

Sifat Mekanik Berkas Vaskular Batang Kelapa Sawit

Asmaliyah Saroji dan K.O. Lim

*Pusat Pengajian Sains Fizik, Universiti Sains Malaysia
11800 Pulau Pinang, Malaysia*

Received: 12 Mei 1999

ABSTRAK

Penyelidikan dijalankan untuk mengkaji kaitan antara sifat tegasan-terikan berkas vaskular batang kelapa sawit dengan peratus kelembapannya dan juga kaitan antara sifat mekanik tersebut dengan mikrostruktur berkas vaskular berdasarkan ciri graf tegasan-terikan yang diperolehi. Hasil menunjukkan bahawa semua berkas vaskular yang diuji menghasilkan 3 zon canggaan iaitu zon lengkung hampir linear, zon plato dan akhirnya zon garis linear. Kewujudan zon plato itu kemudiannya diterangkan dengan merujuk kepada mikrostruktur berkas vaskular yang dikaji. Dengan kewujudan zon plato itu, lengkung tegasan-terikan dapat dicirikan dengan 2 modulus elastik iaitu modulus awal dan modulus akhir. Modulus akhir didapati lebih tinggi berbanding dengan modulus awal dan ini menunjukkan bahawa berkas vaskular telah menjadi lebih tegar selepas zon plato terbentuk. Didapati juga sifat tegasan maksimum dan modulus akhir meningkat apabila kelembapan berkas vaskular berkurang.

ABSTRACT

The objective of the project is to investigate the relationship between the stress-strain characteristics of oil palm trunk vascular bundles and its moisture content. Based on the stress-strain graphs, the mechanical characteristics are then related to the microstructure of the vascular bundles. The results show that for all samples tested, 3 zones of deformation are found i.e an initial zone that is slightly curving, a plateau zone and finally a linear zone. The existence of the plateau zone is then explained in terms of the vascular bundle microstructure. As a result of the presence of the plateau zone, the stress-strain curve is then described by 2 modulus of elasticity i.e the initial modulus and final modulus. The final modulus was found to be higher than the initial modulus thus indicating that the vascular bundles become stiffer after encountering the plateau zone. The maximum stress and final modulus of the vascular bundles were found to increase when the moisture content of the vascular bundles decreased.

Kata kunci: sifat mekanik, berkas vaskular, batang kelapa sawit

PENGENALAN

Kajian ke atas sifat batang kelapa sawit termasuk sifat mekanik telah mula dijalankan semenjak ladang kelapa sawit perlu melalui proses penanaman semula. Ini adalah kerana jumlah penghasilan batang dan pelepah pokok kelapa sawit meningkat dari setahun ke setahun. Oleh itu, kajian-kajian ke atas

sifat bahan buangan ini giat dijalankan seperti mengkaji sifat fizikal, sifat kimia, dan juga sifat mekanik. Kajian ke atas sifat mekanik batang kelapa sawit telah mula dijalankan seawal tahun 1985.

Jadual 1 menunjukkan perbandingan beberapa sifat mekanik batang kelapa sawit dengan beberapa spesies batang pokok. Killmann & Lim (1985) mendapati kekuatan lentur batang pokok kelapa sawit secara amnya rendah berbanding dengan spesies lain tetapi setanding dengan batang pokok kelapa. Nilai tertinggi dicapai pada kawasan periferal bahagian bawah batang manakala kawasan pusat bahagian atas batang menunjukkan nilai kekuatan yang paling rendah.

Corak yang sama juga diperhatikan pada sifat kekuatan kemampatan. Nilai bagi batang kelapa sawit sangat rendah berbanding spesies lain tetapi setanding dengan batang pokok getah (Killmann & Lim 1985).

Walau bagaimanapun, nilai kekerasan bagi batang kelapa sawit adalah rendah berbanding dengan semua spesies kayu yang diuji, termasuklah batang pokok getah dan pokok kelapa tetapi ia agak setanding dengan 'Norway spruce' dan kayu poplar (Killmann & Lim 1985).

