10

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
FAKULTAS KEHUTANAN INSTITUT PERTANIAN BOGOR
DEPARTEMEN HASIL HUTAN

Kampus IPB Darmaga PO BOX 168 Bogor 16001 Alamat Kawat FAHUTAN Bogor
Phone : (0251) 621285, Fax : (0251) 621256 - 621 285, E-mail : dhh@ipb.ac.id

SURAT KETERANGAN

Nomor : 67 /K13.5.3/PL/2007

Yang bertandatangan di bawah ini Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan IPB, menerangkan bahwa Hasil Penelitian/Karya Ilmiah atas nama **Dr. Lina Karlinsari, S.Hut., MSc.F.** sebagai penulis utama/tunggal, yang berjudul "**Pengujian Kualitas Kayu dan Bambu Secara Non Destruktif dengan Metode Gelombang Ultrasonik**" sebagai laporan Hibah Penelitian dalam rangka program A2 tahun 2005, telah tercatat dan tersimpan di Perpustakaan Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan IPB.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bogor, 14 FEB 2007
Ketua,

Dr.Ir. Dede Hermawan, MSc
NIP. 131 950 984

LAPORAN HIBAH PENELITIAN
PROGRAM HIBAH KOMPETISI A-2

PENGUJIAN KUALITAS KAYU DAN BAMBU SECARA NON DESTRUKTIF DENGAN METODE GELOMBANG ULTRASONIK

Disusun Oleh :

Ketua Peneliti

Lina Karlinasari, S. Hut, M.Sc, F

(Laboratorium Keteknikan Kayu)

DEPARTEMEN HASIL HUTAN

FAKULTAS KEHUTANAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

2005

LEMBAR PENGESAHAN

1. Judul Penelitian	:	Pengujian Kualitas Kayu dan Bambu Secara Non Destruktif Dengan Metode Gelombang Ultrasonik
2. Pelaksana Kegiatan	:	Lina Karlinasari, S.Hut, M.Sc.F (Ketua) Dr. Naresworo Nugroho, MS. (Angggota)
3. Mahasiswa yang terlibat	:	1. Mohammad Mulyadi (E24101045) 2. Andy Iswindarto (E24101047) 3. Puja Hindrawan (E24101090)
4. Kebutuhan Biaya	:	Rp. 30.000.000,- (Tiga puluh juta rupiah)

Menyetujui :

Ketua Pelaksana Program A-2 DHH,	Ketua Pelaksana Kegiatan,
Ir. Sucahyo Sadiyo, MS. NIP. 131 411 834	Lina Karlinasari, S.Hut. MSc.F NIP. 132 206 244

Mengesahkan,

Ketua Departemen Hasil Hutan

Dr. Ir. Dede Hermawan, MSc.F.

NIP. 131 950 984

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kayu sebagai sumberdaya hutan utama mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat. Pertumbuhan penduduk yang sangat tinggi menyebabkan kebutuhan masyarakat akan kayu terus meningkat baik untuk kebutuhan papan (perumahan) maupun kebutuhan bahan industri. Disisi lain kegiatan eksploitasi hutan alam yang kurang terkendali, maraknya *illegal logging*, kebakaran hutan, dan perubahan peruntukan lahan hutan menjadi areal lain telah menyebabkan terjadinya penurunan produktifitas kawasan hutan sehingga pasokan kayu dari hutan alam baik secara kualitas maupun kuantitas semakin berkurang.

Untuk menjaga kesinambungan pasokan kayu dari hutan maka dalam kegiatan pengelolaan hutan dan manajemen kawasan hutan haruslah lebih mengacu pada azas-azas kelestarian. Disamping itu, pemakaian kayu yang efisien dan optimal diharapkan mampu menangani permasalan tersebut. Dalam rangka meningkatkan efisiensi dan penggunaan kayu secara optimal perlu penerapan azas-azas teknologi dan rekayasa di bidang perkayuan (*Wood Technology and Engineering*). Tobing (1971) menyatakan bahwa dibandingkan bahan-bahan lain kayu memiliki beberapa keunggulan antara lain : tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran, sangat kuat terhadap beratnya, mudah dikerjakan dengan alat-alat sederhana maupun alat modern, daya hantar panas rendah sebanding dengan bahan baku insulator.

Sementara itu, pemakaian kayu yang semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan meningkatnya teknologi pemanfaatan kayu telah dilakukan berbagai penelitian untuk mencoba mencari sumber alternatif bagi kayu demi mengurangi dampak negatif tersebut. Salah satu bahan alternatif pengganti kayu yang terpenting adalah bambu.

Bambu telah berabad-abad dikenal dan dimanfaatkan oleh berbagai lapisan masyarakat Indonesia, sehingga produk bambu selalu berhubungan erat dengan perkembangan bidaya bangsa Indonesia. Hal ini dapat dimengerti mengingat bambu tumbuh hampir di seluruh nusantara, batangnya mudah dipanen, dikerjakan, serta banyak ragam manfaatnya (Nandika *et al.* 1994).

Martawijaya (1997) memberikan taksiran bahwa 80 % bambu di Indonesia digunakan untuk konstruksi (termasuk mebel), 10 % untuk bahan pembungkus, 5 % untuk bahan baku kerajinan (industri kecil), serta 5 % untuk sarana pertanian dan lain-lain. Salah satu produk dari bambu yang berperan penting dalam pengurangan penggunaan kayu adalah laminasi bambu. Laminasi bambu dapat meningkatkan kekuatan bambu secara signifikan terutama untuk kekuatan-kekuatan bambu yang lemah seperti kekuatan gesernya. Laminasi bambu dapat dipadukan dengan kayu lapis (*plywood*), papan partikel, papan serat, bahkan papan kayu solid. Penggunaan laminasi bambu ini dapat berupa sebagai lantai, balok, dinding, dan struktur panel lainnya. Salah satu keuntungan paling baik dari teknologi laminasi adalah modifikasinya yang sangat beragam.

Dalam pemanfaatan kayu ataupun bambu sebagai bahan konstruksi bangunan, maka bahan tersebut harus memiliki sifat mekanis yang memenuhi persyaratan kayu yang baik yaitu mampu menahan beban dengan aman dalam jangka waktu yang direncanakan. Terdapat dua cara pengujian terhadap kualitas kekuatan kayu, yaitu (1) pengujian secara destruktif (merusak kayu), dan (2) pengujian secara non destruktif (tanpa merusak kayu).

Salah satu pengujian non destruktif yang sudah banyak digunakan adalah metode gelombang ultrasonik. Metode ini paling banyak diterapkan untuk bahan-bahan yang bersifat homogen dan isotropik seperti baja, besi, keramik. Pada perkembangan selanjutnya metode ultrasonik juga digunakan pada bahan kayu dalam rangka mengetahui kualitas kondisi bagian dalam dari kayu. Secara genetis kayu memiliki keragaman karakteristik yang melekat akibat adanya pengaruh kondisi tempat tumbuh dan faktor lingkungan (suhu, cuaca, iklim), akibatnya pada kayu yang terjadi adanya keheterogenan dan ketidakteraturan karakteristik bahan.

Di Indonesia sendiri pengujian non destruktif untuk menduga kualitas kekuatan kayu belum berkembang dan masih terbatas untuk kegiatan pemilahan kayu (*grading*) baik melalui metode konvensional secara visual maupun secara mekanis.

B. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh dimensi dan geometri kayu terhadap kecepatan rambatan gelombang ultrasonik
2. Mengetahui pengaruh kadar air kayu terhadap kecepatan rambatan gelombang ultrasonik
3. Membandingkan kekuatan kayu yang diuji secara non destruktif dan destruktif
4. Mengetahui kecepatan gelombang gelombang ultrasonik dari bambu
5. Mengetahui kekuatan mekanis dari bambu menggunakan metode non destruktif gelombang ultrasonik
6. Mengetahui kekuatan mekanis dari papan laminasi bambu dengan kayu lapis.

C. Hipotesis

1. Kadar air kayu berpengaruh terhadap kecepatan rambatan gelombang yang terjadi.
2. Terdapat korelasi yang signifikan antara dimensi kayu terhadap kecepatan rambatan gelombang ultrasonik.
3. Tedapat hubungan yang erat antara kekuatan kayu yang diuji secara non destruktif dan destruktif.
4. Kecepatan gelombang ultrasonik bambu hampir sama dengan kecepatan gelombang ultrasonik kayu

D. Luaran yang Diharapkan

Dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh informasi mengenai pemanfaatan metode gelombang ultrasonik dalam pengujian non destruktif, termasuk faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik gelombangya, dalam rangka aplikasi pengujian jenis ini nantinya.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kecepatan rambatan gelombang ultrasonik serta sebagai informasi pemanfaatan gelombang ultrasonik untuk pendugaan kekuatan kayu.

II. STUDI PUSTAKA

A. Pengujian Non Destruktif Metode Gelombang Ultrasonik

Pengujian non destruktif didefinisikan sebagai kegiatan mengidentifikasi sifat fisis dan mekanis suatu bahan tanpa merusak atau mengganggu produk akhir sehingga diperoleh informasi yang tepat terhadap sifat dan kondisi bahan tersebut yang akan bermanfaat untuk menentukan keputusan akhir pemanfatannya (Pellerin dan Ross, 2002).

Gelombang adalah suatu simpangan yang membawa energi melalui tempat dalam suatu benda yang bergantung pada posisi dan waktu (Mc Intyre *et al.*, 1991), sedangkan menurut Taranggono *et al.*,(1994) gelombang adalah rambatan dari suatu getaran. Selain itu gelombang dapat dinyatakan sebagai perantara perpindahan energi. Berdasarkan zat antaranya, gelombang dibagi menjadi 2 yaitu gelombang elektromagnetik dan gelombang mekanik. Gelombang elektromagnetik tidak memerlukan medium atau zat antara dalam perambatannya sedangkan gelombang mekanik memerlukan medium atau zat antara dalam perambatannya. Contoh gelombang elektromagnetik antara lain gelombang cahaya, gelombang radio, gelombang TV dan sinar X, sedangkan contoh gelombang mekanik antara lain gelombang tali, gelombang pada permukaan air, gelombang pada pegas dan gelombang bunyi (akustik)

Terjadinya gelombang bunyi disebabkan oleh sumber bunyi berupa benda bergetar yang melakukan perambatan ke segala arah. Untuk menghasilkan gelombang bunyi diperlukan gangguan mekanik dan medium elastik yang dapat merambatkannya. Medium gelombang bunyi dapat berupa zat padat, cair ataupun gas. Frekuensi gelombang bunyi yang dapat diterima telinga manusia berkisar antara 20 Hz sampai dengan 20 khz. Gelombang bunyi yang mempunyai frekuensi kurang dari 20 Hz disebut intrasonik atau infra bunyi, sedangkan gelombang bunyi yang frekuensinya lebih dari 20 khz disebut ultrasonik atau ultra bunyi (Tranggono *et al.*,1994).

Gelombang ultrasonik dapat dimanfaatkan dalam bidang industri, kedokteran dan teknik. Penggunaan gelombang ultrasonik dalam bidang industri menggunakan alat yang disebut *reflektometer* yang digunakan untuk mengetahui cacat-cacat atau kerusakan pada logam. Dalam bidang kedokteran dapat digunakan untuk mendeteksi panyakit-penyakit berat tertentu pada tingkat awal, seperti tumor payudara, hati dan otak serta digunakan untuk alat USG (*ultrasonografi)* (Tranggono *et al.,* 1994). Untuk bidang teknik khususnya teknik perkayuan, gelombang ultrasonik dapat digunakan sebagai salah satu metode pengujian non destruktif (*Non Destructive Testing)* dalam menduga kualitas kayu yang didasarkan pada pengukuran kecepatan rambatan gelombang ultrasonik (Malik et al., 2002).

Menurut Bucur (1995) pengukuran kecepatan perambatan gelombang ultrasonik dalam kayu (yang dianggap bahan orthotropik) memanfaatkan sifat *elastis* dan *viscoelastis* dari kayu. Parameter yang diukur adalah waktu perambatan gelombang ultrasonik yang kemudian dapat dihitung kecepatan perambatannya setelah jarak rambatan gelombangnya diketahui.

Gelombang ultrasonik merambat dalam struktur padat bisa dipengaruhi oleh sifat fisis subtrat, geometri bahan, karakteristik mikro dan makrostruktural bahan, kondisi lingkungan yang memepengaruhi bahan, dan kondisi alat (respon frekuensi dan kepekaan tranduser, ukuran dan lokasinya, coupling media, karakter dinamik dari peralatan elektronik).

Gelombang ultrasononik termasuk gelombang tegangan (stress wave) yang memanfaatkan frekuensi tinggu suara. Perambatan gelombang tegangan (*stress wave)* pada kayu adalah proses dinamis di bagian dalam yang berhubungan dengan sifat fisis dan mekanis kayu (Wang *et al.* 2000). *Stress wave* merambat pada kecepatan suara yang melewati material dan dipantulkan dari permukaan luar, cacat internal dan batas antara material yang berdekatan. Metode yang paling sederhana dalam penggunaan *stress wave* adalah waktu yang dibutuhkan *stress wave* untuk merambat pada jarak tertentu. Jika dimensi material diketahui, ukuran waktu *stress wave* dapat digunakan untuk menemukan cacat pada kayu dan produknya. *Stress wave* merambat lebih lambat melewati kayu busuk daripada kayu sehat, sehingga keadaan yang membatasi kayu dan produk kayu dapat diketahui melalui pengukuran waktu *stress wave* pada bagian yang masih mengalami pertumbuhan sepanjang kayu. Lokasi yang menunjukan waktu gelombang bunyi lebih lama adalah lokasi yang mengandung cacat (Kuklik dan Dolejs 1998, diacu dalam Abdul-Malik *et al.* 2002).

Teori dasar dari metode gelombang ultrasonik adalah adanya hubungan antara kecepatan gelombang ultrasonik yang melewati bahan dengan sifat elastis bahan (*dynamic modulus of elasticity*, MOEd*)* dan kerapatan bahan. Parameter yang diukur pada metode ini adalah waktu perambatan gelombang ultrasonik, yang kemudian digunakan untuk menghitung kecepatan perambatannya. Hubungan antara kecepatan gelombang ultrasonik dengan MOEd disampaikan pada Persamaan (1) dan (2):

$$Vu = \frac{d}{t} \quad (1)$$

$$MOE_d = \frac{\rho \times Vu^2}{g} \quad (2)$$

dimana:

MOE_d : *Modulus of Elasticity* dinamis (kg/cm^2)
ρ : kerapatan kayu (kg/m^3)
Vu : kecepatan gelombang ultrasonik (m/s)
g : konstanta gravitasi (9.81 m/s^2)
d : jarak tempuh gelombang antara 2 transduser (cm)
t : waktu tempuh gelombang antara 2 tranduser (μs)

B. Pengujian Destruktif

Definisi pengujian destruktif menurut Mardikanto dan Pranggodo (1991) adalah pendugaan kekuatan dengan cara konvensional (memakai mesin uji kekuatan kayu), dapat menyebabkan banyak kayu yang terbuang akibat dirusak untuk pengujian. Hasil pengujian destruktif ini obyektif dan tepat tanpa tergantung jenis kayu, namun pengujian ini tidak efisien dan tidak fleksibel.

C. Sifat Mekanis Kayu

Sifat mekanis kayu adalah sifat yang berhubungan dengan kekuatan kayu. Sifat kekuatan merupakan ukuran kemampuan kayu untuk menahan beban atau gaya luar yang bekerja padanya dan cendrung untuk merubah bentuk dan ukuran kayu tersebut (Kolman *et al*., 1975). Selanjutnya menurut Wangaard (1990) sifat mekanis kayu merupakan ukuran kemampuan kayu untuk menahan gaya luar yang bekerja. Yang dimaksud gaya luar adalah gaya-gaya yang datangnya dari luar benda dan bekerja pada benda tersebut. Gaya ini cenderung merubah ukuran dan bentuk benda.

Kekuatan dan ketahanan terhadap perubahan bentuk suatu bahan disebut sebagai kekuatan mekanisnya. Kekuatan adalah kemampuan suatu bahan untuk memikul bahan atau gaya yang mengenainya. Ketahanan terhadap perubahan bentuk menentukan banyaknya bahan yang dimanfaatkan, terpuntir, atau terlengkungkan oleh beban yang mengenainya. Perubahan-perubahan bentuk yang terjadi segera sesudah beban dikenakan dan dapat dipulihkan jika beban dihilangkan disebut perubahan bentuk elastis. Sifat-sifat mekanis biasanya menjadi parameter penting pada produk-produk kayu yang digunakan untuk bahan bangunan gedung (Haygreen dan Bowyer, 1989).

Keteguhan lentur statis kayu merupakan kemampuan kayu untuk menahan beban yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang di tengah-tengah balok kayu yang kedua ujungnya disangga. Pada pengujian di laboratorium, beban dengan kecepatan tertentu diberikan secara perlahan-lahan sehingga balok kayu menjadi patah. Sebagai akibat pemberian beban tersebut di dalam balok kayu terjadi regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*) (Wahyudi, 1986).

Ada dua macam tegangan yang terjadi selama pembebanan berlangsung sehingga patah, yaitu tegangan pada batas proporsi/keteguhan lentur (*Modulus of Elasticity*, MOE) dan tegangan pada batas maksimum/keteguhan patah (*Modulus of Rupture*, MOR). *Modulus of Elasticity* (MOE) adalah ukuran ketahanan kayu terhadap lenturan. Lenturan suatu balok yang terjadi akibat suatu beban akan berbanding terbalik dengan modulus elastisitas. Hal ini berarti kayu dengan modulus elastisitas yang besar akan mempunyai lenturan yang lebih kecil atau dengan kata lain kayu tersebut mempunyai kekenyalan yang tinggi (Bodig dan Jayne, 1982). Kekuatan lentur merupakan ukuran kemampuan benda untuk menahan beban lentur maksimum sampai saat benda tersebut mengalami kerusakan yang permanen. Besarnya hasil pengujian ini dinyatakan dalam *Modulus of Rupture* (MOR) atau modulus patah (Wangard, 1950 dan Brown *et al.* 1952). MOE dan MOR dihitung berdasarkan Persamaan (3) dan (4).

$$\text{MOEs (kg/cm}^2) = \frac{\Delta P \times L^3}{4 \times \Delta Y \times b \times h^3} \qquad (3)$$

$$\text{MOR (kg/cm}^2) = \frac{3 \times P_{max} \times L}{2 \times b \times h^2} \qquad (4)$$

dimana:
MOEs: *Modulus of elasticity* statis (kg/cm^2)
MOR: *Modulus of rupture* (kg/cm^2)
Pmax : beban maksimum (kg)
L : bentang atau jarak sangga (cm)
b : lebar cu (cm)

h : tinggi cu (cm)
ΔP : selisih beban (kg)
ΔY : selisih defleksi (cm)

D. Sifat Fisis Kayu

Haygreen dan Bowyer (1989) menyatakan sifat fisis kayu yang terpenting adalah kadar air, kerapatan, dan berat jenis.

a. Kadar Air

Haygreen dan Bowyer (1989) mendefinisikan kadar air sebagai berat air yang dinyatakan sebagai persen berat kayu bebas air atau kering tanur (BKT). Sedangkan menurut Brown *et al.* (1952) kadar air kayu adalah banyaknya air yang terdapat dalam kayu yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering tanurnya. Dengan demikian standar kekeringan kayu adalah pada saat kering tanurnya.

