesuai dapat meningkatkan sifat fisik dan sifat mekanik kayu terpadatkan dan berkualitas tinggi. Kualitas yang dimaksud adalah kemudahan proses pemadatan, stabilitas dimensi, keseragaman dan peningkatan kekuatan papan kayu, kehalusan corak permukaan papan dan fiksasi permanen.

Pemadatan kayu agatis dilakukan dengan 3 (tiga) metode plastisasi yaitu : 1.Perendaman sampai jenuh air, 2. Perebusan sampai suhu 120 °C, dan 3. Pengukusan sampai suhu 120 °C. Suhu kempa bervariasi mulai dari 125°, 150°, 175° dan 200°

Hasilnya menunjukkan bahwa pemadatan kayu berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik kayu. Hasilnya sangat nyata pada kerapatan dan berat jenis yang meningkat hampir dua kali lipat. Sifat mekanik (MOE, MOR, Tekan Sejajar Serat, Kekerasan, Keteguhan Geser, dan Daya Dukung Baut) rata-rata meningkat 2 kali lipat dibanding kayu solidnya.

Hasil pemadatan kayu ini dapat digunakan untuk bahan lantai, interior, handtools, moulding dan furniture serta aplikasi untuk konstruksi struktural.

PENDAHULUAN

Berbeda dengan kayu dari hutan alam, kayu dari HTI dan hutan rakyat merupakan jenis cepat tumbuh, pada umumnya berkerapatan rendah dan lunak. Kondisi tersebut akan berpengaruh terhadap kualitas kayu, terutama terhadap kekuatan dan keawetannya. Untuk menggantikan fungsi kayu yang berasal dari hutan alam yang berkualitas lebih baik sebagai bahan baku lantai, interior, moulding, hand-tool, furniture maupun untuk aplikasi konstruksi struktural, diperlukan upaya untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanik kayu tersebut.

Salah satu usaha yang dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dan keawetan kayu tersebut adalah dengan pemadatan kayu pada arah tegak lurus serat (*densifying by compression).* Pemadatan kayu adalah salah satu usaha untuk meningkatkan kekuatan dan keawetan kayu berkerapatan rendah dengan cara mengempa papan kayu menjadi lebih padat. Pada kondisi lebih padat daripada sebelumnya, maka kekuatan kayu meningkat.

Pemadatan kayu dipengaruhi oleh jenis kayu, plastisitas kayu, kadar air, suhu kempa, dan penerapan besarnya tekanan kempa. Proses plastisasi dan pemadatan kayu yang sesuai akan meningkatkan sifat fisik dan sifat mekanik kayu terpadatkan dan berkualitas tinggi. Kualitas yang dimaksud adalah kemudahan proses pemadatan, stabilitas dimensi, keseragaman dan peningkatan kekuatan papan kayu, kehalusan corak permukaan papan dan fiksasi permanen.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui proses plastisasi dan teknis pengempaan (berbagai suhu yang berbeda pada arah radial dan tangensial) terhadap sifat fisik dan mekanik kayu agatis dan menentukan kemungkinan penggunaan kayu agatis terpadatkan untuk keperluan konstruksi berdasarkan peningkatan sifat fisik dan mekaniknya.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah papan tangensial dan papan radial kayu agatis (*Agathis lorantifolia* Salib). terpadatkan yang bebas cacat dengan kondisi kering udara. Alat yang dipakai adalah gergaji, oven, desicator, kaliper, timbangan, bor, lem rakol, perekat epoxy (Eurepox-710) dan hardener (Euredur-140), mesin Amsler dan Baldwin.

Sortimen uji yang berukuran 36 cm (L) x 10 cm (T) x 2 cm3 digergaji menjadi potongan–potongan untuk pengujian : kerapatan dan berat jenis (2 x 2) cm, MOE dan MOR (30 x 2) cm, tekan sejajar serat (6 x 2) cm, kekerasan sisi tangensial (5 x 5) cm, kekerasan sisi radial (5 x 5) cm, tekanan geser arah longitudinal dan antar serat (5 x 5) cm (papan laminasi 2 lapis) dan daya dukung baut (8 x 8) cm (papan laminasi 4 lapis) pada arah 0^0, 30^0, 45^0, 60^0, dan 90^0

Pengujian kerapatan dan berat jenis dengan menggunakan contoh uji berukuran 5 x 5 cm. dimasukkan ke dalam oven pada temperatur $(103 \pm 2)^0$ C selama 24 jam. Lalu ditimbang beratnya (B) dan dimensinya diukur untuk mengetahui volumenya (V). Selisih antara berat awal dan berat setelah dioven dibagi volumenya menghasilkan kerapatan kayu tersebut.

Kekuatan lentur (MOE), keteguhan patah (MOR) dan keteguhan tekan sejajar serat diuji dengan menggunakan British Standard (BS) 373. MOE dan MOR diuji dengan alat Amsler dan keteguhan tekan sejajar serat dengan menggunakan alat Baldwin. Kekerasan dan keteguhan geser serat diuji berdasarkan standar ASTM D 1037 dan D 143 – 94 dengan menggunakan alat Baldwin. Contoh uji kekuatan geser ukuran 5 x 5 cm dibuat papan lapis bersilangan setebal 4 cm (4 lapis) dengan menggunakan perekat Eurepox-710 (resin) dan hardener Euredur-140. Setelah kering dan lekat dilakukan pembebanan. Pembebanan diberikan pada arah sejajat serat dengan benda uji diletakan vertikal.