Pada masa ini, telah ada beberapa produk yang dihasilkan daripada batang kelapa sawit seperti *medium density fibreboard (MDF)*, *mineral-bonded particleboard*, *blockboard*, *plywood* dan perabot (Chew *et al.* 1991), namun banyak yang masih berada di tahap kurang memuaskan kerana terdapat pelbagai masalah untuk menghasilkan produk-produk tersebut. Oleh itu, satu penyelidikan telah dimulakan untuk mengkaji sifat mekanik berkas vaskular batang kelapa sawit dengan harapan bahawa sifat tersebut akan dapat menyumbang kepada pemahaman tentang prestasi produk yang dihasilkan daripada batang kelapa sawit.

JADUAL 1
Perbandingan ciri-ciri *Elaeis guineensis* dengan beberapa spesies

| Spesies | Ketumpatan (kering ketuhar) (kg/m ³) | Modulus elastik (Mpa) | Modulus patah (Mpa) | Kekerasan (N) |
|----------------------------|--|-----------------------------|---------------------------|------------------|
| Kelapa sawit (30 tahun) | 220-550 | 800-8000 | 8-45 | 350-2450 |
| kelapa (60 tahun) | 250-850 | 3100-11400 | 26-105 | 520-4400 |
| pokok tamar | 410 | 1719-2745 | 11-23 | 2000 |
| Norway spruce | 300-640 | 11000 | 66 | 2140 |
| Beech | 490-880 | 16000 | 105 | 5650 |
| Poplar | 360-560 | 8300 | 76 | 2500 |
| Cengal | 820 | 19600 | 149 | 9480 |
| Kapur | 690 | 13200 | 73 | 5560 |
| D.R. Meranti | 540 | 12700 | 71 | 3960 |
| Kayu getah | 530 | 8800 | 58 | 4230 |

Sumber: Killmann & Lim (1985)

BAHAN DAN KAEDAH

Untuk melaksanakan projek ini, berkas vaskular batang kelapa sawit yang telah tua dan yang baru ditebang digunakan. Berkas vaskular diambil secepat mungkin dari 3 segmen mengikut ketinggian (kawasan pucuk, tengah, dan pangkal) dan mengikut kedalaman batang iaitu luaran dan dalaman.

Oleh itu, projek ini mempunyai 6 segmen yang diuji. Bagi setiap segmen, sekurang-kurangnya 4 set berkas vaskular diambil untuk dikaji sama ada sifat mekaniknya berubah berbanding nilai kelembapan. Nilai kelembapan diambil dengan cara membiarkan berkas vaskular kering pada suhu bilik selama beberapa hari. Untuk setiap set, berkas vaskular dikeringkan dengan jumlah hari yang berlainan supaya setiap set mempunyai nilai kelembapan yang berlainan. Nilai kelembapan ditentukan dengan cara mengeringkan sampel di dalam alat analisis kelembapan sehingga berat sampel tidak lagi berubah. Perbezaan berat sampel sebelum dan selepas pengeringan diambil sebagai nilai kelembapan sampel.

Ujikaji dijalankan dengan menggunakan mesin ujian tegangan model LR5K dari LLOYD Instruments Ltd. Daripada ujian ini, data daya maksimum dan pemanjangan maksimum yang sepadan dihasilkan. Untuk mengira tegasan, luas keratan rentas berkas vaskular yang telah dicangga hingga putus perlu dicari. Ini dilakukan dengan memotong berkas vaskular sedekat mungkin dengan kawasan yang patah untuk mendapatkan keratan rentasnya. Kemudian kepingan berkas vaskular tersebut diletakkan di atas kaca slaid dan dibalut dengan loytape. Imej keratan rentas berkas vaskular diperbesarkan dahulu dengan menggunakan mikroskop sebelum gambarnya dirakamkan dengan menggunakan kamera. Selepas itu, luas keratan rentas dicari dengan teknik surihan iaitu dengan menggunakan kertas surih dan menyurih luas ke atas gambar keratan rentas berkas vaskular yang telah diperbesarkan itu. Teknik ini digunakan kerana bentuk keratan rentas berkas vaskular tidak simetri. Kemudian tegasan dan terikan boleh ditentukan dan hubungan di antara parameter tersebut dapat diplotkan supaya modulus elastik berkas vaskular dapat ditentukan.