Kadar air suatu kayu sangat dipengaruhi oleh sifat higroskopis kayu, yaitu sifat kayu untuk mengikat dan melepaskan air ke udara sampai tercapai keadaan setimbang dengan kadar air lingkungan sekitarnya. Dijelaskan lebih lanjut bahwa dalam bagian xylem, air umumnya lebih dari separuh berat total, sehingga berat air dalam kayu umumnya sama atau lebih besar dari berat kering kayu. Kemampuan kayu untuk menyimpan air dapat dipengaruhi oleh ada tidaknya zat ekstraktif yang bersifat hidrofobik yang mungkin terdapat dalam dinding sel atau lumen (Haygreen dan Bowyer (1989).

Air berada dalam kayu dapat berwujud gas (uap) maupun cairan yang menempati rongga sel dan air terikat secara kimiawi di dalam dinding sel. Kayu segar sering didefinisikan sebagai kayu yang dinding sel serta rongga selnya jenuh dengan air. Kandungan air ketika dinding sel jenuh air sedangkan rongga selnya tidak berisi air dinamakan kadar air titik jenuh serat (TJS). TJS kayu rata-rata adalah 30 %, tapi untuk spesies dan potongan kayu tertentu TJS ini bervariasi (Anonymous, 1974).

Brown *et al.* (1952) menyatakan apabila kayu cenderung untuk tidak melepaskan maupun menyerap air dan udara di sekitarnya maka kayu tersebut berada dalam kandungan air kesetimbangan. Kandunghan air kesetimbangan berada di bawah TJS dan dipengaruhi oleh keadaan lingkungan dimana kayu itu digunakan terutama oleh suhu dan kelembatan relatif. Selanjutnya Oey Djoen Seng (1964) menegaskan bahwa besarnya kadar air kering udara tergantung dari keadaan iklim setempat, di Indonesia berkisar antara 12% sampai 20% dan di Bogor sekitar 15%.

Bambu memiliki sifat higrokopis sama seperti pada kayu, yaitu sifat dapat menyerap dan melepaskan air tergantung pada kondisi lingkungan sekitar (Faisal, 1998). Titik jenuh serat (TJS bambu adalah 20 – 30 %, bambu yang muda (belum dewasa) cenderung kehilangan air lebih cepat daripada bambu dewasa tetapi membutunkan waktu yang lebih lama untuk mengering sempurna karena kadar air permukaannya tinggi (Yus, 1967 *dalam* Helmi, 2001). Menurut Haygreen dan Bowyer (1982) mendefinisikan kadar air sebagai berat air yang terdapat di dalam kayu yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering tanur. Kadar air bambu bervariasi berdasarkan ketinggian, umur bambu dan musim (Siopongco dan Munandar, 1987 *dalam* Helmi, 2001).

b. Kerapatan dan Berat Jenis

Kerapatan digunakan untuk menerangkan massa suatu bahan persatuan volume (Haygreen dan Bowyer, 1989). Sedangkan berat jenis didefinisikan sebagai perbandingan antara kerapatan (atas dasar berat kering tanur) dengan kerapatan benda standar, air pada suhu 4^0 C kerapatan 1 g/cm^3 atau 1000 kg/m^3 (Haygreen dan Bowyer, 1989). Dalam satu spesies berat jenis kayu bervariasi baik antar pohon maupun di dalam satu pohon. Dalam satu pohon berat jenis kayu bervariasi, pada sumbu longitudinal umumnya berat jenis berkurang dari arah pangkal ke tengah batang lalu bertambah besar lagi ke arah pucuk (Tsoumis, 1991).

Berat kayu bervariasi diantara berbagai jenis pohon dan diantara pohon dari suatu jenis yang sama. Variasi ini juga terjadi pada posisi yang berbeda dalam satu pohon. Adanya variasi berat jenis tersebut disebabkan oleh perbedaan dalam jumlah zat penyusun dinding sel dan kandungan zat ekstraktif per unit pohon. Ketebalan dinding sel mempunyai pengaruh terbesar terhadap kerapatan kayu. Dalam satu jenis pohon adanya variasi bisa disebabkan oleh perbedaan tempat tumbuh, geografi atau oleh perbedaan umur dan lokasi dalam batang (Brown *et al.*, 1952).

Menurut Haygreen dan Bowyer (1989) semakin tinggi berat jenis kayu maka semakin banyak zat kayu pada dinding sel yang berarti semakin tebal dinding sel tersebut. Karena kekuatan kayu terletak pada dinding sel, maka semakin tebal dinding sel semakin kuat kayu tersebut. Namun menurut Panshin dan de Zeeuw (1970), kekuatan kayu yang mempunyai berat jenis yang lebih besar, tidak mutlak mempunyai kekuatan yang lebih besar pula, karena kekuatan kayu juga ditentukan oleh komponen kimia kayu yang ada di dalam dinding sel. Kelas kuat kayu di

Indonesia dibagi ke dalam lima kelas yang ditetapkan menurut berat jenisnya dengan metode klasifikasi seperti yang tercantum dalam Tabel 1. yang menunjukkan hubungan berat jenis dengan keteguhan lentur dan kekuatan tekan (DEN BERGER, 1923 dalam Martawijaya, 1981).

Tabel I.1. Kelas Kuat Kayu

Kelas Kuat	Berat Jenis	Tegangan Lentur Mutlak (kg/m^2)	Tegangan Tekan Mutlak (kg/m^2)
I	> 0,90	>1100	> 650
II	0,60 – 0,90	725 - 1100	425 - 650
II	0,40 – 0,60	500 - 725	300 - 425
IV	0,30 – 0,40	360 - 500	215 - 300
V	< 0,30	< 360	< 215

(Sumber : DEN BERGER, 1923 dalam Martawijaya, 1981)

E. Bambu

Tanaman bambu tumbuh dengan subur di daerah tropik dari benua Asia hingga Amerika, beberapa spesies ditemukan di benua Australia. Daerah penyebaran bambu terbesar adalah di Asia. Daerah penyebaran di Asia meliputi wilayah Indoburma, China, Jepang, dan India. Banyak ahli botani yang menganggap bahwa wilayah Indoburma adalah asal dari tanaman bambu ini. Darnsfield dan Widjaja (1995) memperkirakan terdapat 80 genera dan lebih dari 1000 jenis bambu di dunia. Di Asia tenggara sendiri terdapat 200 jenis dari 20 genera.

Penyebaran bambu di Indonesia sudah menyebar sampai ke berbagai pelosok daerah. Setiap daerah memiliki sebutan tersendiri bagi tanaman bambu ini. Di daerah sunda bambu disebut *awi*, di Jawa disebut *pring*. Dalam dunia internasional bambu dikenal dengan sebutan *bamboo.*

Bambu sebagai bahan bangunan dapat berbentuk buluh utuh, buluh belahan, bilah dan partikel. Bahan tersebut dapat digunakan untuk komponen kolom, kuda-kuda, kaso, reng, rangka, jendela, pintu, dan laminasi bambu. Adapun jenis bambu yang biasa digunakan sebagai bahan bangunan adalah bambu betung (*Dendrocalamus asper*), bambu gombong (*Gigantochloa pseudo-arundinaceae*), bambu ater (*Gigantochloa atter*), bambu duri (*Bambusa bambos* dan *Bambusa blumeana*), bambu hitam (*Gigantochloa atroviolaceae*), dan bambu tali (*Gigantochloa apus*) (Surjokusumo, 1997).

Dalam sistem taksonomi bambu termasuk dalam famili rumput-rumputan (Graminae) dan masih berkerabat dekat dengan tebu dan padi. Tanaman bambu dimasukkan dalam kelompok *bambusoideae*. Bambu biasanya memiliki batang yang berlubang, akar yang kompleks, daun berbentuk pedang, dan pelepah yang menonjol (Darnsfield dan Widiaja, 1995). Sistem taksonomi untuk bambu tali atau bambu apus adalah:

- Kingdom : Plantae
- Divisi : Spermatophyta
- Subdivisi : Angiospermae
- Klas : Monokotiledon
- Ordo : Graminales
- Famili : Graminae
- Subfamili : Bambusoideae
- Genus : *Gigantochloa*
- Spesies : *Gigantochloa apus* (Bl. ex Schult.f.)Kurz.

Yap (1967) menyatakan bahwa bambu adalah suatu rumput yang tak terhingga (*Pereunial grass*) dengan batang yang berkayu. Menurut Liese (1980) batang bambu terdiri atas bagian buku (*node*) dan bagian ruas (*internode*). Jaringan bambu terdiri atas 50% sel-sel parenkim, 40% serat skelerenkim, dan 10% pori sel pembuluh. Gugus vascular ini kaya akan buluh-buluh, serat-serat berdinding tebal, dan pipa-pipa ayakan. Pergerakan air melalui buluh-buluh, sedangkan serat akan memberikan kekuatan pada bambu. Bambu tidak memiliki sel-sel radial seperti sel jari-jari pada kayu. Pada bagian ruas orientasi sel adalah aksial. Bambu ditutupi oleh lapisan kutikula yang keras pada sisi luar dan dalamnya.

Nilai keteguhan lentur bambu rata-rata adalah 8,40 N/mm^2 dan modulus elastisitas sebesar 2 x 10^3 N/mm^2. Kekuatan geser bambu rata-rata cukup rendah yaitu 0,23 N/mm^2, pada pembebanan jangka pendek dan 0,10 N/mm^2 pada pembebanan jangka panjang (6 – 12 bulan). Untuk kekuatan tarik sejajar serat cukup tinggi yaitu sebesar 20 – 30 N/mm^2. Idris *et. al.* (1980) menyatakan bahwa khusus untuk bambu tali memiliki kekuatan lentur 502,3 – 1240,3 kg/cm^2, modulus elastisitas lentur 57.515 – 121.334 kg/cm^2, keteguhan tarik 1.231 – 2.859 kg/cm^2, dan keteguhan tekan 505,3 – 521,3 kg/cm^2. Sifat mekanis bambu tali tanpa buku lebih besar dibandingkan dengan bambu tali dengan bukunya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Kegiatan pembuatan contoh uji dan penelitian dilakukan di Laboratorium Kayu Solid dan Laboratorium Keteknikan Kayu, Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli sampai bulan September 2005.

B. Bahan Dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga jenis kayu yaitu kayu mangium (*Acacia mangium* Willd), kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) dan kayu rasamala (*Altingia excelsa* Noronha) untuk penelitian "Pengaruh Dimensi Terhadap Kecepatan Gelombang Ultrasonik Pada 3 Jenis Kayu"; dan jenis kayu kayu durian (*Durio zibethinus* Murr), kempas (*Koompassia malaccensis* Maing), kayu mangium (*Acacia mangium* Willd), rasamala (*Altingia excelsa* Noronha), sengon (*Paraserianthes falcataria*(L.) Nielsen) dan tusam (*Pinus merkusii* Junghuhn & de Vriese) untuk penelitian berjudul "Kecepatan Rambatan Gelombang dan Keteguhan Lentur Statis Pada Berbagai Kondisi Kadar Air Beberapa Jenis Kayu". Sementara itu bahan penelitian berupa bambu tali (*Gigantochloa apus* Bl. ex (Schult.f.) Kurz, Kayu lapis (*plywood*), dan perekat epoxy untuk penelitian yang berjudul "Pengujian Sifat Mekanis Panel Struktural dari Kombinasi Bambu Tali (*Gigantochloa apus* (Bl. ex. Schult. F) Kurz) dan Kayu Lapis".

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :.

1) Alat uji non destruktif merk Sylvatest-Duo
2) Alat uji destruktif UTM merk Instron (alat uji mekanis)
3) Bor listrik dengan mata bor diameter 5 mm untuk melubangi kedua ujung contoh uji
4) Kaliper untuk mengukur dimensi contoh uji
5) Gergaji bundar (*circular saw*) untuk memotong kayu (membuat sampel)
6) Oven untuk mengeringkan contoh uji sampai kadar air tertentu
7) Desikator alat kedap udara sebagai tempat penyimpanan contoh uji setelah dioven (pengkondisian contoh uji)
8) Timbangan untuk menimbang berat contoh uji

9) Mesin serut dan ampelas untuk menghaluskan permukaan contoh uji

10) Moisture meter untuk mengukur kadar air contoh uji

11) Bak untuk merendam contoh uji

12) Alat tulis menulis untuk mencatat data hasil penelitian.

C Metode Penelitian

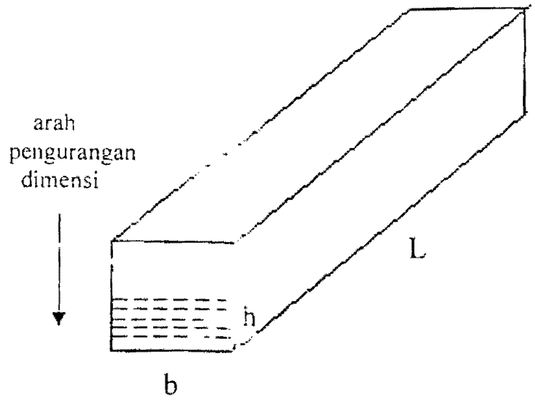
Penelitian 1: "Pengaruh Dimensi Terhadap Kecepatan Gelombang Ultrasonik Pada 3 Jenis Kayu"

1. Persiapan contoh uji

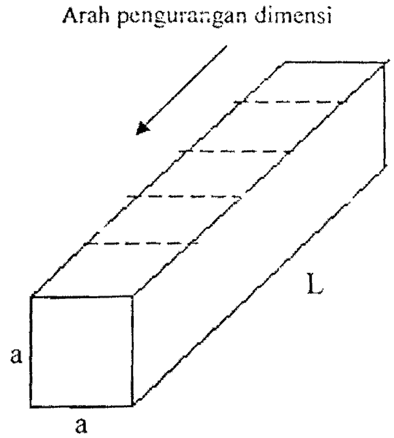
Contoh uji yang digunakan adalah jenis kayu mangium (*Acacia mangium* Willd), kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) dan Kayu Rasamala (*Altingia excelsa* Noronha) dengan kondisi kadar air (KA) kering udara yaitu berkisar antara 15-18%.

2. Pembuatan Contoh Uji

Contoh uji yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 2 kategori pengujian, yaitu contoh uji dengan panjang tetap dengan ukuran penampang melintang *(Cross Section)* beragam dan ukuran penampang melintang tetap dengan panjang beragam. Untuk pengujian panjang tetap dan penampang melintang beragam, semua contoh uji berukuran panjang (L) 30 cm dengan ukuran penampang melintang terdiri dari ratio antara *base (b)* dengan *height (h)* 1, 3, 5, 7, 9 dan 11 dimana dimensi terbesar berukuran b= 8 cm dengan h= 8 cm (Gambar 1). Sedangkan untuk pengujian penampang melintang tetap dengan panjang beragam, contoh uji terdiri dari 2 penampang melintang (a) berukuran (2x2) cm dan (4x4) cm dengan panjang (L) masing-masing 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm dan 100 cm (Gambar 2). Untuk masing-masing perlakuan dilakukan ulangan sebanyak 5 kali. Pengujian sifat fisis meliputi kerapatan, berat jenis (BJ) dan kadar air (KA) yang dilakukan pada setiap jenis kayu. Adapun bentuk contoh uji adalah sebagai berikut :



Gambar III.1. CU panjang tetap, penampang melintang beragam



Gambar III.2. CU penampang melintang tetap, panjang beragam

3. Pengujian Contoh Uji

a) Pengujian Sifat Fisis

Pengujian sifat fisis dilakukan dengan mengambil sedikit bagian berukuran 2 cm x 2 cm dari masing-masing contoh uji. Ukuran dan bentuk contoh uji dibuat berdasarkan *British Standard Methods of Testing Small Clear Specimen of Timber* 373:1957. Pengujian sifat fisis meliputi kerapatan, berat jenis (BJ) dan kadar air (KA).

- Kerapatan

  Nilai kerapatan diperoleh dari perbandingan berat massa kayu dengan volumenya dalam kondisi kering udara. Penentuan kerapatan ini dilakukan secara gravimetris dengan menggunakan rumus :

$$Kerapatan = \frac{BKU}{VKU}$$

  Dimana : BKU = Berat Kering Udara (g)

  VKU = Volume Kering Udara (cm^3)

- Berat Jenis (BJ)

  Contoh uji dimasukkan kedalam oven dengan suhu ($103 \pm 2)^{o}C$ sampai beratnya konstan untuk menentukan berat kering tanur. Untuk volume kayu diperoleh dengan metode pengukuran dimensi yang dilakukan pada saat contoh uji basah. Maka dapat dihitung nilai berat jenis dengan rumus :

$$BJ = \frac{BKT}{VKU}$$

Dimana : BJ = Berat Jenis (g/cm^3)

BKT = Berat Kering Tanur (g)

VKU = Volume Kering Udara (cm^3)

- Kadar Air (KA)

  Contoh uji ditimbang untuk mengetahui berat awal. Contoh uji dimasukkan kedalam oven dengan suhu (103±2)°C selama 24 jam hingga beratnya konstan kemudian ditimbang untuk menentukan berat kering tanur. Besarnya nilai kadar air dapat dihitung dengan persamaan :

$$KA = \frac{BB - BKT}{BKT} x100\%$$

Dimana : KA = Kadar Air (%)

BKT = Berat Kering Tanur (g)

b) *Pengujian Kecepatan Rambatan Gelombang Ultrasonik*

Pengujian kecepatan rambatan gelombang ultrasonik dilakukan terhadap seluruh bentuk contoh uji. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji non destruktif metode gelombang ultrasonik merk *Sylvatest Duo (f > 22 Khz)*, dengan cara memasang transduser akselerometer pada kedua ujung contoh uji yang sudah dilubangi sedalam ± 2 cm dengan diameter 5 mm. Nilai yang dapat dibaca pada alat dari pengujian tersebut adalah waktu tempuh gelombang yang digunakan untuk menentukan kecepatan rambatan gelombang ultrasonik dengan rumus :

$$Vt = \frac{d}{t} x10^4$$

Dimana : Vt = Kecepatan perambatan gelombang ultrasonic (m/s)

d = Selisih jarak antar transduser (cm)

t = Waktu tempuh gelombang (mikrosekon)

4. Analisis Data

1. Analisis statistik sederhana berupa nilai rata-rata dari setiap pengujian. Selanjutnya data tersebut dideskripsikan dalam bentuk tabel dan gambar.

2. Model rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial. Model umum rancangan percobaan yang digunakan sebagai berikut :

a. Pengujian panjang tetap penampang melintang beragam

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \varepsilon_{ij}$$

Dimana :

Yij = Nilai pengamatan pada perlakuan taraf ke-i faktor penampang melintang pada ulangan ke-j.

