

**Pendugaan Kekakuan Mangium (*Acacia mangium* Willd) Umur 17
Tahun Melalui Uji Non-Destruktif
(*Stiffness Prediction of 17 Years Aged Mangium (Acacia mangium Willd)
By Non-Destructive Testing*)**

Dwi J Priyono^{1, 2)}, Surjono Surjokusumo³⁾, Yusuf S Hadi³⁾, Naresworo Nugroho³⁾

¹⁾ Mahasiswa Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

²⁾ Program Studi Teknologi Hasil Hutan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

³⁾ Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

Corresponding author: jokopoltanesa@yahoo.com (Dwi J Priyono)

Abstract

Non-destructive test of mechanical properties of wood is an alternative method which is done without damaging the wood. The study tried to find the relationship between wood stiffness through non-destructive with MoE estimation. The 17 years mangium wood beam were tested both in the sorts of sample beam and small clear specimen. Beams were tested by ultrasonic wave propagation using Sylvatest- Duo NDT equipment and Panter Timber Sorting Machine, while destructive testing using Shimadzu UTM. The small clear specimen tested using Sylvatest-Duo equipment, while its destructive using Instron UTM. Destructive test were according to ASTM D 143-94 (2008) for the small clear specimen (scs), while ASTM D 198-05a (2008) applied for the beam samples. The results showed that the scs sample with 14.7% moisture content and density of 0.61 gr cm^{-3} have ultrasonic wave propagation velocity (V) of $5,764 \text{ m s}^{-1}$, the dynamic modulus of elasticity (MoE_d) and static (MoE_s) each for 243,933 and $104,004 \text{ kg cm}^{-2}$, while the value of static flexural strength (MoR_s) was 889 kg cm^{-2} . For the beam sorts with 15.4% moisture content and density of 0.58 g cm^{-3} has a velocity of ultrasonic waves propagation at $4,944 \text{ m s}^{-1}$, the value of MoE_d and MoE_s respectively 167,357 and $51,780 \text{ kg cm}^{-2}$, while the value of MoR_s was 449 kg cm^{-2} . The beam MoR_s and MoE_s values which resulted by Panter (called MoE_p and MoR_p) were 146,756 and 538 kg cm^{-2} respectively. Through simple linear regression equations were discovered relationships on eight prediction equations that can be considered good to use.

Key words: beams, MoE-dynamic, MoE-static, non-destructive testing, prediction equation, small clear specimen.

Pendahuluan

Pengujian sifat mekanis kayu akan sulit dilaksanakan bila ditemui kendala keterbatasan alat atau kondisi yang tidak memungkinkan karena jarak atau kapasitas. Cara pengujian yang lebih praktis terus dikembangkan sehingga mempermudah pekerjaan tanpa mengurangi kesahihan data yang diperoleh.

Non Destructive Measurement atau *Non Destructive Testing* (NDT) adalah suatu metoda pengujian sifat mekanik kayu yang tidak merusak fungsi struktur bahan sehingga tidak mengubah kapasitas tujuan aplikasi akhir bahan tersebut. Bodig dan Jayne (2003) memberikan hipotesis dasar tentang evaluasi non destruktif kayu, yakni bahwa sifat energi yang disimpan dan dikeluarkan suatu kayu dapat diukur dan diatur oleh suatu mekanisme yang sama

dalam menjelaskan perilaku statis suatu bahan. Pada tingkat mikroskopik, sifat energi yang disimpan sifat energi yang disimpan diatur oleh orientasi sel dan komposisi struktural, dimana faktor tersebut berkontribusi terhadap elastisitas statis suatu bahan. Sifat tersebut dapat diteliti melalui osilasi frekuensi pada getaran atau transmisi kecepatan suara (Oliveira *et al.* 2002a).

Berdasarkan zat antara yang digunakan, gelombang terbagi atas gelombang elektromagnetik dan gelombang mekanis. Gelombang elektromagnetik tidak memerlukan medium atau zat antara dalam perambatannya sedangkan gelombang mekanis adalah sebaliknya. Gelombang ultrasonik merupakan gelombang bunyi yang termasuk dalam gelombang mekanis dan gelombang tersebut dapat digunakan untuk pengujian non destruktif. Gelombang bunyi memerlukan medium zat padat, cair ataupun gas. Frekuensi gelombang bunyi yang dapat diterima manusia (*audible range*) berkisar antara 20 Hz sampai dengan 20 kHz. Gelombang bunyi di bawah kisaran disebut infrasonik atau infra-bunyi, sedangkan di atas kisaran disebut dengan ultrasonik (Young 2003).