Contoh uji pengujian daya dukung baut merupakan pelat sambung yang akan diuji daya dukung bautnya sesuai dengan besar sudut yang telah ditentukan, yaitu 0^0, 30^0, 45^0, 60^0 dan 90^0. Contoh uji yang digunakan untuk uji daya dukung adalah berukuran 8 cm (L) x 8 cm (T) x 1 cm (R) yang dipotong dan dibentuk. Pengujian berdasarkan standar ASTM D 576 4-95, yaitu dengan bagian kayu yang dilubangi setengah lingkaran dengan membenamkan baut St 37 berdiameter 11,12 mm, menggunakan alat uji desak baut dan alat Baldwin. Dengan menggunakan baut berdiameter 11,12 mm pada sesaran 1,5 mm, nilai daya dukung baut pada penelitian ini disebut tegangan desak ijin di bawah baut (*embeded strength*) untuk sudut sambungan sejajar serat dan tegak lurus serat. Pengujian juga dilakukan pada ujung kayu tanpa pelubangan terlebih dahulu, tetapi langsung pada permukaan ujung kayu dengan beban baut.

Metode analisis dalam penelitian ini menggunakan analisis ragam faktorial dengan metode rancangan acak lengkap dengan 5 kali ulangan. Hal ini digunakan karena dalam penelitian ini menggunakan tiga faktor perlakuan yaitu faktor perlakuan jenis papan (faktor A), faktor perlakuan temperatur kempa (faktor B), dan faktor perlakuan pendahuluan selama pemadatan (faktor C).

HASIL DAN PEMBAHASAN

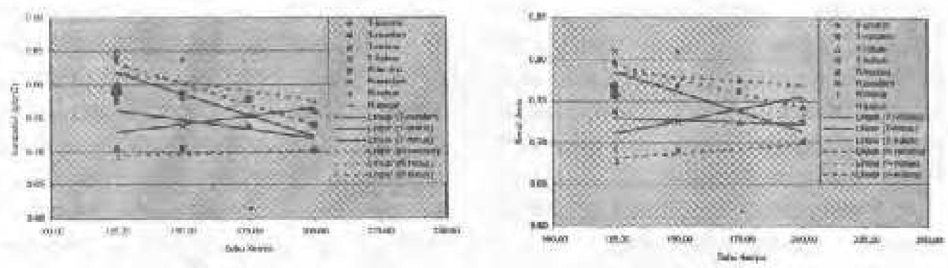
A. Sifat Fisis Kayu Agatis Terpadatkan

Hasil penelitian proses pemadatan kayu menunjukkan bahwa rata-rata kerapatan kayu agatis meningkat dari 0,43 gr/cm^3 – 0,46 gr/cm^3 pada kayu solid menjadi 0,70 gr/cm^3 – 0,85 gr/cm^3 pada papan tangensial dan 0,61 gr/cm^3 – 0,84 gr/cm^3 pada papan radial terpadatkan. Sementara berat jenisnya juga meningkat dari 0,40 – 0,42 pada kayu solid menjadi 0,69 – 0,81 pada papan tangensial dan 0,62 – 0,81 pada papan radial terpadatkan. Hal ini dapat dilihat pada dan Gambar 1.

Dari perhitungan Analisis Keragaman, perlakuan pendahuluan dan interaksi antara perlakuan pendahuluan dan variasi suhu kempa berpengaruh nyata terhadap nilai kerapatan dan berat jenis kayu.

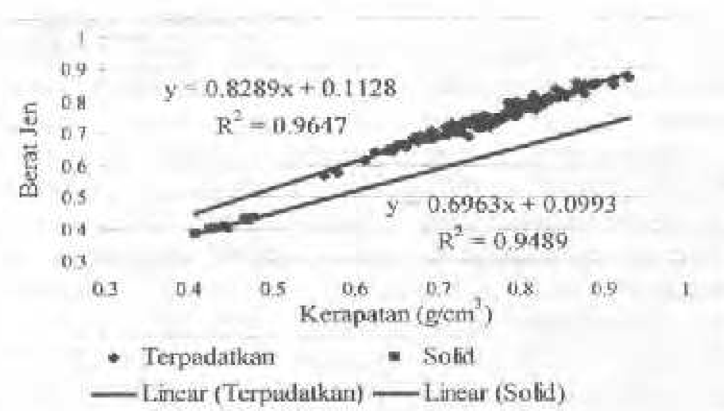
Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemadatan kayu ternyata dapat memperbaiki (meningkatkan) sifat-sifat fisik kayu agatis.

Berdasarkan pembagian kelas kuat kayu Indonesia menurut Seng (1990), nilai kerapatan dan berat jenis kayu tersebut tergolong kelas kuat III untuk kayu solid dan kelas kuat II untuk kayu agatis yang sudah dipadatkan. Peningkatan nilai ini diakibatkan berkurangnya volume kayu terpadatkan hingga mencapai 50 %, sedang massa kayu tidak banyak berkurang. Perbedaan nilai antara kerapatan dan berat jenis tersebut disebabkan perbedaan massa yang digunakan dalam perhitungannya. Kerapatan menggunakan massa kondisi kering udara, sedang berat jenis menggunakan massa kering oven. Namun hasilnya tidak terlalu jauh berbeda, karena setelah kayu mengalami pemadatan, tidak terjadi perbedaan kadar air yang nyata. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.



