

KARAKTERISASI MUTU KOAGULUM KARET DENGAN METODE ULTRASONIK

Maspanger, D.R., ¹⁾, H.K. Purwadaria ²⁾, I.W. Budiastara ²⁾ dan A. Trisnobudi ³⁾

¹⁾ Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor

²⁾ Departemen Teknik Pertanian, IPB

³⁾ Departemen Teknik Fisika

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara penghasil karet alam utama. Bahan olah karet berupa koagulum sebagian besar berasal dari perkebunan rakyat yang mutunya hingga saat ini masih dinilai secara visual, perkiraan dan bersifat subyektif. Berdasarkan hasil-hasil penelitian terdahulu untuk komoditas pertanian lainnya, metode ultrasonik diharapkan dapat dijadikan metode analisis mutu yang bersifat obyektif untuk penilaian mutu koagulum seperti kadar air dan kotoran. Disebabkan koagulum memiliki bentuk yang bervariasi dengan jenis dan komposisi kontaminan yang beragam, maka penelitian yang komprehensif akan memerlukan waktu yang lama. Penelitian yang telah dilakukan ini bertujuan untuk mengamati pengaruh kadar air dan kotoran terhadap elastisitas dan karet dan sifat-sifat ultrasonik. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Ultrasonik Departemen Teknik Fisika ITB dan di Laboratorium Karet Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor pada sekitar bulan Januari 2004 hingga April 2005. Pengujian ultrasonik menggunakan peralatan yang terdiri atas generator pulsa USIP 12, transduser piezoelektrik 2 MHz, oskiloskop digital ETC M621 and PC. Koagulum untuk sampel uji dibuat dengan cara koagulasi lateks kebun dengan asam semut, dan diisi dengan partikel pasir sebagai bahan pengotor. Hasil percobaan menunjukkan bahwa peningkatan kadar kotoran hingga 20%, dengan penurunan kadar air dari 43% menjadi 18%, menyebabkan peningkatan modulus Young dari 0.295 MPa menjadi 1.12 Mpa, kenaikan atenuasi dari 504 dB/m menjadi 1520 dB/m dan turunnya kecepatan gelombang dari 1516 m/det menjadi 1441 m/det. Diperoleh indikasi bahwa sifat elastik (E), kadar air (Ka) dan kadar karet kering (K3) dapat diprediksi dengan persamaan matematik sebagai fungsi densiti, atenuasi dan kecepatan gelombang, $E = -3.3834 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.25} r^{0.2}) + 6.2815$, $(100-Ka)^{1.3} = -2.6163 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.3} I^{-0.15}) + 6.6445$ dan untuk kadar karet kering: $(Kkot-0.15Ka^2) = -1343.3 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.3} I^{-0.15}) + 1176$. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi informasi yang berguna untuk pengembangan penelitian selanjutnya, terutama untuk aplikasi metode ultrasonik bagi keperluan evaluasi mutu karet.

Kata kunci : karet, koagulum, elastisitas, ultrasonik

ABSTRACT

Indonesia is one of the main natural rubber producing country. Most of the raw rubber materials (coagulum) mainly come from smallholder, which quality is still determined subjectively by human visual judgment. According to some previous research of other agricultural commodity, ultrasonic method is considered as an objective method for the determination of rubber coagulum quality, i.e. dirt and moisture content. Because of various form and size of coagulum and also various kind and contaminant composition, the comprehensive research will need a long time and many steps. The objective of this research was to study the influence of moisture and dirt content of coagulum to rubber elasticity and ultrasonic wave properties. The experiment was carried out at the ultrasonics laboratory, Engineering Physics Department-ITB and at the rubber laboratory, Bogor Research Center for Rubber Technology, from January 2004 until April 2005. Ultrasonics testing was carried out by using pulse generator USIP 12, piezoelectric transducer 2 MHz, digital oscilloscope ETC M621 and Personal Computer. Test samples were made by coagulating fresh latex with formic acid and an addition of sand particle as dirt. The result of experiment showed that increasing of dirt content up to 20%, with decreasing moisture range from 43% to 18%, caused the increasing of Young's modulus (E) from 0.295 MPa to 1.12 Mpa, attenuation (I) from 504 dB/m to 1520 dB/m, and caused the decreasing wave velocity (C_L) from 1516 m/s to 1441 m/s.

The result of this experiment gave indication that elasticity, moisture content (Ka) and dry rubber content can be predicted by using mathematical formulae as function of density (ρ), attenuation, and wave velocity, $E = -3.3834 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.25} I^{0.2}) + 6.2815$; $(100-Ka)^{1/3} = -2.6163 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.3} I^{-0.15}) + 6.6445$; and for the dry rubber content: $(Kkot-0.15Ka^2) = -1343.3 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.3} I^{0.15}) + 1176$. This research result is expected to give useful information to develop further research, especially of using ultrasonic method for rubber quality evaluation.

Keywords : rubber, coagulum, elasticity, ultrasonic

PENDAHULUAN

Karet alam (*natural rubber*) diperoleh dari tanaman *Hevea Braziliensis*, merupakan komoditas tradisional sekaligus komoditas ekspor yang sangat penting peranannya sebagai penghasil devisa negara dari sub-sektor perkebunan, dan menjadi tumpuan pencaharian bagi banyak keluarga petani. Hampir 80% dari total produksi karet Indonesia berasal dari perkebunan rakyat. Luas areal tanaman karet pada Tahun 2001 sekitar 3.7 juta hektar, dengan produksi 1.7 juta ton atau 22% produksi karet alam dunia, menempatkan Indonesia sebagai produsen karet alam terbesar kedua setelah Thailand (IRSG, 2002).