Kayu mangium (*Acacia mangium* Willd) adalah jenis kayu HTI yang telah banyak diteliti dan diharapkan mampu mengisi kekurangan pasokan kayu hutan alam. Pada umumnya mangium yang diteliti sebatas umur panen untuk bahan kayu serat, bahan baku serpih, bahan baku meubel dan pertukangan yakni antara 8-10 tahun. Dari tinjauan kayu sebagai bahan bangunan, mangium termasuk dalam kelas mutu E11 (RSNI 2002) kelas kuat II-III dan kelas awet III, sekelas dengan meranti, mersawa, atau mahoni (PKKI 1961). Kelebihan yang dimiliki mangium adalah warna dekoratif yang menonjol sehingga digunakan sebagai substitusi jati, sedang

kekurangannya adalah sering terdapat mata kayu. Informasi yang lebih lengkap mengenai mangium sebagai bahan bangunan terus dikembangkan sehingga kayu andalan HTI ini akan mendapat tempat bagi penggunaannya.

Sifat kekakuan kayu (*stiffness*) merupakan ukuran kemampuan kayu untuk menahan perubahan bentuk atau lenturan yang terjadi di bawah batas proporsi disebut dengan modulus elastisitas lentur (*modulus of elasticity, MoE*), dan bila pembebanan diteruskan sampai maksimum akan mencirikan kerusakan kayu dan ukuran kemampuannya disebut dengan keteguhan lentur (*bending strength, modulus of rupture, MoR*).

Penelitian ini bertujuan untuk mencari solusi keterbatasan pengujian mekanis kayu melalui pendugaan hubungan antara sifat mekanis kayu hasil pengujian kekakuan dinamis melalui NDT terhadap hasil pengujian hasil pengujian kekakuan kayu melalui metoda statis. Ukuran kayu dalam penelitian ini meliputi sortimen contoh kecil bebas cacat (ckbc) dan balok, dan diterapkan pada mangium tua yang telah berumur 17 tahun. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan sumbangan informasi bagi para pihak yang memerlukan.

Bahan dan Metode

Bahan penelitian berupa kayu mangium yang diperoleh melalui penebangan di areal HTI PT International Timber Corporation Indonesia (ITCI)-Hutani Manunggal di Kalimantan Timur, dari tegakan berumur 17 tahun. Setelah ditebang, pohon diolah menjadi balok berbagai ukuran sesuai kebutuhan penelitian. Dalam penelitian ini disiapkan 33 potong ckbc ukuran (25 x 25 x 400) mm³ dan 33 potong balok berukuran (6 x 12 x 300) cm³.

Terhadap contoh uji ckbc dilakukan pengujian kekakuan dinamis (MoE_d) dengan metoda NDT yang menggunakan alat ultrasonik Sylvatest-Duo ($f = 22$ kHz), dengan cara menancapkan ujung kedua transduser (berfungsi sebagai *transmitter* dan *receiver*) di kedua ujung contoh uji sedemikian rupa sampai kecepatan gelombang dapat terbaca pada panel alat (dalam mikrodetik). Pada sortimen ckbc pengukuran diulang 3 kali pada titik yang sama, sedangkan pada sortimen balok pengukuran dilakukan masing-masing 3 kali pada 3 titik ujung, dan data yang digunakan adalah rata-rata dari ulangan tersebut. Setelah itu diuji keteguhan lentur

(MoR_s) dan modulus elastisitas lentur statis (MoE_s) dengan UTM Instron.

