

Pengukuran Tingkat Pemadatan Maksimum Batang Kelapa Sawit *(Maximum Compression Level Measurement of Oil Palm Trunk)*

Rudi Hartono¹⁾, Imam Wahyudi²⁾, Fauzi Febrianto²⁾, Wahyu Dwianto³⁾

¹⁾ Mahasiswa Pascasarjana IPB/Departemen Kehutanan, Fakultas Pertanian USU

²⁾ Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, IPB

³⁾ UPT Balai Penelitian dan Pengembangan Biomaterial LIPI, Cibinong

Corresponding author : rudihartono_usu@yahoo.co.id (Rudi Hartono)

Abstract

The objectives of this research were to study the density distribution and stress-strain curve (SSC) of oil palm trunk (OPT). The 40 year-old of OPT was used for these experiments. The specimen was taken from 1 m, 3 m and 5 m height of OPT with dimension of (2 x 2 x 2) cm³ for density distribution measurements. The interval of it was 2 cm from the outer near the bark to the inner near the center. The specimen for SSC measurements was taken only from 1 m height with the same dimension, interval, and position, as well. These specimens were treated into three conditions, i.e. air dry, wet and water saturated. The results showed that density of OPT was 0.23-0.74 g cm⁻³. The stress-strain curves showed that water saturated and wet conditions were easier to compress than that of air dried condition. The compression level increased from the outer to the center of the trunk. The center part can be compressed into 67% in air dry condition and 72-73% in wet and water saturated conditions from their initial thickness. Relationships between compression level, showing by strain, and density expressed as polynomial equations, regardless of the three conditions.

Key words: compression, density distribution, OPT, SSC, vascular bundles

Pendahuluan

Batang kelapa sawit dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif penghasil kayu tambahan yang sangat menjanjikan. Potensi peremajaan batang kelapa sawit sangat tinggi mengingat luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia telah mencapai lebih dari 8,04 juta ha yang tersebar di 22 provinsi di Indonesia (Kementerian Pertanian 2010).

Susila (2004) mengemukakan bahwa potensi luas peremajaan kelapa sawit berkisar antara 20-50 ribu ha per tahun. Potensi areal untuk peremajaan pada tahun 2003-2004 adalah sekitar 20 ribu ha per tahun, tahun 2005 menjadi sekitar 30 ribu ha, tahun 2009 dan 2010 yang masing-masing mencapai sekitar 50 ribu dan 37

ribu ha. Febrianto dan Bakar (2004) mengemukakan bahwa dalam setiap hektar terdapat 140 batang sawit tua dengan tinggi bebas cabang 9,5 m dan diameter batang rata-rata 40 cm, maka setiap hektar akan dihasilkan kayu gergajian sebanyak 167 m³. Jika hanya bagian tepi dari batang kelapa sawit yang digunakan dengan rendemen 30%, akan dihasilkan 50,1 m³ kayu gergajian per hektar. Jika setiap tahun terdapat 30 ribu ha yang diremajakan, maka dapat dihasilkan 1,5 juta m³ kayu gergajian. Belum termasuk bagian tengah batang yang lunak. Dapat dibayangkan betapa besar potensi kayu gergajian yang dapat dihasilkan.

meningkatkan kerapatan sebesar 35,72%; MOE 80,07%; dan MOR 66,40% dari nilai awalnya. Sedangkan pada batang kelapa pepadatan sebesar 10-30% mampu meningkatkan kerapatan sebesar 4,43-27,21% (Wardhani 2005).

Untuk memperoleh hasil pepadatan yang optimal, tingkat pepadatan harus sesuai dengan kurva *stress-strain* yang ada. Penelitian tentang hal ini sudah banyak dilakukan, misalnya Ellis dan Steiner (2002). Penelitian tentang tingkat pepadatan yang dikaitkan dengan nilai kerapatan batang kelapa sawit belum pernah dilakukan. Hal inilah yang mendasari dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui distribusi kerapatan secara horizontal pada ketinggian 1, 3, dan 5 m, serta kurva tegangan-regangan (*stress-strain curve/SSC*) untuk menentukan tingkat pepadatan yang akan dilakukan.

Bahan dan Metode

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang kelapa sawit. Alat-alat yang digunakan adalah gergaji, oven, kipas angin, bak perendaman, vakum, *caliper*, desikator, timbangan *digital*, *cutter*, mikroskop, *Universal Testing Machine* (UTM).