μ = Nilai tengah pengamatan

A_i = pengaruh faktor penampang melintang

ε_{ij} = Nilai galat percobaan taraf ke-i faktor ukuran penampang melintang pada ulangan ke-j

i = 1, 2, ...t t = banyaknya taraf perlakuan

j = 1, 2, ...ri ri = banyaknya ulangan pada perlakuan ke-i

b. Pengujian panjang beragam penampang melintang tetap

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dimana :

Y_{ijk} = Nilai pengamatan pada perlakuan taraf ke-i faktor ukuran penampang melintang pada taraf ke i faktor panjang pada ulangan ke-k

μ = Nilai tengah pengamatan

A_i = Nilai pengaruh faktor penampang melintang pada taraf ke-i

B_j = Nilai pengaruh faktor panjang pada taraf ke-j

AB_{ij} = Nilai pengaruh interaksi faktor ukuran penampang melintang pada taraf ke-i dan faktor panjang pada taraf ke-j

ε_{ijk} = Nilai galat percobaan taraf ke-i faktor ukuran penampang melintang dan taraf ke-j faktor panjang pada ulangan ke-k

i = 1, 2, ...t t = banyaknya taraf perlakuan

j = 1, 2, ...ri ri = banyaknya ulangan pada perlakuan ke-i

3. Untuk mengetahui pengaruh yang berbeda dari setiap perlakuan maka dilakukan uji lanjut *Tukey HSD* sedangkan untuk pengolahan data dilakukan dengan menggunakan program *SPSS 11.0 for Windows.*

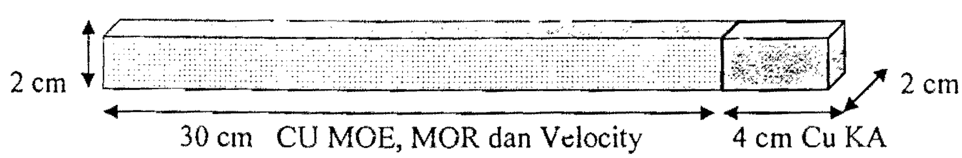
Penelitian 2: "Kecepatan Rambatan Gelombang dan Keteguhan Lentur Statis Pada Berbagai Kondisi Kadar Air Beberapa Jenis Kayu"

1. Persiapan Contoh Uji

Contoh uji keenam jenis kayu tersebut di atas merupakan kayu yang berasal dari pasaran.Contoh uji yang dibuat mengacu pada standar Inggris untuk contoh kayu bebas cacat (BS 373 : 1957). Sifat mekanis yang diuji adalah MOE dan MOR, sementara sifat fisis yang diuji adalah kadar air, berat jenis, dan kerapatan.

Bentuk dan ukuran contoh uji adalah sebagai berikut :

Contoh uji diambil dari balok yang berukuran 2x2x35 cm^3 kemudian dipotong menjadi ukuran 2x2x30 cm^3 untuk pengujian kecepatan rambatan gelombang dan keteguhan lentur statis pada berbagai kondisi kadar air (setiap perubahan kadar air) dan 2x2x4 cm^3 untuk pengujian KA, BJ dan kerapatan. Selain itu, contoh uji KA, BJ dan kerapatan diambil dari contoh uji keteguhan lentur statis (2x2x30) cm^3 dekat bagian yang mengalami kerusakan. Contoh uji KA, BJ, dan kerapatan yang diambil pertama kali pada ujung balok 2x2x35 cm^3 digunakan untuk mengetahui KA awal contoh uji khususnya contoh uji pada kondisi TJS dan kering udara. Data pengujian contoh KA ini digunakan mengetahui BKT contoh uji untuk pengujian pada kondisi TJS dan kering udara yang selanjutnya dijadikan dasar untuk melaksanakan pengujian. Contoh uji dibuat sebanyak 20 buah untuk lima kali ulangan pada empat kondisi kadar air.



Gambar III.3. Contoh uji MOE, MOR dan Velocity dan KA

Perbedaan kadar air yang digunakan meliputi kadar air basah (KA : > 30%), kadar air TJS (KA : 25-30 %), kadar air kering udara (KA : 15 – 20 %), dan kadar air kering oven (KO). Penyeragaman kondisi kadar air awal dilakukan dengan cara perendaman contoh uji selama 3 x 24 jam.

Dari kondisi kadar air basah kemudian contoh uji dikeringkan secara alami dalam ruangan sampai mencapai kadar air TJS dan kadar air kering udara. Contoh uji mencapai kondisi TJS dan kering udara dapat diketahui melalui BKT target yang ingin dicapai sehingga bisa ditentukan waktu pelaksanaan pengujian. Dari kondisi kering udara contoh uji kemudian dioven dengan suhu 103 ± 2° C selama ± 2 x 24 jam atau sampai diperoleh berat konstan (kondisi kering tanur). Pada setiap penurunan kadar air dari KA basah, KA titik jenuh serat (TJS), KA kering udara, dan kadar kering oven (KO) dilakukan pengujian secara non destruktif dan destruktif.

2. Pengujian Non Destruktif

Pada setiap penurunan kadar air dari KA basah, KA titik jenuh serat (TJS), KA kering udara (KU), dan kadar kering oven (KO) dilakukan pengukuran kecepatan rambatan gelombang ultrasonik. Indikasi penurunan kadar air (KA) diperoleh dari pengurangan berat contoh uji dengan BKT yang diperoleh dari contoh uji Kadar air (KA). Menurut Wang *et al.* (2003) gelombang ultarasonik merambat menembus secara langsung dalam spesimen longitudinal dan radial dimana untuk tiap spesimen longitudinal diukur dan dicatat setiap periode pengukurun alat dimana spesimen mengalami kehilangan berat sekitar 10-15 gram dan 5-8 gram untuk tiap spesimen radial yang terjadi dari kadar air basah ke kadar air titik jenuh serat (TJS). Ketika kadar air spesimen turun di bawah TJS contoh uji untuk pengujian kecepatan rambatan gelombang ultrasonik dicatat bahwa setiap spesimen longitudinal setiap periode pengukurun alat mengalami kehilangan berat dari 2-4 gram dan 1-2 gram untuk tiap spesimen radial.

Menurut Haygreen dan Bowyer (1989) persamaan dasar untuk kandungan kadar air dapat diubah kebentuk-bentuk yang mudah untuk digunakan di dalam kondisi-kondisi yang lain. Misalnya memecahkan persamaan untuk berat kering tanur menghasilkan :

$$\text{BKT} = \frac{beratbasah}{1 + (\%\frac{KA}{100})}$$

Bentuk ini sangat berguna untuk memperkirakan berat kering kayu basah apabila berat basah diketahui dan kandungan air telah diperoleh dari contoh uji KA.

Pengujian menggunakan metode gelombang ultarasonik dilakukan dengan cara menempatkan 2 buah transduser piezo elektrik yang terdiri dari tranduser pengirim (*start accelerometer*) dan tranduser penerima (*stop accelerometer*) pada kedua ujung contoh uji setelah dilakukan pelubangan berdiameter 5 mm sedalam ± 2 cm. Informasi dari pembacaan alat berupa kecepatan rambatan gelombang yang diperoleh dari panjang gelombang dan waktu tempuh gelombang. Menurut Sandoz (1994) sepanjang sisi longitudinal, relasi antara kecepatan perambatan gelombang ultrasonik dengan sifat elastisitas sampel ditunjukkan oleh persamaan

$$V = \frac{d}{t} \times 10^4$$

MOE dinamis diperoleh berdasarkan fungsi persamaan :

$$MOE_{dL} = \frac{v^2 \rho}{g}$$

Dimana : MOE_{dL} = modulus elastisitas dinamis pada arah longitudinal (kg/cm^2)

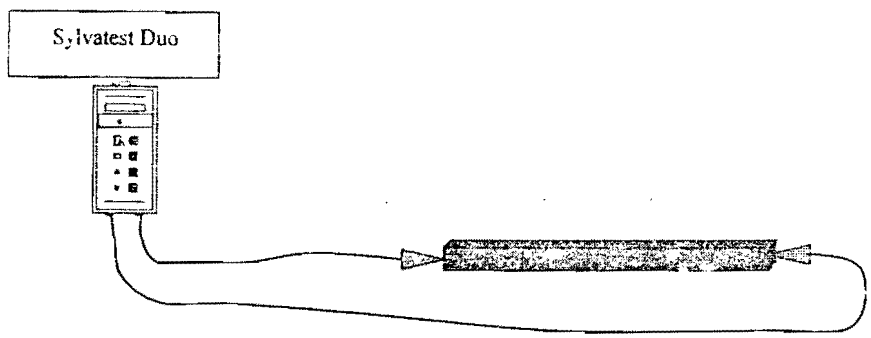
v = kecepatan perambatan gelombang ultrasonik (m/s)

ρ = kerapatan (kg/m^3)

g = konstanta gravitasi (9,81 m/s^2)

d = selisih jarak antar transduser (cm)

t = waktu tempuh gelombang (μs)



Gambar III.4. Pengukuran non destruktif metode ultrasonik pada contoh uji keteguhan lentur statis

3. Pengujian Destruktif

a. Keteguhan Lentur Statis

Pengujian ini dilakukan setelah contoh uji diuji dengan pengujian non destruktif metode gelombang ultrasonik.. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban tunggal dengan alat uji mekanis merk *Instron* pada jarak sangga 28 cm, tegak lurus kayu di tengah bentang contoh uji (*centre loading*). Data yang diperoleh berupa beban dan defleksi yang terjadi. Beban maksimum diperoleh sampai contoh uji mengalami kerusakan. Dari hasil pengujian ini dapat ditentukan besarnya *modulus elastisitas statis* atau MOE_s dan modulus patah statis atau MOR_s.

Besarnya nilai *Modulus of Elastisity* (MOE_s) dan *Modulus of Rupture* (MOR_s) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$MOE_S = \frac{\Delta PL^3}{4\Delta ybh^3} \qquad MOR_S = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Dimana :

MOE_s = *Modulus of Elasticity* statis (kg/ cm^2)

MOR_s = *Modulus of Rupture* statis (kg/ cm^2)

ΔP = Selisih beban

P = Beban maksimum paada saat contoh uji mengalami kerusakan (kg)

L = Panjang bentang (cm)

b = Lebar penampang contoh uji (cm)

h = Tebal penampang contoh uji (cm)

Δy = Defleksi karena beban (cm)

b. Pengujian Sifat fisis

Pengujian sifat fisis meliputi kadar air, berat jenis, dan kerapatan dimana ukuran contoh uji (2x2x4) cm^3. Contoh uji ini dimasukkan ke dalam oven pada temperaatur 103 ± 2° C selama ± 2 x 24 jam hingga beratnya konstan (berat kering tanur). Berat contoh uji kering tanur ini kemudian ditimbang. Besarnya nilai kadar air, kerapatan, berat jenis dihitung berdasarkan persamaan :

$$KA = \frac{BB - BKT}{BKT} \times 100\%$$

$$BJ = \frac{BKT}{VKU}$$

$$Kerapatan = \frac{BKU}{VKU}$$

Dimana : KA = Kadar air (%)

BA = Berat awal (gram)

BKT = Berat kering tanur (gram)

VKU = Volume kering udara (cm^3)

4. Analisis Data

1. Analisis data secara sederhana dilakukan untuk menyelesaikan secara deskriptif mengenai :
   a. Perilaku berat jenis (BJ) dan kerapatan terhadap perubahan kadar air (KA)
   b. Perilaku kecepatan rambatan gelombang ultrasonik terhadap perubahan kadar air (KA), dan
   c. Perilaku keteguhan lentur statis terhadap perubahan kadar air (KA).

2. Korelasi pengujian nondestruktif dan pengujian destruktif

Untuk mengetahui bentuk hubungan hasil pengujian nondestruktif dengan hasil pengujian destruktif (keteguhan lentur statis) contoh kecil bebas cacat, digunakan persamaan regresi linear sederhana.

Bentuk umum persamaannya adalah :

$$\hat{Y} = \alpha + \beta X$$

Dimana : $\hat{Y}$ = peubah tak bebas (nilai dugaan)

X = nilai peubah bebas

α = konstanta regresi

β = kemiringan/gradien

Persamaan tersebut digunakan bagi korelasi parameter dalam kondisi kadar air kering udara, yaitu :

a. MOR_{KU} - MOE_{SKU}
b. MOR_{KU} - MOE_{d} ku

Pengolahan data dilakukan menggunakan bantuan program Microsoft Excel.

Penelitian 3: "Pengujian Sifat Mekanis Panel Struktural dari Kombinasi Bambu Tali (*Gigantochloa apus* (Bl. ex. Schult. F) Kurz) dan Kayu Lapis"

1. Pembuatan dan Pengujian Contoh Uji Sifat Fisis

Contoh uji yang dibuat adalah untuk pengujian sifat fisis yang meliputi kadar air dan berat jenis dari bambu tali dan kayu lapis.

a. Kadar Air

Contoh uji pengujian kadar air berukuran 1 x 1 x 2 cm yang diambil dari pangkal dan bagian tengah bambu. Contoh uji untuk kayu lapis diambil dari tepi dan tengah kayu lapis berukuran 2 x 2 x 0,5 cm.

Besar kadar air dihitung dengan menggunakan rumus :

$$KA = \frac{(BB - BKT)}{BKT} \times 100\%$$

Dimana : KA = Kadar Air (%)

BB = Berat basah (gram)

BKT = Berat Kering Tanur (gram)

Contoh uji ditimbang untuk menentukan berat awal (BB), kemudian contoh uji dimasukkan oven pada temperatur 103 ± 2^0C selama 24 jam hingga konstan (BKT).

b. Berat Jenis (BJ)

Penentuan berat jenis bambu dan kayu lapis dengan cara membandingkan berat kering tanur contoh uji dengan volumenya pada keadaan basah. Contoh uji untuk berat jenis memiliki spesifikasi yang sama dengan contoh uji kadar air.

$$\text{Berat Jenis} = \frac{Kerapa\text{tan } Bambu\ (g / cm^3)}{Kerapa\text{tan } Benda\ S\text{ tan } dar\ (g / cm^3)}$$

Dimana : BKU = Berat Kering Udara (gram)

VKU = Volume Bambu Basah (cm^3)

c. Kerapatan

Contoh uji untuk kerapatan memiliki dimensi dan spesifikasi yang sama dengan contoh uji berat jenis. Nilai kerapatan bahan dihitung dengan membandingkan berat kering udara dengan volume kering udaranya.

$$\rho = \frac{BKU}{VKU}$$

Dimana : ρ = Kerapatan (g/cm^3)

BKU = Berat Kering Udara (g)

VKU = Volume Kering Udara (cm^3)

2. Pengujian Kecepatan Gelombang Ultrasonik Bambu

Pengujian dilakukan terhadap bilah bambu pada bagian padatan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat uji ultrasonik "Sylva test Duo". Kecepatan gelombang ultrasonik diperoleh berdasarkan persamaan

$$V = \frac{d}{t} \times 10^{4}$$

Selanjutnya dapat ditentukan nilai kekakuan lentur bambu (MOE dinamis) yang diperoleh berdasarkan rumus:

$$MOE_d = \frac{v^2 \rho}{g}$$

Dimana : MOE_d = modulus elastisitas dinamis (kg/cm^2)

v = kecepatan perambatan gelombang ultrasonik (m/s)

ρ = kerapatan (kg/m^3)

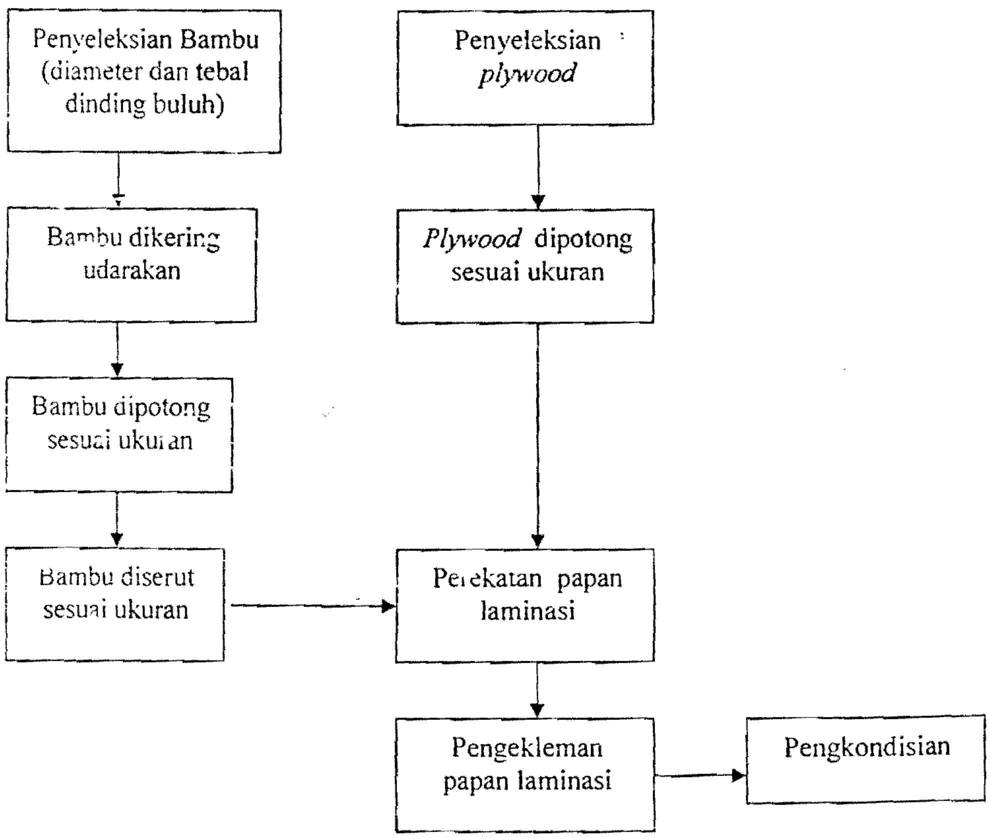
g = konstanta gravitasi (9,81 m/s^2)

d = selisih jarak antar transduser (cm)

t = waktu tempuh gelombang (μs)

3. Pembuatan dan Pengujian Contoh Uji Sifat Mekanis

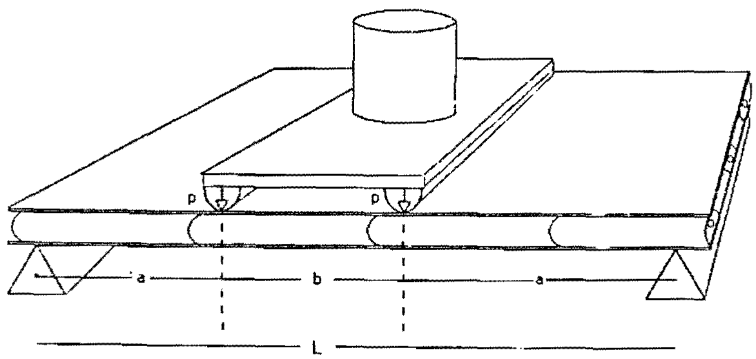
Prosedur pembuatan papan laminasi ini dapat dilihat dalam bagan berikut :



Gambar III.5. Proses pembuatan papan laminasi bambu dengan kayu lapis.

a. Pengujian Keteguhan Lentur Statis

Pengujian untuk sifat mekanis dilakukan secara *full scale* dengan menggunakan *universal testing machine* (UTM) merek Instron. Pengujian sifat keteguhan lentur statis dilakukan dengan menggunakan UTM yang dimodifikasi bentang dan pembebanannya. Pengujian ini untuk menentukan besar modulus elastisitas (MOE) dan modulus patah (MOR). Pembebanan pada pengujian ini dengan metode pembebanan tiga titik (*third load point loading*). Data yang diperoleh adalah beban sampai batas proporsi, defleksi, dan beban maksimum. Beban maksimum diperoleh saat contoh uji mulai mengalami kerusakan permanen.