Perlakuan yang sama diterapkan untuk sortimen balok, pengujian MoE_s dan MoR_s menggunakan mesin pemilah kayu Panter dan *Universal Testing Machine* (UTM) Shimadzu (kapasitas 150 ton). Setelah pengujian kekakuan dilaksanakan kemudian dilakukan pengujian kadar air dan kerapatan dengan memotongnya menjadi ukuran kecil (25 x 25 x 25) mm, dan dihitung nilai kekuatan karakteristik dengan menggunakan persamaan seperti tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1 Persamaan yang digunakan

No	Parameter	Persamaan ($kg\ cm^{-2}$)	Sumber
1.	MoE_d (NDT, Sylvatest-Duo)	$MoE_d = (\rho\ g^{-1}) * V_{us}^2$	Christoffel dalam Karlinasari (2005)
2.	MoE_s (DT, Instron/Shimadzu)	$MoE_s = (\Delta P\ L^3) (4\ \Delta Y.b.h^3)^{-1}$	ASTM D-143 (2008) ASTM D-198-05a(2008)
3.	MoR_s (DT, Instron/Shimadzu)	$MoR_s = (3P_{max}L) (2bh^2)^{-1}$	ASTM D-143 (2008) ASTM D-198-05a(2008)
4.	MoE_p (Panter)	$MoE_p = (\Delta P\ L^3) (4\ \Delta Y.b.h^3)^{-1} * FK$	Surjokusumo (2003)
5.	MoR_p (Panter)	$MoR_p = 9,43 + 0,0036\ MoE_p$	Surjokusumo (2003)
6.	Kadar air	$MC = (W_n - W_o) W_o^{-1} * 100$	ASTM D-143 (2008)
7.	Kerapatan	$\rho = W_o V_n^{-1}$	ASTM D-143 (2008)

Catatan: MoE_d : modulus elastisitas dinamis ($kg\ cm^{-2}$), ρ : kerapatan ($g\ cm^{-2}$), g : konstanta gravitasi ($9,81\ m\ s^{-2}$), V_{us} : kecepatan gelombang ultrasonik ($m\ s^{-1}$), MoE_s : modulus elastisitas lentur statis ($kg\ cm^{-2}$), ΔP : beban di bawah batas proporsi (kg), L : panjang bentang (cm), ΔY : defleksi yang terjadi pada ΔP , b : lebar contoh uji (cm), h : tinggi (tebal) contoh uji (cm), MoR_s : keteguhan lentur statis ($kg\ cm^{-2}$), P_{max} : beban maksimum (kg), MoE_p : modulus elastisitas Panter ($kg\ cm^{-2}$), FK : faktor koreksi alat Panter, MC : kadar air (%), W_n : berat kering udara, W_o : berat kering tanur, V_n : volume kering udara.

Hasil dan Pembahasan

Nilai hasil pengujian kadar air, kerapatan, kecepatan gelombang ultrasonik, modulus elastisitas dinamis dan statis serta keteguhan lentur seperti tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2 memberikan gambaran nilai MoE_d lebih tinggi 134% dibandingkan MoE_s pada sortimen ckbc, sementara pada sortimen balok MoE_d lebih tinggi masing-masing sebesar 14% dan 223% bila dibanding pengujian statis dengan alat Panter dan Shimadzu.

Tabel 2 Kadai air, kerapatan, MoE dan MoR sortimen ckbc dan balok

A. Sortimen ckbc

	KA%	Kerapatan g cm ⁻³	V (m s ⁻¹)	MoE _d -SD kg cm ⁻²	MoE _s -Ins kg cm ⁻²	MoR _s -Ins kg cm ⁻²
Kode	-	-	(A)	(B)	(C)	(D)
Rataan	14,71	0,61	5.764	243.933	104.004	889
CV %	2,47	11,92	4,21	10,06	10,15	14,2

B. Sortimen balok

	KA%	Kerapatan g cm ⁻³	V(m s ⁻¹)	MoE _d -SD kg cm ⁻²	MoE _s -Shim kg cm ⁻²	MoR _s -Shim kg cm ⁻²	MoE _s -P kg cm ⁻²	MoR _s -P kg cm ⁻²
Kode	-	-	(P)	(Q)	(R)	(S)	(T)	(U)
Rataan	15,36	0,58	4.944	167.357	51.780	449	146.756	538
CV %	5,41	13,39	6,38	7,32	9,76	17,48	6,95	6,83

Catatan: KA: kadar air, V: kecepatan gelombang ultrasonik, MoE_d-SD: modulus elastisitas dinamis dengan NDT Sylvatest Duo[®], MoE_s-Ins: modulus elastisitas lentur statis dengan UTM Instron[®], MoR Ins: keteguhan lentur dengan UTM Instron[®], MoE_s-Shim: modulus elastisitas lentur statis dengan UTM Shimadzu[®], MoE_s-P: modulus elastisitas lentur statis dengan alat pemilah kayu Panter.