Metode

Kelapa sawit yang berumur 40 tahun, berasal dari Desa Cikarawang Darmaga, ditebang sebanyak 3 pohon dengan diameter sekitar 40 cm. Dari setiap pohon diambil potongan berupa *disc* setebal 10 cm pada ketinggian 1, 3, dan 5 m. Untuk penentuan nilai kerapatan digunakan contoh uji yang berukuran (2 x 2 x 2) cm³. Contoh uji diambil secara horizontal dari masing-masing potongan *disc* dan diberi nomor secara berurutan (tepi kiri ke tepi

Batang kelapa sawit sebagai sumber daya alam hayati memiliki beberapa kelemahan bila digunakan sebagai pengganti kayu gergajian, yaitu memiliki stabilitas dimensi, kekuatan dan keawetan yang rendah, serta sifat permesinan yang sangat jelek. Kembang-susut batang kelapa sawit bervariasi antara 9,2-74%, tergolong kelas kuat III-V, kelas awet V dan sifat permesinan kelas V (Bakar *et al.* 1998, 1999a, 1999b, 2000).

Modifikasi sifat-sifat kayu merupakan usaha yang perlu dilakukan agar kayu-kayu dengan kualitas rendah sebagaimana batang kelapa sawit dapat ditingkatkan, baik sifat fisik maupun mekaniknya, sehingga diharapkan dapat digunakan sebagai bahan baku industri perkayuan. Modifikasi kayu dapat dilakukan dengan cara kimia, fisik ataupun kombinasi dari cara-cara tersebut (Hill 2006). Modifikasi terhadap batang kelapa sawit telah dilakukan dengan impregnasi *phenol formaldehyde* (PF), namun metode ini tidak dapat meningkatkan sifat fisis, mekanis dan sifat permesinan kayu (Bakar *et al.* 2000, 2001). Kemudian metode diperbaiki dengan cara kompregnasi PF dan hasilnya mampu meningkatkan sifat fisis, mekanis dan sifat permesinan kayu (Bakar *et al.* 2000, Way *et al.* 2010). Erwinsyah (2008) mengimpregnasi bioresin sehingga mampu meningkatkan kerapatan sebesar 70% dan sifat mekanis berkisar 17-24%.

Salah satu usaha yang dilakukan untuk meningkatkan sifat fisis dan mekanis batang kelapa sawit adalah dengan memadatkannya (*densifying by compression*). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pepadatan mampu meningkatkan sifat fisis dan sifat mekanis secara signifikan. Amin *et al.* (2004) mengemukakan bahwa pepadatan sebesar 33% pada kayu randu, jengkol, manii, mindi, angšana dan mangga mampu

meningkat dengan sangat tajam meningkat tajam (*post collapse region*) menunjukkan kayu telah mengalami tegangan maksimum atau mengalami kerusakan (Shams *et al.* 2004). Untuk mengetahui tingkat pemadatan maksimal yang dapat dilakukan pada ketiga kondisi tersebut dilakukan dengan cara mencari perpotongan garis antara wilayah plastis dan wilayah *post collapse region* seperti terlihat pada Gambar 1, sedangkan penentuan *stroke strain* seperti terlihat pada Gambar 2.

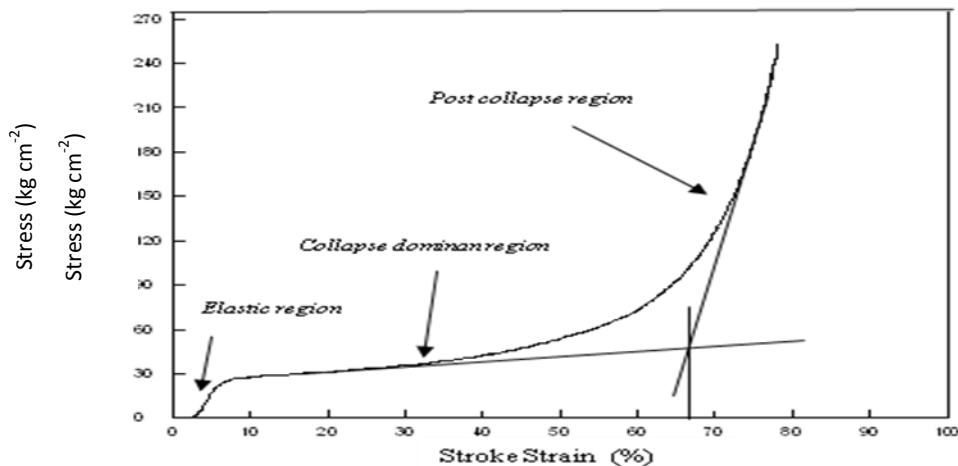
Sebelum dilakukan pengujian *stress-strain* dengan menggunakan mesin UTM, seluruh contoh uji diukur dimensinya. Sebagai perbandingan, dilakukan juga pengukuran *stress-strain* terhadap kayu sengon arah radial dan tangensial pada kondisi kerapatan yang sama dengan batang kelapa sawit yaitu $0,3 \text{ g cm}^{-3}$.

Analisis data untuk distribusi kerapatan dilakukan dengan metode Rancangan Acak Lengkap Faktorial, dengan faktor A adalah kerapatan secara vertikal (ketinggian 1, 3, dan 5 m) dan faktor B adalah kerapatan secara horizontal, dengan 3 ulangan.