Mikrostruktur berkas vaskular pula dikaji dengan menggunakan mikroskop pengimbas elektron (SEM) mengikut peringkat-peringkat yang terbentuk dalam graf tegasan-terikan. Peringkat-peringkat tersebut ialah: (1) berkas vaskular mentah (kawalan), (2) ketika di zon plato, (3) selepas zon plato dan (4) selepas sampel putus. Kajian ini bertujuan untuk melihat sebarang perubahan yang berlaku ke atas mikrostruktur berkas vaskular apabila ujian tegangan dikenakan ke atasnya. Penyediaan sampel untuk kajian mikrostruktur ini dilakukan dengan cara mengoyak secara membujur berkas-berkas vaskular yang telah dikenakan ujian mengikut peringkat di atas tanpa menggunakan sebarang alat untuk mengelakkan kerosakan pada mikrostrukturnya. Kemudian sampel dilapisi dengan emas mengikut prosedur piawai sebelum diimbas di bawah mikroskop elektron.

Keputusan eksperimen ditunjukkan di dalam Jadual 2 dan 3. Takrifan untuk keputusan yang ditunjukkan dalam jadual-jadual tersebut adalah seperti berikut:

JADUAL 2

Modulus awal, modulus akhir, terikan maksimum, dan panjang zon plato bagi segmen-segmen terpilih dengan peratus kelembapan awal yang berlainan

| segmen / % kelembapan | mod.awal (x 10 ⁹ Nm ⁻²) | mod.akhir (x 10 ⁹ Nm ⁻²) | terikan maks (%) | panjang zon. plato (%) |
|--------------------------|---|--|---------------------|---------------------------|
| 2O(2) / 21.22 | 0.73 ±0.07 | 1.04 ±0.23 | 7.43 ±0.42 | 8.52 ±0.84 |
| 2O(1) / 11.20 | 0.87 ±0.11 | 1.54 ±0.21 | 6.44 ±0.27 | 10.21 ±0.73 |
| 2O(3) / 9.08 | 0.95 ±0.04 | 1.66 ±0.06 | 6.65 ±0.35 | 9.44 ±1.21 |
| 2O(4) / 8.71 | 1.26 ±0.14 | 2.24 ±0.20 | 5.54 ±0.25 | 10.65 ±0.57 |
| 2O(5) / 8.42 | 1.32 ±0.22 | 2.45 ±0.30 | 6.17 ±0.53 | 9.15 ±0.60 |
| 2I(1) / 40.29 | 1.15 ±0.07 | 1.35 ±0.06 | 7.18 ±0.43 | 10.18 ±0.99 |
| 2I(3) / 38.85 | 1.21 ±0.12 | 1.55 ±0.16 | 6.45 ±0.40 | 12.56 ±0.33 |
| 2I(2) / 16.71 | 1.08 ±0.09 | 1.24 ±0.10 | 7.05 ±0.32 | 11.01 ±0.96 |
| 2I(4) / 10.24 | 1.18 ±0.12 | 1.50 ±0.19 | 8.22 ±0.54 | 9.22 ±0.43 |
| 7O(1) / 61.79 | 0.55 ±0.03 | 1.17 ±0.11 | 6.87 ±0.35 | 11.09 ±0.57 |
| 7O(2) / 54.87 | 1.17 ±0.07 | 1.92 ±0.12 | 5.28 ±0.20 | 11.87 ±0.58 |
| 7O(3) / 44.64 | 0.82 ±0.08 | 1.40 ±0.14 | 6.52 ±0.21 | 10.17 ±1.03 |
| 7O(4) / 8.16 | 1.00 ±0.09 | 1.96 ±0.17 | 6.46 ±0.33 | 9.61 ±0.56 |
| 7I(2) / 45.40 | 0.95 ±0.10 | 1.11 ±0.15 | 8.21 ±0.27 | 8.35 ±0.23 |
| 7I(1) / 44.64 | 0.78 ±0.11 | 0.86 ±0.13 | 7.46 ±0.45 | 11.56 ±1.22 |
| 7I(3) / 29.57 | 1.10 ±0.07 | 1.13 ±0.07 | 6.94 ±0.16 | 10.72 ±0.44 |
| 7I(4) / 7.71 | 0.93 ±0.08 | 1.43 ±0.15 | 6.32 ±0.36 | 9.73 ±1.64 |
| 13O(1) / 36.2 | 0.80 ±0.02 | 3.39 ±0.25 | 6.33 ±0.34 | 9.34 ±0.33 |
| 13O(3) / 24.7 | 0.76 ±0.08 | 2.87 ±0.34 | 7.14 ±0.38 | 8.98 ±0.35 |
| 13O(2) / 10.0 | 0.96 ±0.08 | 4.09 ±0.35 | 7.20 ±0.36 | 8.32 ±0.79 |
| 13O(4) / 8.32 | 1.18 ±0.11 | 4.65 ±0.25 | 6.66 ±0.44 | 8.58 ±0.56 |
| 13I(1) / 52.95 | 0.87 ±0.08 | 1.29 ±0.10 | 7.13 ±0.17 | 9.17 ±0.37 |
| 13I(2) / 40.43 | 0.94 ±0.09 | 1.36 ±0.15 | 6.67 ±0.42 | 9.19 ±1.22 |
| 13I(3) / 38.96 | 1.11 ±0.07 | 1.82 ±0.18 | 6.24 ±0.47 | 11.01 ±1.12 |
| 13I(4) / 9.85 | 1.21 ±0.15 | 2.29 ±0.45 | 7.35 ±0.23 | 8.16 ±0.57 |
| 13I(5) / 9.75 | 1.63 ±0.17 | 2.02 ±0.22 | 5.56 ±0.43 | 11.36 ±0.80 |