Untuk jenis kayu dan sortimen ckbc yang sama namun berumur lebih muda, Karlinasari (2005) memperoleh perbedaan sebesar 50% sementara Pradipto (2005) sebesar 113%. Penyebab perbedaan antara nilai pengujian statis dan dinamis telah diketahui oleh Bodig dan Jayne (2003) yang melihat adanya tingkat pembebanan yang berpengaruh pada efek penjalaran defleksi statis yang diukur, serta berhubungan pula dengan viskoelastik alami bahan yang bersangkutan. Sementara itu Oliveira *et al.* (2002b) menyatakan bahwa pada pengujian dinamis gaya elastis akibat gelombang akan disesuaikan secara proporsional dengan kecepatan. Pada pengujian statis, gaya sesaat akan menimbulkan perilaku elastis yang beku sementara penambahan waktu pembebanan (yang biasa dilakukan pada pengujian statis) akan menimbulkan perilaku yang cair akibat efek peredaman.

Faktor kerapatan kayu berbanding lurus dengan kecepatan ultrasonik, sementara kadar air berbanding terbalik. Demikian pula kecepatan ultrasonik akan menurun karena pengaruh cacat kayu seperti miring serat, mata kayu atau kayu yang

lapuk. Inilah yang menyebabkan nilai pengujian dinamis ckbc pada Tabel 2 di atas lebih tinggi dibanding nilai pengujian dinamis balok. Disamping karena nilai kerapatan dan kadar air, faktor kondisi contoh uji ckbc yang relatif bebas cacat tentu akan menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan balok mangium memang bercirikan memiliki mata kayu dan yang karenanya arah orientasi serat menjadi tidak lurus.

Diebold *et al.* (2002) menyatakan bahwa gelombang bunyi cenderung menyebar pada bagian cacat berdasar ketahanan yang berbeda terhadap gelombang bunyi pada daerah yang bersinggungan, dan gelombang bunyi terserap dapat diubah menjadi energi bunyi. Penyebaran dan transformasi gelombang bunyi dapat menyebabkan perlemahan gelombang bunyi. Meski demikian, kondisi mangium yang berumur tua menyebabkan komponen penyusun menjadi lebih padat sehingga transformasi gelombang tetap tinggi, sementara karena pengaruh umur kayu maka ketahanan serat menjadi melemah (rapuh) sehingga hasil pengujian dinamis baik pada sortimen

balok maupun ckbc lebih rendah dibandingkan nilai hasil pengujian statis.

Hubungan regresi antar jenis pengujian baik dalam kelompok sortimen contoh kecil bebas cacat, sortimen balok, ataupun hubungan nilai sortimen contoh kecil bebas cacat terhadap sortimen balok disajikan dalam Tabel 3-5.

Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa pengujian dinamis mampu menjadi prediktor nilai modulus elastisitas statis. Hal ini tampak pada persamaan B-C dan B-D yang memiliki koefisien korelasi yang cukup tinggi, yakni 0,76 dan 0,75 dengan model signifikansi ($\alpha = 5\%$) sangat signifikan. Model persamaan

sebagaimana di atas dapat digunakan untuk menduga kekakuan mangium sortimen kecil melalui pengujian dinamis tanpa merusak (NDT). Penelitian sejenis pernah dilakukan Karlinasari *et al.* (2005) terhadap mangium berumur 8 tahun. Hasil yang diperoleh adalah pengujian MoE_d mampu berkorelasi dengan pengujian statis dengan r sebesar 0,45 terhadap MoE_s dan 0,67 terhadap MoR_s . Dengan demikian penelitian terhadap mangium umur tua mampu menghasilkan koefisien korelasi yang lebih erat, atau menunjukkan kenaikan hubungan sebesar 69% bagi nilai MoE dan 12% bagi nilai MoR dibandingkan mangium muda.