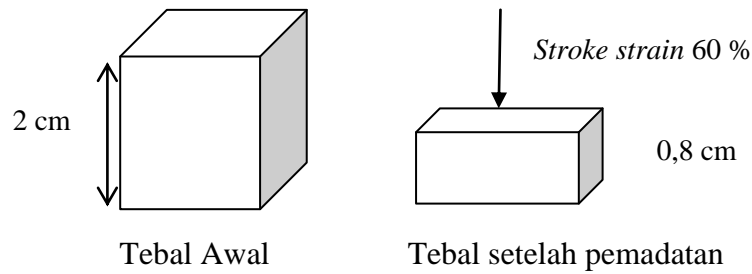
kanan). Seluruh contoh uji kemudian dikering-udarkan selama 3 minggu, selanjutnya ditimbang berat dan diukur volumenya.

Contoh uji tegangan-regangan (*stress-strain*) juga berukuran $(2 \times 2 \times 2) \text{ cm}^3$, tetapi diambil dari *disc* pada ketinggian 1 m dari bagian dekat kulit sampai ke pusat batang. Kemudian dikelompokkan menjadi 3 kondisi yaitu kering udara, basah dan jenuh air. Untuk menghasilkan kondisi kering udara, contoh uji dibiarkan di udara terbuka sampai dengan beratnya konstan (kadar air sekitar 15%). Untuk menghasilkan kondisi basah, contoh uji direndam dalam air sampai mencapai kadar air jenuh serat (kadar air sekitar 30%), sedangkan untuk menghasilkan kondisi jenuh air, contoh uji direndam dalam air dan divakum sampai contoh uji tenggelam.

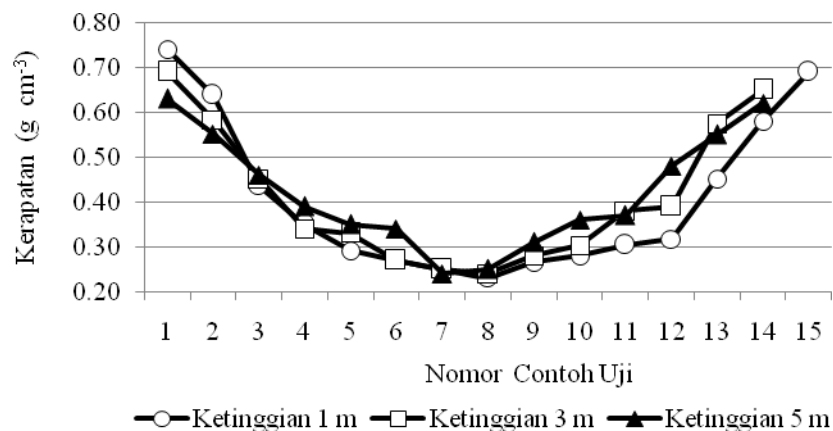
SSC dibutuhkan untuk menentukan besarnya tingkat pemadatan yang dapat dilakukan. SSC pada kayu umumnya mempunyai pola yaitu pada awalnya merupakan wilayah elastis (*elastic region*), diikuti dengan wilayah plastis (*collapse dominant region*) dan kemudian



Gambar 1 Penentuan tingkat pemadatan maksimal.



Gambar 2 Penentuan tingkat *stroke strain*.



Gambar 3 Distribusi kerapatan batang kelapa sawit pada berbagai ketinggian batang (Ket.: Nomor Contoh Uji menunjukkan interval 2 cm dari tepi kiri ke tepi kanan).

Hasil dan Pembahasan

Distribusi kerapatan

Kerapatan batang kelapa sawit hasil penelitian ini berkisar antara 0,23-0,74 g cm⁻³. Distribusi kerapatan batang kelapa sawit secara horizontal dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pola distribusi kerapatan batang kelapa sawit relatif sama pada ketinggian 1, 3, maupun 5 m. Secara horizontal, kerapatan tertinggi berada pada bagian tepi, kemudian menurun pada bagian tengah dan terendah terdapat pada bagian pusat. Secara vertikal, kerapatan batang kelapa sawit

pada bagian tepi luar sedikit lebih tinggi pada ketinggian 1 m (bagian pangkal), diikuti ketinggian 3 dan 5 m.

Perbedaan nilai kerapatan antara bagian tepi ke arah pusat batang terkait dengan distribusi *vascular bundles* dalam batang. Sebagaimana Gambar 4 terlihat bahwa *vascular bundles* pada bagian tepi lebih rapat dan berangsur-angsur berkurang ke arah pusat.

Hasil ini sesuai dengan penelitian Erwinsyah (2008) bahwa secara horizontal kerapatan batang kelapa sawit semakin menurun dari bagian luar ke arah bagian pusat batang. Secara vertikal, kerapatan menurun dari bagian pangkal ke bagian

tengah batang, dan kemudian sedikit meningkat ke arah ujung batang.