Keterangan simbol segmen:

contoh :- 13I(5) : 13 - bahagian batang (13-pangkal, 7-tengah, 2-pucuk)

I - zon batang (O-luaran, I-dalaman)

(5) - set kelima berkas vaskular dengan kelembapan awal tertentu

- Modulus awal: modulus awal dikira daripada kecerunan pada titik asalan graf tegasan lawan terikan
- Modulus akhir: modulus akhir dikira daripada kecerunan pada titik kepatahan berlaku graf tegasan lawan terikan
- % terikan maksimum, $E_{\max} = \text{pemanjangan maksimum} / \text{panjang asal}$
 $= (\Delta l_{\max} / l_0) \times 100$
 dengan $l_0 = \text{panjang asal}$ dan $\Delta l_{\max} = \text{pemanjangan maksimum}$

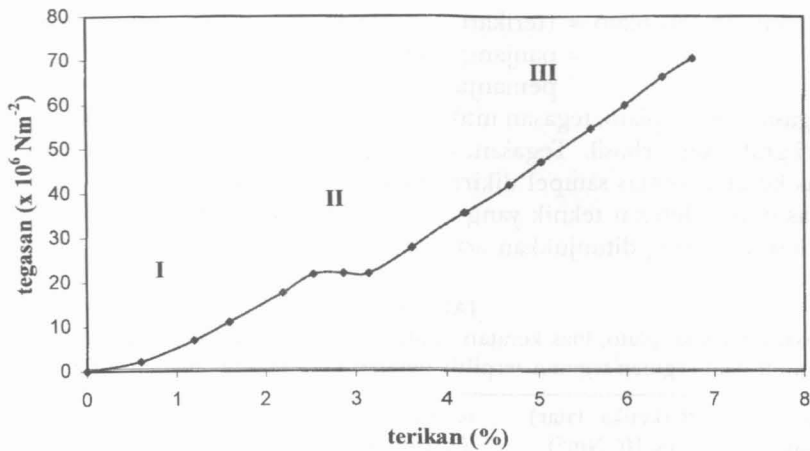
- % panjang zon plato = (terikan zon plato/terikan maksimum) x 100
= panjang zon plato sebagai peratus pemanjangan maksimum
- Tegasan ketika plato, tegasan maksimum, dan daya maksimum diambil terus dari graf yang terhasil. Tegasan, σ dianggap sebagai tegasan sebenar kerana luas keratan rentas sampel dikira selepas canggaan dikenakan.
- Luas dikira dengan teknik yang telah disebut dalam bahagian kaedah.
- Setiap data yang ditunjukkan adalah data purata dari 5 sampel yang diuji.