(1) (2)

Gambar 1. Grafik nilai kerapatan (1) dan berat jenis (2) kayu agatis solid dan dipadatkan



Gambar 2. Analisis Regresi Hubungan antara Kerapatan dan Berat Jenis pada Kayu Agatis Solid dan Terpadatkan

B. Sifat Mekanis Kayu Agatis Terpadatkan

1. Kekakuan Kayu (MOE) dan Kekuatan Patah (MOR)

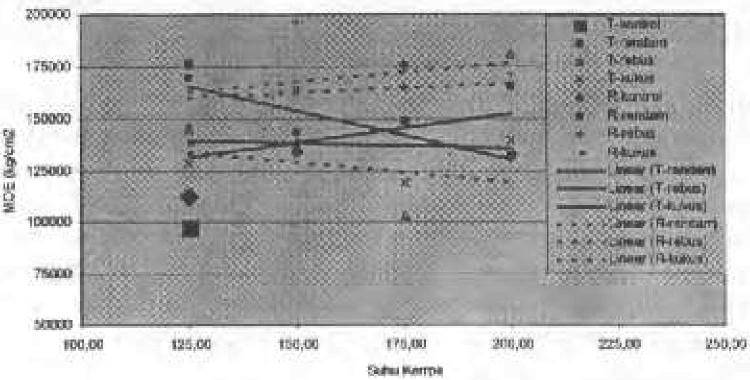
Pemadatan kayu terbukti mampu meningkatkan kekuatan lentur dan kekakuan kayu. Peningkatan nilai MOE ini, berdasarkan Analisis Keragaman, nyata dipengaruhi oleh variasi suhu kempa dan kelompok jenis papan, dan sangat nyata dipengaruhi oleh interaksi antara perlakuan pendahuluan dan variasi suhu kempa. Sehingga perpaduan perlakuan pendahuluan dan suhu kempa yang tepat akan menghasilkan nilai kekuatan lentur yang maksimal.

Peningkatan nilai MOE seperti yang disajikan pada Gambar 3 sangat nyata yaitu antara 101.565 kg/cm^2 sampai 180.675 kg/cm^2 dibanding kayu solid yang bernilai 70.006 kg/cm^2 sampai 71.641 kg/cm^2. Peningkatan nilai MOE disebabkan terjadinya kristalisasi molekul selulosa dalam daerah amorf ataupun parakristalin dari mikrofibril (Dwianto, *et al.*, 1996), yang direkat dengan lignin yang mengalir akibat pemanasan pada proses plastisasi dan suhu pengempaan. Sedangkan suhu kempa yang tinggi menurunkan nilai MOE secara nyata. Kasus ini sama dengan yang dijelaskan oleh Hirai *et. al.*, dalam Dwianto, *et. al.*, (1998). Herai melakukan pemanasan setelah pemadatan, sedang dalam penelitian ini pemanasan diperoleh pada saat proses pemadatan, sehingga mengalami degradasi akibat pemanasan seperti yang dilaporkan oleh Hirai.

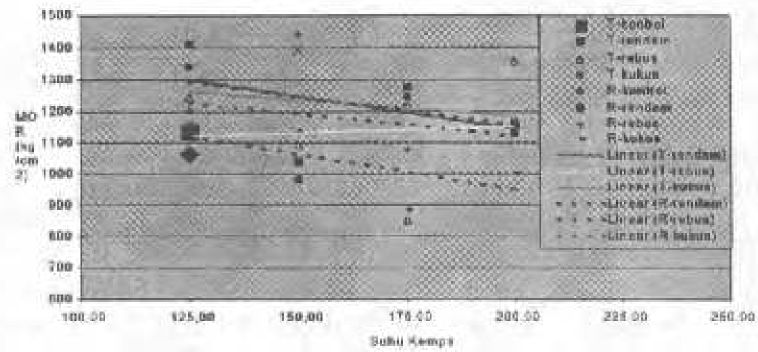
Kisaran nilai MOE antara 101.565 kg/cm^2 sampai 180.675 kg/cm^2 menurut Wirjomartono (1977) tergolong dalam kelas kuat I (>125.000 kg/cm^2) dan kelas kuat II.

Akibat pemadatan terjadi juga peningkatan nilai kekuatan pada batas maksimum (MOR). Berdasarkan Analisis Keragaman dan Gambar 3 (2), peningkatan kekuatan tersebut sangat berbeda nyata pada variasi suhu kempa yang diberikan. Kestabilan nilai terjadi pada suhu kempa antara 125 ^{0}C sampai 175 ^{0}C. Akan tetapi peningkatan kekuatan tersebut juga dipengaruhi dengan sangat nyata oleh interaksi antara perlakuan pendahuluan dan variasi suhu kempa yang diberikan.

Berdasarkan penggolongan kelas kuat Seng (1990), kayu agatis solid termasuk kelas kuat III, tetapi setelah pemadatan termasuk kelas kuat I dan kelas kuat II. Kayu-kayu Kelas Kuat I dan II adalah jenis kayu keras yang dapat digunakan sebagai alat sambung (Wirjomartono, 1977), sehingga papan kayu agatis terpadatkan berdasarkan nilai MOE dan MOR tersebut di atas layak digunakan sebagai alat sambung (pelat buhul) pada konstruksi kayu.