Berdasarkan analisis sidik ragam, secara vertikal/ketinggian 1, 3, dan 5 m dan secara horizontal, serta interaksinya berpengaruh sangat nyata terhadap nilai kerapatan. Secara vertikal, nilai kerapatan semakin menurun dengan semakin meningkatnya ketinggian. Hasil yang sama diperoleh juga oleh Lim dan Gan (2005) dan Erwinsyah (2008). Hal ini kemungkinan disebabkan semakin tinggi posisi batang, semakin sedikit proporsi *vascular bundles* yang dimilikinya.

Secara horizontal, Bakar *et al.* (2008) menyatakan bahwa dua sebab perbedaan kerapatan batang kelapa sawit secara horizontal pada bagian tepi lebih tinggi dibandingkan bagian dalam. Pertama, bagian tepi didominasi oleh *vascular bundles* (51%) yang memiliki kerapatan tinggi, sedangkan bagian tengah didominasi oleh jaringan parenkim (70%) yang memiliki kerapatan rendah. Kedua, dinding sel jaringan parenkim bagian tepi lebih tebal dibandingkan bagian tengah.

Kerapatan batang kelapa sawit bervariasi tergantung pada lokasi tempat tumbuh. Kerapatan batang kelapa sawit umur 25 tahun yang berasal dari Perkebunan Kelapa sawit Aek Pancur, Sumatera Utara berkisar antara 0,14-0,60 g cm⁻³

(Erwinsyah 2008), sedangkan yang berasal PTPN VII Lampung berkisar antara 0,11-0,46 g cm⁻³ (Bakar *et al.* 2000).

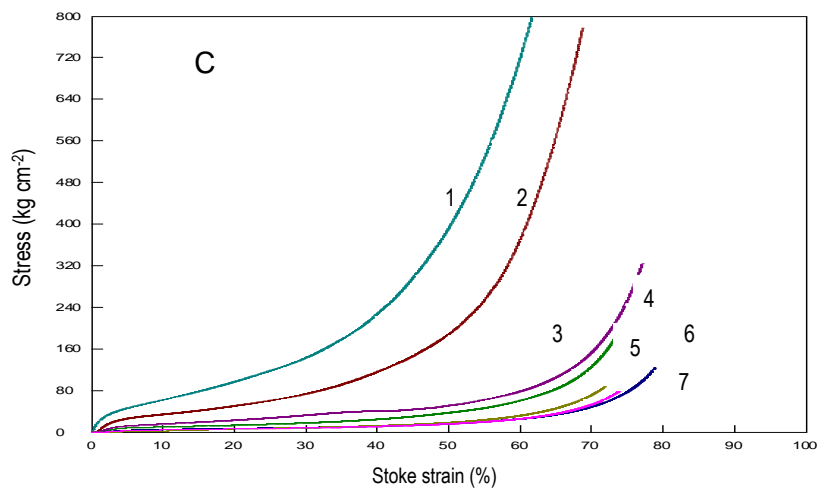
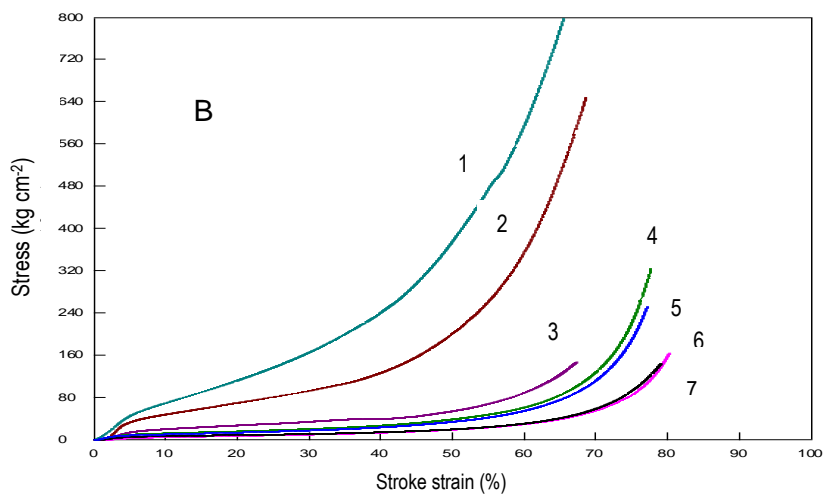
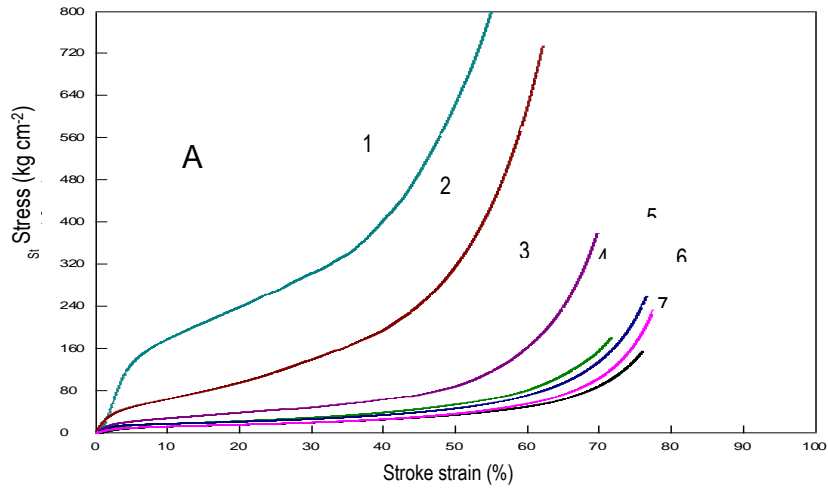
Kerapatan batang kelapa sawit juga dipengaruhi umur pohon. Pada penelitian ini, kerapatan bagian tepi yang mencapai kerapatan 0,74 g cm⁻³. Hal ini kemungkinan disebabkan umur yang lebih tua (40 tahun) lebih banyak memiliki pori kayu dewasa. Dengan meningkatnya umur pohon, frekuensi *vascular bundles* dibagian tepi juga akan semakin tinggi. Hal ini yang mengakibatkan terjadinya perbedaan hasil.

