

PEMANFAATAN KAYU SEBAGAI BAHAN STRUKTUR BANGUNAN

Arief Saefudin

Abstrak

Upaya penanaman kembali hutan-hutan yang gundul sudah dilakukan berbagai fihak, baik pemegang HPH maupun pemerintah melalui pemilihan bibit-bibit pohon dengan pertumbuhan amat cepat yang akan dimanfaatkan kayunya. Jenis-jenis kayu cepat tumbuh dapat ditanam di Indonesia melalui program Hutan Tanaman Industri dengan tujuan untuk menyediakan bahan baku industri pulp dan kertas. Jenis-jenis kayu tersebut antara lain adalah pinus, agathis, kayu sengon, acacia mangium, kayu afrika dan karet. Sedangkan kayu-kayu yang umum digunakan sebagai bahan struktur dan konstruksi adalah kayu borneo, meranti dan kapur. Dalam penelitian ini digunakan kayu berukuran 60 x 120 x 3.000 mm sebanyak 528 batang kayu cepat tumbuh dan 566 batang kayu yang umum digunakan dalam konstruksi bangunan. Pada setiap batang dilakukan pengukuran kerapatan, penilaian cacat-cacat untuk menentukan mutu visual kayu, pengukuran modulus elastisitas lentur muka lebar dengan alat Panter MPK-3 dan pengujian lentur mutlak skala penuh dengan third point loading pada posisi muka lebar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kayu-kayu cepat tumbuh dapat dimanfaatkan untuk struktur dengan sebaran kekuatan yang relatif sama dengan jenis-jenis yang umum digunakan untuk struktur bangunan di negara sub-tropis. Untuk mengefisiensikan penggunaan kayu-kayu tersebut secara struktural, sebaiknya diterapkan pemilahan kayu secara masinal dengan pendugaan melalui pengukuran modulus elastisitas. Kelas-kelas kekuatan untuk masing-masing jenis kayu telah tersedia, namun bila jenis kayu tidak dapat diketahui sebaiknya digunakan kelas kekuatan untuk kelompok kayu yang tidak diketahui jenisnya karena pendugaannya relatif aman. Tujuan awal penanaman kayu cepat tumbuh adalah untuk bahan pulp dan kertas, ternyata dapat juga dimanfaatkan sebagai bahan struktur bangunan namun harus didukung dengan penerapan teknologi pemilahan kayu secara masinal, pengeringan dan pengawetan kayu.

Kata Kunci : kayu, struktur bangunan

PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan bangunan untuk struktural maupun non-struktural terus meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan peningkatan kebutuhan penyediaan perumahan yang layak huni bagi masyarakat. Kebijakan pemerintah telah mencanangkan program

Arief Saefudin
Staf Pengajar Jurusan Teknis Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta

pembangunan satu juta unit rumah guna memenuhi kebutuhan perumahan dan permukiman yang layak huni tersebut. Untuk memenuhi target tersebut, berbagai jenis bahan bangunan perlu disediakan karena bahan bangunan merupakan komponen terpenting dalam pembangunan rumah.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh UNIDO diketahui bahwa untuk negara-negara yang sedang berkembang, 60 - 70% biaya konstruksi diserap untuk bahan bangunan. Dengan kondisi negara Indonesia yang berbentuk negara kepulauan maka pengembangan bahan bangunan lokal sangatlah penting dalam rangka mengurangi biaya untuk pengangkutan.

Meskipun berbagai jenis bahan bangunan telah dikembangkan dipasaran, kayu masih memegang peranan penting dalam pembangunan perumahan dan pemukiman. Bagian-bagian tertentu dari struktur bangunan sebagian besar masih menggunakan material kayu. Hal tersebut disebabkan karena kayu relatif ringan, mudah dikerjakan, memiliki *strength to weight ratio* yang lebih tinggi dibanding beberapa jenis bahan bangunan lain, dan sudah dikenal dengan baik sebagai bahan bangunan dalam pembangunan perumahan termasuk untuk rumah-rumah tradisional.

Di Indonesia, terdapat lebih kurang 4000 jenis kayu namun hanya beberapa jenis kayu saja yang umum digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan terutama jenis-jenis kayu yang memiliki kekuatan dan keawetan tinggi. Namun, setelah beberapa dekade kayu menjadi andalan devisa nasional di luar migas maka ketersediaan kayu-kayu dari hutan alam yang memiliki kekuatan dan keawetan tinggi semakin berkurang bahkan di beberapa daerah telah habis.