Petani karet umumnya memperdagangkan karetnya dalam bentuk koagulum, yakni lateks yang telah digumpalkan secara alami atau dengan menggunakan koagulan tertentu. Mutu koagulum yang dihasilkan petani secara umum masih rendah. Walaupun telah diberlakukan SNI 06-2047-2002, namun pengaruhnya belum begitu nampak. Lateks setelah disadap langsung digumpalkan dengan sembarang koagulan di tempat yang kotor bercampur dengan berbagai kontaminan seperti tanah, pasir, kerikil, tatal bekas sadapan, serat goni, tali dan plastik bekas. Penambahan kontaminanpun seringkali dilakukan dengan sengaja untuk meningkatkan bobot agar harga penjualan meningkat. Selain jenis, komposisi dan distribusi kotorannya bervariasi, bentuk dan ukuran koagulum juga beragam, mulai dari bentuk butiran, serpihan atau mangkok, lembaran/slab 1 hingga 10 cm sampai yang berbentuk balok 50cmx50cm, tebal sekitar 30 cm, gabungan dari bagian-bagian kecil atau dibentuk langsung dari lateks yang sama (masif).

Koagulum digolongkan sebagai bahan olah karet untuk diproses lebih lanjut terutama menjadi crumb rubber. Di pabrik karet remah, bokar yang tebal disortasi dengan cara dibelah dan diamati secara visual tingkat kekotorannya untuk memperkirakan kemurnian kadar karet yang biasanya dinyatakan sebagai kadar karet kering (K3). Bokar yang basah dan banyak mengandung kotoran biasanya ditaksir memiliki kadar karet kering yang rendah. Ketiadaan metode penetapan K3 yang cepat dan akurat untuk koagulum, menyebabkan kesepakatan dalam penetapan nilai kadar karet kering umumnya berlangsung kompromistik, bahkan tidak jarang bersifat sefihak dengan resiko menimbulkan ketidakpuasan baik dari fihak pembeli maupun penjual.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, agar hasil pengujian dapat diterima oleh berbagai fihak yang terlibat dalam transaksi jual beli bokar, diperlukan suatu metode penetapan mutu yang dapat dipertanggungjawabkan dan tidak lagi mengandalkan cara perkiraan dan taksiran. Berdasarkan hasil-hasil penelitian terdahulu untuk berbagai komoditas pertanian, metode ultrasonik diharapkan dapat dikembangkan untuk keperluan identifikasi mutu koagulum karet.

Saat ini teknologi ultrasonik sudah banyak diaplikasikan di berbagai bidang. Cara kerjanya cepat, relatif murah dan bersifat tidak merusak, sehingga sering digunakan untuk keperluan pengujian secara NDT (*Non Destructive Testing*) antara lain di bidang-bidang kedokteran untuk diagnosa janin, organ tubuh, jaringan syaraf, di bidang geologi untuk keperluan identifikasi sifat fisik tanah, batuan, minyak, dan pengukuran kedalaman, serta di industri untuk analisis bahan, deteksi laju aliran, dan proses pemisahan (Goberman, 1968)

Penelitian ultrasonik di bidang pertanianpun sudah banyak dilakukan. antara lain oleh Sarkar dan Wolf (1983) untuk memperkirakan kematangan buah apel. Mizrach, et al. (1999) untuk mencari korelasi kecepatan dan atenuasi gelombang ultrasonik pada buah apel dan alfukat. Budiastira, et al. (1998) untuk penentuan kematangan dan kerusakan buah-buahan tropika. Haryanto, et al. (2001) dan Rejo, et al. (2001) untuk penentuan tingkat mutu durian berdasarkan sifat gelombang ultrasonik dan sifat fisiko-kimia buah.

Untuk bidang polimer-komposit, White, et al. (2002) melakukan pengamatan proses vulkanisasi komposit serat gelas dengan gelombang ultrasonik. Doring dan Stark (1998) untuk resin Urea-Formaldehid dan Epoksi. Levin, et al. (1996) berhasil melakukan devulkanisasi karet ban bekas, sedangkan Turkachinsky, et al. (1996) untuk karet SBR. Ultrasonik juga dapat digunakan untuk mencari parameter elastik suatu bahan, seperti modulus Young, modulus geser, dan perbandingan Poisson, antara lain oleh Trombino (1998) dan Navarrete, et al. (1998) untuk campuran tanah gambut, polimer dan pasir silika.

Gelombang Ultrasonik merupakan gelombang mekanik/akustik dengan frekuensi di atas 20 kHz. Gelombang bunyi (sonik) memiliki jelajah frekuensi 20 Hz sampai 20 kHz sehingga masih dapat didengar manusia. Kecepatan gelombang ultrasonik (C_L , m/det) di dalam suatu bahan tergantung sifat-sifat elastis medium, densiti dan sifat bahan lainnya, sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan (1), dimana E = modulus Young (Mpa), ν = perbandingan Poisson dan ρ_o = densitas bahan, kg/m^3 (Goberman, 1968).

$$C_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho_o(1+\nu)(1-2\nu)}} \dots\dots\dots(1)$$

Menurut beberapa penelitian, nilai ν untuk karet ≈ 0.5 sebagaimana diinformasikan oleh IRI (1998) dan MRRDB (1984). Menurut Fuller, et.al (1988), perbandingan Poisson karet berkisar 0.49991 sampai 0.49997. Sedangkan Navarrete (1998) mengemukakan bahwa nilai ν merupakan fungsi dari fraksi volume partikel padat (ϕ) di dalam suatu polimer.