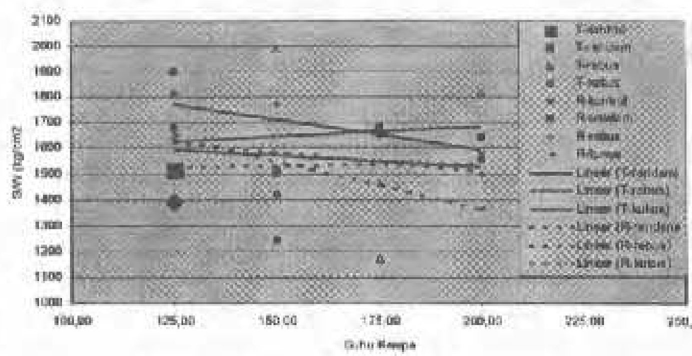


(1)



(2)

Gambar 3. Grafik Nilai Modulus of Elasticity (MOE) (1) dan Modulus of Rupture (MOR) (2) pada Kayu Agatis Solid dan Dipadatkan



Gambar 4. Grafik nilai rasio kekuatan terhadap berat kayu pada kayu agatis solid dan dipadatkan

2. Rasio Kekuatan terhadap Berat Kayu

Akibat dilakukan pemadatan kayu, nilai rasio kekuatan terhadap berat kayu (*Strength to Weight Ratio*) mengalami penurunan sampai 1172 kg/cm ^{2} dan peningkatan sampai 1993 kg/cm ^{2} dibanding kayu solidnya yang bernilai antara (1692 – 1694) kg/cm^2 seperti tersaji pada Gambar 4. Nilai ini sebanding dengan nilai ratio yang dikemukakan oleh Surjokusumo *et. al.,* 1992 yaitu 1667 kg/cm ^{2} untuk kayu utuh agatis yang dilaminasi.

Kayu sebagai bahan konstruksi, selain dilihat kekuatan kayunya, juga dilihat perbandingan kekuatan kayu (MOR) terhadap berat kayu (Berat Jenis), karena semakin tinggi rasio semakin sesuai kayu tersebut untuk penggunaan struktural/konstruksi (Nurwati dan Sarwono, 2000).

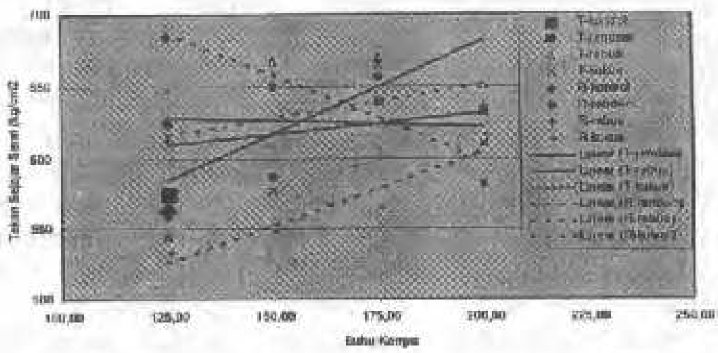
Berdasarkan penelitian Surjokusumo *et. al*, (1992) untuk keperluan konstruksi pesawat terbang terutama sangat tergantung pada perbandingan berat kayu terhadap kekuatannya, sehingga pada tingkat kekuatan yang memadai akan menghasilkan struktur pesawat yang lebih ringan. Nilai rasio kekuatan terhadap berat kayu pada kayu terpadatkan yang berada pada kisaran 1172 kg/cm^2 sampai 1993 kg/cm ^{2} tersebut sangat sesuai untuk bahan konstruksi bangunan. Misalkan sebagai pelat buhul pada berbagai posisi seperti pelat sambungan sisi (*Heel*), sambungan puncak atas (*peak*), sambungan dalam (*set back*) dan sambungan mendatar (*Lower Chord Splice Plate*)

Berdasarkan Analisis Keragaman MOR dan Berat Jenis menunjukkan bahwa variasi suhu, perlakuan pendahuluan dan interaksinya berpengaruh nyata dan sangat nyata terhadap nilai ratio kekuatan terhadap berat kayu agatis terpadatkan.

3. Keteguhan Tekan Sejajar Serat

Keteguhan tekan sejajar serat kayu terpadatkan meningkat hampir 2 kali, yaitu antara 532,74 kg/cm^2 sampai 683,68 kg/cm^2 dari kekuatan semula (kayu solid) yang hanya berkisar antara 360,11 kg/cm^2 – 367,15 kg/cm^2. Nilai ini dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan Analisis Keragaman, perlakuan pendahuluan yang berupa perendaman, perebusan dan pengukusan berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan keteguhan tekan sejajar serat. Sedangkan interaksi antara perlakuan pendahuluan dan variasi suhu hanya memberikan pengaruh yang nyata pada peningkatan keteguhan sejajar serat tersebut.

Peningkatan nilai ini lebih besar dibanding dengan penelitian yang dilakukan oleh Perkitny and Jablonski (1984), dimana dengan pemadatan arah radial sebesar 50 % pada kayu gubal *Scots pines* mampu meningkatkan keteguhan tekan 150 % dari kayu utuhnya.