Untuk menanggulangi masalah kekurangan bahan baku kayu, sejak dua dekade yang lalu, Pemerintah telah mecanangkan program Hutan Tanaman Industri (HTI) dengan jenis-jenis kayu cepat tumbuh antara lain Pinus, Agatis, Acacia, Mangium, Sengon, Karet, dan Kayu Afrika. Sebagai gambaran, untuk kayu hutan alam besarnya riap pertahun sekitar 1 m³/ha/tahun maka untuk kayu dari jenis cepat tumbuh dapat mencapai 20 - 50 m³/ha/tahun. Saat ini untuk tanaman acacia mangium saja terdapat 800.000 hektar dan pada tahun 2010 diperkirakan mencapai 1 juta hektar. Pada awalnya tanaman-tanaman cepat tumbuh tersebut dirancang untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pulp dan kertas, namun dengan adanya suplai bahan baku kertas dengan harga yang bersaing dengan kualitas yang lebih baik maka

masih terdapat *over supply* dari kayu-kayu cepat tumbuh tersebut. Di sisi lain, dalam pembangunan rumah dan gedung harga kayu semakin mahal dan sulit terjangkau.

Sebagai bahan yang diproduksi oleh alam, kayu memiliki variasi kekuatan dan kekakuan yang beragam diantara jenis-jenis kayu, diantara batang dari jenis kayu yang sama bahkan diantara dari pohon yang sama. Variasi kekuatan dan kekakuan kayu tersebut dipengaruhi oleh berat jenis dan cacat-cacat yang dimiliki oleh batang kayu tersebut seperti mata kayu, miring serat, retak dan sebagainya. Untuk menjamin keamanan struktur, kekuatan kayu harus diduga atau diukur terlebih dahulu dengan cara tanpa merusak yang disebut sebagai kegiatan pemilahan kayu. Pemilahan kayu dapat dilakukan secara visual maupun mekanis.

Penelitian ini dilaksanakan dengan maksud untuk mengetahui karakteristik dari kayu-kayu cepat tumbuh sebagai bahan struktur melalui penerapan pemilahan secara visual dan mekanis serta membandingkan dengan kayu-kayu yang telah umum digunakan sebagai bahan struktur dan konstruksi bangunan. Sedangkan tujuannya adalah untuk menyediakan informasi yang benar tentang karakteristik kayu-kayu cepat tumbuh bila dipergunakan sebagai bahan bangunan alternatif dalam mendukung program pembangunan satu juta unit rumah pertahun.

Dari latar belakang tersebut, kemudian timbulah pertanyaan, apakah pemanfaatan kayu-kayu dari jenis yang cepat tumbuh dapat digunakan sebagai bahan struktur bangunan?

METODA

Contoh uji yang digunakan untuk mengetahui kekakuan dan kekuatan kayu-kayu cepat tumbuh adalah contoh berukuran skala penuh 60 mm x 120 mm x 3.000 mm. Dalam kondisi kering udara. Jumlah contoh uji untuk masing-masing jenis kayu adalah sebagai berikut:

1. 120 batang kayu acacia mangium (*Acacia Mangium Willd*)
2. 60 batang sengon (*paraserianthes falcataria*, L. Nielsen)
3. 60 batang kayu karet (*Hevea brasiliensis*, Willd)
4. 60 batang kayu afrika (*Measopsis eminii*, Engler)
5. 168 batang, pinus (*Pinus merkusii*, Jungh et de Vries)
6. 60 batang agatis (*Agathis dammara*, Lambert Rich)
7. 60 batang kayu kapur (*Dryobalanops aromatica* Geartner f)
8. 192 batang kelompok jenis meranti (*Shorea* SP)
9. 342 batang kayu yang tidak dikenal jenisnya yang dikelompokkan sebagai kayu "Borneo".

Untuk setiap batang kayu, dilakukan pengujian kadar air dengan moisture meter, diukur dimensi dan beratnya untuk mengetahui kerapatan serta dilakukan penilaian mutu visual berdasarkan spesifikasi kayu untuk bangunan perumahan (SKI C-bo-010-1987). Kemudian, kayu-kayu diukur modulus elastisitas dalam muka lebar (flat-wise) dengan menggunakan mesin Panter MPK-3. Pengujian kekakuan dan kekuatan lentur mutlak dilakukan pada muka tebal (edge-wise) dengan cara third-point loading mengikuti prosedur ASTM D-198. Perhitungan kekakuan (MOE) dan kekuatan lentur mutlak (MOR) disesuaikan berdasarkan kondisi kadar air kering udara 15% dan sistem pembebanan yang telah ditetapkan dalam prosedur ASTM D 2915.