Modulus Young suatu bahan dipengaruhi oleh kadar air dan kadar kotoran sebagaimana dikemukakan oleh Mullins (1960) melalui persamaan (2), dimana N = jumlah jaringan molekul per unit volume, k = konstanta Boltzman, 0.32304×10^{-23} kal/K; V_r = fraksi volume karet yang mengembang di dalam suatu larutan, dan ϵ_{xx} = nilai peregangan.

$$E = NkT V_r^{1/3} (\epsilon_{xx} - \epsilon_{xx}^{-2}) \dots\dots\dots(2)$$

Tan dan Wang (1990) memperkenalkan formula (3) untuk menyatakan persamaan umum hubungan modulus Young terhadap fraksi partikel padat di dalam suatu polimer, dimana E = modulus geser bahan berpengisi partikel kotoran, MPa; E_o = modulus geser bahan murni, N/m^2 ; k_1 , k_2 = konstanta; f = faktor bentuk, dan θ_p = fraksi berat partikel padat. Hilton et al. (1998) mengemukakan untuk partikel yang bersifat *non-reinforcing* atau *semi-reinforcing*, persamaan (3) umumnya cukup sampai suku pertama saja.

$$E = E_o (1 + k_1 f \theta_p + k_2 f^2 \theta_p^2) \dots\dots\dots(3)$$

Selain bergerak dengan kecepatan tertentu, gelombang ultrasonik di dalam bahan akan mengalami penurunan energi yang disebabkan gelombang mengalami penghamburan (*scattering*), pemantulan dan pembiasan. Ukuran terjadinya penurunan energi dinyatakan sebagai atenuasi menurut persamaan (4), dimana I = atenuasi, dB/m; A = tekanan amplitudo di dalam bahan, mV dan A_o = tekanan amplitudo di dalam bahan acuan, mV.

$$I = -20 \frac{\log\left(\frac{A}{A_0}\right)}{x} \dots\dots\dots(4)$$

Penelitian dilaksanakan sebagai tahap awal dalam rangka mendapatkan suatu metode analisis mutu koagulum karet secara ilmiah. Disebabkan koagulum memiliki bentuk yang bervariasi dengan jenis dan komposisi kontaminan yang beragam, maka penelitian yang komprehensif akan memerlukan waktu yang lama. Penelitian yang telah dilakukan ini bertujuan untuk mengamati pengaruh kadar air dan kotoran terhadap elastisitas dan karet dan sifat-sifat ultrasonik. Penelitian masih bersifat simulasi, yakni koagulum yang diteliti dibuat sendiri dengan jenis kotoran dibatasi hanya pasir, berdasarkan pertimbangan bahwa pasir merupakan salah satu jenis kotoran yang sering ditemukan di dalam koagulum dari perkebunan rakyat.

BAHAN DAN METODE

Waktu, Tempat dan Bahan Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada awal tahun 2004, bertempat di Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor untuk preparasi sampel uji dan pengukuran elastisitas karet, serta di laboratorium ultrasonik Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung untuk pengujian ultrasonik.

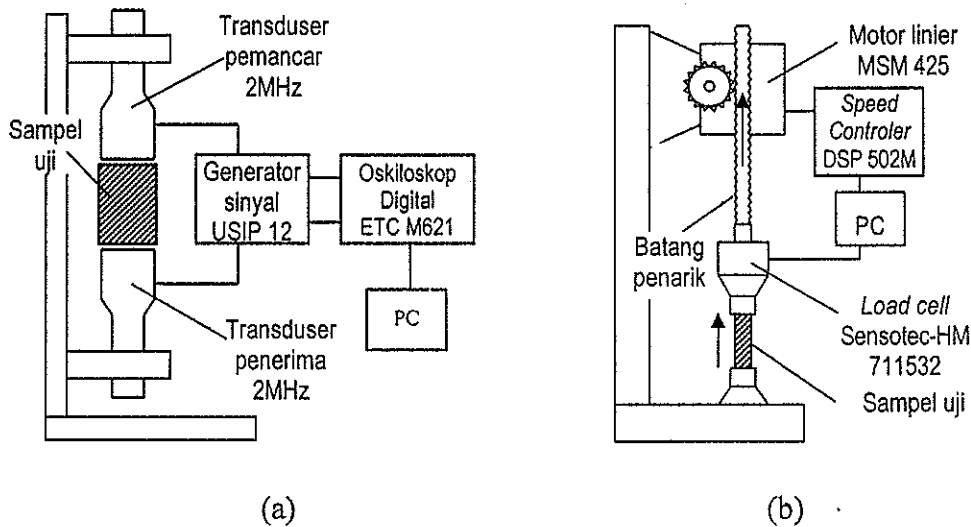
Bahan yang diuji adalah koagulum karet, dibuat dari lateks kebun yang diperoleh dari kebun percobaan Ciomas, dengan cara membekukan dan menambahkan pasir sebagai kotoran. Lateks kebun terlebih dulu diukur kadar karet kering (KKK), misal x%, selanjutnya dimasukkan kedalam cetakan PVC berukuran Ø dalam = 5 cm dan tinggi 5-10 cm, misal terukur y ml, maka berat karet keringnya = xy/100 gram. Sambil diaduk terus kedalam lateks ditambahkan asam semut 1% sebanyak 0.4 ml/g karet kering, dan kotoran bervariasi sebanyak 0-20% berat karet kering. Pengadukan dihentikan jika lateks mulai membeku.