Gambar 5. Grafik keteguhan tekan sejajar serat kayu agatis

Menurut kelas kuat Seng (1990), tegangan tekan sejajar serat kayu agatis yang semula termasuk kelas kuat III (300 – 425) kg/cm^2 meningkat menjadi kelas kuat II (425-650) kg/cm^2 dan kelas kuat I (> 650) kg/cm^2.

4. Kekerasan

Pemadatan kayu meningkatkan nilai kekerasan sisi tangensial lebih 2 kali lipatnya, yaitu antara 432 kg/cm^2 sampai 938 kg/cm^2 dari nilai kayu utuh yang hanya berkisar antara (226 – 235) kg/cm^2. Nilai peningkatan rata-rata terbesar terjadi pada kisaran suhu kempa antara 125 ^{0}C sampai 175 ^{0}C. Sehingga disarankan untuk mendapatkan peningkatan nilai kekerasan yang optimal dilaksanakan pada kisaran suhu kempa tersebut.

Peningkatan nilai kekerasan sisi tangensial ini mendukung hasil penelitian sebelumnya oleh Hwang (1997) dan Tomme *et. al.*, (1998). Rongga sel kayu yang menyempit, rata dan merapat akibat pemadatan (Iida dan Imamura, 1995) diduga berpengaruh kuat dalam peningkatan kekerasan sisi tangensial.

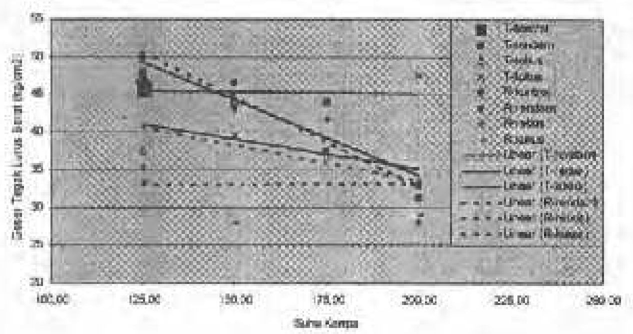
Pemadatan kayu juga meningkatkan nilai kekerasan sisi radial lebih 2 kali lipatnya, yaitu antara 440 kg/cm^2 sampai 783 kg/cm^2 dari nilai kayu utuh yang hanya berkisar antara (221 – 280) kg/cm^2 .Berdasarkan Analisis Keragaman, variasi suhu memberikan penga-ruh yang nyata terhadap pening-katan kekerasan sisi radial.

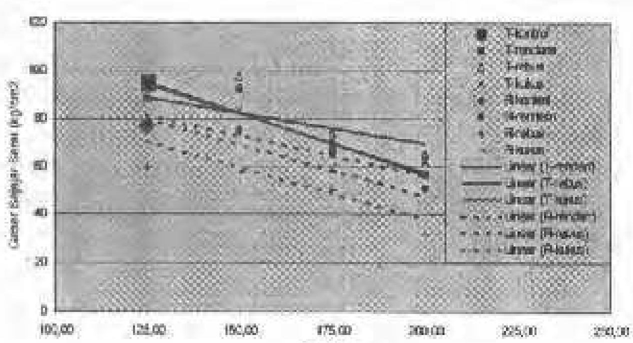
Kekerasan sisi antara arah tangensial dan radial (keduanya terdapat pada sumbu tegak lurus serat) nilainya tidak begitu besar perbedaannya seperti yang terjadi pada kayu solidnya. Namun pada penelitian ini yang terlihat adalah bahwa nilai kekerasan tangensial nilainya lebih bervariasi yaitu antara 432 kg/cm^2 sampai 938 kg/cm^2 dibanding nilai kekerasan sisi radial yang hanya berkisar antara 440 kg/cm^2 sampai 783 kg/cm^2. Hal ini kemungkinan karena struktur papan arah radial yang lebih seragam dibanding papan arah tangensial.

5 Keteguhan Geser

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keteguhan geser sejajar serat mengalami peningkatan secara meyakinkan pada kisaran suhu kempa antara 125 ^{0}C sampai 150 ^{0}C. Namun justru lebih rendah dari kayu solidnya pada suhu kempa diatas suhu 175 ^{0}C, seperti terlihat pada Gambar 6 (1). Oleh karena itu, untuk mendapatkan nilai keteguhan geser sejajar serat yang meningkat, disarankan menggunakan suhu kempa kurang dari 175 ^{0}C. Suhu kempa yang terlalu tinggi menyebabkan degradasi komponen kimia kayu (Hirai *et. al.* dalam Dwianto, 1998) dan *honeycombing* diduga sebagai penyebab penurunan nilai keteguhan geser sejajar serat dibawah nilai kayu solidnya.