Gambaran tentang kekakuan dan kekuatan kayu serta keragamannya ditunjukkan dari nilai rata-rata, deviasi standard dan koefisien variasi. Sedangkan untuk mengetahui karakteristik kayu digunakan analisis sebaran kekuatan dan kekakuan melalui analisis sebaran normal, log-normal dan sebaran Weibull dengan fungsi sebagai berikut:

1. Fungsi sebaran normal :

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2\sigma^2} \cdot (x - \mu)^2 \right]$$

2. Fungsi sebaran log-normal:

$$f(x, \lambda, \xi) = \frac{1}{x\xi\sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2\xi^2} \cdot (\ln(x) - \lambda)^2 \right]$$

3. Fungsi sebaran Weibull kumulatif:

$$f(x, \eta, \alpha) = \frac{\alpha}{\eta} \cdot \left(\frac{x}{\eta}\right)^{\alpha-1} \cdot \exp \left[-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\alpha \right]$$

Dengan :

μ , nilai rata-rata

σ , deviasi standard

λ , rata-rata $\ln(x)$

ξ , deviasi $\ln(x)$

α , parameter bentuk sebaran Weibull

η , parameter ukuran sebaran Weibull

Dalam penelitian ini sekaligus dilakukan pengujian hubungan antara MOE dan MOR dengan analisis regresi linear. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh jenis kayu digunakan analysis covariate variable dengan model sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta (X_{ij} - X) + \varepsilon_{ij}$$

dengan :

Y_{ij} , hasil uji MOR dari jenis kayu ke i -th dan contoh uji nomor j -th

μ , rata-rata MOR

τ_i , pengaruh aditif jenis kayu

β , koefisien regrasi yang menunjukkan ketergantungan MOR

Pada MOE;

X_{ij} , hasil pengukuran MOE

X , rata-rata MOE

ε_{ij} , galat contoh uji ke j -th jenis kayu ke i -th

H_0 : $\tau_i = 0$, tidak ada pengaruh yang signifikan dari jenis kayu terhadap MOR.

H_1 : $\tau_i \neq 0$, sedikitnya satu jenis kayu memberi pengaruh berbeda pada nilai MOR dengan jenis lainnya.

Uji hipotesis dilakukan dengan uji F, sedangkan untuk mengetahui apakah jenis-jenis kayu cepat tumbuh memiliki karakter yang berbeda dalam pendugaan nilai kekuatan berdasarkan nilai modulus elastisitas, digunakan model regresi boneka (dummy) sebagai berikut:

$$Y_{ij} = z_{ij} a_j + f(X_{ij}) + \varepsilon_{ij}$$

dengan :

Y_{ij} , MOR untuk jenis kayu ke i dan contoh ke j

Z_{ij} , variabel boneka untuk jenis ke i

A_i , konstanta untuk variable boneka

$f(X_{ij})$, fungsi dari hubungan antara MOE dan MOR

ε_{ij} , galat untuk contoh ke j jenis ke i

Hipotesis dipergunakan:

H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 \dots \dots = \beta_x = 0$, jenis kayu dan MOE tidak berpengaruh secara signifikan pada MOR

$H_1 : \Sigma \beta_k \neq 0$, sedikitnya satu dan atau MOE berpengaruh secara signifikan pada MOR

Penurunan nilai karakteristik kayu berdasarkan konsepsi tegangan ijin dilakukan berdasarkan prosedur ASTM D-2915 sedangkan konsepsi load and Resistance Factor Design (LRFD) mengikuti prosedur ASTM D-5457.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekakuan dan kekuatan kayu-kayu cepat tumbuh serta sebaran parametrisnya

Kayu-kayu yang diuji dikondisikan sedemikian rupa sehingga kadar airnya bekisar antara 14,5 - 19,3%. Untuk keperluan perhitungan, telah dilakukan penyesuaian sebagaimana disebutkan dalam prosedur ASTM D 2915. Sebagaimana disebutkan terdahulu bahwa sifat-sifat mekanis kayu dalam skala penuh sangat beragam baik antar jenis, dalam jenis yang sama bahkan dalam batang yang berbeda dari log yang sama sebagaimana terlihat dari rata-rata dan keragaman kekakuan dan kekuatan kayu-kayu cepat tumbuh dalam skala penuh seperti disajikan pada Tabel.1 Keragaman kekakuan dan kekuatan kayu dipengaruhi oleh kerapatan kayu dan cacat-cacat yang ada pada kayu. Dapat dikatakan bahwa sebatang kayu hampir sama dengan sidik jari manusia yang tidak sama antara satu dengan lainnya karena tidak ada satu batang kayu yang memiliki kerapatan maupun cacat-cacat yang persis sama dengan yang lain apalagi kombinasi keduanya. Dengan demikian dapat dimengerti mengapa deviasi standard hasil pengujian kayu-kayu tersebut relatif besar bila dibandingkan dengan nilai rata-ratanya sebagaimana terlihat pada Tabel.1 Bila hanya memperhatikan nilai rata-rata kerapatan kayu-kayu cepat tumbuh seperti yang terlihat dalam Tabel.1 maka dalam klasifikasi PPKI-1961 kayu-kayu tersebut termasuk kayu kelas kuat II - IV.