Gambar III.6. Pengujian keteguhan lentur statis.

Perhitungan MOE dan MOR ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{MOE} = \frac{\Delta P L^3}{4{,}7 b h^3 \Delta y}$$

$$\text{MOR} = \frac{PL}{bh^2}$$

Dimana : P = Beban Patah (kg)

ΔP = Selisih Beban

L = Jarak Sangga (cm)

Δy = Selisih Defleksi (cm)

b = Lebar Penampang (cm)

h = Tinggi Penampang (cm)

4. Analisis Data

Analisis secara deskriptif dalam bentuk tabel dan gambar serta statistik dilakukan terhadap setiap data yang dihasilkan dari pengujian contoh uji. Analisis yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) dimana hanya melibatkan satu faktor dengan beberapa tiga taraf perlakuan. Kemudian dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan untuk mengetahui perlakuan yang terbaik.

Persamaan umum RAL yang digunakan adalah :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Dimana :

Y_{ij} = Pengamatan pada jarak ke-i dan ulangan ke-i

μ = Rataan umum

τ_i = Pengaruh jarak ke-i

ε_{ij} = Pengaruh acak (galat) pada jarak ke-i ulangan ke-j

i,j = 1, 2, 3..

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian 1: "Pengaruh Dimensi Terhadap Kecepatan Gelombang Ultrasonik Pada 3 Jenis Kayu"

A. Ukuran Panjang Tetap, Dimensi Penampang Beragam

Ukuran dimensi penampang yang digunakan terdiri dari ratio antara lebar *(base)* dengan tebal *(height)* 1, 3, 5, 7, 9 dan 11. Pengujian dilakukan dari contoh uji berbentuk balok (lebar = 8 cm, tebal = 8 cm) pada ratio 1 sampai dengan contoh uji berbentuk papan (lebar = 8 cm, tebal = 0,73 cm) pada ratio 11. Hasil pengukuran kecepatan rambatan gelombang ultrasonik *(ultrasonic wave propagation)* untuk contoh uji dengan dimensi penampang beragam dan panjang tetap (L = 30 cm) dapat dilihat pada Tabel IV.1. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai rata-rata kecepatan rambatan gelombang ultrasonik untuk ratio 1 sebesar 5194 m/s, ratio 3 sebesar 5343 m/s, ratio 5 sebesar 5334 m/s, ratio 7 sebesar 5282 m/s, ratio 9 sebesar 5196 m/s dan untuk ratio 11 sebesar 5243 m/s.

Tabel IV.1. Nilai rata-rata kecepatan gelombang pada dimensi penampang beragam (panjang tetap, L = 30 cm) untuk 3 jenis kayu.

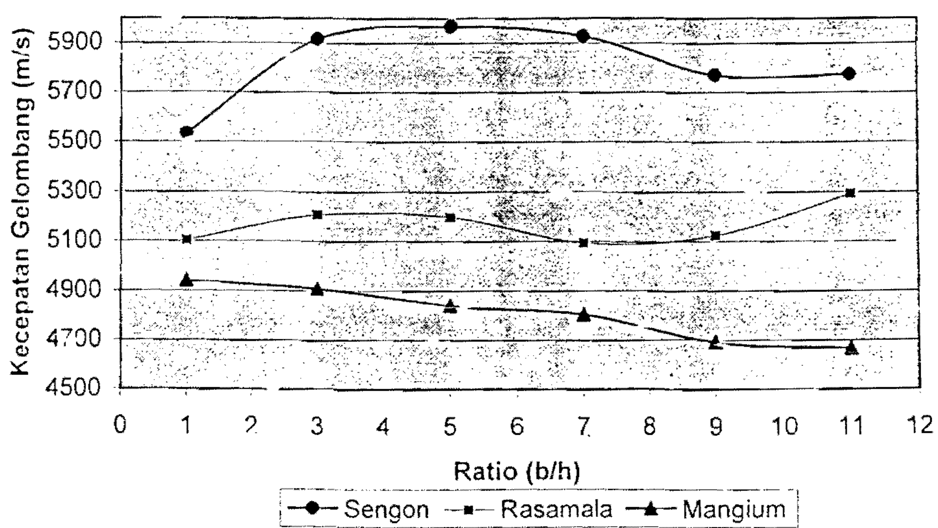
Dimensi Penampang (cm)		Ratio Penampang (b/h)	Kecepatan Gelombang (m/s)			Rata-Rata
Lebar (b)	Tebal (h)		Sengon	Mangium	Rasamala	
8	8	1	5533	4943	5104	5194
8	2,67	3	5915	4908	5207	5343
8	1,60	5	5966	4837	5198	5334
8	1,14	7	5948	4804	5094	5282
8	0,89	9	5771	4691	5125	5196
8	0,73	11	5773	4666	5292	5243

Rangkuman analisis peragam pada Tabel IV.2. menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh yang cukup signifikan (α = 95%) dari modifikasi dimensi penampang dengan panjang tetap (L = 30 cm) terhadap kecepatan rambatan gelombang ultrasonik pada kayu sengon, mangium dan rasamala.

Tabel IV.2. Rangkuman hasil analisis peragam 3 jenis kayu (α = 95%)

Variabel	Jenis Kayu		
	Sengon	Mangium	Rasamala
F hitung	1,572	1,446	0,878
P	0,206	0,244	0,511

Gambar IV.1. menunjukkan kecenderungan nilai kecepatan rambatan gelombang ultrasonik yang tidak teratur pada kayu sengon dan rasamala. Untuk kayu sengon pada ratio 1 mengalami kenaikan yang signifikan sampai ratio 2 kemudian stabil hingga ratio 7, selanjutnya mengalami penurunan sampai ratio 9 dan stabil hingga ratio 11. Pada kayu rasamala dari ratio 1 hingga 2 mengalami kenaikan kemudian cenderung stabil sampai ratio 7 dan selanjutnya naik sampai ratio 11. Sementara itu, pada kayu mangium mengalami kecenderungan menurun dengan semakin meningkatnya ratio lebar (*base*) dan tebal (*height*). Hal ini sesuai dengan penelitian Bucur (1995) yang menggunakan kayu *spruce* untuk menentukan pengaruh dari modifikasi penampang melintang dengan panjang tetap terhadap kecepatan gelombang ultrasonik, dimana hasilnya menunjukkan kecenderungan yang menurun dengan bertambahnya ratio *base* dan *height* pada penampang. Dari penelitian tersebut diperoleh nilai kecepatan gelombang maksimum pada ratio 1 ke ratio 2 pada saat berbentuk balok dan nilai kecepatan gelombang minimum pada ratio 13 ke ratio 14 pada saat berbentuk papan.



Gambar IV.1. Grafik kecepatan rata-rata gelombang pada dimensi penampang beragam panjang tetap pada 3 jenis kayu.

Bucur (1995) menyimpulkan bahwa modifikasi dimensi penampang mempengaruhi kecepatan gelombang pada arah longitudinal tetapi tidak berpengaruh pada arah radial dan tangensial. Dalam penelitian ini, pengujian seluruhnya dilakukan pada arah longitudinal. Hasil yang menarik adalah adanya kecenderungan peningkatan kecepatan gelombang ultrasonik pada awal pertambahan ratio penampang untuk kayu sengon dan rasamala. Hal ini diduga karena adanya pengaruh cacat banyak muncul pada permukaan contoh uji kedua kayu tersebut, dimana ketika dilakukan pengurangan dimensi tebal pada awal pemotongan, cacat-cacat yang ada langsung tereliminasi atau secara tidak langsung terhilangkan. Karena pemotongan dimensi tebal berikutnya tidak seekstrim pemotongan awal, maka kecenderungan selanjutnya menurun secara stabil. Dari kegiatan ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan gelombang ultrasonik sangat dipengaruhi oleh adanya cacat yang muncul.

Secara umum cacat yang dijumpai pada contoh uji berupa cacat bentuk antara lain membusur (*bowing*), pingul (*wane*), miring serat (*slope*), cacat badan berupa mata kayu (*knot*), retak (*checks*), pecah (*shake*) dan lubang serangga (*pin hole*). Untuk kayu sengon cacat cacat yang ditemui antara lain mata kayu, retak, pecah, lubang serangga dan sebagainya. Pada contoh uji jenis rasamala banyak ditemui retak, pecah dan sedikit adanya mata kayu. Sedangkan untuk mangium lebih relatif lebih bersih dari cacat, tetapi masih ditemui sedikit mata kayu dan lubang serangga. Banyaknya retak dan pecah pada kayu rasamala ini diakibatkan kondisi awal kayu yang masih basah dan kemudian langsung diberikan perlakuan pengeringan menggunakan kipas angin (*fan*) untuk mempercepat laju pengeringan. Menurut Mc Millen (1958), retak dan pecah disebabkan atau timbul karena adanya penurunan kadar air pada permukaan kayu sampai pada titik rendah tertentu dan mengakibatkan timbulnya tegangan tarik maksimum tegak lurus serat yang cenderung menyebabkan terpisahnya serat-serat kayu dan menyebabkan cacat.

Dalam penelitian ini faktor-faktor cacat tersebut dapat mempengaruhi kecepatan rambatan gelombang ultrasonik pada kayu. Menurut Diebold *et al.* (2002) dikatakan bahwa kayu merupakan bahan yang tidak homogen, gelombang bunyi cenderung untuk menyebar pada bagian-bagian cacat, seperti mata kayu, retak, miring serat, kerapatan yang berbeda dan lain-lain, hal ini dipertegas Gerhads (1982) yang mempelajari pengaruh mata kayu pada tegangan gelombang di sortimen kayu, menemukan bahwa kecepatan gelombang akan menurun melewati mata kayu dan miring serat disekitar mata kayu. Goncalves dan Puccini (2001) membandingkan antara kayu pinus terdapat mata kayu dengan bebas mata kayu, hasilnya menyebutkan bahwa kecepatan gelombang akan lebih lambat antara 6 – 20 % pada kayu yang memiliki mata kayu. Sementara itu, Smith (1989) menyatakan bahwa nilai kecepatan gelombang ultrasonik akan berkurang sekitar 25 % pada kayu yang mengalami pelapukan.

B. Ukuran Panjang Beragam, Dimensi Penampang Tetap

Pengujian dilakukan dari panjang awal 100 cm hingga panjang akhir 20 cm. Untuk validitas hasil pengujian digunakan 2 dimensi penampang yaitu (2 x 2) cm dan (4 x 4) cm. Hasil pengujian kecepatan gelombang ultrasonik untuk contoh uji dengan modifikasi panjang dengan dimensi penampang tetap, dapat dilihat pada Tabel IV.3.

Tabel IV.3. Nilai rata-rata kecepatan gelombang pada ukuran panjang beragam (dimensi penampang = (2 x 2) cm dan (4 x 4) cm) untuk 3 jenis kayu.

Dimensi Penampang (cm^2)	Panjang (cm)	Kecepatan Gelombang (m/s)		
		Sengon	Mangium	Rasamala
2 x 2	20	6344	6449	5256
	40	5608	5237	5244
	60	5394	5029	4953
	80	5296	4977	4937
	100	5073	4840	4755
4 x 4	20	6583	5521	5692
	40	5690	4676	5308
	60	5434	4629	5086
	80	5321	4620	5060
	100	5290	4528	4931

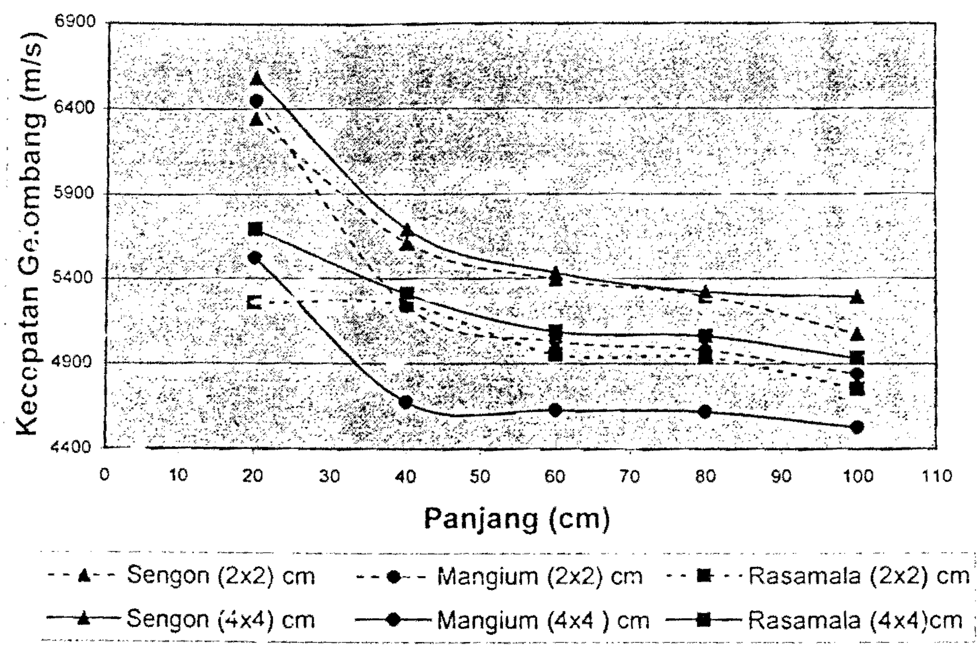
Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai kecepatan gelombang tertinggi untuk penampang (2 x 2) cm pada kayu sengon adalah pada panjang 20 cm sebesar 6344 m/s dan terendah pada panjang 100 cm sebesar 5073 m/s, sementara itu pada kayu mangium nilai tertinggi pada panjang 20 cm sebesar 6449 m/s dan terendah pada panjang 100 cm sebesar 4840 m/s sedangkan untuk kayu rasamala nilai tertinggi juga pada panjang 20 cm sebesar 5256 m/s dan terendah pada panjang 100 cm sebesar 4755 m/s. Untuk penampang (4 x 4) cm nilai kecepatan gelombang tertinggi kayu sengon pada panjang 20 cm sebesar 6583 m/s dan terendah pada panjang 100 cm sebesar 5290 m/s, untuk kayu mangium nilai tertinggi pada panjang 20 cm sebesar 5521 m/s dan terendah pada panjang 100 cm sebesar 4528 m/s, sedangkan untuk kayu rasamala nilai kecepatan tertinggi juga pada panjang 20 cm sebesar 5692 m/s dan terendah juga pada panjang 100 cm sebesar 4931 m/s. Dari dari data tersebut dapat dikatakan bahwa nilai kecepatan tertinggi pada ketiga jenis kayu baik penampang berukuran (2 x 2) cm maupun (4 x 4) cm adalah pada panjang 20 cm dan terendah pada panjang 100 cm.

Berdasarkan analisis peragam diketahui bahwa modifikasi panjang dengan dimensi penampang tetap pada kayu sengon, mangium dan rasamala memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kecepatan rambatan gelombang ultrasonik (α = 95%). Wang *et al* (2002) pertama kali mencatat bahwa dari eksperimennya diketahui kecepatan *stress wave* dapat dipengaruhi oleh ukuran dimensional dari material pada pengujian sortimen kayu, salah satunya adalah dimensi panjang.

Tabel IV.4. Rangkuman hasil analisis peragam 3 jenis kayu (α = 95%)

Variabel	Jenis Kayu					
	Sengon		Mangium		Rasamala	
	F hitung	P	F hitung	P	F hitung	P
Panjang	92,557	0,000	13,802	0,000	4,824	0,003
Penampang	6,463	0,015	15,976	0,000	3,335	0,075

Lebih lanjut Gambar IV.2 menunjukkan kecenderungan nilai kecepatan gelombang yang semakin menurun dengan semakin bertambahnya ukuran panjang contoh uji. Berdasarkan hasil uji lanjut *Tukey HSD*, untuk kayu sengon pada panjang 20 cm sampai 60 cm kecepatan gelombang ultrasonik mengalami penurunan yang signifikan (berbeda nyata) selanjutnya pada panjang 60 cm sampai 100 cm penurunan yang terjadi tidak signifikan (tidak berbeda nyata). Pada kayu mangium penurunan kecepatan gelombang ultrasonik yang signifikan (berbeda nyata) terjadi pada panjang 20 cm sampai 40 cm, selanjutnya dari panjang 40 cm sampai 100 cm penurunan tidak signifikan (tidak berbeda nyata). Dan untuk kayu rasamala berdasarkan hasil uji lanjut penurunan nilai kecepatan rambatan gelombang ultrasonik dari panjang 20 cm sampai 100 cm adalah tidak signifikan (tidak berbeda nyata), tetapi jika diamati dari gambar 4 dapat dilihat penurunan nilai kecepatan gelombang tertinggi adalah pada panjang 20 cm sampai 40 cm dan selanjutnya menurun tetapi tidak terlalu signifikan atau dapat dikatakan cenderung lebih stabil. Penelitian Bucur (1995) menyebutkan bahwa nilai kecepatan gelombang ultrasonik akan relatif stabil pada ratio panjang (L) dan ukuran penampang (a x a); L/a 20 sampai 40. Selanjutnya penelitian Tulus (2000), pada jarak trasduser sekitar 70 cm perambatan gelombang ultrasonik terlihat jauh lebih cepat daripada jarak transduser sekitar 130 cm, dalam penelitian ini dianggap jarak trasduser dikategorikan sebagai panjang contoh uji.

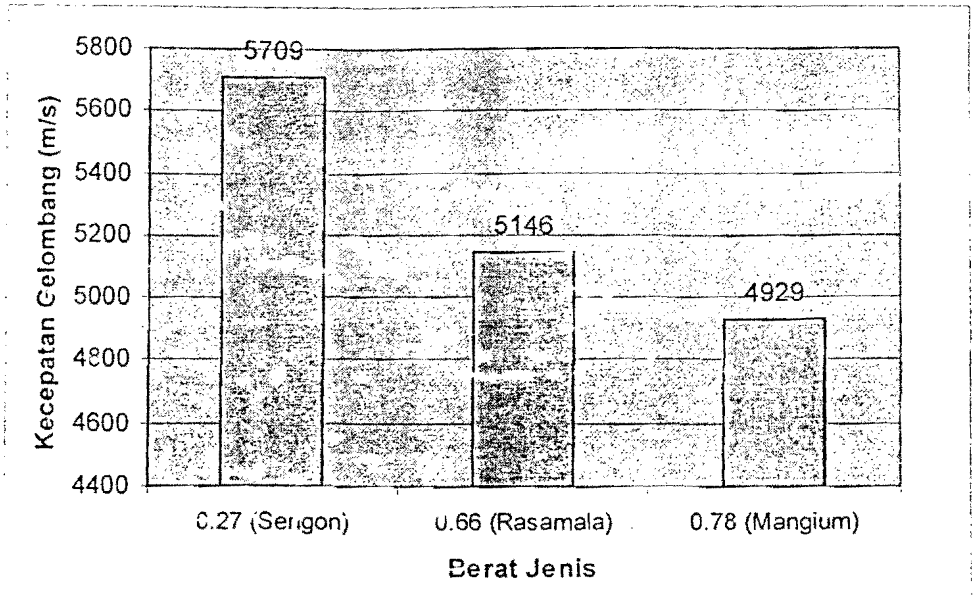


Gambar IV.2. Grafik kecepatan rata-rata gelombang pada ukuran panjang beragam (dimensi penampang = (2 x 2) cm dan (4 x 4) cm) untuk 3 jenis kayu.