Berdasarkan Analisis Keragaman, variasi suhu dan kelompok jenis papan memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap peningkatan nilai keteguhan sejajar serat kayu. Variasi suhu memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap peningkatan keteguhan geser tegak lurus serat. Kelompok jenis papan dan interaksi antara perlakuan pendahuluan dan





Gambar 6. Grafik Nilai Keteguhan Geser Sejajar Serat (1) dan Tegak Lurus Serat (2) pada Kayu Agatis Solid dan Dipadatkan

variasi suhu kempa juga memberikan pengaruh yang nyata terhadap peningkatan keteguhan geser tegak lurus serat

Pemadatan kayu meningkatkan nilai keteguhan geser tegak lurus serat hampir 2 kali lipatnya, yaitu antara 27,97 kg/cm^2 sampai 49,90 kg/cm^2 dari nilai kayu utuh yang hanya berkisar antara 23,20 sampai 24,22 kg/cm^2 seperti terlihat pada Gambar 6 (2). Namun nilai keteguhan geser tegak lurus serat ini rata-rata hanya setengah dari nilai rata-rata keteguhan geser sejajar serat.

Nilai peningkatan rata-rata terbesar terlihat pada Gambar 6 (2) ini terjadi pada kisaran suhu kempa antara 125 ^{0}C sampai 175 ^{0}C. Sehingga disarankan untuk mendapatkan peningkatan nilai keteguhan geser tegak lurus serat yang optimal dilaksanakan pada kisaran suhu kempa tersebut.

Posisi arah pemadatan menyebabkan perbedaan nilai antara keteguhan geser sejajar serat dengan keteguhan geser tegak lurus serat. Nilai keteguhan geser sejajar serat lebih tinggi dibanding nilai keteguhan geser tegak lurus serat, baik pada kayu utuh maupun kayu yang dipadatkan.

Tomme *et .al.*, (1998) melaporkan bahwa pemadatan dapat meningkatkan keteguhan geser kayu karena berkurangnya selulosa dan lamela tengah akibat suhu dan tekanan kempa yang tinggi saat proses pemadatan. Pemberian perekat pada laminasi papan geser tidak mempengaruhi nilai keteguhan geser, karena kualitas perekat yang baik. Sehingga yang tergeser saat pengujian adalah struktur seratnya, bukan perekatnya.

D. Daya Dukung Baut

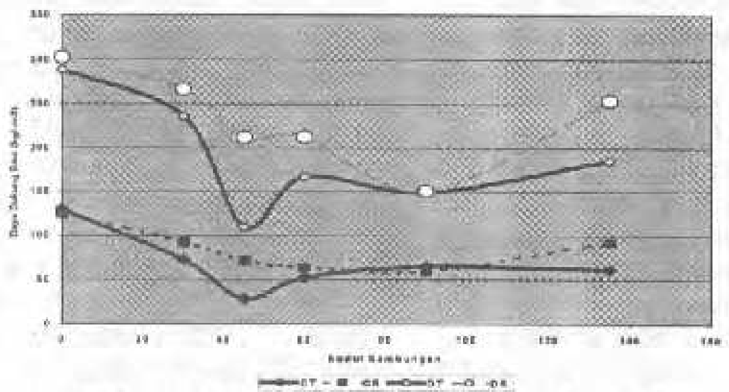
Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dukung baut yang tertinggi untuk pelat buhul papan laminasi kayu agatis terpadatkan dengan sesaran 1,5 mm terdapat pada sudut sambungan 0^0 (sejajar serat) mencapai 288,67 kg/cm^2 pada papan tangensial (DT) dan 302.40 kg/cm^2 pada papan arah radial (DR). Nilai ini meningkat lebih dari 2 kali lipat dari nilai papan tanpa pemadatan, yaitu hanya 129,14 kg/cm^2 pada papan tangensial (CT) dan 123 kg/cm^2 pada papan radial (CR) seperti terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 7. Sedang nilai terendah adalah 109,31 kg/cm^2 terdapat pada sudut 45^0 papan tangensial dan 150,44 kg/cm^2 pada sudut 90^0 (tegak lurus serat) pada papan radial.

Berdasarkan Analisis Keragaman untuk daya dukung baut, menunjukkan bahwa nilai daya dukung baut sangat dipengaruhi oleh proses pemadatan kayu. Hal ini dapat dilihat nilai daya dukung baut tersebut antara papan utuhnya (kontrol) dengan papan yang dipadatkan pada Tabel 1. Seperti halnya dengan sifat mekanik, fenomena peningkatan nilai daya dukung baut ini juga disebabkan oleh kristalisasi molekul selulosa dalam daerah amorf dan padatnya kayu.

Tabel 1. Nilai Rata-rata Daya Dukung Baut (kg/cm^2) Papan Laminasi Kayu Agatis Terpadatkan untuk Berbagai Sudut pada Sesaran 1,5 mm

No.	Sudut Sambungan (°)	Daya Dukung Baut (kg/cm^2)			
		Papan T		Papan R	
1.	0	129,14 (K)	288,67	123,97 (K)	302,40
2.	30	72,14 (K)	235,40	92,08 (K)	266,50
3.	45	28,19 (K)	109,31	71,26 (K)	211,84
4.	60	52,32 (K)	166,95	63,67 (K)	212,68
5.	90	64,78 (K)	149,01	59,81 (K)	150,44
6.	135	61,29 (K)	185,16	92,22 (K)	254,05

Keterangan :
K = Papan Kontrol
T = Papan Laminasi Tangensial
R = Papan Laminasi Radial



Gambar 7. Grafik hubungan antara besar sudut sambungan dengan nilai daya dukung baut pada kayu agatis solid (CT dan CR) dan dipadatkan (DT dan DR).