Tabel 1. Hasil pengujian kekakuan dan kekuatan kayu-kayu cepat tumbuh

Jenis kayu	Kerapatan (g/cm ³)		MOE (x10 ³ MPa)		MOR (MPa)	
	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD	Rata-rata	SD
Acacia mangium	0,53	0,06	8,7	2,02	42.2	15.9
Sengon	0,39	0,05	8.7	1.4	32.7	8.1
Kayu karet	0,47	0,04	10.6	3.0	43.9	7.9
Kayu afrika	0.51	0.03	12.0	3.4	45.8	10.2
Agatis	0.52	0.04	12.0	2.3	44.6	12.3
Pinus merkusii	0.57	0.07	12.9	2.6	34.2	8.6

Keterangan : SD = deviasi standar

Berdasarkan hasil uji kebaikan ketepatan (*the goodness of fit*) untuk masing-masing sebaran pada kayu-kayu cepat tumbuh diketahui memiliki nilai ketepatan tinggi untuk sebarang

log-normal dan atau sebaran Weibull sebagaimana terlihat pada Tabel.2 dan Gambar 1 untuk MOE serta Gambar.2 untuk MOR. Pemilihan sebaran yang memiliki ketepatan tinggi penting dalam penurunan tegangan yang diijinkan terutama untuk nilai-nilai ekor bawah. Standard Amerika seperti yang tercantum dalam ASTM D 5457 menggunakan sebaran Weibull sebagai dasar penurunan tegangan ijin sedangkan Negara-negara Eropa melalui Euro-code cenderung untuk menggunakan sebaran log-normal.

Tabel 2. Nilai Keabikan Ketepatan (the goodnees of fit) untuk beberapa sebaran pada kayu-kayu cepat tumbuh

Jenis kayu	MOE (x 10 ³ MPa)			MOR (MPa)		
	Normal	Log-normal	Weibull	Normal	Log-normal	Weibull
- Acacia mangium	85	85	100	97	100	98
- Sengon	100	100	71	65	100	69
- Kayu karet	85	80	100	100	86	100
- Kayu afrika	65	100	56	95	100	86
- Pinus	100	91	87	91	100	73
- Agatis	94	83	100	100	82	90

Untuk setiap jenis kayu cepat tumbuh, nilai rata-rata untuk sebaran log-normal, parameter bentuk dan ukuran untuk sebaran Weibull serta nilai batas 5 percentilnya telah dihitung dan hasilnya disajikan pada Tabel.3 Meskipun nilai goodness of fit dari sebaran log-normal dan sebaran Weibull tidak dapat ditentukan secara khusus, namun Tabel.3 memperlihatkan bahwa nilai batas 5 percentile (R_{005}) untuk kedua sebaran tersebut tidak jauh berbeda sehingga dapat dikatakan bahwa analisis untuk tegangan ijin bagi kayu-kayu cepat tumbuh dapat saja mengikuti standard Amerika maupun standard Eropa.

Tabel 3. Parameter untuk sebaran parametris dan nilai batas 5 percentile-nya

Jenis kayu	MOE (x 10 ³ MPa)						MOR (MPa)					
	Log-normal dist.			Weibull dist.			Log-normal dist.			Weibull dist.		
	λ	ξ	R_{005}	η	α	R_{005}	λ	ξ	R_{005}	η	α	R_{005}
-Acacia mangium	2.15	0.28	5.1	9.8	4.2	4.9	3.683.46	0.36	19.6	47.2	3.1	16.3
-Sengon	2.16	0.16	6.5	9.4	6.8	6.6	3.77	0.24	19.5	36.0	4.2	17.9
-Kayu karet	2.32	0.27	6.2	11.6	4.3	6.0	3.80	0.18	30.9	47.1	6.4	31.2
-Kayu afrika	2.45	0.37	7.2	13.2	4.4	7.7	3.50	0.22	30.0	49.5	5.3	30.5
- Pinus	2.52	0.27	7.6	14.2	4.3	7.3	3.74	0.25	21.2	37.4	4,7	21.3
- Agatis	2.47	0.19	8.4	12.9	6.2	8.4		0.33	18.7	50.1	2.7	14.2