Tabel 3 Persamaan hubungan regresi sederhana pada sortimen ckbc

Sortimen Hubungan	Kode dan sifat yang diregresikan	Model persamaan	r	R ² (%)	Model signifikansi
ckbc ke ckbc	A-B V dan MoE_d	$MoE_d = 166519 + 13,38V$	0,1487	2,21	0,409 ^{ns}
	A-C V dan MoE_s	$MoE_s = 98071 + 1,0255V$	0,0265	0,07	0,884 ^{ns}
	B-C MoE_d and MoE_s	$MoE_s = 24195 + 0,3272MoE_d$	0,7607	57,87	0,000**
	B-D MoE_d and MoR_s	$MoR_s = -54,984 + 0,0039MoE_d$	0,7527	56,65	0,000**
	C-D MoE_s and MoR_s	$MoR_s = -180,07 + 0,0103MoE_s$	0,8598	73,93	0,000**

Catatan: r = koefisien korelasi, R^2 = koef. determinasi, ns = non signifikan, * = signifikan, ** = sangat signifikan ($\alpha = 5\%$)

Tabel 4 Persamaan hubungan regresi sederhana pada sortimen balok

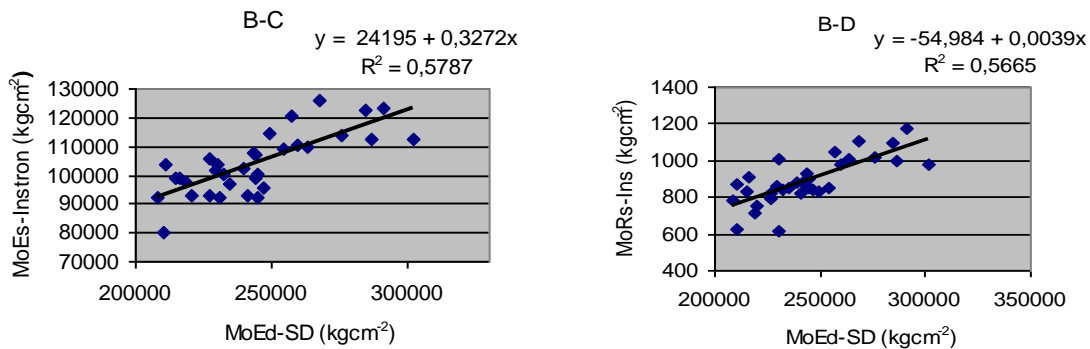
Sortimen Hubungan	Kode dan Sifat yang diregresikan	Model Persamaan	R	R ² (%)	Model signifikansi
balok ke balok	P-Q V dan MoE_d	$MoE_d = 57467 + 22,226V$	0,57	32,71	0,001**
	P-R V dan MoE_s	$MoE_s = 18504 + 6,7304V$	0,42	17,65	0,015*
	P-T V and MoE_p	$MoE_p = 44640 + 20,654V$	0,64	40,76	0,000**
	Q-R MoE_d and MoE_s	$MoE_s = 54699 - 0,0174 MoE_d$	0,04	00,18	0,815 ^{ns}
	Q-S MoE_d and MoR_s	$MoR_s = 313,61 + 0,0008 MoE_d$	0,13	01,59	0,485 ^{ns}
	Q-T MoE_d and MoE_p	$MoE_p = 67081 + 0,4761 MoE_d$	0,57	32,71	0,001**
	Q-U MoE_d and MoR_p	$MoR_p = 250,92 + 0,0017 MoE_d$	0,57	32,71	0,001**
	R-S MoE_s and MoR_s	$MoR_s = 485,82 - 0,0007 MoE_s$	0,05	00,21	0,798 ^{ns}
	T-R MoE_p and MoE_s	$MoE_s = 25559 + 0,1787 MoE_p$	0,36	13,02	0,039*
	T-S MoE_p and MoR_s	$MoR_s = 223,41 + 0,0015 MoE_p$	0,20	03,99	0,265 ^{ns}

Catatan: r = koefisien korelasi, R^2 = koef. determinasi, ns = non signifikan, * = signifikan, ** = sangat signifikan ($\alpha = 5\%$).