Tabel 2. Tegangan Desak Ijin Kayu Kelas Kuat I menurut Seng (1990), Wirjomartono (1977), dan Nugrowarsito (1992) dibandingkan Nilai Papan Lapis dan Papan Laminasi Kayu Agatis terpadatkan.

No	Sudut Sambungan	Tegangan Desak Ijin (kg/cm^2)					
		Oey Djoen Seng (1990)	Wirjo martono (1977)	Nugro-warsito (1992)	Papan agatis terpadatkan		
					papan lapis (Rilatupa, 2000)	papan laminasi	
						T	R
1.	Sejajar Serat	141.67 - 16,67	166,67	131,04	357,01	288,67	302,40
2.	Tegak Lurus Serat	56,67 - 86,67	86.67	66,70	321,56	149,01	150,44

Keterangan :
T = Papan Laminasi Tangensial
R = Papan Laminasi Radial

Sesaran 1,5 mm adalah sesaran menurut PKKI untuk batas maksimal persyaratan sambungan kayu di Indonesia.

Perlunya pembatasan sesaran, karena pada sesaran-sesaran yang besar akan menimbulkan tegangan-tegangan sekunder (Wirjomartono, 1977). Namun dalam penelitian ini juga dihitung nilai daya dukung baut pada sesaran 2,0 mm dan 3,0 mm. Informasi ini untuk mengetahui kekuatan kritis nilai daya dukung baut untuk berbagai sudut sambungan pada kayu agatis terpadatkan

Dari Tabel 1 dan Gambar 7 di atas terlihat bahwa nilai tertinggi daya dukung baut kayu terpadatkan terdapat pada sudut sambungan sejajar serat (0^0). Kemudian menurun dengan meningkatnya besarnya sudut sambungan sampai sudut 45^0 . Pada sudut 60 ^{0} meningkat lagi untuk kemudian menurun lagi pada sudut sambungan tegak lurus serat (90 ^{0}).

Bila diperhatikan, nilai daya dukung baut pada sudut sejajar serat (0^0) yaitu 288,67 kg/cm^2 dan 302,40 kg/cm^2 bernilai dua kali lipat dibanding nilai daya dukung baut pada sudut sambungan tegak lurus serat (90^0) yaitu bernilai 149,01 kg/cm^2 dan 302,40 kg/cm^2. Hasil ini sesuai dengan teori Hankinson seperti yang diungkapkan oleh Baird dan Ozelton (1984) yang menyatakan bahwa pada umumnya sudut sambungan 0^0 (sejajar serat) memiliki daya dukung baut yang tertinggi dan dua kali lebih besar dari sudut sambungan 90^0 (tegak lurus serat). Sehingga teori Hankinson ini selain berlaku untuk alat sambung kayu utuh yang bersifat anisotropis, berlaku juga untuk kayu laminasi terpadatkan yang sudah bersifat semi isotropis, tetapi belum tentu berlaku untuk papan lapis akibat struktur persilangan papan yang dilapiskan.

Daya dukung baut dipengaruhi oleh faktor-faktor antara lain : diameter baut, arah gaya terhadap serat kayu, ketebalan kayu, jenis dan mutu kayu, kerapatan, dan kadar air kayu. Papan laminasi agatis terpadatkan telah bersifat semi isotropis, termasuk dalam Kelas Kuat II memenuhi persyaratan yang disebutkan oleh Wirjomartono (1977) sebagai pelat buhul. Dengan demikian papan laminasi kayu agatis terpadatkan dapat diandalkan sebagai alternatif pelat buhul, khususnya pada konstruksi atap bangunan kayu.

Dari Tabel 2, nilai tegangan desak ijin pada golongan Kelas Kuat I dapat dibandingkan antara Seng (1990), Wirjomartono (1977), Nugrowarsito (1992) dengan papan lapis dan papan laminasi kayu agatis terpadatkan. Berdasarkan ketiga standar yang dibuat sebelumnya, ternyata nilai tegangan desak ijin papan lapis dan papan laminasi agatis terpadatkan pada sudut sambungan sejajar dan tegak lurus serat termasuk golongan Kelas Kuat I. Hasilnya bahkan hampir dua kali lipat dari nilai yang dipersyaratkan sebagai standar golongan Kelas Kuat I. Berdasarkan hasil tersebut, maka pelat buhul papan laminasi dari kayu agatis terpadatkan dapat diandalkan sebagai alat sambung pada konstruksi-konstruksi kayu.

KESIMPULAN

Pemadatan kayu mampu meningkatkan kerapatan kayu dari sekitar 0,43–0,46 gr/cm^3 menjadi 0,70–0,85 gr/cm^3 pada papan tangensial dan 0,61–0,84 gr/cm^3 pada papan radial. Berat jenis juga meningkat dari 0,40-0,42 menjadi 0,69–0,81 pada papan tangensial dan 0,62–0,81 pada papan radial. Berat jenis ini memenuhi standar sebagai pelat sambung yang mensyaratkan nilai BJ berkisar antara 0,72–1,13.

Kekakuan kayu (MOE) meningkat dari 70.006–71.641 kg/cm^2 menjadi 101.565–180.675 kg/cm^2. Sementara nilai kekuatan pada batas maksimum (MOR) juga meningkat dari kisaran 670,76–706,10 kg/cm^2 menjadi 851,72–1.439,28 kg/cm^2.