Pengukuran Gelombang Ultrasonik

Pada Gambar 1 ditampilkan skema peralatan yang dikembangkan untuk pengukuran gelombang ultrasonik yang melewati koagulum karet. Gelombang ultrasonik dibangkitkan oleh Generator sinyal USIP 12 (Krautkramer Branson), disalurkan ke transduser piezoelektrik 2 MHz. Setelah melewati sampel karet, sinyal diubah menjadi data digital oleh oskiloskop digital ETC M621, lalu disalurkan ke PC, dan di layar monitor ditampilkan kurva gelombang ultrasonik. Dari kurva tersebut dapat dicari waktu rambat untuk pengukuran kecepatan dan amplitudo gelombang untuk menghitung atenuasi dengan menggunakan persamaan (4).

Pengukuran Elastisitas Karet

Pada Gambar 1b ditampilkan skema peralatan Tensometer yang dikembangkan untuk mengukur sifat elastis karet, terdiri atas motor penggerak tipe Linear MSM 425 (Oriental Motor-Japan), *load cell* Sensotec-HM 711532, dan *speed controller* DSP 502M. Sampel uji berukuran tebal 1-3 mm, lebar 10 mm, dan panjang 100 mm, diatur berkadar kotoran 0-20%. Pengukuran dilaksanakan dengan cara meregang sampel uji pada kecepatan konstan 0,87 mm/detik. Dari grafik yang dihasilkan, dapat dihitung nilai modulus Young.



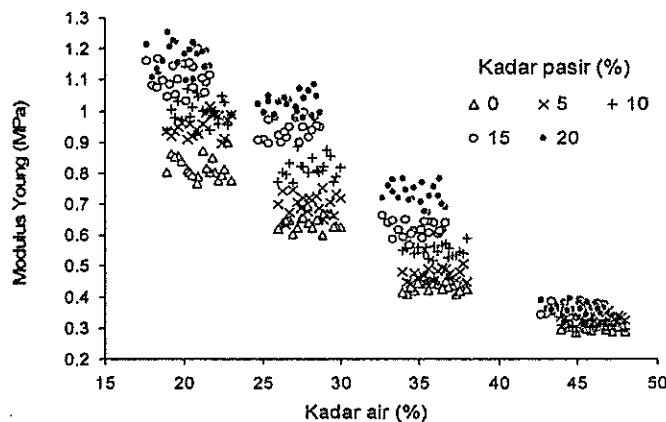
Gambar 1 Skema peralatan untuk uji ultrasonik (a) dan modulus Young (b)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Kadar air dan Kotoran terhadap Elastisitas Karet

Pada Gambar 2 disajikan kurva hubungan kadar air dan kadar kotoran terhadap modulus Young (E), tampak bahwa nilai E turun dengan naiknya kadar air, namun meningkat dengan naiknya kadar kotoran.. Peningkatan kadar pasir hingga 20% disertai dengan penurunan kadar air rata-rata dari 43% hingga 18% menyebabkan peningkatan modulus Young dari 0.295 sampai 1.12 Mpa.

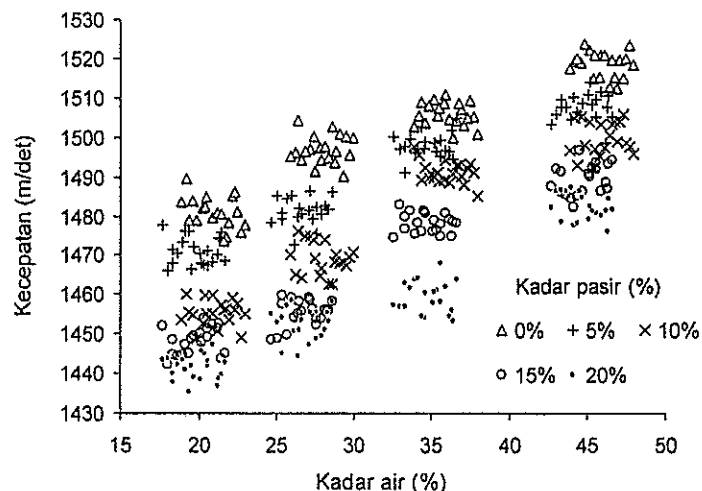
Penurunan kadar air akan menyebabkan fraksi volume karet meningkat sehingga akan meningkatkan pula gaya perlawanan terhadap regangan. Tan dan Wang (1993) mengemukakan bahwa partikel padat yang mampu berikatan dengan polimer akan menyumbang kekuatan karet sehingga modulus Young akan meningkat dengan naiknya kadar kotoran. Pasir merupakan material kristalin berpori sehingga diperkirakan terdapat rantai molekul poliisoprena yang melakukan penetrasi ke dalam pori-porinya. Selain itu, pasir merupakan material non-elastik, makin banyak akan makin meningkatkan kekakuan (stiffness) sehingga modulus Young juga makin tinggi.