Jika membandingkan antara dimensi penampang (2 x 2) cm dengan dimensi penampang (4 x 4) cm dapat dilihat bahwa pola kestabilan kecepatan gelombang relatif sama yaitu pada sekitar 40-50 cm sampai dengan 100 cm. Sementara itu diketahui dari hasil bahasan sebelumnya bahwa ukuran penampang (*cross* section) tidak berpengaruh terhadap kecepatan gelombang ultrasonik.

C. Kecepatan Gelombang Ultrasonik Pada 3 Jenis Kayu

Gambar IV.3 menunjukkan nilai rata-rata keseluruhan kecepatan gelombang ultrasonik pada ketiga jenis kayu baik pada pengujian ukuran panjang tetap, dimensi penampang beragam maupun pada pengujian ukuran panjang beragam, dimensi penampang tetap. Untuk kayu sengon nilai rata-rata kecepatan gelombang sebesar 5709 m/s, rasamala sebesar 5146 m/s dan untuk kayu mangium adalah sebesar 4929 m/s.



Gambar IV.3. Grafik Nilai Rata-Rata Kecepatan Gelombang Ultrasonik pada 3 Jenis kayu

Hasil dari pengujian sifat fisis disajikan pada Tabel IV.5, dimana diperoleh nilai berat jenis (BJ) rata-rata kayu sengon sebesar 0,27, kayu rasamala sebesar 0,66 dan kayu mangium sebesar 0,78. Nilai kerapatan rata-rata kayu sengon sebesar 0,31 g/cm^3, kayu rasamala sebasar 0,77 g/cm^3 dan kayu mangium sebesar 0,91 g/cm^3. Sedangkan untuk kadar air rata-rata contoh uji adalah pada kayu sengon 14,31 %, kayu rasamala 17,15% dan kayu mangium 16,75 %. Kondisi KA contoh uji dianggap kering udara dimana nilai KA kering udara merupakan kondisi terbaik dalam pengujian non destruktif (*non destructive testing*) metode gelombang ultrasonik.

Tabel IV.5. Nilai Rata-Rata Sifat Fisis dan Kecepatan Gelombang Pada 3 jenis kayu.

Jenis Kayu	Kerapatam (gram/cm^3)	BJ	KA (%)	Kecepatan Gelombang (m/s)
Sengon	0,31	0,27	14,31	5709
Rasamala	0,77	0,66	17,15	5146
Mangium	0,91	0,78	16,75	4929

Hasil penelitian menunujukkan tidak adanya pola hubungan tertentu antara BJ dan kerapatan antar jenis kayu terhadap kecepatan gelombang ultrasonik. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Karlinasari *et al.,* (2005) dengan menggunakan kayu *hardwood* (sengon, meranti, manii dan mangium) dan kayu *softwood* (agathis dan pinus) yang menunjukkan bahwa tidak adanya pola hubungan tertentu dari kerapatan atau berat jenis kayu terhadap kecepatan gelombang ultrasonik. Kemudian Bucur dan Smith (1989) menyatakan bahwa kerapatan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan gelombang, tetapi memberikan pangaruh kepada nilai MOEd *(dynamic modulus of elasticity)*. Kecepatan gelombang ultrasonik dipengaruhi jenis kayu, kadar air, temperatur dan arah bidang rambatan (radial, tangensial dan longitudinal). Faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi perambatan gelombang ultrasonik pada kayu adalah sifat fisis dari substrat, karakteristik geometris jenis tersebut (makro dan mikrostruktur) dan prosedur penggunaan saat dilakukan pengukuran (frekuensi dan sensitivitas dari trasduser, ukurannya, posisi dan karakteristik dinamis dari peralatan) (Oliviera, 2002)

Penelitian 2: "Kecepatan Rambatan Gelombang dan Keteguhan Lentur Statis Pada Berbagai Kondisi Kadar Air Beberapa Jenis Kayu"

A. Sifat Fisis Kayu

Kecepatan rambatan gelombang ultrasonik pada ke enam jenis kayu terserbut berubah seiring dengan perubahan/perbedaan sifat fisis kayu (kadar air, berat jenis, dan kerapatan).

1. Pengaruh Kadar Air terhadap Kecepatan Rambatan Gelombang Ultrasonik

Brown *et al.*, (1952), Haygreen dan Bowyer (1989) mendefinisikan kadar air kayu adalah banyaknya air yang terdapat dalam kayu yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering tanurnya. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kecepatan rambatan gelombang pada kondisi KA basah, KA TJS, KA kering udara, dan KA kering tanur enam jenis kayu Indonesia. Kadar air dan kecepatan gelombang ultrasonik dapat dilihat pada Tabel IV.6..

Tabel IV.6. Kecepatan Rambatan Gelombang (v) Pada Berbagai Kondisi Kadar Air

Jenis Kayu	Kondisi Basah		Kondisi TJS		Kondisi KU		Kondisi BKT	
	KA (%)	v (m/s)	KA (%)	v (m/s)	KA (%)	v (m/s)	KA (%)	v (m/s)
1. Sengon	236.50	3103	29.77	5775	17.52	5903	1.19	6233
2. Mangium	105.45	4427	21.69	6109	15.82	6516	1.94	6521
3. Durian	131.13	3747	27.23	5408	14.11	5691	0.90	5572
4.Pinus(SW)	68.91	4636	26.12	6059	13.56	6856	0.75	6810
5. Rasamala	48.30	4683	27.64	5553	14.11	6142	1.14	5659
6. Kempas	45.27	5694	23.01	5714	14.02	6104	0.58	6020

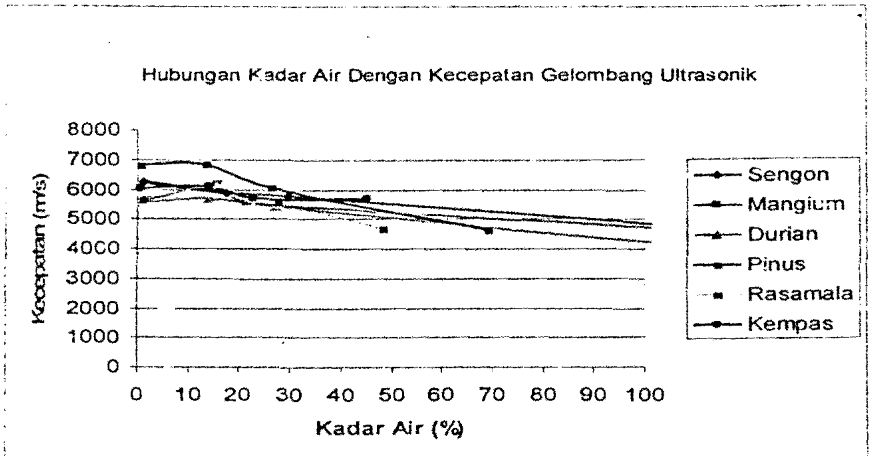
Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan oleh Tabel di atas dapat diketahui bahwa terdapat variasi nilai KA diantara enam jenis kayu yang diteliti pada berbagai kondisi kadar air. Hal ini diduga karena disebabkan masing-masing jenis kayu memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lain. Banyak faktor yang mempengaruhi kemampuan kayu untuk mengasorbsi maupun mengeluarkan air dari sel-sel kayunya diantaranya struktur sel penyusun kayu dan kandungan ektraktif serta ada tidaknya tilosis.

Perendaman selama tujuh hari yang dilakukan pada awal penelitian ini menyebabkan kayu jenuh air dan mencapai KA optimal. Kayu masih segar mempunyai nilai KA yang lebih tinggi karena rongga sel dan dinding sel jenuh air. Air yang terdapat di dinding sel disebut air terikat. Sedangkan uap air atau air cair pada rongga sel disebut air bebas. Jika terjadi pengeringan, air bebas lebih mudah meninggalkan rongga sel dibandingkan air terikat karena pengaruh kekuatan ikatan pada dinding sel. Oleh karena itu kayu yang memiliki rongga sel yang lebih lebar relatif lebih mudah kehilangan air dibandingkan dibandingkan dengan kayu yang berdinding sel tebal. Demikian pula sebaliknya jiaka kayu direndam dalam air lebih dari 24 jam maka kayu yang memiliki rongga lebar lebih mudah mengasorbsi air (Haygreen dan Bowyer ,1989).

Pada kondisi basah rata-rata kadar air semua jenis kayu berkisar 45.27% (kempas) - 236.50% pada sengon. Pada kondisi TJS kandungan air menurun karena rongga sel sudah tidak terisi air meskipun dinding selnya jenuh air dimana rata-rata KA dari semua jenis kayu pada kondisi TJS relatif seragam, yaitu berkisar 21.69% (mangium) - 29.77% (sengon). Nilai ini mendekati nilai KA 30% yang biasanya digunakan sebagai nilai pendekatan untuk KA TJS.

Kayu menyesuaikan diri sampai mencapai kesetimbangan dengan suhu dan kelembaban udara sekitarnya. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa nilai KA kering udara relatif seragam pada semua jenis kayu, yaitu berkisar antara 14.02% - 17.52% pada sengon. Haygreen dan Bowyer (1989) mengemukakan bahwa meskipun ada variabilitas dalam sifat-sifat penyerapan air diantara spesies namun dianggap bahwa semua jenis kayu mencapai KA kesetimbangan yang relatif sama dan nilainya selalu di bawah nilai KA TJS.

Kayu benar-benar kehilangan air jika dipanaskan pada suhu lebih dari 100° C. Pemanasan termal menyebabkan air yang terkandung pada rongga sel dan dinding sel mengalami pergerakan keluar kayu, sehingga yang terkandung dalam kayu hanya zat kayunya saja. Namun demikian kandungan air dalam kayu tidak benar hilang secara keseluruhan. Setelah dipanaskan masih mengandung air ± 1 % dan telah mencapai berat konstan (Haygreen dan Bowyer, 1989). Dalam penelitian ini nilai rata-rata kadar air pada kondisi kering tanur pada semua jenis kayu relatif seragam yaitu berkisar 0.58 % pada kempas sampai 1.94 % pada mangium. Kecepatan rambatan gelombang pada berbagai kondisi kadar dapat dilihat pada Gambar IV.3. di bawah ini.



Gambar IV.3. Hubungan Kadar air dengan Kecepatan Gelombang Ultrasonik

Gambar di atas menunjukkan bahwa pada ke enam jenis kayu (Sengon, Mangium, Durian, Pinus, Rasamala, dan Kempas) kecepatan rata-rata gelombang ultrasonik kecenderungannya semakin menurun dengan meningkatnya kadar air. Pada kondisi kering tanur kecepatan rata-rata rambatan gelombang pada kayu Sengon, Mangium, Durian, Pinus, Rasamala, Kempas secara berurutan adalah sebesar 6233 m/s, 5659 m/s , 5572 m/s, 6810 m/s, 5659 m/s, dan 6020 m/s. Sedangkan pada kondisi basah kecepatan rata-rata rambatan gelombang ke enam jenis kayu tersebut secara berurutan adalah sebesar 31103 m/s, 4683 m/s, 3747 m/s, 4636 m/s, 4683 m/s, dan5694 m/s (kecepatan menurun dari kondisi BKT ke kondisi basah). Hal ini sesuai dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Van Dyk dan Robert (2004), Wang *et al.*(2002) dan Kabir *et al.* (1997).

Menurut Wang *et al.*, (2003) kecepatan gelombang ultrasonik yang merambat melalalui kayu meningkat dengan penurunan kadar air dari keaadaan titik jenuh serat ke keadaan kering oven, baik untuk spesimen longitudinal maupun radial. Walaupun demikian, pengaruh kadar air terhadap kecepatan ramabatan gelombang ultrasonik berbeda untuk keadaan di bawah dan di atas titik jenuh serat. Kecepatan gelombang ultarasonik hanya bervariasi sedikit dengan penurunan kadar air di atas titik jenuh serat, tetapi untuk kadar air dibawah titik jenuh serat kecepatan rambatan gelombang ultrasonik lebih besar.

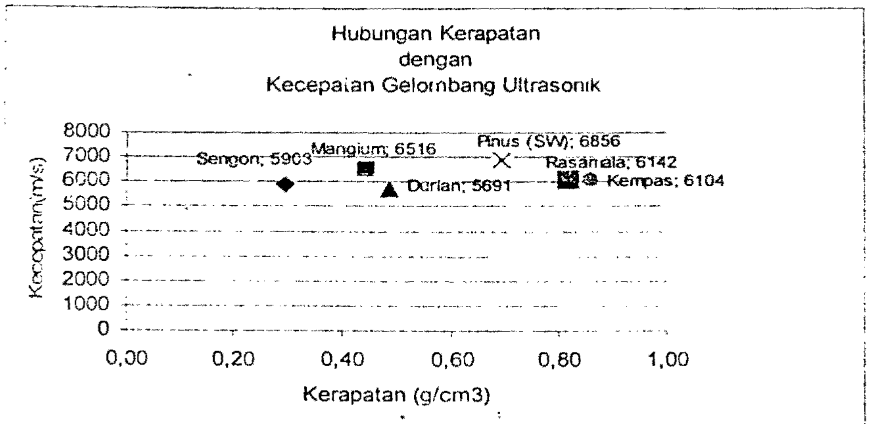
Bucur (1995) menyatakan bahwa ada beberapa hal yang mempengaruhi kecepatan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik antara lain mata kayu, kadar air dan kemiringan serat. Sakai dan CoWork diacu dalam Bucur (1995) menyatan bahwa kecepatan menurun secara drastis dengan kenaikan kadar air sampai titik jenuh serat dan setelah itu variasinya sangat kecil. Pada kadar air rendah (KA<18%) dimana air yang ada di dinding sel sebagai air terikat (*bound water*) gelombang ultrasonik disebarkan oleh dinding sel dan batas selnya. Pada kadar air yang lebih tinggi tapi di bawah titik jenuh serat, penyebaran pada pada batas dinding sel akan berperan dalam meghilangnya gelombang ultrasonik. Setelah titik jenuh serat, dimana air bebas yang berada dalam rongga sel, porositas kayu juga sebagai faktor utama dalam penyebaran ultrasonik. Jadi kecepatan gelombang ultrasonik dihubungkan dengan adanya air terikat (*bound water*) sedangkan pelemahan dihubungkan dengan adanya air bebas (*free water*).

2. Pengaruh Kerapatan terhadap Kecepatan Gelombang Ultrasonik pada kondisi Kering Udara

Data hasil penelitian kecepatan rambatan gelombang ultrasonik pada kondisi kadar air kering udara dapat dilihat pada Tabel IV.7.

Tabel IV.7. Kecepatan Rambatan Gelombang Pada kondisi Kadar Air Kering Udara

Jenis Kayu	Kondisi KU			
	KA (%)	ρ (g/Cm3)	BJ	v (m/s)
1. Sengon	17,52	0,30	0,25	5903
2. Mangium	15,82	0,44	0,39	6516
3. Durian	14,11	0,49	0,43	5691
4. Pinus (SW)	13,56	0,69	0,61	6856
5. Rasamala	14,11	0,81	0,71	6142
6. Kempas	14,02	0,86	0,75	6104



Gambar IV.4. Hubungan Kerapatan Kayu dengan Kecepatan Gelombang Ultrasonik

Gambar IV.4 di atas menunjukkan bahwa kecepatan rambatan gelombang pada keenam jenis kayu berbeda sesuai perbedaan kerapatan. Pada hasil penelitian ini kayu rasamala, kempas, durian yang memiliki kerapatan lebih tinggi dari sengon memiliki kecepatan rambatan gelombang lebih rendah. Hal ini berkaitan dengan persamaan $V^2= E/\rho$ dimana kecepatan gelombang ultrasonik merupakan fungsi terbalik dari kerapatan. Sifat viscouselastis bahan juga sangat berpengaruh terhadap kecepatan gelombang. Viscouselastis merupakan gabungan sifat padatan-cairan dimana stress-strain-nya tergantung dari waktu sehingga fenomena di atas dapat terjadi diduga karena perbedaan kandungan air pada kayu tersebut meskipun sama-sama dalam kondisi kering udara. Kadar kering udara kayu sengon, mangium, Durian, pinus, rasamala dan kempas secara berurutan yaitu : 17.52 %, 15.817 %, 14.11 %, 13.56 %, 14.106 %, 14.02 %.

Menurut Mishiro (1996) dan Chiu *et al.*, 2000 diacu dalam Wang *et al.*, (2002) bahwa kecepatan ultrasonik pada sisi longitudinal cenderung menurun dengan peningkatan kerapatan. Tapi kecepatan ultrasonik pada sisi radial cenderung meningkat dengan peningkatan kerapatan. Kayu merupakan material anisotropik. Hubungan antara kerapatan dan kecepatan rambatan gelombang ultrasonik berbeda pada spesimen longitudinal dan radial. Pada spesimen radial, gelombang ultrasonik merambat melalui sel-sel jari-jari, sedangkan pada spesimen longitudinal gelombang ultrasonik merambat melalui sel-sel aksial. Perbedaan kecepatan rambatan gelombang ultrasonik pada arah radial dan longitudinal dipengaruhi oleh jenis sel (jari-jari dan aksial), struktur cincin kayu (jarak dan kerapatan kayu awal dan kayu ahir), dan karakteristik sel-sel struktural (sifat, volume fraksi, panjang, bentuk, ukuran dan pengaturan sel).

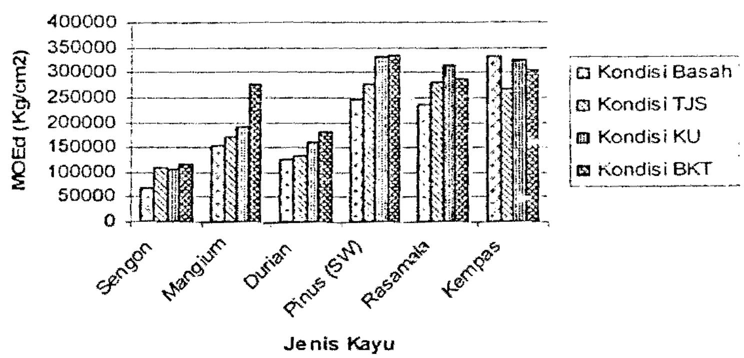
Kecepatan rambatan gelombang pada Pinus paling tinggi (6856 m/s) dintara jenis yang lain diduga karena Pinus merupakan jenis konifer yang memiliki strktur kayu yang seragam (homogen). Menurut Watanabe (2002) diacu dalam Wang *et al.*, (2003) bahwa struktur *sofwood* yang kontinius dan seragam, yang disusun oleh elemen-elemen anatomis yang panjang memberikan nilai akustik konstan yang tinggi.

Sementara itu pada henis kayu hardwood, kecepatan rambatan gelombang tercepat adalah kayu mangium sebesar 6516 m/s. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Karlinasari *et al.*, (2005) dimana kecepatan rambatan gelombang pada kayu mangium 6213 m/s.

B. Sifat Mekanis

1. Kekakuan Lentur Dinamis (MOE_d) pada Berbagai Kondisi Kadar Air

Kekakuan lentur dinamis (MOE_d) pada ke enam jenis kayu pada berbagai kondisi kadar air dapat dilihat pada Gambar IV.5.