Penurunan nilai tegangan ijin berdasarkan ASD untuk kayu-kayu cepat tumbuh

Nilai tegangan ijin kayu-kayu cepat tumbuh diturunkan berdasarkan prosedur analisis parametris dan non-parametris. Penurunan nilai tegangan ijin berdasarkan analisis prosedur analisis non-parametris dapat dilakukan melalui nilai dugaan non-parametris (*non-parametric point estimate* / NPE) yang berdasarkan interpolasi data atau nilai batas toleransi (*non-parametric tolerance limit*/NTL) yang berdasarkan nilai statistik berurutan. Hasil analisis berdasarkan prosedur parametris dan non-parametris dapat dilihat pada tabel.4 Data pada tabel tersebut memperlihatkan bahwa untuk prosedur non-parametris, nilai NPE dapat dianggap sebagai nilai tegangan ijin untuk kekuatan lentur karena nilai beda relatif antara NPE dan NTL yang sangat kecil. Nilai tegangan ijin untuk kayu-kayu cepat tumbuh dapat pula menggunakan prosedur parametris melalui nilai dugaan parametris (*parametric point estimate*/PPE) yang pada tabel 4 terlihat tidak jauh berbeda dengan nilai NPE maupun NTL.

Tabel 4. Nilai tegangan ijin kayu-kayu cepat tumbuh berdasarkan prosedur parametris dan non-parametris

Jenis kayu	Parametris (sebaran)		Non-parametris		
	5%PE Weibull	5%PE Log-Normal	5%PE	5%TL	δ
-Acacia mangium	7.76	9.33	8.57	7.86	0.083
-Sengon	8.52	9.29	8.43	8.19	0.030
-Kayu karet	14.86	14.71	15.26	15.10	0.010
-Kayu afrika	14.52	14.29	14.86	14.43	0.028
-Pinus	10.14	10.10	10.38	10.14	0.022
-Agatis	6.76	8.90	7.04	6.62	0.061

Keterangan: PE, nilai dugaan; TL, batas toleran; δ , beda relatif antara NPE dan NTL yaitu (NPE-NTL)/NPE.

Penurunan nilai kuat acuan berdasarkan konsepsi LOAD and Resistance Factor Design (LRFD)

Di dunia internasional konsepsi disain berdasarkan nilai tegangan ijin (ASD) mulai digantikan dengan konsepsi disain berdasarkan faktor beban dan tahanan (LRFD) dengan maksud untuk lebih memnfaatkan bahan struktur secara lebih efisien. Terdapat dua cara untuk menurunkan nilai kuat acuan yaitu melalui normalisasi kesahihan (*reliability normalization*) yang diturunkan berdasarkan koefisien variasi dan pembebanan dengan asumsi populasi kayu dalam sebaran Weibull atau melalui format konversi berdasarkan nilai tegangan ijin¹⁰). Dasar format konversi menggunakan rumus sebagai berikut:

1. ASD : $K_d \cdot F_x \geq D + L$
2. LRFD : $\lambda \phi R_n \geq 1.2 D + 1.6 L$

Dimana :

- K_d , faktor lama pembebanan (ASD)
- F_x , Tegangan ijin (ASD)
- D, efek beban mati
- L, efek beban hidup
- λ , faktor efek waktu
- ϕ , faktor tahanan
- R_n , kekuatan acuan

Dengan nilai $K_d = 1.15$, $\lambda = 0.80$ and $L/D = 3$

Faktor format konversi (K_f) dihitung sebagai : $2.16/\phi$.

Faktor LFRD yang telah ditentukan (ϕ_s) untuk lentur adalah 0.85^{10} .

Nilai kuat acuan berdasarkan *reliability normalization factor* dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$R_n = R_p \times \Omega \times K_R$$

dengan:

K_R faktor reliability normalization merupakan fungsi dari koefisien variasi (CV_w) yang besarnya = $\alpha^{-0.92}$

α , parameter bentuk dari sebaran Weibull

$$R_p = \eta [-\ln(1-p)]^{1/\alpha}$$

R_p percentile pendugaan sebaran

η parameter ukuran untuk sebaran Weibull

P percentile

Ω faktor tingkat kepercayaan

Berdasarkan format konversi dan *reliability normalization* telah dilakukan perhitungan kuat acuan yang datanya disajikan pada tabel 5. Hasil analisis menggunakan format konversi terlihat lebih tinggi daripada *reliability normalization*, hal tersebut diduga disebabkan karena koefisien variasi kekuatan kayu cepat tumbuh relatif tinggi sehingga nilai kuat acuannya rendah. Salah satu dampak dari aplikasi konsepsi LFRD adalah harus dilakukannya pengendalian kualitas produk agar variasinya tidak terlalu besar.