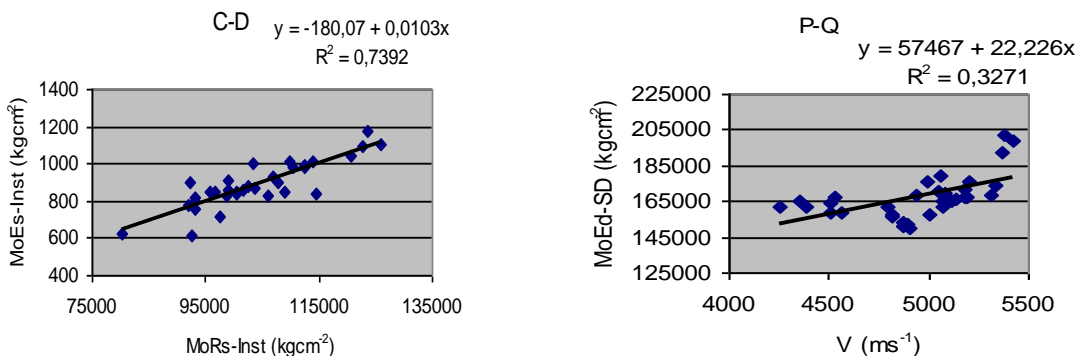
Tabel 4 menunjukkan persamaan regresi linear yang terjadi pada pengujian sortimen balok yang dihubungkan antara kecepatan gelombang ultrasonik (P), kekakuan dinamis (Q), kekakuan dan keteguhan lentur statis dengan UTM Shimadzu (R dan S) dan kekakuan serta keteguhan lentur statis dengan mesin pemilah kayu Panter (T dan U).

Jika batas nilai koefisien korelasi = 0,4 dianggap baik sesuai pendapat beberapa peneliti yang dikutip Karlinasari (2005) yang menemukan korelasi antara 0,4-0,85, maka sesuai Tabel 4 terdapat lima persamaan yang memberikan hubungan yang baik untuk digunakan sebagai dasar perhitungan pendugaan. Tiga diantaranya

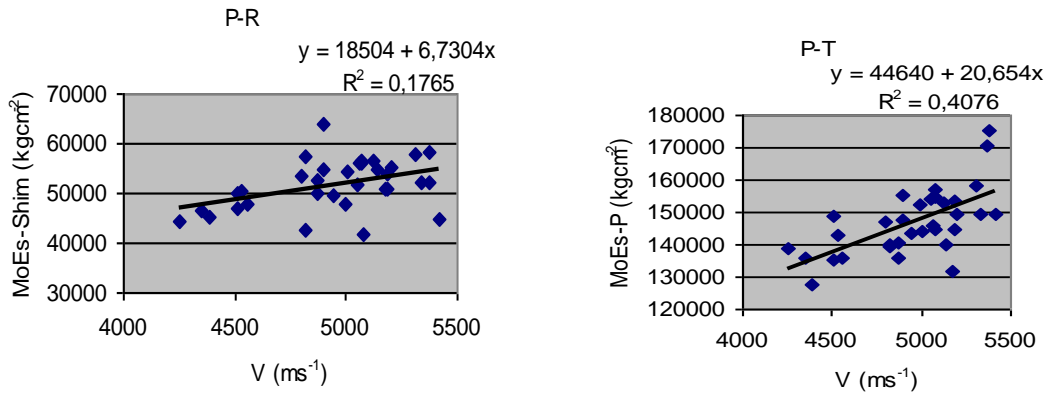
adalah kecepatan gelombang ultrasonik sebagai prediktor untuk menentukan kekakuan baik secara dinamis (MoE_d) maupun kekakuan secara statis (MoE_s dan MoE_p), dengan koefisien korelasi sebesar 0,57; 0,42 dan 0,64. Regresi linear yang lain yang dapat digunakan adalah pada prediktor kekakuan dinamis bagi pendugaan kekakuan dan keteguhan lentur Panter (dengan koefisien korelasi = 0,57 dan koefisien regresi sangat signifikan). Gambaran regresi hubungan antara prediktor dengan respon yang menunjukkan korelasi yang baik tersebut dapat dilihat pada Gambar 1-4 di bawah ini.