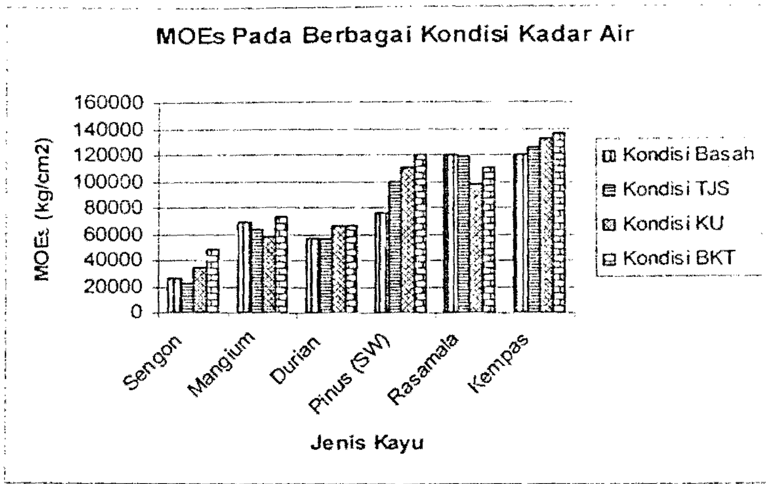


Gambar IV.5. MOEd pada Berbagai Kondisi Kadar Air

Gambar IV.5.menunjukkan kekakuan lentur dinamis (MOE_d) pada keenam jenis kayu semakin meningkat dengan menurunnya kadar air dari kondisi basah ke kondisi kering tanur kecuali pada kayu kempas. Kadar air kayu dapat mempengaruhi nilai kecepatan gelombang maupun kerapatan. Menurut Wang *et al.*, (2002), secara kimia adanya air terikat pada dinding sel menurunkan kecepatan perjalanan gelombang yang melewati kayu, sebanding dengan penurunan MOE dan peningkatan kerapatan kayu. Persamaan $V^2= E/\rho$ memperlihatkan bahwa penurunan kecepatan gelombang dan peningkatan kerapatan kayu berpengaruh terhadap MOE dinamis, artinya ketika kecepatan gelombang menurun dengan meningkatnya kadar air, nilai MOE dinamis juga menurun. Pada bagian lain, peningkatan kerapatan yang disebabkan oleh meningkatnya kadar air diatas titik jenuh dapat menghasilkan nilai perhitungan MOE dinamis yang lebih tinggi. Sebagai tambahan, MOE dinamis yang dihitung dari kecepatan gelombang dan kerapatan kayu meningkat dengan meningkatnya kadar air diatas titik jenuh serat (sekitar 30%). Hasil pengamatan ini kontradiktif dengan hubungan umum antara sifat mekanis pada kayu dan kadar air (sifat kayu selalu tetap konstan bila terjadi kenaikan kelembaban diatas titik jenuh serat).

2. Kekakuan Lentur Statis (MOE_s) pada Berbagai Kondisi Kadar Air

Kekakuan lentur statis (MOE_d) pada ke enam jenis kayu pada berbagai kondisi kadar air dapat dilihat pada Gambar IV.6. di bawah ini

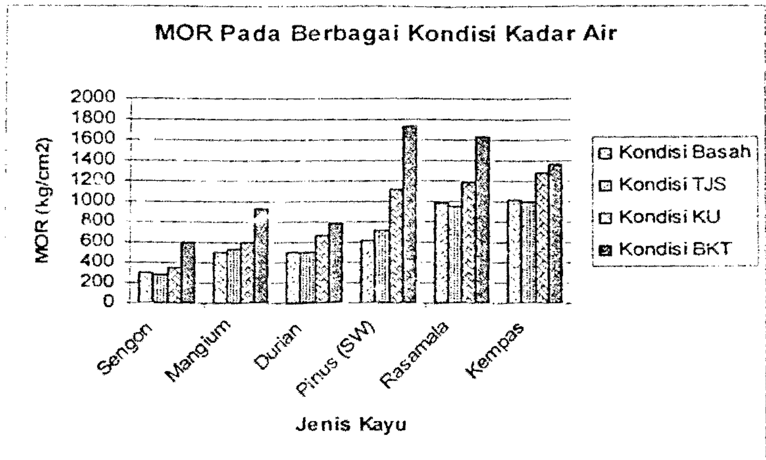


Gambar IV.6. MOEs pada Berbagai Kondisi Kadar Air

Gambar IV.6 di atas menunjukkan bahwa kekakuan lentur statis (MOE_s) semakin meningkat dengan menurunnya kadar air dari kondisi basah ke kondisi kering tanur kecuali pada kayu rasamala. Fenomena yang terjadi pada kayu kempas dan rasamala ini diduga bisa terjadi karena pada kedua kayu ini bisa terjadi penyimpangan arah serat karena orientasi seratnya lurus, berombak sampai berpadu. Menurut Martawijaya *et al.*, (1989) kayu rasamala mempunyai arah serat lurus, seringkali terpilin, agak berpadu, dan kadang-kadang berombak. Sedangkan kayu kempas ini sering mempunyai kulit tersisip (Mandang dan Pandit, 1997 dan PIKA, 1979). Kulit tersisip ini merupakan bagian kecil kulit yang terdapat di dalam bagian kayu dan merupakan cacat yang memepengaruhi keteguhan kayu.

3. Kekuatan Lentur Patah (MOR) pada Berbagai Kondisi Kadar Air

Kekakuan lentur statis (MOE_d) pada ke enam jenis kayu pada berbagai kondisi kadar air dapat dilihat pada Gambar IV.7. di bawah ini :

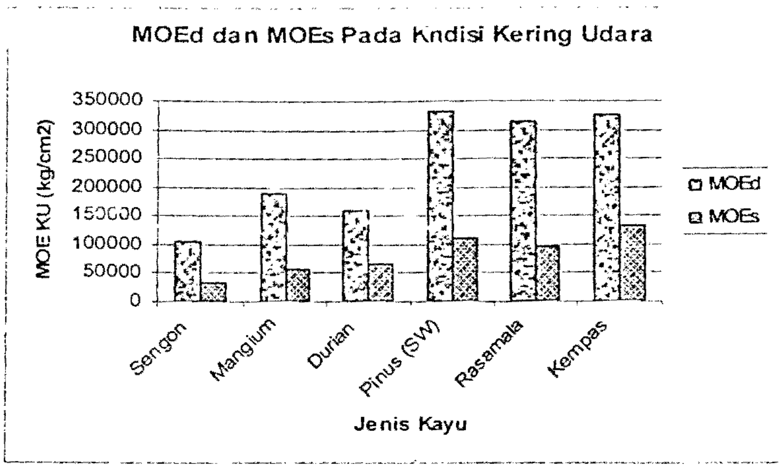


Gambar IV.7. MOR pada Berbagai Kondisi Kadar Air

Gamabr IV.7 menunjukkah bahwa pada keenam jenis kayu tersebut di atas kekuatan lentur patah (MOR) semakin meningkat dengan menurunnya kadar air. Hal ini menandakan bahwa dengan semakin menurunnya kadar air di bawah TJS kekutan kayu semakin kuat. Modulus elastisitas (MOE) mempunyai hubungan yang sangat erat dengan nilai kerapatan, sementara modulus patah (MOR) lebih dipengaruhi oleh nilai berat jenis. Penelitiannya pada contoh kecil bebas cacat menyimpulkan bahwa kerapatan, berat jenis dan persentase volume serat merupakan peubah yang memegang peranan sebagai indikator sifat mekanis. Hal ini sesuai dengan Wangaard (1950) yang menyebutkan nilai kerapatan (*density*) dan berat jenis (*spesific gravity*) termasuk sebagai faktor non cacat yang dapat mempengaruhi kekuatan kayu. Menurut Haygreen dan Bowyer (1989) semakin tinggi berat jenis kayu maka semakin banyak zat kayu pada dinding sel yang berarti semakin tebal dinding sel tersebut. Karena kekuatan kayu terletak pada dinding sel, maka semakin tebal dinding sel semakin kuat kayu tersebut. Namun menurut Panshin dan de Zeeuw (1970), kekuatan kayu yang mempunyai berat jenis yang lebih besar, tidak mutlak mempunyai kekuatan yang lebih besar pula, karena kekuatan kayu juga ditentukan oleh komponen kimia kayu yang ada di dalam dinding sel.

4. MOEd dan MOEs pada Kondisi Kadar Air Kering Udara

MOEd dan MOEs pada Kondisi Kadar Air Kering Udara dapat dilihat pada Gambar IV.8 di bawah ini :



Gambar IV.8. MOEd dan MOEs pada Kondisi Kadar Air Kering Udara

Kekakuan lentur statis (MOE_s) pada gambar 8. menunjukkan bahwa pada pengujian MOEd dan MOEs diperoleh hasil rata-rata MOEd lebih tinggi dibandingkan nilai MOEs. Secara berurutan MOEd Sengon, Mangium, Durian, Pinus, Rasamala, Kempas lebih besar 32.77 %, 30.12 %, 41.27 %, 33.32 %, 31.31 %, 40.69 % Sementara itu hasil penelitian Karlinasari *et al.*, (2005) menghasilkan nilai pengujian dinamis (MOEd) yang lebih tinggi 50 % daripada nilai pengujian statis (MOEs). Penelitian Oliviera *et al.*, (2002) menghasilkan nilai pengujian dinamis (MOEd) yang lebih tinggi 20% daripada nilai pengujian statis (MOEs). Sedangkan menurut Bartholomeu (2001) diacu dalam Oliviera *et al.*, (2002) hubungan MOEd lebih tinggi 22% daripada metode statis ketika tidak dikoreksi oleh koefisien Poisson's. Sementara itu berdasarkan hasil penelitian ini, nilai MOE dinamis rata-rata lebih tinggi 30% dibandingkan nilai rata-rata MOE statis. Nilai pengujian secara non destruktif yang lebih tinggi dibandingkan secara destruktif adalah karena faktor viscoelastisitas bahan dan pengaruh efek creep pada pengujian secara defleksi (Bodig dan Jayne, 1982).

Halabe *et al.*. (1995) dalam Oliveira *et al.*, (2002) menyatakan bahwa MOE yang didapatkan melalui ultrasound pada umumnya lebih tinggi daripada nilai yang dihasilkan pada defleksi statis. Hal ini disebabkan karena kayu merupakan suatu material yang bersifat *viskoelastis* dan mempunyai kemampuan menyerap energi yang tinggi. Saat terjadi tegangan perambatan pada kayu, kekuatan elastis proporsional terhadap pemindahan, dan kekuatan yang menghilang proporsinal terhadap kecepatan. Oleh karena itu ketika kekuatan diberikan dalam waktu singkat material menunjukkan tingkah laku elastis yang solid, sedangkan pada aplikasi kekuatan yang lebih lama tingkah lakunya serupa dengan *viscois liquid.* Tingkah laku ini bisa dilihat pada uji bending statis (jangka waktu lama) daripada uji ultrasonik. Dengan demikian MOE dinamis yang didapat oleh metode *ultrasound* biasanya lebih besar daripada yang didapatkan pada defleksi statis (MOEs).

C. Hubungan antara Keteguhan Lentur Statis (MOEs) dan Keteguhan Lentur Dinamis (MOEd) dengan Tegangan Patah (MOR)

Hasil penelitian hubungan antara nilai kekakuan lentur statis (MOE_s) dan kekakuan lentur dinamis (MOE_d) dengan kekuatan lentur patah (MOR) terdapat pada Tabel IV.8. untuk mengetahui hubungan MOEs dan MOEd dengan MOR perlu dilakukan uji statistik melalui regresi linear sedehana. Selanjutnya persamaan yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar dalam pendugaan MOR melalui penentuan MOEs dan MOEd. Keeratan atau kelineran hubungan ini ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2), dimana semakin tinggi nilai R^2 maka hubungan regresi kedua variabel yang dianalisa semakin erat atau semakin linear sehingga dapat digunakan untuk menduga variabel tak bebasnya dengan baik(Santoso,1999).

Tabel IV.8. Model regresi parameter dari 6 jenis kayu tropis untuk hubungan MOED, MOES dan MOR

Jenis Kayu	Parameter (X dan Y)	Model Regresi	r	R^2	Signifkansi (α = 0.05)
1. Sengon	MOEs dan MOR	y = 0,0084x + 50,861	0,972008	0,9448	0.005606*
	MOEd dan MOR	y = 0,0031x + 14,465	0,970103	0,9411	0.006175*
2. Mangium	MOEs dan MOR	y = -0,0016x+684,27	0,215639	0,0465	0.727641^{tn}
	MOEd dan MOR	y = 0,0003x + 529,73	0,167332	0,028	0.788048^{tn}
3. Durian	MOEs dan MOR	y = 0,0074x + 168,66	0,993177	0,9864	0.000674*
	MOEd dan MOR	y = 0,0033x + 125,66	0,633167	0,4009	0.251516^{tn}
4. Pinus (sw)	MOEs dan MOR	y = 0,0042x + 649,22	0,804922	0,6479	0.10035^{tn}
	MOEd dan MOR	y = 0,0008x + 853,78	0,426028	0,1815	0.474475^{tn}
5. Rasamala	MOEs dan MOR	y = 0,0058x + 607,91	0,983667	0,9676	0.002501*
	MOEd dan MOR	y = 0,0036x + 42,708	0,878294	0,7714	0.050029*
6. Kempas	MOEs dan MOR	y = 0,0169x - 952,53	0,83994	0,7055	0.075012^{tn}
	MOEd dan MOR	y = 0,0017x + 711,09	0,430349	0,1852	0.469481^{tn}

r = koefisien korelasi; R^2 = koefisien determinasi; tn = tidak signifikan;*signifikan pada selang kepercayan 95%

Hasil penelitian pada Tabel IV.8 di atas menunjukkan hubungan antara MOEs dan MOEd dengan MOR. Hubungan MOEs dan MOR pada kayu sengon, durian, pinus, rasamala, dan kempas sangat tinggi. Pada hubungan tersebut nilai kolerasi (r) dan koefisien determinasi (R^2) tinggi yaitu secara berurutan 0.97 dan 0.94, 0.99 dan 0.98, 0.80 dan 0.65, 0.98 dan 0.97, 0.84 dan 0.71. Hal ini menunjukkan bahwa MOEs pada kelima kayu tersebut baik untuk menduga MOR Sedangkan pada kayu mangium hubungan MOEs dan MOR sangat rendah dengan nilai kolerasi (r) dan koefisien determinasi 0.22 dan 0.05. Hal ini menunjukkan bahwa MOEs pada kayu mangium kurang baik untuk menduga MOR. Pada uji keragaman berdasarkan probabilitas bahwa koefisien regresi dengan tingkat signifikansi pada kayu sengon, durian, dan rasamala berurutan 0.006, 0.001, 0.003 atau lebih kecil dari 0.05, sehingga dengan demikian koefisie regresi signifikan. Sedangkan pada jenis kayu mangium, pinus dan kempas tidak signifikan. Koefisien yang tinggi antara modulus elastisitas dan keteguhan patah sesuai dengan penelitiann sebeelumnya yang dilakukan oleh Surjokusumo (1977) diacu dalam Ginoga yang menyatakan bahwa modulus elastisitas merupakan salah satu indikator yang mempunyai korelasi tinggi dalam hubungannya dengan keteguhan patah. Dinyatakan pula bahwa disamping mudah mengukurnya, indikator ini sangat peka terhadap adanya cacat pada sepotong balok kayu seperti mata kayu, serat miring, kayu rapuh, dan sebagainya. Dengan adanya keeratan hubungan yang tinggi antar sifat mekanis tersebut maka modulus elastisitas (MOE) dapat digunakan untuk menduga keteguhan patah (MOR).

Hubungan MOEd dan MOR pada kayu sengon dan rasamala sangat tinggi. Pada hubungan tersebut nilai kolerasi (r) dan koefisien determinasi (R^2) tinggi yaitu secara berurutan 0.97 dan 0.94 dan 0.87 dan 0.77. Hal ini menunjukkan bahwa MOEd pada kedua kayu tersebut baik untuk menduga MOR. Sedangkan pada keempat kayu lainnya hubungan MOEd dan MOR sangat rendah dengan nilai kolerasi (r) dan koefisien determinasi rendah, sehingga MOEd pada pada kempat kayu yang lain kurang baik untuk menduga MOR. Pada uji keragaman berdasarkan probabilitas bahwa koefisien regresi dengan tingkat signifikansi pada kayu sengon dan rasamala berurutan 0.006 dan 0.05 atau lebih kecil dari 0.05, sehingga dengan demikian koefisien regresi signifikan. Hal ini cukup berbeda dengan hasil penelitian Karlina sari et al. (2005) dimana hubungan signifikansi ($\alpha = 0.05$) MOEd dan MOR signifikan untuk jenis kayu sengon, mangium, dan pinus. Namun dalam hal ini jumlah sampel berbeda, dalam penelitian ini hanya menggunakan lima sampel untuk setiap perlakuan kadar air pada masing-masing jenis kayu. Halabe et al. (1995) diacu dalam Oliviera et al. (2002) menghasilkan koefisien determinasi yang rendah untuk regresi antara MOR dan MOEd untuk jenis southern pine. Nilai r^2 yang rendah juga berkaitan dengan fakta bahwa tegangan yang dimasukkan dalam kayu sangat sedikit, yaitu untuk pengukuran dinamis yang berdasarkan pada sifat mekanis hanya pada batas elastik. MOR terjadi dengan tegangan yang lebih tinggi, dan setelah batas elastik menghasilkan korelasi yang rendah dengan parameter uji non destruktif.

Penelitian 3: "Pengujian Sifat Mekanis Panel Struktural dari Kombinasi Bambu Tali (*Gigantochloa apus* (Bl. ex. Schult. F) Kurz) dan Kayu Lapis"

1. Sifat Fisis Bambu dan Kayu Lapis

Sifat fisis yang diuji untuk papan laminasi bambu tali dengan kayu lapis ini adalah kadar air (KA) dan berat jenis (BJ). Hasil pengujian sifat fisis papan laminasi bambu tali dapat dilihat pada Tabel IV.9.

Tabel IV.9. Sifat fisis bambu tali dan kayu lapis sebelum dan pasca pengujian

Sampel		Sebelum Pengujian			Pasca pengujian		
		KA	BJ	Kerapatan	KA	BJ	Kerapatan
Bambu	Bagian Buku	14.78	0.50	0.58	12.75	0.52	0.59
	Bagian Ruas	15.09	0.52	0.60	11.96	0.58	0.64
Kayu Lapis		12.62	0.57	0.64	12.24	0.58	0.65

Sifat mekanis bambu dapat dipengaruhi oleh besarnya kadar air bambu tersebut. Kadar air bambu tali pada bagian buku dan bagian ruas berbeda. Pada bagian buku kadar air sebesar 14,78 %, lebih kecil bila dibandingkan dengan bagian ruas 15,09 %. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya perbedaan sifat anatomi bambu pada kedua bagian tersebut. Pada bagian buku terdapat sel-sel yang berorientasi arah radial. Pada bagian ruas bambu mengandung sel-sel yang berorientasi pada arah aksial, tidak ada yang radial. Sel-sel yang berorientasi pada arah radial memiliki panjang sel yang jauh lebih pendek bila dibandingkan dengan sel yang berorientasi ke arah aksial. Semakin panjang sel maka rongga selnya pun menjadi lebih besar sehingga dapat menampung air labih banyak. Setelah pengujian, kadar air bambu menurun sekitar dua-tiga persen. Bagian buku kadar airnya menjadi 12,75 % dan bagian ruas menjadi 11,96 %. Menurunnya kadar air bambu ini tidak terlepas oleh masuknya (penetrasi) dari bahan perekat (epoxy). Dengan masuknya perekat ke dalam sela-sela atau rongga-rongga bambu menyebabkan bambu sulit untuk menyerap air. Selain itu bambu mengering seiring waktu pengkondisian sebelum pengujian. Mengeringnya bambu dipengaruhi oleh lingkungan seperti suhu dan kelembaban serta pengaruh proses perekatan epoxy dengan adheren (bambu dan kayu lapis), dimana epoxy tersebut mengeluarkan energi panasnya untuk bereaksi.