SSC

Jika kayu diberi beban, maka kayu akan mengalami perubahan bentuk (deformasi). Pada wilayah elastis, apabila kayu diberi beban dan kemudian beban dilepaskan, maka kayu akan kembali ke bentuk semula. Pada wilayah plastis, apabila kayu diberi beban dan kemudian beban dilepaskan, maka kayu akan mengalami perubahan bentuk yang tetap, meskipun belum mengalami kerusakan (Panshin & de Zeeuw 1980). Pada wilayah plastis ini kegiatan pemadatan dilakukan sesuai dengan tingkat pemadatan yang diinginkan.



Gambar 4 Distribusi kerapatan *vascular bundles* batang kelapa sawit dari bagian tepi (dekat kulit) menuju ke pusat.



Gambar 5 Kurva *stress-strain* batang kelapa sawit: A) Kondisi Kering Udara, B) Kondisi Basah, dan C) Kondisi Jenuh Air (Ket.: Nomor menunjukkan lokasi contoh uji arah horizontal (dari bagian tepi ke arah pusat batang)).

SSC pada batang kelapa sawit dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi 3 kondisi yaitu kondisi kering udara, basah dan jenuh air. SSC batang kelapa sawit pada kondisi kering, basah dan jenuh air dapat dilihat pada Gambar 5.

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa SSC yang dihasilkan pada ketiga kondisi tersebut memiliki pola yang hampir sama. Namun *stress* yang dibutuhkan untuk memadatkan batang pada kondisi kering udara lebih besar dibandingkan kondisi basah dan juga jenuh air. Ellis dan Steiner (2002) mengemukakan bahwa semakin tinggi kadar air yang dimiliki, maka kayu akan semakin plastis dan kurva stress strain akan semakin landai.

SSC yang terjadi pada contoh uji nomor 1 dan 2 (dekat tepi) terus meningkat pada semua kondisi dan tidak terlihat secara jelas wilayah plastis. Hal ini terkait dengan nilai kerapatan pada bagian luar yang lebih tinggi dibandingkan bagian tengah atau pusat batang (Gambar 3). Tingginya kerapatan akibat frekuensi *vascular bundles* yang rapat, sehingga luasan permukaan *vascular bundles* per cm^2 lebih tinggi dibandingkan luasan parenkim dasar (Gambar 4). Hal ini didukung oleh hasil penelitian Rahayu (2001) dan Erwinsyah (2008). Keberadaan *vascular bundles* ini kemungkinan memberikan kekuatan secara mekanis untuk menahan beban, oleh karena itu pada bagian terluar dibutuhkan *stress* yang lebih besar untuk memadatkan kayu dan semakin ke dalam *stress* yang dibutuhkan semakin berkurang.

Tingkat pemadatan maksimal (Maximum Compression Level)

Berdasarkan kurva *stress-strain* tersebut dapat ditentukan tingkat pemadatan maksimal pada daerah plastis tanpa

merusak dinding sel batang kelapa sawit. Pemadatan maksimal batang kelapa sawit pada kondisi kering udara, basah dan jenuh air dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa tingkat pemadatan pada kondisi kering udara paling rendah, diikuti kondisi basah dan jenuh air. Selanjutnya diketahui juga bahwa pada semua kondisi, contoh uji nomor 1 (paling tepi) memiliki tingkat pemadatan yang paling rendah, yaitu antara 37-47%.