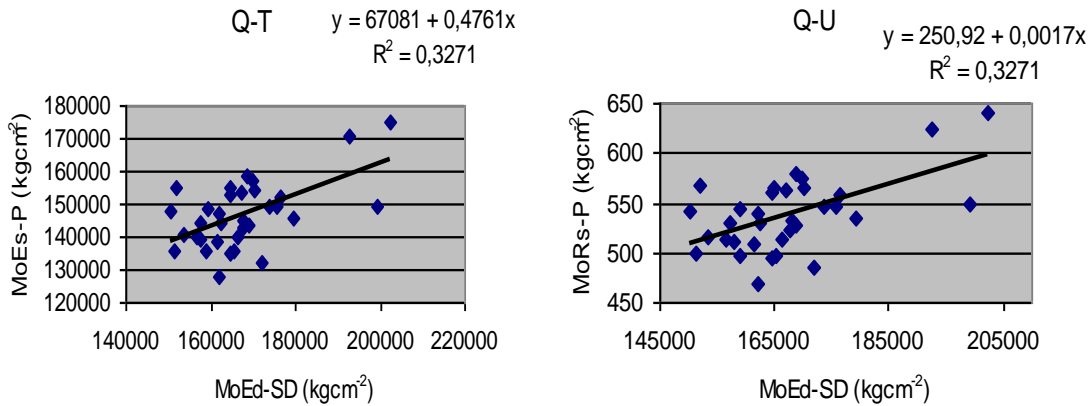
Gambar 1 Hubungan MoE_d dengan MoE_s (kiri) dan MoE_d dengan MoR_s (kanan).



Gambar 2 Hubungan MoE_s dengan MoR_s (kiri) dan V dengan MoE_d (kanan).



Gambar 3 Hubungan V dengan MoE_s (kiri) dan V dengan MoE_p (kanan).



Gambar 4 Hubungan MoE_d dengan MoR_s (kiri) dan MoE_d dengan MoR_p (kanan).

Dengan demikian kecepatan gelombang pada pengujian NDT baik untuk digunakan sebagai penduga kekakuan baik secara dinamis maupun statis (UTM Shimadzu dan mesin pemilah kayu Panter). Nilai kekakuan hasil pengujian NDT juga baik untuk dipergunakan sebagai penduga nilai kekakuan Panter, namun nilai kekakuan dinamis ini kurang baik bila ingin dipakai sebagai penduga nilai kekakuan statis dengan UTM Shimadzu.

Pada saat pengujian balok dengan menggunakan UTM Shimadzu, durasi pembebanan sampai patah memerlukan waktu yang cukup lama, meski kenaikan besarnya beban yang diemban lambat. Hal ini dapat diartikan mangium yang diteliti mempunyai keuletan yang tinggi, meski nilai keteguhan patahnya rendah. Hal ini didukung pada data keteguhan tarik ckbc yang sangat tinggi (Priyono *et al.* 2010) sehingga serat kayu cenderung tidak mudah rusak oleh beban.

Tabel 5 Persamaan hubungan regresi sederhana pendugaan ckbc ke balok

Sortimen Hubungan	Kode dan Sifat yang diregresikan	Model Persamaan	r	R ² (%)	Sign of model
ckbc ke balok	A-Q V dan MoE _d	yMoE _d = 185346 - 3,1094V	0,07	0,48	0,70 ^{ns}
	A-R V dan MoE _s	MoE _s = 56180 - 0,7606V	0,04	0,17	0,82 ^{ns}
	A-T V dan MoE _p	MoE _{dp} = 175096 - 4,8986V	0,13	1,72	0,46 ^{ns}
	B-R MoE _d dan MoE _s	MoE _s = 56678 - 0,0201 MoE _d	0,10	0,95	0,58 ^{ns}
	B-T MoE _d dan MoE _p	MoE _p = 140924 + 0,0239 MoE _d	0,06	0,33	0,75 ^{ns}
	B-S MoE _d dan MoR _s	MoR _s = 621,79 - 0,0007 MoE _d	0,22	4,94	0,21 ^{ns}
	B-U MoE _d dan MoR _p	MoR _p = 516,76 + 9E-05 MoE _d	0,06	0,33	0,75 ^{ns}
	C-S MoE _s dan MoR _s	MoR _s = 542,49 - 0,0009 MoE _s	0,12	1,48	0,50 ^{ns}

Catatan: r = koefisien korelasi, R² = koef determinasi, ns = non signifikan, * = signifikan, ** = sangat signifikan (α = 5%).