Kadar air kayu lapis sebelum pengujian adalah sebesar 12,62 %. Kadar air kayu lapis tersebut merupakan kadar air udara. Setelah pengujian kayu lapis mengalami penurunan kadar air menjadi 12,24 %. Penurunan kadar air ini kemungkinan hanya dipengaruhi oleh proses perekatan epoxy. Epoxy yang mengeluarkan panas hanya dapat mengeluarkan sedikit air dari kayu lapis. Melihat penurunan kadar air yang tidak terlalu signifikan, pengaruh oleh lingkungan diperkirakan tidak ada karena penurunannya hanya sekitar 0,3 %. Jadi kayu lapis yang digunakan telah mencapai kadar air kesetimbangan atau telah memiliki kestabilan yang tinggi seperti sifat kayu lapis pada umumnya.

Berat Jenis (BJ) dan kerapatan bambu sebelum pengujian memiliki nilai rata-rata yaitu 0,51 untuk (BJ) dan 0,59 untuk kerapatan. Pasca pengujian memperlihatkan peningkatan nilai berat jenis dan kerapatan walaupun cukup kecil. Berat jenis setelah pengujian yaitu sebesar 0,55 dan 0,615 untuk kerapatannya. Peningkatan berat jenis dan kerapatan tersebut dapat disebabkan oleh mengeringnya bahan selama proses pengkondisian. Mengeringnya bahan tersebut menyebabkan zat kayu menjadi lebih banyak per satuan volumenya. Penetrasi perekat ke rongga-rongga bambu juga dapat menaikkan berat jenis dan kerapatan.

Kayu lapis memiliki kestabilan yang cukup baik. Hal ini terlihat dari perubahan kadar air, berat jenis, dan kerapatan yang relatif tetap (sangat kecil). Berat jenis dan kerapatan kayu lapis sebelum pengujian masing-masing sebesar 0,57 dan 0,64. Setelah pengujian berat jenis dan kerapatan masing-masing naik 0,01 menjadi 0,58 dan 0, 65. Perubahan yang sangat kecil ini memperlihatkan bahwa kayu lapis telah memiliki kestabilan yang tinggi, sehingga faktor lingkungan tidak dapat mempengaruhi lagi. Sementara penetrasi perekat sangat kecil untuk dapat masuk ke dalam kayu.

Kekuatan bahan dapat dilihat dari berat jenis dan kerapatannya. Melihat berat jenis dan kerapatan kedua bahan bambu dan kayu lapis yang tidak terlalu jauh, dapat kita ketahui kelas kuatnya. Berat jenis bambu sekitar 0.53 dan kayu lapis sebesar 0.60 termasuk dalam kelas kuat III menurut Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI)

2. Kecepatan Gelombang Ultrasonik Bambu

Secara teori terdapat hubungan antara kecepatan gelombang ultrasonik dennngan kekakuan lentur dinamis (MOEd) yang diuji secara non destruktif, dalam hal ini menggunakan metode gelombang ultrasonik. Tabel IV.10. menunjukkan nilai perhitungan dari 10 ulangan bambu untuk kecepatan gelombang ultrasonik dan MOEd serta nilai MOEs dan MOR yang diperoleh dari pengujian secara destruktif.

Table IV.10. Nilai hasil perhitungan kecepatan gelombang ultrasonik, MOEd, MOEs dan MOR.

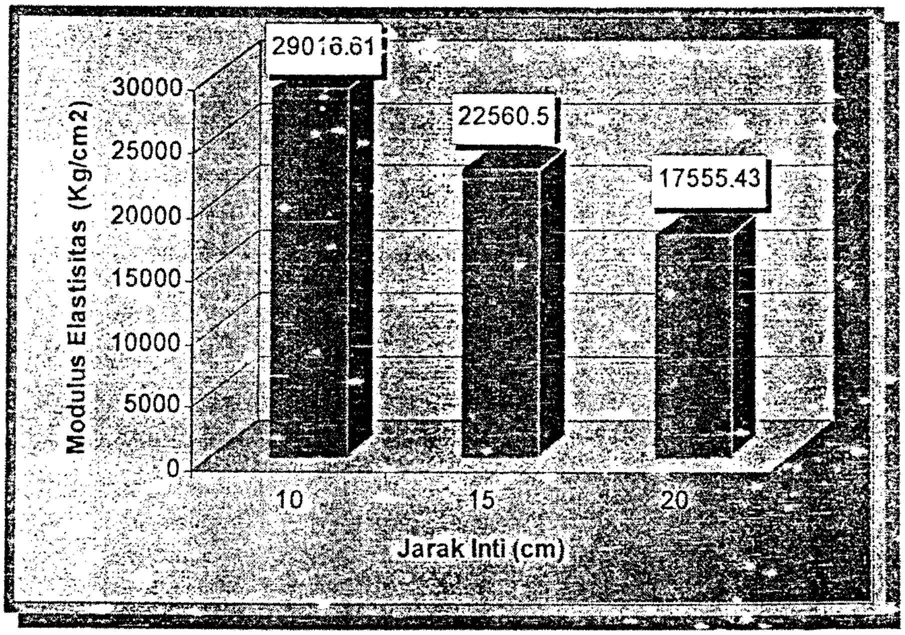
Ulangan Bambu	Kecepatan Gelombang Ultrasonik (m/s)	MOEd (kg/cm^2)	MOEs (kg/cm^2)	MOR (kg/cm^2)
1	5555.6	160456.1	12167.4	411.85
2	6371.7	211061.6	12517.1	270.99
3	6521.7	221120.0	7515.4	275.11
4	6228.4	201674.3	10770.8	189.98
5	5806.5	175276.1	10565.8	209.72
6	6050.4	190314.7	12945.9	201.10
7	6349.2	209575.3	22182.3	521.05
8	6153.8	196676.8	9661.3	396.05
9	6417.1	214082.1	4056.3	135.37
10	6164.4	197551.6	7787.8	243.60
Rataan	6161.9	197798.8	11017.0	285.48

Berdasarkan data pada Tabel di atas diperoleh bahwa rataan nilai kecepatan gelombang ultrasonik bambu sebesar 6161.9 m/s, sementara itu untuk nilai MOEd sebesar 197798 kg/cm^2, MOEs sebesar 11017 kg/cm^2, dan MOR sebesar 285 kg/cm^2.

3. Sifat Mekanis Papan Laminasi

Papan laminasi bambu tali sebagai inti dan kayu lapis sebagai *face* dan *back* memiliki nilai kekakuan (MOE) yang cukup tinggi. Besar nilai MOE papan laminasi ini antara 14.000 hingga 30.000 kg/cm^2. Nilai MOE tertinggi ditunjukkan oleh papan laminasi dengan jarak inti 10 cm, dengan nilai MOE rata-rata 29.016,61 kg/cm^2. Sedangkan MOE terendah dimiliki oleh papan laminasi dengan jarak inti sebesar 20 cm sebesar 17.555,43 kg/cm^2. Nilai MOE papan laminasi kayu lapis dengan bambu tali ditunjukkan pada Gambar IV.9.

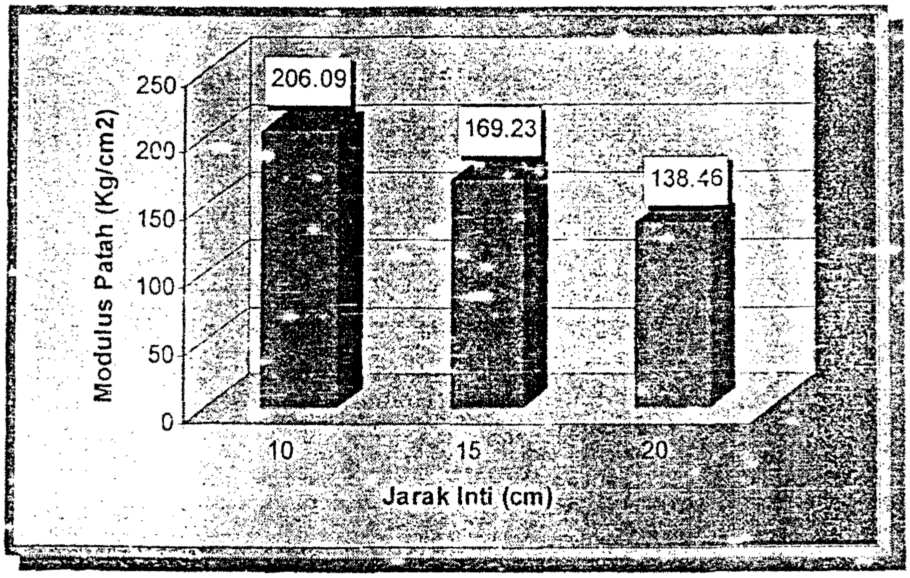
Papan laminasi dengan jarak inti 10 cm memiliki nilai MOE yang paling tinggi, karena memiliki inti bambu yang lebih banyak dari papan laminasi dengan jarak inti yang lain. Seperti dapat dilihat pada grafik MOE di atas, semakin dekat jarak intinya akan memiliki nilai MOE yang tinggi dan begitu dengan sebaliknya.



Gambar IV.9. Grafik MOE papan laminasi bambu dengan kayu lapis pada berbagai jarak inti.

Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jarak bambu sebagai inti (*core*) berpengaruh sangat nyata terhadap besar nilai kekakuan lentur (MOE) papan laminasi hasil penelitian pada selang kepercayaan 95 % dan 99 %, karena F-hitung lebih besar daripada F-tabel pada taraf nyata 0,01 dan 0,05. Dengan kata lain dapat disimpulkan bahwa semakin lebar perlakuan jarak bambu sebagai inti akan menurunkan besarnya nilai MOE papan laminasi yang dibuat. Hasil uji lanjut Duncan pada taraf nyata 0,05 memperlihatkan perbedaan yang sangat nyata pada berbagai perlakuan jarak terhadap nilai MOE papan laminasi. Jadi semakin renggang jarak inti nilai MOE papan laminasi akan semakin turun.

Kekuatan lentur (MOR) papan laminasi bambu tali sebagai inti dengan kayu lapis sebagai lapisan luar memiliki rentang rata-rata dari 125 sampai 230 kg/cm^2. Nilai MOR tertinggi dihasilkan oleh papan dengan jarak inti 10 cm dengan nilai rata-rata 206,09 kg/cm^2. sedangkan nilai MOR terendah dihasilkan oleh papan laminasi dengan jarak inti 20 cm dengan nilai MOR rata-ratanya sebesar 138,46 kg/cm^2. besar nilai MOR papan laminasi dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar IV.11. Grafik MOR papan laminasi bambu dengan kayu lapis pada berbagai jarak inti.

Berdasarkan tabel MOR di atas dapat dilihat bahwa semakin rapat jarak bambu inti, maka nilai MORnya semakin tinggi dan sebaliknya. Nilai MOR yang semakin tinggi berarti bahan tersebut dapat menahan beban yang lebih berat (beban maksimum tinggi). Beban maksimum rata-rata yang dapat ditahan adalah 1.750 kg yang dicapai oleh papan laminasi dengan jarak inti 10 cm.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jarak bambu sebagai inti berbeda sangat nyata terhadap besarnya nilai kekuatan lentur (MOR) papan laminasi yang dihasilkan pada selang kepercayaan 95 % dan 99 %, karena nilai F-hitung lebih besar dari F-tabel. Jadi dapat dikatakan bahwa semakin lebar atau renggang jarak bambu sebagai inti, maka kekuatan lenturnya akan semakin berkurang. Hasil uji lanjut Duncan pada selang kepercayaan 95 % memperlihatkan perlakuan jarak 10 cm berbeda nyata terhadap jarak 15 dan 20 cm. Perlakuan jarak 15 cm tidak berbeda nyata dengan jarak 20 cm.

Kelas kuat papan laminasi bambu dengan kayu lapis ini dapat dimasukkan ke dalam kelas kuat berdasarkan nilai MOE dan MOR-nya. Nilai MOE rata-rata papan laminasi yang dibuat adalah antara 14.000 – 30.000 kg/cm^2. Nilai MOR rata-rata papan laminasi yaitu antara selang 125 – 230 kg/cm^2. Dilihat dari kedua selang nilai MOE dan MOR di atas, maka papan laminasi bambu tali dengan kayu lapis termasuk ke dalam kelas kuat V menurut PKKI NI 5.

V. KESIMPULAN

1. Tidak adanya pengaruh yang signifikan dari modifikasi dimensi penampang dengan panjang tetap terhadap kecepatam rambatan gelombang ultrasonik pada kayu sengon, mangium dan rasamala.
2. Dimensi penampang tetap dengan panjang beragam menunjukkan kecenderungan nilai kecepatan gelombang yang semakin menurun dengan semakin bertambahnya ukuran panjang.
3. Kecepatan rambatan gelombang ultrasonik semakin menurun dengan meningkatnya kadar air dari kering tanur ke kondisi kadar air basah.
4. Modulus Elastis dinamis (MOEd) enam jenis kayu meningkat seiring dengan meningkatnya kadar air kecuali pada jenis kayu kempas.
5. Modulus Elastis statis (MOEs) enam jenis kayu meningkat dengan meningkatnya kadar air kecuali pada jenis kayu rasamala.
6. Hasil pengujian MOEd (non destruktif) rata-rata lebih tinggi 30% dari MOEs (secara destruktif).
7. Dari hasil perhitungan nilai rata-rata kecepatan gelombang pada kayu sengon sebesar 5709-5903 m/s, kayu rasamala sebesar 5146-6142m/s, mangium sebesar 4929-6516m/s, durian 5091 m/s, pinus (SW) 6856 m/s, kempas 6104 m/s dan bambu 6162 m/s.
8. Kekuatan mekanis bambu untuk MOEd sebesar 197798 kg/cm^2, MOEs sebesar 11017 kg/cm^2, dan MOR sebesar 285 kg/cm^2.
9. Hasil uji lentur (MOE dan MOR) produk laminasi bambu tali yang tinggi menunjukkan efisiensi bahan perlakuan terbaik ada pada jarak 20 cm, karena beban lantai pada umumnya adalah 100 kg/cm^2. Namun untuk kekuatan perlakuan terbaik ada pada jarak 10 cm sesuai dengan analisis sidik ragam dan uji lanjut Duncan yang berbeda nyata untuk semua perlakuan.
10. Papan laminasi bambu tali sebagai *core* dengan kayu lapis sebagai lapisan luar (*face* dan *back*) dapat dimanfaatkan sebagai lantai dan dinding.

LAMPIRAN

1. Hasil pengujian kecepatan gelombang ultrasonik pada dimensi penampang beragam (panjang tetap, L = 30 cm).

Cross Section		Contoh Uji	Jenis Kayu								
			Sengon			Mangium			Rasamala		
cm)	h(cm)		t(ms)	Vrms (m/s)	Valat (m/s)	t(ms)	Vrms (m/s)	Valat (m/s)	t(ms)	Vrms (m/s)	Valat (m/s)
8	8.00	I	54.00	5555.56	5521.00	60.00	5000.00	4931.00	58.33	5142.86	5137.33
		II	52.00	5769.23	5755.67	57.67	5202.31	5161.00	55.00	5454.55	5413.67
		III	56.67	5294.12	5247.67	58.67	5113.64	5089.67	57.67	5202.31	5161.00
		IV	52.00	5769.23	5755.67	60.00	5000.00	4931.00	60.67	4945.05	4938.00
		V	55.00	5454.55	5387.33	64.33	4663.21	4602.00	61.33	4891.30	4871.67
		Rata2	53.93	5562.42	5533.47	60.13	4988.91	4942.93	58.60	5119.45	5104.33
8	2.67	I	48.67	6164.38	6100.00	61.67	4864.86	4823.00	57.00	5263.16	5211.33
		II	47.67	6293.71	6203.00	60.33	4972.38	4909.00	55.33	5421.69	5335.33
		III	54.33	5521.47	5494.00	56.67	5294.12	5234.00	56.67	5294.12	5234.00
		IV	50.00	6000.00	5968.00	60.00	5000.00	4953.00	58.00	5172.41	5137.00
		V	51.00	5882.35	5811.67	64.00	4687.50	4621.00	58.33	5142.86	5115.67
		Rata2	50.33	5960.26	5915.33	60.53	4955.95	4908.00	57.07	5257.01	5206.67
8	1.60	I	49.00	6122.45	6066.00	61.00	4918.03	4865.00	56.67	5294.12	5234.00
		II	48.00	6250.00	6168.00	61.00	4918.03	4865.00	56.67	5294.12	5234.00
		III	54.67	5487.80	5467.00	58.67	5113.64	5090.33	57.33	5232.56	5185.00
		IV	49.00	6122.45	6066.00	62.00	4838.71	4802.00	55.67	5389.22	5336.67
		V	49.00	6122.45	6066.00	65.00	4615.38	4564.00	59.67	5027.93	4998.00
		Rata2	49.93	6008.01	5966.60	61.53	4875.41	4837.27	57.20	5244.76	5197.53
8	1.14	I	50.00	6000.00	5968.00	61.00	4918.03	4865.00	57.00	5263.16	5209.00
		II	49.00	6122.45	6066.00	62.00	4838.71	4802.00	59.00	5084.75	5066.00
		III	55.00	5454.55	5440.00	59.00	5084.75	5066.00	60.00	5000.00	4931.00
		IV	48.67	6164.38	6100.00	62.67	4787.23	4760.67	55.33	5421.69	5335.33
		V	49.00	6122.45	6066.00	65.67	4568.53	4526.67	60.00	5000.00	4931.00
		Rata2	50.33	5960.26	5928.00	62.07	4833.51	4804.07	58.27	5148.74	5094.47
8	0.89	I	51.00	5882.35	5781.00	63.00	4761.90	4740.00	57.67	5202.31	5161.00
		II	50.00	6000.00	5969.00	63.33	4736.34	4701.00	56.33	5325.44	5259.00
		III	56.33	5325.44	5259.00	60.00	5000.00	4975.00	60.33	4972.38	4953.00
		IV	49.00	6122.45	6066.00	64.67	4639.18	4583.00	55.33	5421.69	5388.00
		V	51.00	5882.35	5781.00	67.00	4477.61	4454.00	61.00	4918.03	4866.00
		Rata2	51.47	5829.02	5771.20	63.60	4716.98	4690.60	58.13	5160.55	5125.40
8	0.73	I	51.00	5882.35	5781.00	63.33	4736.84	4700.33	56.00	5357.14	5284.67
		II	51.00	5882.35	5873.00	63.67	4712.04	4700.00	55.00	5454.55	5413.67
		III	57.00	5263.16	5209.00	60.00	5000.00	4997.00	56.00	5357.14	5284.00
		IV	49.00	6122.45	6066.00	64.67	4639.18	4583.00	53.67	5590.06	5549.00
		V	50.33	5960.26	5936.33	68.00	4411.76	4349.00	60.00	5000.00	4931.00
		Rata2	51.67	5806.45	5773.07	63.93	4692.39	4665.87	56.13	5344.42	5292.47

2 : Hasil Pengujian kecepatan gelombang Ultrasonik pada ukuran panjang beragam (dimensi penampang (2 x 2) cm dan (4 x 4) cm).