Tingkat pemadatan cenderung meningkat ke pusat batang dan mencapai maksimum pada contoh uji nomor 7 (pusat batang) masing-masing sebesar 67%, 72% dan 73% untuk kondisi kering udara, basah dan jenuh air. Hal ini juga berkaitan dengan nilai kerapatan kayu dimana kerapatan contoh uji nomor 1 paling tinggi, sedangkan nomor 7 paling rendah (Gambar 3). Semakin rendah kerapatan, maka semakin tinggi tingkat pemadatan yang dapat dilakukan.

Jika dilihat pada Tabel 1, kerapatan awal pada kondisi kering udara contoh uji nomor 1 dan 2 adalah $0,63 \text{ g cm}^{-3}$ dan $0,56 \text{ g cm}^{-3}$. Kerapatan batang kelapa sawit sampai contoh uji nomor 2 sudah cukup tinggi, sehingga jika digunakan untuk keperluan bahan bangunan, maka pada bagian tersebut sudah cukup kuat untuk menahan beban. Namun jika ingin ditingkatkan lagi kualitasnya dengan pemadatan, maksimal pemadatan yang dapat dilakukan pada kondisi kering contoh uji nomor 1 adalah 37% dan nomor 2 adalah 46%.

Hubungan antara kerapatan dan *stroke strain* (%) pada kondisi kering udara, basah dan jenuh air dapat dilihat pada Gambar 6. Nilai *stroke strain* ini menunjukkan tingkat pemadatan maksimal yang dapat dilakukan.

Tabel 1 Tingkat pemadatan maksimal batang kelapa sawit pada 3 (tiga) kondisi

Nomor Contoh Uji	Kerapatan rata-rata (g cm ⁻³)	Tingkat Pemadatan (%)		
		Kering Udara	Basah	Jenuh Air
1	0.63	37	38	47
2	0.56	46	52	55
3	0.45	57	57	64
4	0.35	61	64	65
5	0.33	63	70	70
6	0.29	65	71	72
7	0.26	67	72	73

Dari Gambar 6 terlihat bahwa tingkat pemadatan yang paling rendah adalah pada kondisi kering udara, diikuti kondisi basah dan jenuh air. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa jika diketahui kerapatan batang kelapa sawit, maka dapat ditentukan tingkat pemadatan maksimal pada semua kondisi, baik kering udara, basah ataupun jenuh air.

Hubungan antara kerapatan dan *stroke strain* ditunjukkan oleh garis polynomial, dimana persamaan pada kondisi kering udara adalah $y = -0.964x^2 + 2.892x + 64.14$, $R^2 = 0.990$; kondisi basah $y = -x^2 + 2.571x + 70.14$, $R^2 = 0.990$; kondisi jenuh air $y = -0.738x^2 + 1.690x + 71.71$, $R^2 = 0.984$, dimana x adalah kerapatan dan y adalah *stroke strain*.

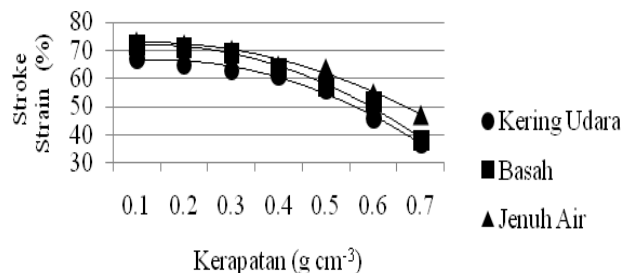
Hal ini menunjukkan bahwa baik pada kondisi kering udara, basah maupun jenuh air, nilai kerapatan memiliki hubungan yang sangat nyata (signifikan) dengan

nilai *stroke strain*, terlihat dari tingginya nilai R^2 yang dihasilkan.

Perbandingan dengan *stress-strain* kayu sengon

Pada Gambar 7 dapat dilihat perbandingan SSC antara batang kelapa sawit dengan kayu sengon pada kerapatan yang sama, yaitu 0,3 g cm⁻³. Kayu sengon dipadatkan pada arah radial dan tangensial.

Gambar 7 menunjukkan bahwa SSC batang kelapa sawit identik dengan SSC kayu sengon pada arah tangensial. Kedua jenis tersebut dapat dipadatkan hingga 66% dari tebal awal pada arah tangensial. Tidak adanya tahanan sel jari-jari pada kayu sengon saat pemadatan arah tangensial diduga sebagai penyebabnya, sehingga efek pemadatannya serupa dengan batang kelapa sawit yang diketahui tidak memiliki jari-jari.