Nilai rasio kekuatan terhadap berat kayu (S/W) mengalami fluktuasi antara 1.172–1.993 kg/cm^2 dibanding kayu utuhnya berkisar antara 1.692–1.694 kg/cm^2. Kisaran ini sangat layak untuk konstruksi bangunan. Sementara untuk konstruksi pesawat terbang pada kayu agatis utuh bernilai 1.667 kg/cm^2.

Keteguhan tekan sejajar serat juga meningkat hampir 2 kali lipat, yaitu antara 532,74–683,68 kg/cm^2 dari kekuatan semula yang berkisar antara 360,11–367,15 kg/cm^2.

Pemadatan kayu juga meningkatkan nilai kekerasan sisi tangensial lebih dari 200 %, yaitu berkisar antara 432 – 938 kg/cm^2, dibanding kayu utuhnya berkisar antara 226 – 235 kg/cm^2. Nilai kekerasan sisi radial juga meningkat lebih 200 %, yaitu berkisar antara 440 – 783 kg/cm^2 dibanding kayu utuhnya berkisar antara 221 – 280 kg/cm^2.

Peningkatan juga terjadi pada keteguhan geser sejajar serat yang berkisar antara 77,71 – 97,71 kg/cm^2 dibanding kayu utuhnya yang berkisar antara 74,97–75,79 kg/cm^2. Peningkatan ini hanya terjadi pada suhu kempa antara 125 – 150 ^{0}C. Pada suhu kempa > 150 ^{0}C justru mengalami penurunan sampai dibawah nilai kayu utuhnya. Namun fenomena ini tidak terjadi pada keteguhan geser tegak lurus serat yang meningkat pada semua variasi suhu kempa yaitu berkisar antara 27,97 – 49,90 kg/cm^2 dibanding kayu utuhnya yang berkisar antara 23,20 –24,22 kg/cm^2.

Nilai tertinggi daya dukung baut dengan sesaran 1,5 mm pada kayu terpadatkan terdapat pada sambungan sejajar serat (0^0) yang mencapai 288,67 kg/cm^2 pada papan tangensial dan 302,40 kg/cm^2 pada papan radial. Nilai ini lebih 2 kali lipat kayu utuhnya yang bernilai 129,14 kg/cm^2 pada papan tangensial dan 123 kg/cm^2 pada papan radial. Nilai terendah pada sudut sambungan 45^0 papan tangensial yang bernilai 109,31 kg/cm^2 dan sudut sambungan tegak lurus serat (90^0) pada papan radial yang bernilai 150,44 kg/cm^2. Nilai daya dukung baut kayu agatis terpadatkan pada sudut sambungan sejajar serat bernilai dua kali lipat dibanding nilai pada sudut sambungan tegak lurus serat. Sehingga kayu agatis terpadatkan ini dapat diandalkan sebagai pelat sambung pada konstruksi bangunan kayu.

DAFTAR PUSTAKA

Baird, J. A. dan E. C. Ozelton. 1984. Timber Designer's Manual. Garnada Publishing Ltd. London.

Dwianto, W., F. Tanaka, M. Inoue, dan M. Norimoto. 1996. Crystallinity Changes of Wood by Heat or Steam Treatment. Wood Research. No.83: 47-49.

Dwianto, W., M. Inoue dan M. Norimoto. 1998. Permanent Fixation of Compressive Deformation of Albizia Wood (*Paraserianthes falcataria*) by Heat Treatment. Journal of Tropical Forest Product. 4 (1) : 59 – 67.

Hwang, G. S. 1997. Effect of Heat Treatmenton The Properties of Compressed Wood. Taiwan Journal Forestry Science. 12 (10) : 95 – 104.

Iida, I. A. Ikeuchi, dan Y. Imamura. 1995. Liquid Penetration of Precompres-sion Woods III. Effect of Moisture Content of Speci-mens and Ambient Tempera-tures while Compression on Liquid Uptakes of Softwoods and Hardwoods. Mokuzai Gakkaishi. 41 (9) : 811 – 819.

Nurwati H. dan E. Sarwono. 2000. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Kayu Jenis Andalan yang Kurang Dikenal. Laporan Internal Pusat Penelitian Hasil Hutan. Bogor.

Perkitny, T. Dan W. Jablonski. 1984. Evaluation of The Mechanical Properties of Compressed Wood. Holz als Roh und Werkstoff. 43 (3):81–84.

Seng, O. D. 1990. Derat Jenis dari Jenis-jenis Kayu Indonesia dan Pengertian Beratnya Kayu untuk Keperluan Praktek. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Bogor.

Surjokusumo, S. N. Nugroho dan I. W. Darmawan. 1992. Studi Mengenai Persyaratan Kayu sebagai Bahan Konstruksi Pesawat Terbang. Laporan Penelitian. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Tidak Diterbitkan.

Tomme, F. Ph., F. Girardet., B. Gfeller, dan P. Navi. 1998. Densified Wood : An Innovative Product with Highly Enchanced Character. Proceeding 5th World Conference on Timber Enginnering Montreux, Siwitzerland. Vol. 2: 640–647.

Wirjomartono, S. 1977. Konstruksi Kayu. Diktat Kuliah Fakultas Teknik UGM.