Panjang (L) (cm)	Contoh Uji	Jenis Kayu								
		Sengon			Mangium			Rasamala		
		t(ms)	Vrms (m/s)	Valat (m/s)	t(ms)	Vrms (m/s)	Valat (m/s)	t(ms)	Vrms (m/s)	Valat (m/s)
20	I	31.00	6451.61	6339 00	30.00	6666.67	6510.00	35.00	5714.29	5615.00
	II	31.00	6451.61	6339.00	29.67	6741.57	6706.67	37.00	5405.41	5370.00
	III	33.00	6060.61	6028.00	32.00	6250.00	6182.33	40.00	5000.00	4841.00
	IV	30.00	6666.67	6507.00	31.00	6451.61	6339.00	35.00	5714.29	5615.00
	V	30.00	6666.67	6507.00	30.00	6666.67	6507.00	40.00	5000.00	4841.00
	Rata2	31.00	6451.61	6344.00	30.53	6550.22	6449.00	37.40	5347.59	5256.40
40	I	72.33	5529.95	5516.67	74.33	5381.17	5361.33	73.00	5479.45	5476.00
	II	71.33	5607.48	5579.00	73.00	5479.45	5476.00	73.00	5479.45	5415.00
	III	73.00	5479.45	5415.00	82.00	4878.05	4878.00	81.00	4938.27	4957.00
	IV	69.00	5797.10	5731.00	79.67	5020.92	4993.67	73.00	5479.45	5415.00
	V	68.00	5882.35	5799.00	72.67	5504.59	5476.67	81.00	4938.27	4957.00
	Rata2	70.73	5655.04	5608.13	76.33	5240.17	5237.13	76.20	5249.34	5244.00
60	I	111.67	5373.13	5365.00	115.67	5187.32	5152.33	112.00	5357.14	5352.00
	II	111.33	5389.22	5365.00	116.00	5172.41	5152.00	112.00	5357.14	5352.00
	III	112.00	5357.14	5352.00	126.00	4761.90	4733.33	130.00	4615.38	4586.00
	IV	110.00	5454.55	5431.33	123.00	4878.05	4858.00	112.00	5357.14	5352.00
	V	109.33	5487.80	5457.67	113.67	5278.59	5250.33	145.00	4137.93	4124.00
	Rata2	110.87	5411.90	5394.20	118.87	5047.67	5029.20	122.20	4909.98	4953.20
80	I	149.00	5369.13	5340.33	155.67	5139.19	5135.00	156.00	5128.21	5126.00
	II	152.00	5263.16	5235.00	160.00	5000.00	4996.00	156.00	5128.21	5126.00
	III	152.00	5263.16	5235.00	168.67	4743.08	4731.33	169.00	4733.73	4731.00
	IV	150.00	5333.33	5320.00	167.00	4790.42	4777.00	156.00	5128.21	5126.00
	V	149.00	5369.13	5349.00	152.00	5263.16	5245.00	174.00	4597.70	4577.00
	Rata2	150.40	5319.15	5295.87	160.67	4979.25	4976.87	162.20	4932.18	4937.20
100	I	195.00	5128.21	5111.00	207.67	4815.41	4810.33	199.33	5016.72	5013.33
	II	201.67	4958.68	4973.33	203.00	4926.11	4920.00	198.33	5042.02	5034.00
	III	199.00	5025.13	5014.00	210.67	4746.84	4736.33	213.00	4694.84	4676.00
	IV	195.67	5110.73	5097.00	218.00	4587.16	4572.00	212.33	4709.58	4702.00
	V	193.00	5181.35	5169.33	193.33	5172.41	5160.67	229.67	4354.14	4351.00
	Rata2	196.87	5079.58	5072.93	206.53	4841.83	4839.87	210.53	4749.84	4755.27
20	I	30.00	6666.67	6507.00	35.00	5714.29	5615.00	33.33	6000.00	5891.33
	II	32.67	6122.45	6078.67	32.00	6250.00	6180.00	31.67	6315.79	6238.33
	III	28.00	7142.86	7069.00	41.33	4838.71	4779.67	33.67	5940.59	5847.33
	IV	30.33	6593.41	6451.00	31.33	6382.98	6286.00	43.67	4580.15	4547.00
	V	29.00	6896.55	6808.67	42.00	4761.90	4747.00	33.00	6060.61	5937.00
	Rata2	30.00	6666.67	6582.87	36.33	5504.59	5521.53	35.07	5703.43	5692.20
40	I	68.00	5882.35	5822.00	85.67	4669.26	4662.00	74.00	5405.41	5356.00
	II	74.00	5405.41	5356.00	74.67	5357.14	5317.33	72.67	5504.59	5476.67
	III	67.00	5970.15	5939.00	99.00	4040.40	4004.00	73.67	5429.86	5375.67
	IV	71.00	5633.80	5600.00	76.33	5240.17	5189.00	80.00	5000.00	4977.00
	V	69.00	5797.10	5731.00	95.00	4210.53	4209.00	74.00	5405.41	5356.00
	Rata2	69.80	5730.66	5689.60	86.13	4643.96	4676.27	74.87	5342.83	5308.27
60	I	111.00	5405.41	5391.00	122.67	4891.30	4868.67	115.00	5217.39	5171.00
	II	112.33	5341.25	5326.33	116.00	5172.41	5128.00	114.00	5263.16	5238.00
	III	109.00	5504.59	5471.00	149.00	4026.85	4012.00	112.00	5357.14	5313.00
	IV	108.00	5555.56	5512.00	116.00	5172.41	5140.00	126.00	4761.90	4754.33
	V	108.67	5521.47	5471.00	149.67	4008.91	3998.67	120.67	4972.38	4956.00
	Rata2	109.80	5464.48	5434.27	130.67	4591.84	4629.47	117.53	5104.93	5086.47
80	I	148.00	5405.41	5379.00	161.00	4968.94	4946.00	154.00	5194.81	5172.00
	II	153.33	5217.39	5198.67	160.00	5000.00	4971.00	153.33	5217.39	5198.67

	IV	150.00	5333.33	5320.00	155.33	5150.21	5144.00	168.33	4752.48	4746.33
	V	149.00	5369.13	5349.00	201.67	3966.94	3957.33	156.00	5128.21	5108.67
	Rata2	149.67	5345.21	5321.13	174.67	4580.15	4620.27	157.73	5071.85	5059.73
100	I	186.00	5376.34	5302.00	205.67	4862.24	4848.33	197.67	5059.02	5048.00
	II	192.67	5190.31	5175.33	202.00	4950.50	4940.00	200.00	5000.00	4986.67
	III	188.00	5319.15	5302.00	248.67	4021.45	4010.33	196.00	5102.04	5083.00
	IV	188.00	5319.15	5302.00	204.00	4901.96	4900.00	219.67	4552.35	4538.67
	V	188.00	5319.15	5371.00	253.00	3952.57	3941.00	199.67	5006.35	5000.33
	Rata2	188.53	5304.10	5290.47	222.67	4491.02	4527.93	202.60	4935.83	4931.33

Hasil Pengujian Sifat Fisis

mor npel	P (cm)	L (cm)	T (cm)	VKU (cm3)	BKU (gram)	BKT (gram)	Kerapatan (gram/cm3)	BJ (gram/cm3)	KA (%)
1	2.08	2.04	2.05	8.70	2.831	2.476	0.325	0.285	14.338
2	2.04	1.97	2.02	8.12	2.286	2.004	0.282	0.247	14.072
3	2.07	2.03	2.03	8.53	2.276	1.992	0.267	0.234	14.257
4	2.06	2.01	2.00	8.28	2.355	2.058	0.284	0.249	14.431
5	2.06	2.01	2.00	8.28	2.432	2.123	0.294	0.256	14.555
6	2.06	2.04	1.98	8.32	2.271	1.997	0.273	0.240	13.721
7	2.06	2.05	2.00	8.45	2.746	2.399	0.325	0.284	14.464
8	2.04	2.03	2.04	8.45	2.720	2.373	0.322	0.281	14.623
9	2.07	1.99	2.00	8.24	3.176	2.780	0.386	0.337	14.245
0	2.06	1.92	1.87	7.40	2.802	2.450	0.379	0.331	14.367
ta2	2.06	2.01	2.00	8.28	2.590	2.265	0.313	0.274	14.317
1	2.07	2.06	2.01	8.57	7.267	6.364	0.848	0.743	14.189
2	2.03	2.02	2.08	8.53	7.638	6.675	0.896	0.783	14.427
3	2.09	2.07	2.05	8.87	7.413	6.447	0.836	0.727	14.984
4	2.09	2.03	2.01	8.53	8.224	7.170	0.964	0.841	14.700
5	2.06	2.05	2.06	8.70	7.691	6.682	0.884	0.768	15.100
6	1.99	1.91	2.01	7.64	7.845	6.751	1.027	0.884	16.205
7	2.06	2.04	1.92	8.07	6.786	5.514	0.841	0.683	23.069
8	2.04	1.94	1.89	7.48	7.416	6.332	0.991	0.847	17.119
9	2.07	1.96	2.07	8.40	6.775	5.605	0.807	0.667	20.874
0	2.08	2.04	2.06	8.74	8.900	7.517	1.018	0.860	18.398
ta2	2.06	2.01	2.02	8.35	7.596	6.506	0.909	0.779	16.751
1	2.04	2.01	2.04	8.36	6.637	5.625	0.793	0.672	17.991
2	2.05	2.00	2.00	8.20	6.055	5.178	0.738	0.631	16.937
3	2.05	2.00	2.06	8.45	5.989	5.123	0.709	0.607	16.904
4	2.03	2.02	2.00	8.20	6.289	5.367	0.767	0.654	17.179
5	2.04	2.02	2.06	8.49	6.649	5.673	0.783	0.668	17.204
6	2.02	1.98	2.07	8.28	6.352	5.444	0.767	0.658	16.679
7	2.06	1.91	1.92	7.55	6.016	5.144	0.796	0.681	16.952
8	2.05	2.02	2.06	8.53	6.606	5.629	0.774	0.660	17.357
9	2.03	1.93	1.95	7.64	6.206	5.292	0.812	0.693	17.271
0	2.05	2.04	2.04	8.53	6.651	5.685	0.780	0.666	16.992
ta2	2.04	1.99	2.02	8.22	6.345	5.416	0.772	0.659	17.153

Lampiran 4. Rata-rata Sifat Fisis dan Kecepatan Rambatan Gelombang pada Berbagai Kadar Air

Jenis Kayu	Kondisi Basah				Kondisi TJS				Kondisi KU				Kondisi BKT			
	KA (%)	ρ(g/Cm3)	BJ	v (m/s)	KA (%)	ρ(g/Cm3)	BJ	v (m/s)	KA (%)	ρ (g/Cm3)	BJ	v (m/s)	KA (%)	ρ(g/Cm3)	BJ	v (m/s)
1. Sengon	236.50	0.71	0.21	3103	29.77	0.32	0.24	5775	17.52	0.30	0.25	5903	1.1898	0.296	0.29	6233
2. Mangium	105.45	0.78	0.38	4427	21.69	0.45	0.37	6109	15.82	0.44	0.39	6516	1.9392	0.637	0.62	6521
3. Durian	131.13	0.87	0.39	3747	27.23	1.03	0.37	5408	14.11	0.49	0.43	5691	0.9016	0.567	0.56	5572
4. Pinus SW)	68.91	1.10	0.64	4636	26.12	0.69	0.58	6059	13.56	0.69	0.61	6856	0.7457	0.706	0.7	6810
5. Rasamala	48.30	1.05	0.71	4383	27.64	1.08	0.78	5553	14.11	0.81	0.71	6142	1.1352	0.883	0.87	5659
6. Kempas	45.27	1.00	0.69	5694	23.01	0.58	0.70	5714	14.02	0.86	0.75	6104	0.5814	0.820	0.81	6020

Lampiran 5. Rata-rata Sifat Mekanis dan Kecepatan Rambatan Gelombang pada Berbagai Kadar Air.

Jenis Kayu	Kondisi Basah				Kondisi TJS				Kondisi KU				Kondisi BKT			
	v (m/s)	Ed (kg/cm2)	Es (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	V (m/s)	Ed (kg/cm2)	Es (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	v (m/s)	Ed (kg/cm2)	Es (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	v (m/s)	Ed(kg/cm2)	Es (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)
1. Sengon	3103	69060.08	26343.69	297.797	5775	109674.309	22377	287.059	5903	105739.617	34647.93	343.1571	6233	117276.007	48437.24	608.105
2. Mangium	4427	155413.17	68712.09	502.569	6109	171228.343	63355.77	535.088	6516	191168.192	57578.01	592.8898	6521	276261.289	73596.18	933.3143
3. Durian	3747	127531.89	56643.8	498.13	5408	132442.11	56705.26	494.749	5691	160460.15	66218.52	661.8595	5572	179542.641	66371.44	791.4205
4. Pinus (SW)	4636	246058.37	75142.11	614.893	6059	275752.443	99663.08	723.567	6856	332701.033	110851	1111.825	6810	333887.384	120308.54	1736.389
5. Rasamala	4683	237092.61	120113.9	985.839	5553	281694.014	118016.4	942.415	6142	312947.275	97978.12	1175.354	5659	288314.487	110584.4	1628.326
6. Kempas	5694	331810.47	119542.2	1024.52	5714	268095.485	126103.2	1002.86	6104	325884.056	132598.9	1285.342	6020	302766.493	136889.9	1365.519

Lampiran 6. KA dan BJ Bambu Bagian Ruas

Sampel	p	l	t	Volume	BKU	BKT	KA	BJ	Kerapa-tan
1	2.25	2.15	0.84	4.04	2.78	2.43	14.06	0.60	0.69
2	2.18	1.94	0.70	2.98	1.74	1.53	13.99	0.51	0.59
3	2.28	2.16	0.78	3.83	2.74	2.37	15.55	0.62	0.72
4	2.2	2.39	1.27	6.70	3.80	3.28	15.66	0.49	0.57
5	2.46	2.34	1.14	6.54	3.95	3.43	14.91	0.52	0.60
6	2.36	2.04	0.70	3.36	1.89	1.63	16.10	0.48	0.56
7	2.46	2.32	0.60	3.45	2.07	1.76	17.75	0.51	0.60
8	2.38	2.33	0.86	4.77	2.66	2.34	13.55	0.49	0.56
9	2.34	2.37	0.89	4.93	2.93	2.56	14.12	0.52	0.59
10	2.55	2.11	1.45	7.81	4.14	3.59	15.20	0.46	0.53
Rata-Rata							**15.09**	**0.52**	0.60

Lampiran 7. KA dan BJ Bambu Bagian Buku

Sampel	p	l	t	Volume	BKU	BKT	KA	BJ	Kerapa-tan
1	2.27	2.32	0.52	2.75	1.32	1.15	14.21	0.42	0.48
2	2.37	1.96	0.31	1.46	0.94	0.82	15.04	0.56	0.65
3	2.46	2.09	0.73	3.77	2.04	1.78	14.99	0.47	0.54
4	2.16	2.07	0.75	3.35	1.64	1.44	14.01	0.43	0.49
5	2.51	2.08	0.39	2.03	1.20	1.04	15.33	0.51	0.59
6	3.09	2.05	0.40	2.50	1.63	1.40	15.98	0.56	0.65
7	2.45	2.07	0.51	2.57	1.43	1.26	13.92	0.49	0.56
8	2.54	2.32	0.56	3.29	2.03	1.78	13.89	0.54	0.61
9	2.11	1.98	0.30	1.23	0.81	0.70	15.95	0.57	0.66
10	2.54	2.03	0.62	3.21	1.73	1.51	14.47	0.47	0.54
Rata-Rata							**14.78**	**0.50**	0.58

Lampiran 8. KA dan BJ Bambu Bagian Ruas Pasca Pengujian

Sampel	p	l	t	Volume	BKU	BKT	KA	BJ	Kerapa-tan
1	2.48	2.12	0.61	3.23	2.61	2.29	13.86	0.71	0.81
2	2.56	2.24	0.56	3.21	2.56	2.31	10.65	0.72	0.80
3	2.55	2.06	0.64	3.36	1.30	1.16	12.35	0.34	0.39
4	2.51	1.95	0.76	3.71	2.20	1.99	10.76	0.54	0.59
5	2.5	2.15	0.45	2.43	1.55	1.38	12.18	0.57	0.64
Rata-Rata							11.96	**0.58**	0.64

Lampiran 9. KA dan BJ Bambu Bagian Buku Pasca Pengujian

Sampel	p	l	t	Volume	BKU	BKT	KA	BJ	Kerapatan
1	2.42	2.21	0.53	2.81	1.42	1.26	13.22	0.45	0.51
2	2.54	1.86	0.54	2.55	1.41	1.26	11.76	0.49	0.55
3	2.47	2.12	0.55	2.88	1.36	1.20	13.43	0.42	0.47
4	2.401	2.02	0.51	2.47	1.68	1.47	14.54	0.59	0.68
5	2.325	1.86	0.49	2.10	1.52	1.37	10.79	0.65	0.72
Rata-rata							**12.75**	**0.52**	0.59

Lampiran 10. KA dan BJ Kayu Lapis Pasca pengujian

Sampel	p	l	t	Volume	BKU	BKT	KA	BJ	Kerapatan
1	1.95	1.85	0.5	1.80	1.17	1.04	12.37	0.58	0.65
2	1.95	2	0.5	1.95	1.26	1.12	12.46	0.58	0.65
3	2	1.92	0.5	1.92	1.25	1.11	12.45	0.58	0.65
4	1.9	1.95	0.5	1.85	1.17	1.04	12.08	0.56	0.63
5	1.98	1.85	0.5	1.83	1.20	1.07	11.85	0.59	0.65
Rata-Rata							**12.24**	**0.58**	**0.65**

Lampiran 11. KA dan BJ Kayu Lapis Pra Pengujian

Sampel	p	l	t	Volume	BKU	BKT	KA	BJ	Kerapatan
1	1.96	1.9	0.5	1.86	1.21	1.07	13.06	0.58	0.65
2	1.95	1.92	0.5	1.87	1.14	1.01	12.59	0.54	0.61
3	1.95	1.95	0.5	1.90	1.22	1.10	10.51	0.58	0.64
4	1.92	1.9	0.5	1.82	1.25	1.11	13.10	0.61	0.69
5	1.9	1.95	0.5	1.85	1.17	1.03	13.84	0.55	0.63
Rata-Rata							**12.62**	**0.57**	0.64

p = Panjang (cm)

l = Lebar (cm)

t = Tebal (cm)

BKU = Berat Kering Udara

BKT = Berat Kering Tanur

KA = Kadar Air

BJ = Berat Jenis