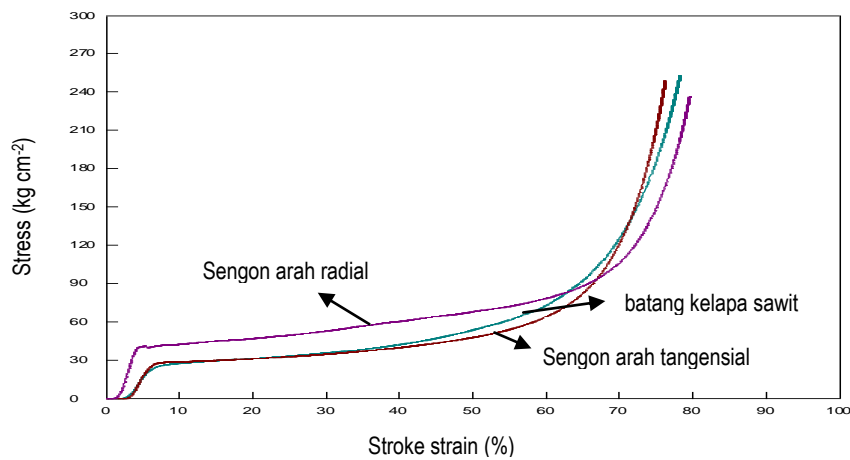
Gambar 6 Hubungan antara kerapatan batang kelapa sawit dengan *stroke strain* (%) pada kondisi kering udara, basah dan jenuh air.

Dengan demikian batang kelapa sawit yang tersusun oleh jaringan parenkim dasar dan *vascular bundles* lebih memungkinkan untuk dipadatkan dari berbagai arah, baik penampang tangensial maupun radialnya.

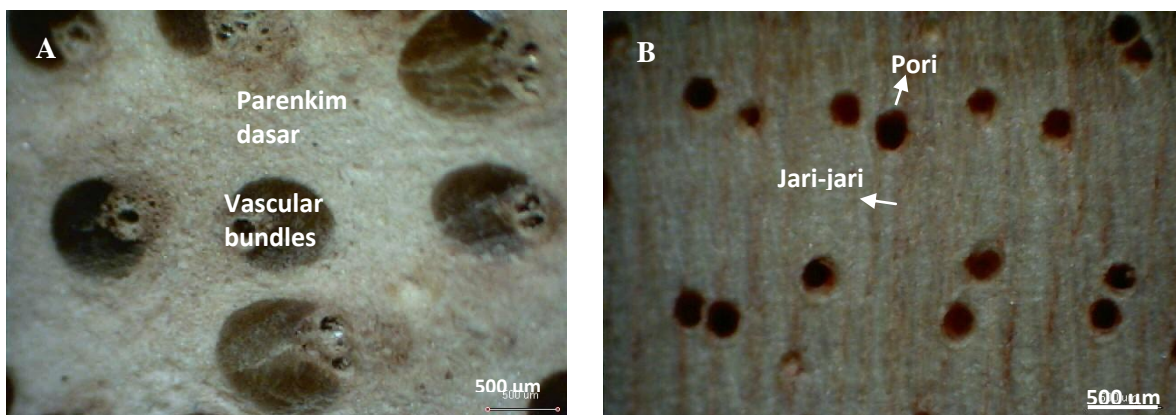
Pada Gambar 7 juga terlihat bahwa *stress* awal kayu sengon pada arah radial sedikit lebih tinggi dibandingkan kayu sengon pada arah tangensial. Hal ini karena pengaruh dari jari-jari kayu (Gambar 8 B). Namun pemadatan pada arah radial memiliki wilayah plastis yang lebih panjang, sehingga tingkat pemadatan kayu

sengon yang bisa dilakukan mencapai 71%, hampir sama dengan batang kelapa sawit pada kondisi basah.

Batang kelapa sawit dengan kerapatan $0,3 \text{ g cm}^{-3}$ berada di bagian pusat batang. Bagian pusat batang diketahui memiliki jaringan parenkim dasar yang maksimal. Semakin banyak parenkim dasar, maka akan semakin mudah dipadatkan karena dinding parenkim relatif sangat tipis. Perbedaan struktur batang kelapa sawit dan kayu sengon ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7 Perbandingan antara SSC batang kelapa sawit dengan kayu sengon.



Gambar 8 Perbandingan struktur kayu pada penampang lintang antara batang kelapa sawit (A) dengan kayu sengon (B).