Tabel 5. Kuat acuan(MPa) kayu-kayu cepat tumbuh berdasarkan format konversi dan reliability normalization

Jenis kayu	Format konversi				Reliability normalization
	Parametris		Non-parametris		
	5%PE Weibull	5%PE Log-Normal	5%PE	5%TL	
-Acacia mangium	19.71	23.70	21.77	19.96	16.60
-Sengon	21.64	23.60	21.41	20.80	17.19
-Kayu karet	37.74	37.36	38.76	38.35	33.51
-kayu afrika	36.88	36.30	37.74	36.65	29.99
-Pinus merkusii	25.76	25.65	26.37	25.76	22.18
-Agathis lorantifolia	17.17	22.61	17.80	16.81	14.27

Aplikasi Pemilahan Kayu untuk kayu-kayu cepat tumbuh

Di lapangan, pemilahan kayu yang merupakan tindakan pengelompokan kekuatan kayu berdasarkan pendugaan kekuatannya masih dilakukan berdasarkan jenis kayu yang nilai kekuatannya diuji berdasarkan pengujian contoh kecil bebas cacat. PPKI-1961 menyebutkan bahwa dalam menurunkan tegangan ijin kayu nilai-nilai kekuatan kayu bebas cacat harus dikalikan dengan nilai rasio kekuatan (*strength ratio*) berdasarkan mutu penampakan kayu. Dalam praktek, penilaian visual kayu jarang sekali dilakukandan hanya dilakukan pendugaan berdasarkan jenis kayunya saja. Salah satu fenomena menarik dari bahayanya penggunaan nama jenis ini adalah penggunaan nama kayu borneo yang terdiri atas puluhan jenis kayu dalam dokumen kontrak. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa yang dinamakan kayu borneo dengan klasifikasi kelas kekuatan II ternyata berbeda-beda, semakin ke hilir yaitu di proyek-proyek pembangunan keterdapatan kayu-kayu yang tidak dapat diterima sebagai kayu bangunan semakin banyak. Hal ini tentu membahayakan penghuni bangunan yang menggunakan kayu tersebut.

Sementara itu, penerapan nilai tegangan ijin atau kuat acuan seperti yang diuraikan terdahulu akan memboroskan pengguna bahan baku alam karena nilai yang digunakan adalah nilai 5 percentile yang artinya pendugaan sangat aman namun sebgaiian besar populasi tidak termanfaatkan secara masinal mutlak untuk dilaksanakan agar keamanan struktur terjamin dan bahan alam yang semakin langka ini dapat dimanfaatkan secara`efisien.

Pemilahan kayu secara masinal pada umumnya menggunakan MOE sebagai penduga karena MOE dapat diukur tanpa merusak kayu dan memiliki nilai koefisien korelasi dengan MOR yang lebih tinggi dibandingkan parameter lain seperti kerapatan saja atau kombinasi kerapatan dengan mata kayu. Bila koefisien korelasi antara kerapatan dan MOR hanya

berkisar 0,30 maka koefisien korelasi antara MOE dan MOR untuk Norway Spruce dari beberapa studi menunjukkan nilai antara 0,51 – 0,70¹⁵). Nilai koefisien determinasi (R^2) hubungan regresi linear untuk kayu-kayu cepat tumbuh dapat dilihat pada tabel 6. Nilai koefisien determinasi untuk kayu-kayu cepat tumbuh tersebut lebih tinggi daripada kayu-kayu jenis campuran seperti kelompok meranti dan borneo yang nilainya 0,64 dan 0,53. Hal tersebut disebabkan kayu-kayu cepat tumbuh berasal dari hutan tanaman yang mendapatkan pemeliharaan dan relatif seragam sedangkan kayu-kayu campuran dari hutan alam dengan kondisi yang bervariasi.

Di lapangan, seringkali dijumpai kesulitan-kesulitan untuk mengenali jenis kayu, oleh karena itu untuk mengetahui apakah jenis kayu memberikan pengaruh pada pendugaan MOR telah dilakukan pengujian model untuk kayu-kayu cepat tumbuh bersama dengan jenis kayu-kayu yang umum digunakan pada pembangunan gedung yaitu kelompok jenis meranti dan kelompok kayu yang dinamakan borneo serta kayu kapur. Hasil analisis covariance seperti terlihat pada Tabel 7 menunjukkan nilai F_{hitung} yang jauh di atas nilai signifikannya yang artinya hipotesis diterima bahwa ada jenis kayu memberikan pengaruh yang signifikan pada pendugaan MOR berdasarkan MOE. Hal tersebut diperkuat Gambar 3 dan Tabel.8 yang menunjukkan kayu pinus yang berada jauh di bawah kayu-kayu lainnya. Pendugaan MOR kayu pinus berdasarkan MOE yang rendah tersebut karena kayu pinus merupakan jenis kayu daun jarum yang memiliki mata kayu yang banyak jumlahnya dibanding kayu lainnya dari jenis daun lebar. Hasil analisis model dan anova pada Tabel 9 menunjukkan nilai F_{hitung} yang juga jauh di atas nilai signifikannya yang artinya bahwa hipotesis bahwa jenis kayu dan atau MOE memberikan pengaruh nyata terhadap MOR juga dapat diterima.