JADUAL 3

Tegasan, σ ketika plato, luas keratan rentas purata, tegasan maksimum, dan daya maksimum bagi segmen-segmen terpilih dengan peratus kelembapan yang berlainan

| segmen / % kelembapan | σ (ketika datar) (x 10 ⁶ Nm ⁻²) | tegasan maks (x 10 ⁶ Nm ⁻²) | luas A, (x 10 ⁻⁷ m ²) | Daya maksimum F, (N) |
|-----------------------|---|--|--|----------------------|
| 2O(2) / 21.22 | 29.20 ±2.31 | 56.17 ± 2.78 | 7.60 ±0.10 | 42.62 ±1.12 |
| 2O(1) / 11.20 | 31.20 ±3.27 | 67.02 ±12.07 | 6.57 ±0.46 | 41.93 ±4.65 |
| 2O(3) / 9.08 | 35.20 ±2.82 | 75.42 ± 6.18 | 6.20 ±0.09 | 46.83 ±4.04 |
| 2O(4) / 8.71 | 37.60 ±1.94 | 81.16 ±16.03 | 5.56 ±0.28 | 43.66 ±5.98 |
| 2O(5) / 8.42 | 40.80 ±6.17 | 94.73 ± 3.72 | 5.66 ±0.54 | 52.89 ±3.59 |
| 2I(1) / 40.29 | 38.00 ±1.7 | 81.55 ± 6.71 | 5.20 ±0.30 | 42.59 ±4.78 |
| 2I(3) / 38.85 | 49.20 ±5.12 | 73.72 ± 8.99 | 4.45 ±0.28 | 31.99 ±2.35 |
| 2I(2) / 16.71 | 43.20 ±1.77 | 71.99 ± 3.72 | 4.95 ±0.23 | 35.36 ±1.79 |
| 2I(4) / 10.24 | 44.20 ±6.05 | 102.57 ± 6.45 | 5.53 ±0.54 | 55.64 ±3.17 |
| 7O(1)/ 61.79 | 22.50 ±1.88 | 51.95 ± 4.04 | 8.99 ±0.52 | 46.09 ±2.55 |
| 7O(2)/ 54.87 | 36.00 ±2.17 | 67.71 ± 3.70 | 6.15 ±0.43 | 41.32 ±2.84 |
| 7O(3)/ 44.64 | 25.20 ±2.35 | 64.31 ± 4.93 | 8.21 ±0.43 | 52.06 ±2.87 |
| 7O(4)/ 8.16 | 28.20 ±3.71 | 81.70 ±11.03 | 6.86 ±0.51 | 53.89 ±4.02 |
| 7I(2) / 45.40 | 33.40 ±2.71 | 80.85 ± 7.00 | 6.10 ±0.78 | 47.26 ±2.38 |
| 7I(1) / 44.64 | 30.90 ±3.63 | 55.96 ± 9.00 | 6.89 ±0.91 | 35.63 ±3.42 |
| 7I(3) / 29.57 | 35.00 ±1.34 | 74.48 ± 3.81 | 5.93 ±0.22 | 43.98 ±1.95 |
| 7I(4) / 7.71 | 33.40 ±1.6 | 62.97 ± 6.96 | 5.50 ±0.34 | 34.87 ±4.68 |
| 13O(1)/ 36.2 | 23.40 ±1.99 | 106.69 ± 7.49 | 9.41 ±0.60 | 99.24 ±5.54 |
| 13O(3)/ 24.7 | 24.80 ±2.57 | 105.64 ±10.3 | 10.20 ±0.86 | 104.27 ±2.43 |
| 13O(2)/ 10.0 | 28.00 ±1.73 | 147.81 ±11.4 | 8.16 ±0.17 | 120.00 ±7.48 |
| 13O(4)/ 8.32 | 33.00 ±2.09 | 153.90 ±15.4 | 6.97 ±0.28 | 106.67 ±10.49 |
| 13I(1)/ 52.95 | 26.80 ±3.28 | 71.60 ± 6.37 | 7.59 ±0.81 | 53.09 ±4.05 |
| 13I(2)/ 40.43 | 30.60 ±3.09 | 72.21 ± 3.82 | 7.58 ±0.33 | 54.39 ±2.94 |
| 13I(3)/ 38.96 | 33.40 ±1.78 | 85.06 ± 8.81 | 6.52 ±0.38 | 54.61 ±4.33 |
| 13I(4)/ 9.85 | 35.00 ±3.55 | 113.01 ±10.9 | 5.83 ±0.24 | 65.60 ±5.82 |
| 13I(5)/ 9.75 | 34.40 ±5.33 | 83.98 ±14.25 | 6.91 ±0.51 | 55.87 ±7.37 |