Gambar 2 Sebaran nilai modulus Young pada beberapa tingkat kadar air dan kotoran

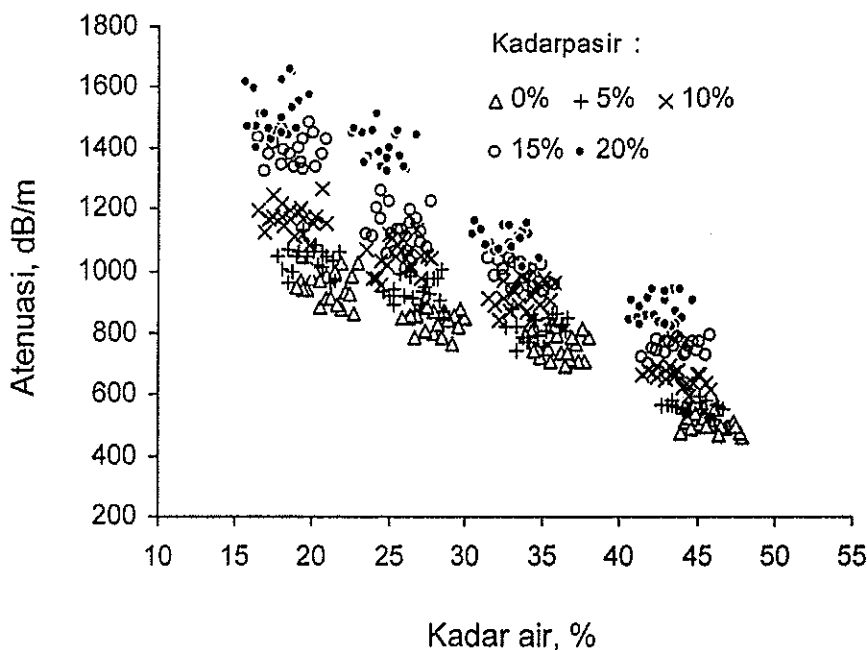
Pengaruh Kadar Air dan Kotoran terhadap Kecepatan dan Atenuasi

Pada Gambar 3 dan 4 berturut-turut ditampilkan hubungan antara kadar air dan kadar kotoran terhadap kecepatan dan atenuasi. Penurunan kadar pasir yang diiringi dengan peningkatan kadar air menyebabkan penurunan atenuasi dari 1520 sampai 504 dB/m dan meningkatkan kecepatan dari 1441 m/det hingga 1516 m/det,

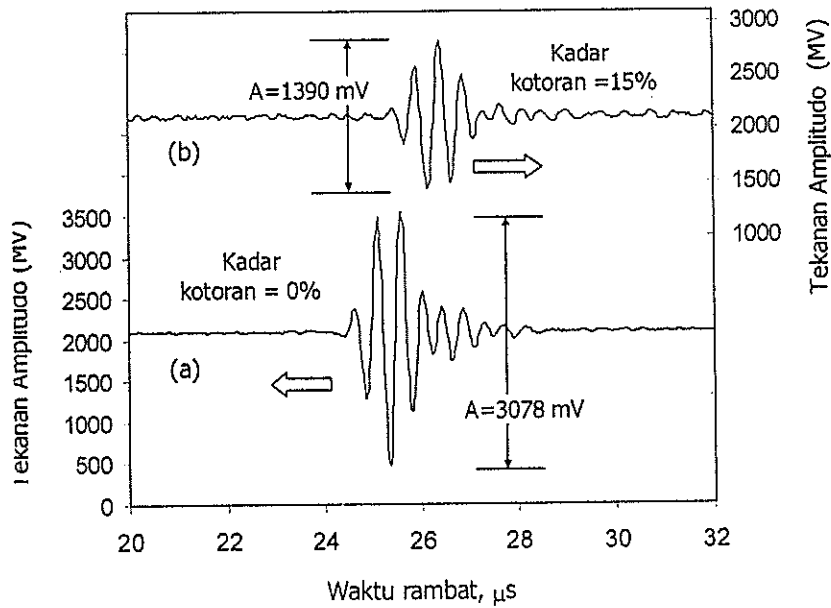


Gambar 3 Sebaran kecepatan gelombang pada beberapa tingkat kadar air dan kotoran

Pada Gambar 4 tampak bahwa atenuasi meningkat dengan naiknya kadar kotoran dan turunnya kadar air. Hal ini kemungkinan disebabkan gelombang mengalami penghamburan (*scatering*), pemantulan atau pembiasan oleh partikel pasir, sehingga terjadi penurunan energi yang ditandai dengan turunnya amplitudo sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6, tampak bahwa amplitudo gelombang di dalam koagulum yang mengandung kotoran lebih rendah dibanding yang terjadi di dalam koagulum tanpa kotoran.