Penurunan Kelas Kekuatan Kayu

Salah satu hal yang sangat penting dalam aplikasi pemilahan kayu secara masinal adalah adanya pengkelasan kekuatan kayu. Dengan pertimbangan bahwa kayu pinus memberikan pengaruh yang berbeda terhadap pendugaan MOR berdasarkan MOE dan pendugaan MOR akan over estimated serta adanya fakta bahwa jenis kayu tersebut lebih banyak digunakan sebagai bahan baku kertas daripada untuk bangunan maka dalam penurunan kelas kekuatan, kayu pinus dan agatis yang termasuk jenis kayu daun jarum dikeluarkan dari analisis sehingga pengkelasan hanya untuk kayu-kayu daun lebar saja yang memang dominan di Indonesia. Bila jenis kayu tidak diketahui maka pengkelasan kekuatan

kayu dapat menggunakan Tabel 10 sedangkan bila jenis kayu diketahui dapat menggunakan Tabel 11.

Tabel 10. Kelas kekuatan kayu untuk ASD and LFRD berdasarkan pemilahan secara masinal tanpa diketahui jenis kayunya

Kelas	MOE lentur (x 10 ³ MPa)	Tegangan ijin lentur mutlak/MOR (MPa)	Kuat acuan lentur mutlak/MOR (MPa)
E 255	25.5	37.3	94.8
E 240	24.0	34.1	86.7
E 225	22.5	32.2	81.8
E 210	21.0	30.0	76.2
E 195	19.5	27.4	69.6
E 180	18.0	25.2	64.1
E 165	16.5	22.8	57.9
E 150	15.0	20.3	51.7
E 135	13.5	17.9	45.5
E 120	12.0	15.5	39.3
E 105	10.5	13.0	33.1
E 90	9.0	10.6	26.9
E 75	7.5	8.2	20.7
E60	6.0	5.7	14.5

Tabel 11. Kelas kekuatan kayu untuk ASD and LFRD berdasarkan pemilahan masinal untuk jenis-jenis kayu cepat tumbuh

Jenis kayu	Kelas	MOE lentur (x 10 ³ MPa)	Tegangan ijin lentur mutlak/MOR (MPa)	Kuat acuan lentur mutlak/MOR (MPa)
Acacia mangium	E 150	15.0	25.2	63.9
	E 135	13.5	22.7	57.7
	E 120	12.0	20.3	51.5
	E 115	10.5	17.8	45.4
	E 90	9.0	15.4	39.2
	E 75	7.5	13.0	33.0
	E 60	6.0	10.5	26.8
Sengon	E 150	15.0	22.2	56.3
	E 135	13.5	19.7	50.2
	E 120	12.0	17.3	43.9
	E 105	10.5	14.9	37.8
	E 90	9.0	12.4	31.6
Kayu karet	E 165	16.5	26.6	67.7
	E 150	15.0	24.2	61.5
	E135	13.5	21.8	55.3
	E120	12.0	19.3	49.1
	E105	10.5	16.9	43.0
	E 90	9.0	14.5	36.8
Kayu afrika	E 210	21.0	31.8	80.7
	E 195	19.5	29.3	74.5
	E 180	18.0	26.9	68.3
	E 165	16.5	24.5	62.2
	E 150	15.0	22.0	56.0
	E 135	13.5	19.6	49.8
	E 120	12.0	17.2	43.6
	E 105	10.5	14.7	37.4
Kapur	E 225	22.5	32.2	81.7
	E 210	21.0	29.7	75.5
	E 195	19.5	27.3	69.4
	E 180	18.0	24.9	63.2
	E 165	16.5	22.4	57.0
	E150	15.0	20.0	50.8
	E 135	13.5	17.5	44.6
	E120	12.0	15.2	38.4

Pengkelasan kekuatan kayu diatas memberikan rentang kelas yang lebih lebar dibandingkan dengan pengkelasan di Amerika⁴⁾ dan Jepang¹⁶⁾. Hal tersebut disebabkan kayu-kayu tropis terutama yang berasal dari hutan alam memiliki kekuatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kayu-kayu sub-tropis. Bila jenis kayu diketahui, sebaiknya pengkelasan menggunakan Tabel 11 karena lebih efisien. Nilai-nilai pendugaan kekuatan pada Tabel 10 lebih rendah dengan pertimbangan keamanan karena jenis kayu tidak diketahui.