Tabel 5 menunjukkan model persamaan regresi linear dengan koefisien korelasi rendah. Dengan demikian semua nilai ckbc tidak baik digunakan sebagai penduga nilai kekakuan balok, baik secara dinamis maupun statis karena rendahnya nilai r tersebut. Perbedaan kondisi fisik seperti mata kayu, orientasi serat, tingkat keseragaman komponen penyusun dan sebagainya menjadi penyebab mengapa korelasi antara ckbc dan balok menjadi sangat rendah. Meski dari lokasi dan tegakan mangium yang sama, namun keragaman sifat mangium menyebabkan pendugaan hubungan tersebut tidak baik dilakukan.

Kesimpulan

Untuk sortimen ckbc, penduga MoE_d dapat digunakan untuk memperoleh nilai MoE_s dan MoR_s serta prediktor MoE_s untuk memperoleh MoR_s. Persamaan pendugaan tersebut sangat signifikan dengan koefisien korelasi sebesar masing-masing 0,76; 0,75 dan 0,86. Untuk sortimen balok, prediktor MoE_d dapat digunakan untuk memperoleh nilai MoE_p dan MoR_p dengan koefisien korelasi 0,5, dan prediktor V dapat digunakan untuk memperoleh MoE_d, MoE_s dan MoE_p dengan koefisien

korelasi sebesar masing-masing 0,57; 0,42 dan 0,64. Perlu penelitian lebih lanjut dengan variasi bagian kayu, jumlah contoh uji dan sumber perolehan bahan sehingga diperoleh data yang lebih komprehensif.

Daftar Pustaka

- Anonim. 1961. *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia*. NI-5 PKKI 1961. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Dirjen Ciptakarya Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. 2002. *Konsensus Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia (R-SNI -2002)*. Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2008. *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*. D 143-94 (Reapproved 2000). Vol.04.10: Wood. Section 4: Construction. ASTM International, West Conshohocken, PA, United States.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2008. *Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes*. D 198-05a.

- Vol.04.10: Wood. Section 4: Construction. ASTM USA: International, West Conshohocken.
- Bodig J, Jayne BA. 2003. *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Ney York: Van Nostrand Reihold.
- Bucur V, 2006. *Acoustic of Wood*. 2nd Edition. Berlin: Springer CRS Press.
- Diebold R, Schleifer A, Glos P. 2002. Machine Grading of Structural Sawn Timber from Various Softwood and Hardwood Species. In: *Proc. of The 12th Int. Symp. on Nondestructive Testing of Wood*. Sopron: University of Western Hungary. Pp 139-143.
- Karlinasari L, Surjokusumo S, Hadi YS, Nugroho N. 2005. Non Destructive Testing on Six Tropical Woods Using Ultrasonic Method. In: Dwianto W, editor. *Proc. of the 6th Int. Wood Science Symp.* Bali. 29-31 August 2005. Jakarta: JSPS-LIPI Core University Program. Pp 109-116.
- Oliveira FGR, de Compos JAO, Pletz E, Sales A. 2002a. Assessment of Mechanical Properties of Wood Using an Ultrasonic Technique. In: *Proc. of the 13th Int. Symp. on Nondestructive Testing of Wood*. 19-21 August 2002. California: University of California. Pp 75-78.
- Oliveira FGR, de Campos JAO, Sales A. 2002b. Ultrasonic Measurements in Brazilian Hardwoods. *Material Research J* 5(1):51-55.
- Pradipto S. 2005. Pengujian Keteguhan Lentur Kayu Mangium dengan Berbagai Metoda Non Destruktif [Skripsi]. Bogor: DTHH Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Priyono J, Surjokusumo S, Hadi YS, Nugroho N. 2011. Physical and Mechanical Properties of 17 Years Old Mangium. In: N.J.Wistara (*et al.*), editor. *The 2nd Int. Symp. of Indonesian Wood Res. Soc.*. Bali. 12-13 November 2010 Indonesian Wood Research Society (IWoRS). Pp 255-262.
- Surjokusumo S, Nugroho N, Joko P, Suroso A. 2003. *Buku Petunjuk Penggunaan Mesin Pemilah Kayu Versi Panter MPK-5*. Bogor: Laboratorium Keteknikan Kayu Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Young HD, Freedman OA. 2003. *Fisika Universitas*. Edisi 10, Jilid 2. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Riwayat naskah (*article history*)

Naskah masuk (*received*): 18 Oktober 2010

Diterima (*accepted*): 5 Desember 2010