Gambar 4 Sebaran atenuasi gelombang pada beberapa tingkat kadar air dan kotoran



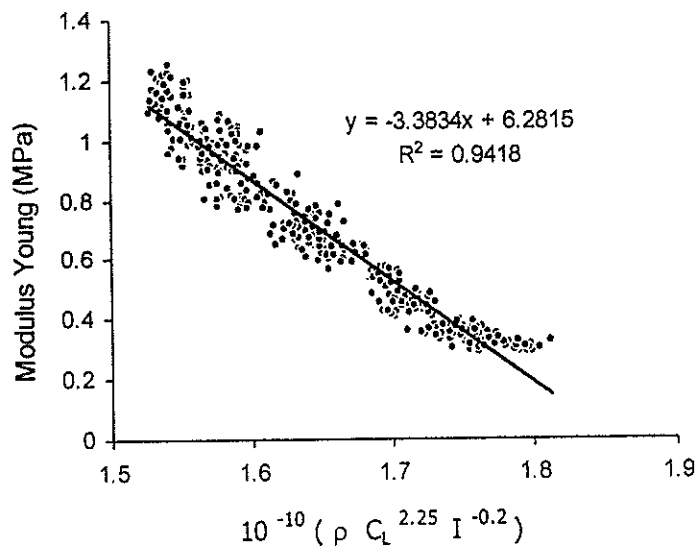
Gambar 5 Amplitudo gelombang ultrasonik pada kadar kotoran yang berbeda

Modulus Young sebagai Fungsi Densiti dan Sifat Akustik

Persamaan (1) menunjukkan bahwa modulus Young merupakan fungsi dari densiti dan kecepatan gelombang. Persamaan tersebut hanya berlaku untuk material yang elastik penuh. Karet merupakan material viskoelastik, komponen viskos di dalam karet berpengaruh kepada kecepatan gelombang ultrasonik. Komponen viskos tersebut bersifat meredam aliran gelombang menyebabkan naiknya atenuasi (Kramer, 1994). Olehkarena itu faktor atenuasi perlu dimasukkan kedalam persamaan (1).

Pada Gambar 6 disajikan kurva korelasi modulus Young sebagai fungsi perkalian densiti, kecepatan dan atenuasi gelombang. Tampak bahwa koefisien regresinya cukup tinggi, dengan persamaan sebagai berikut,

$$E = -3.3834 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.25} I^{0.2}) + 6.2815 \dots\dots\dots (5)$$



Gambar 6 Korelasi modulus Young terhadap perkalian densiti (ρ), kecepatan (C_L) dan atenuasi gelombang ultrasonik (I).

Kadar Air dan Kadar Karet Kering Sebagai Fungsi Densiti dan Sifat Akustik

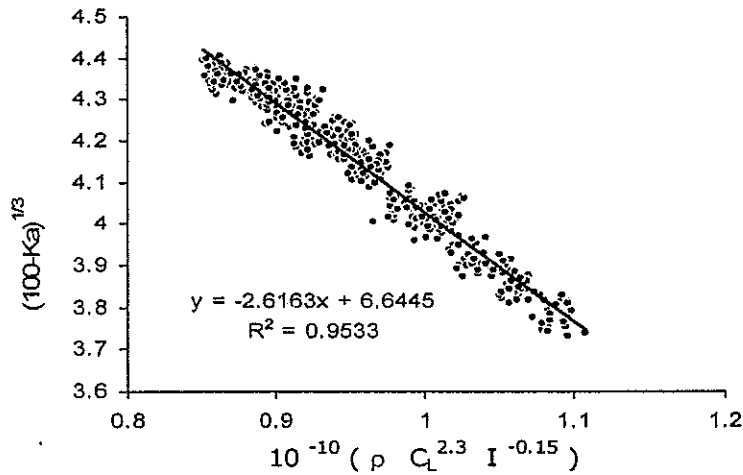
Persamaan (2) diturunkan untuk karet tanpa kotoran, sedangkan persamaan (3) untuk karet kering. Kadar air dan kotoran sangat berpengaruh terhadap modulus Young, maka model matematikpun harus disusun dengan memasukkan faktor kadar kotoran untuk persamaan (2) dan faktor kadar air untuk persamaan (3).

Hasil modifikasi persamaan (2) dan (3) ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8. Tampak bahwa kadar air maupun beda kadar air dan kotoran merupakan fungsi dari perkalian densiti, atenuasi dan kecepatan gelombang, sebagai berikut.

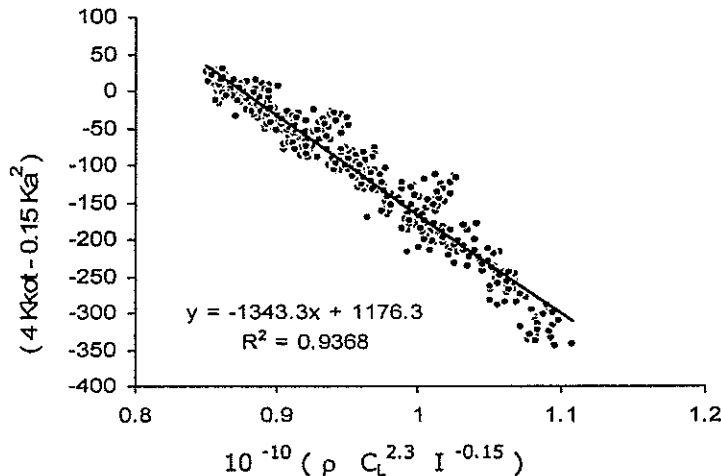
$$(100-Ka)^{1/3} = -2.6163 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.3} I^{-0.15}) + 6.6445 \dots \dots \dots (6)$$

$$(4Kkot-0.15Ka^2) = -1343.3 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.3} I^{-0.15}) + 1176.3 \dots \dots \dots (7)$$

Dengan cara terlebih dulu menghitung nilai kadar air melalui persamaan (6), selanjutnya memasukkan nilai tersebut ke persamaan (7), maka kadar kotoran bisa dicari. Jika nilai kadar air dan kadar kotoran sudah diperoleh, maka kadar karet kering mudah dihitung : $K3 = 100 - (Ka + Kkot)$.