Data pada Tabel 11 menunjukkan bahwa kayu-kayu dari jenis cepat tumbuh dapat dimanfaatkan untuk struktur bangunan. Sebagai perbandingan, PPKI – 1961 menentukan bahwa kayu kelas kuat I memiliki tegangan ijin 150 kg/cm^2 atau lebih kurang 15 Mpa dan kelas kuat III memiliki tegangan ijin 100 kg/cm^2 atau 10 Mpa. Menerapkan pemilahan kayu secara masinal berarti menggunakan kayu sesuai dengan sifat-sifat yang dimiliki. Berdasarkan data pada Tabel 11 dapat dikatakan bahwa kayu-kayu cepat tumbuh tersebut memiliki kekakuan dan kekuatan yang hampir sama dengan jenis-jenis yang umum digunakan di Negara-negara sub-tropis seperti cypress, pines dan lain-lain yang umumnya lebih kurang 40 tahun .

Kesimpulan

Kayu-kayu cepat tumbuh dapat dimanfaatkan untuk struktur bangunan. Nilai Karakteristik kekuatan kayu-kayu cepat tumbuh dapat diturunkan berdasarkan prosedur parametris dengan sebaran log-normal atau sebaran Weibull maupun dengan prosedur non-parametris. Penggunaan nilai karakteristik berdasarkan prosedur-prosedur tersebut cukup aman, namun akan banyak memboroskan pengguna sumberdaya alam karena sebagian besar kayu tidak termanfaatkan sesuai sifat-sifat yang dimilikinya.

Untuk lebih mengefisiensikan pemanfaatan sumberdaya alam, maka dalam pemanfaatan kayu sebaiknya diterapkan pemilahan kayu secara masinal, kayu dapat diduga kekuatannya dengan menggunakan kelas kekuatan sesuai dengan jenisnya yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksa Z, Firmanti A (1995) *Building Materials for Low-cost Houses, Proceeding of the International Advance Course on Integrated Technology for Housing Strategies*, Research Institute for Human Settlements, Bandung-Indonesia.
- Subiyanto B, Firmanti A, Permadi P (2003) *Acacia mangium the Prospective Wood in Indonesia: a Challenge for a New Resource, Proceeding for the Symposium on the Total Utilization of Acacia mangium*, Wood Research Institute, Kyoto-Japan.

- Djojosebroto, J. 2003. *Acacia Mangium for Wood Construction. Proceeding of Available Wood Construction.*
- Kretschmann DE, Green DW (1999) *Lumber Stress Grades and Design Properties, Wood Handbook: Wood as an Engineering Materials*, chapter 6, pp 6-1 – 6-14.
- Keating W (1985) *Structural Timber Grading, Timber Engineering for Developing Countries Part 2*, UNIDO
- Departemen Kehutanan (1987) SKI C-bo-010 *Spesifikasi Kayu Bangunan untuk Perumahan Jakarta.*
- ASTM Standard D 1998-1999 (2000) *Standard Test Methods of Static of Lumber in Structural Sizes, Vol. 04.10.* Wood, Philadelphia.
- ASTM Standard D 2915-1997 (2000); *Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Timber. Vol. 04.10* Wood, Philadelphia.
- Horie K (1997) *The Statistical and Probability Method for Timber Strength Data*, Timber Engineering Institute Co Ltd, Sunagawa-Hokaido, Japan.
- ASTM Standard D-5457. 1997; *Standard Specification for Computing Reference Resistance of Wood Based Materials and Structural Connections for Load and Resistance Factor Design. Vol.04:10*, Wood, Philadelphia.
- European Committe for Standardization. 1995. EN 384: *Structural Timber – Determination of Characteristic Value of Mechanical Properties and Density.* Brussel, Belgium, 13p.
- Lembaga Penyelidikan masalah Bangunan (1973) *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia, NI-5, PPKI-1961*, Bandung, Indonesia.
- Firmanti A (1997) *Sistem Pemilahan Kayu Bangunan, Proceeding Seminar Sehari PPKI-2000*, Puslitbang Permukiman, Bandung.
- Firmanti A (1996) *Basic Concept of Timber Grading in Indonesia*, Jurnal Masalah Bangunan Vol.36, RIHS, Bandung.
- Johanson CJ (2002) *Grading of Timber with Respect to Mechanical Properties*, Timber Engineering, chapter 3, p 23-43, Wiley.
- Japan Institute of Architecture (2002) *Standard for Structural Design of Timber Structures*, p 335-337.
- Firmanti A, Nandika D, Lilies K (1998) *Keterawatan Kayu Agatis Alba, Acacia Mangium dan Albazia*, Paper untuk diskusi Intern Puslitbang Pemukiman. Tidak Terbit.