Kesimpulan

Pola distribusi kerapatan batang kelapa sawit tertinggi berada pada bagian tepi dekat kulit, kemudian menurun pada bagian tengah dan terendah terdapat pada bagian pusat dengan kerapatan berkisar antara 0,23-0,74 g cm⁻³. Perbedaan kerapatan ini menyebabkan wilayah plastis kurva *stress-strain* yang dihasilkan semakin melandai dengan menurunnya kerapatan kayu, selain dipengaruhi juga oleh kondisi batang kelapa sawit (kering, basah dan jenuh air). Tingkat pemadatan maksimal batang kelapa sawit pada bagian tepi dekat kulit masing-masing adalah sebesar 37% pada kondisi kering udara, 38% pada kondisi basah dan 47% pada kondisi jenuh air, sedangkan pada pusat batang dapat dipadatkan sampai 67% pada kondisi kering udara, dan 72% pada kondisi basah atau jenuh air. Nilai kerapatan memiliki hubungan yang sangat nyata (signifikan) dengan nilai *stroke strain* (%) yang ditunjukkan oleh garis polynomial, baik pada kondisi kering udara, basah, maupun jenuh air. Pada kerapatan yang sama, SSC batang kelapa sawit sama dengan kurva *stress-strain* kayu sengon pada arah tangensial.

Daftar Pustaka

- Amin Y, Dwianto W, Prianto AH. 2004. Sifat mekanik kayu kompresi. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI) VII*. Makasar. Pp. 90-95
- Bakar ES, Rachman O, Hermawan D, Karlinasari L, Rosdiana N. 1998. Pemanfaatan batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) sebagai bahan bangunan dan furniture (I) : Sifat fisis, kimia dan keawetan alami kayu kelapa sawit. *J Teknol. Hasil Hutan* XI(1):1-11
- Bakar ES, Rachman O, Darmawan W, Hidayat I. 1999a. Pemanfaatan batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) sebagai bahan bangunan dan furniture (II) : Sifat mekanis kayu kelapa sawit. *J Teknol. Hasil Hutan* XII(1):10-20
- Bakar ES, Massijaya Y, Tobing TL, Ma'mur A. 1999b. Pemanfaatan batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) sebagai bahan bangunan dan meubel (III) : Sifat keterawetan kayu sawit dengan basilit-CFK dan impralit-BI. *J Teknol. Hasil Hutan* XII(2):13-20
- Bakar ES, Rachman O, Massijaya Y, Bahruni. 2000. Pemanfaatan batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) sebagai bahan bangunan dan furniture. Bogor: Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor.
- Bakar ES, Tahir PM, Sahri MH, San YH. 2005. Oil palm wood treated with pf resin by the compreg methods: influence of solution concentration and impregnation methods. *Proc. Int. Sym. of Wood Sci. and Technol.* Pacifico Yokohama, Japan. I. Pp 86-87.
- Bakar ES, Sahri MH, H'ng PS. 2008. Anatomical Characteristics and Utilization of Oil Palm Wood. In: *The Formation of Wood in Tropical Forest Tress: A Challenge from the Perspective of Functional Wood Anatomy*, Editor: Tadashi Nobuchi and Mohd. Hamami Sahri. UPM Press, Selangor. Pp 161-180
- Ellis S, Steiner P. 2002. The behaviour of five wood species in compression. *IWA J* 23(2):201-211.
- Erwinsyah. 2008. *Improvement of Oil Palm Wood Properties using Bioresin*. Institut für Forstnutzung und Forsttechnik. [Dissertation]. Dresden:

- Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften. Technische Universität Dresden.
- Febrianto F, Bakar ES. 2004. *Kajian Potensi, Sifat-sifat Dasar dan Kemungkinan Pemanfaatan Kayu Karet dan Biomassa Sawit di Kabupaten Musi Banyuasin*. Bogor: Lembaga Manajemen Agribisnis Agroindustri IPB.
- Hill C. 2006. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. England: Willey.
- Kementerian Pertanian. 2010. *Statistik Pertanian 2010*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Lim SC, Gan KS. 2005. Characteristics and utilisation of oil palm stem. *Timber Technol. Bull.* 35.
- Panshin AJ, de Zeeuw C. 1980. *Textbook of Wood Technology*, 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Rahayu IS. 2001. *Sifat Dasar Vascular Bundle dan Parenchyme Batang kayu Kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq) Dalam Kaitannya dengan Sifat Fisis, Mekanis, serta Keawetannya* [Thesis]. Bogor: Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Shams MI, Yano H, Endou K. 2004. Compressive deformation of wood impregnated with low molecular weight phenol formaldehyde (PF) resin I: effects of pressing pressure and pressure holding. *J Wood Sci.* 50:337–342
- Susila WR, 2004. Peluang Investasi Bisnis Kelapa Sawit di Indonesia. http://www.ipard.com/art_perkebunan/0030504wrs.asp. [5 April 2010].
- Wardhani IY. 2005. *Kajian Sifat Dasar dan Pematatan Bagian Dalam Kayu Kelapa (Cocos nucifera L)*. [Disertasi]. Bogor: Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Way CY, Bakar ES, Ashaari Z, Sahri MH. 2010. Treatment of oil palm wood with low-molecular weight phenol formaldehyde resin and its machining characteristics. *Wood Res. J* 1(1):7-12.

Riwayat naskah (*article history*)

Naskah masuk (*received*): 25 Oktober 2010

Diterima (*accepted*): 7 Desember 2010