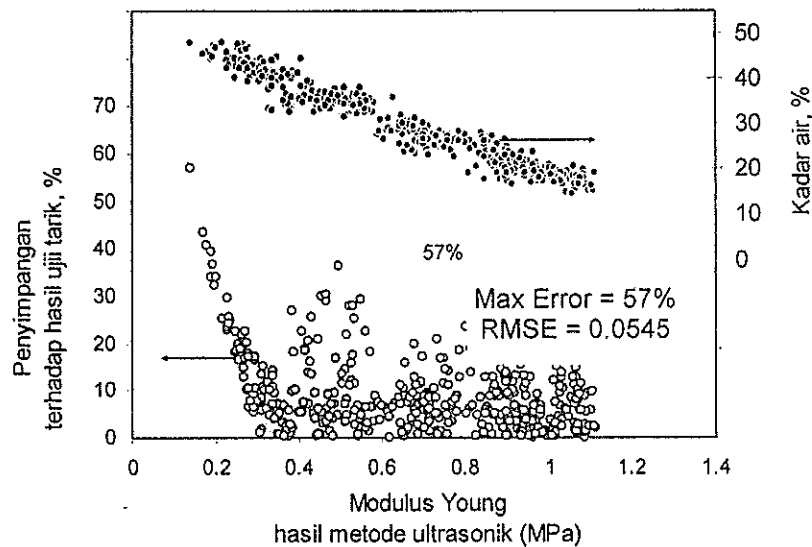
Gambar 7 Korelasi kadar air terhadap perkalian densiti (ρ), kecepatan (C_L) dan atenuasi gelombang ultrasonik (I).



Gambar 8 Korelasi beda kadar air (Ka) dan kotoran ($Kkot$) terhadap perkalian densiti (ρ), kecepatan (C_L) dan atenuasi gelombang ultrasonik (I).

Validasi Model Matematik Modulus Young, Kadar Air dan Kadar Karet Kering

Pada Gambar 9 ditampilkan sebaran penyimpangan terhadap nilai sebenarnya (hasil uji tarik) dari seluruh nilai modulus Young hasil perhitungan dengan persamaan (5). Tampak bahwa penyimpangan umumnya terfokus sebesar 10%. Beberapa nilai modulus Young menyimpang hingga 57% terutama terjadi pada kadar air tinggi, yakni pada selang 40-50%. Pada kondisi ini, nilai modulus Young untuk koagulum tanpa kotoran maupun berisi kotoran memiliki nilai yang hampir sama satu dengan lainnya sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 9. Pada saat karet masih basah, koagulum baik yang berisi kotoran maupun tanpa kotoran sama-sama lunak, mudah terputus jika dikenai regangan. Kondisi demikian akan menyebabkan terjadinya kesalahan perhitungan.



Gambar 9 Penyimpangan nilai modulus Young seluruh sampel uji hasil perhitungan dengan model 1A : $E = k \rho^p C_t^q I^r$

Hasil uji validasi persamaan matematik modulus Young, kadar air dan kadar karet kering disajikan pada Tabel 1. Tampak bahwa secara keseluruhan, penyimpangan tertinggi terhadap nilai sebenarnya berkisar 26 - 57%, terdapat 37 -57% jumlah data yang menyimpang maksimum 5%, dan sebanyak 3 - 21% jumlah data yang menyimpang di atas 15%..

Masih tingginya penyimpangan terutama untuk perhitungan modulus Young, karena model matematik disusun berdasarkan kondisi ideal, seperti partikel kotoran berbentuk bulat sempurna, partikel terdistribusi homogen di dalam matriks karet, pencampuran asam semut dengan lateks berlangsung merata, gelombang menembus karet dalam kondisi isotropis dan frekuensinya stabil 2MHz. Dalam prakteknya kondisi – kondisi ideal tersebut masih sukar dicapai.

Tabel 1 Model matematik modulus Young E (Mpa), kadar air (%) dan kadar karet kering (%) sebagai fungsi dari densiti ρ (kg/m^3), atenuasi I (dB/m) dan kecepatan gelombang ultrasonik C_L (m dtk^{-1}) dan hasil uji validasinya

No.	Model matematik	Validasi terhadap nilai sebenarnya (target)				
		Penyimpangan tertinggi (%)	RMS Error	% Jumlah data dengan penyimpangan maksimum		
				5%	10%	>15%
1	Modulus Young $E = -3.3834 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.25} I^{-0.2}) + 6.2815$ $R^2=0.9418$	57	0.0545	37	63	21
2	Kadar air $(100-Ka)^{1.3} = -2.6163 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.3} I^{0.15}) + 6.6445$ $R^2=9533$	29	1.9346	57	85	3
3	Kadar karet kering $(4Kkot-0.15Ka^2) = -1343.3 \cdot 10^{-10} (\rho C_L^{2.3} I^{-0.15}) + 1176.3$ $R^2=0.9368$	26	4.7189	39	73	9

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air, jenis dan kadar kotoran berpengaruh terhadap sifat elastik dan sifat-sifat akustik. Penurunan kadar pasir pada rentang 0-20% yang diiringi dengan peningkatan kadar air pada rentang kadar air rata-rata 18 - 43% menyebabkan penurunan atenuasi dari 1520 sampai 504 dB/m dan meningkatnya kecepatan dari 1441 m/det hingga 1516 m/det, dan turunnya modulus Young dari 1.12 MPa menjadi 0.295 MPa.

Model matematik yang disusun walaupun masih memiliki penyimpangan yang relatif tinggi, namun cukup memberikan indikasi bahwa modulus Young, kadar air maupun kadar karet kering masih dapat diprediksi berdasarkan sifat-sifat viskoelastis karet. Perbaikan model antara lain harus melibatkan pengaruh faktor bentuk kotoran dan tingkat homogenisasinya di dalam matriks koagulum.

Hasil penelitian ini diharapkan menjadi informasi yang berguna untuk pengembangan penelitian selanjutnya dalam aplikasi ultrasonik untuk analisis mutu karet. Jenis kotoran yang biasa terdapat di dalam koagulum seperti tatal, kerikil, serat, dan benda-benda asing lainnya selain pasir, masih perlu diteliti pengaruhnya terhadap elastisitas karet dan sifat-sifat gelombang ultrasonik. Teknik tomografi untuk visualisasi struktur bagian dalam, akan sangat membantu memberikan data kualitatif. Program JST (Jaringan Syaraf Tiruan) dengan variabel masukan berupa densiti, kecepatan dan atenuasi gelombang ultrasonik diharapkan dapat digunakan untuk menghasilkan keluaran berupa tingkat mutu koagulum yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiastra, I.W., A. Trisnobudi dan L. Pujantoro. 1998. Pengembangan teknologi gelombang ultrasonik untuk penentuan kematangan dan kerusakan buah-buahan tropika secara non-destruktif. Laporan Riset Unggulan Terpadu V, Fateta-IPB, Bogor.
- Döring, J. and W. Stark. 1998. On-line process monitoring of thermosets by ultrasonic methods. NDT-net, Nov.1998.
- Fuller, K.N.G., M.J. Gregory, J.A. Harris, A.H. Muhr, A.D. Roberts and A. Stevenson.1988. Engineering Use of Natural Rubber, In A.D. Robert (ed.), Nat.Rubber Science and Technology. Oxford University Press, London, 892-937.
- Gooberman, G.L. 1968. Ultrasonics Theory and Applications. The English Press, Ltd, London, UK.
- Haryanto, B. I.W. Budiastra, H.K. Purwadaria and A. Trisnobudi . 2001. Determination of acoustic properties of durian fruit. Proceedings 2nd IFAC-CICR Worksshop on Inteligent Control for Agricultural Applications. Bali, Indonesia, 22-24 August 2001.
- Hilton, H.H. and Sun Yi. 1998. The significance of an isotropic viscoelastic Poisson ratio stress and time dependencies. International Journal of Solids and Structures, 35, 81-95.
- Indian Rubber Institute. 1998. Rubber Pysics and Engineering. Tata McGraw-Hill Publ.Co., New Delhi, India.
- IRSG. 2002. Rubber Statistical Bulletin. International Rubber Study Group, Wembley, UK.
- Kramer O, Hvidt S. Freey JD.1994. Dynamic mechanical properties. Di dalam Emark JE, editor. *Science and Technology of Rubber*. New York : Academic Press. hlm 211-256.
- Levin,V., S. Kim and A. Isayev. 1996. Ultrasound devulcanization of sulfur vulcanized SBR. Rubber Chemistry and Technology, 96(1) : 104-114.
- Malaysian Rubber Research & Development Board. 1984. Engineering Design with Natural Rubber. NR Technical Bulletin, London, UK.
- Mizrach, A., U. Flitsanov, R. El-Batsri and C. Degani. 1999. Determination of avocado maturity by ultrasonic measurements. *Scientie Holticulturae* 80. 173-180.
- Mullins, L., and A.G. Thomas. 1960. Theory of Rubber Like Elasticity. *J.Polym.Sci.*, 43(1) : 13-18.
- Navarrete, M., G. Pozos, R. Castaneda and M. Pillagran. 1998. Recovery of the Eeastic constants from wave speed measurement using the photoacoustic method in viscoelastic composites. *Journal of Mexican Society of Instrumentation, Instrumentation and Development*, 4 (5) : 70-75.
- Rejo, A., Suroso, I.W. Budiastra, H.K. Purwadaria, S. Susanto and Y.Y. Nazaruddin. 2001. Model for predicting and classification durian fruit based on maturity and rifeness using neural network. Proceedings 2nd IFAC-CICR Workshop on Inteligent Control for Agricultural Applications. Bali, Indonesia, 22-24 August 2001.

- Sarkar, N. and R.R. Wolf. 1983. Potential of Ultrasonic Measurement in Food Quality Evaluation. Trans of ASAE, St Joseph, MI, USA.
- Tan, E.H. and M.J. Wang. 1993. A new approach for studying the effect of filler on dynamic properties. Proceedings International Rubber Technology Conference, Kualumpur, Malaysia.
- Trombino, C. 1998. Elastic properties of sand-peat moss mixtures from ultrasonic measurement. Lawrence National Laboratory, Department of Energy, USA.
- Turkachinsky, A., D. Schworm, and A. Isayev. 1996. Devulcanization of waste tire rubber by powerful ultrasound. Rubber Chemistry and Technology, 96(1) : 92-103.
- White, S.R., P.T. Mather and M.J. Smith. 2002. Characterization of cure state of DGEBA-DDS epoxy using ultrasonics. Polymer Engineering and Science, 42 (1) : 51-67.