Daripada Jadual 2 dan 3, hubungan antara tegasan dan terikan dapat dibuat seperti ditunjukkan dalam Rajah 1. Didapati bahawa lengkung tegasan-terikan tidak mematuhi Hukum Hooke tetapi secara umumnya ia boleh dibahagi kepada 3 zon seperti berikut:



Rajah 1: Graf tegasan lawan terikan bagi sampel 131 I(3).

Terdapat tiga zon yang nyata iaitu zon I, zon II, dan zon III.

a) Zon lengkung hampir linear (zon I)

Secara keseluruhan, garis graf di kawasan ini kecuali di bahagian awalan, pemanjangan berlaku lebih cepat apabila berkas vaskular dicangga. Ini menunjukkan pemanjangan mudah berlaku tanpa mengenakan daya yang besar.

b) Zon plato (zon II)

Zon plato ditakrifkan sebagai kawasan tegasan malar terhadap terikan. Keadaan ini wujud bagi semua sampel yang diuji tetapi tidak semua plato mempunyai bentuk yang lurus mengufuk. Kebanyakan plato berbentuk mendatar tetapi ada juga sebahagian kecil yang melengkuk sedikit ke atas atau ke bawah terutamanya di hujung zon plato. Walau bagaimanapun, peratus panjang plato tidak menunjukkan sebarang corak peningkatan atau penurunan. Nilainya berbeza-beza dan mempunyai julat dari 8.16% hingga 12.56% sahaja.

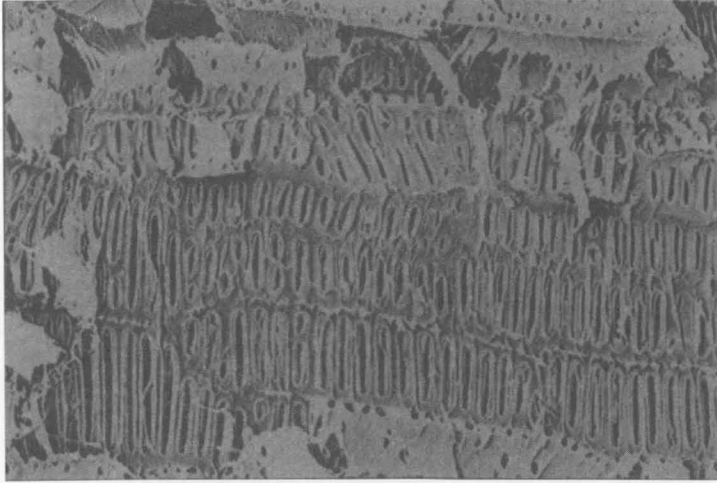
c) Zon garis linear (zon III)

Pada kawasan ini, hampir semua sampel menunjukkan kelinearan antara tegasan dan terikan. Ia seolah-olah mematuhi Hukum Hooke yang mana tegasan berkadar terus dengan terikan. Tegasan bertambah selari dengan terikan sehingga kepatahan berlaku.

Penyelidikan mikrostruktur berkas vaskular dijalankan mengikut peringkat-peringkat seperti yang telah disebut dalam bahagian kaedah. Imej yang telah dirakamkan dari mikroskop pengimbas elektron ditunjukkan dalam Rajah 2(a-e).

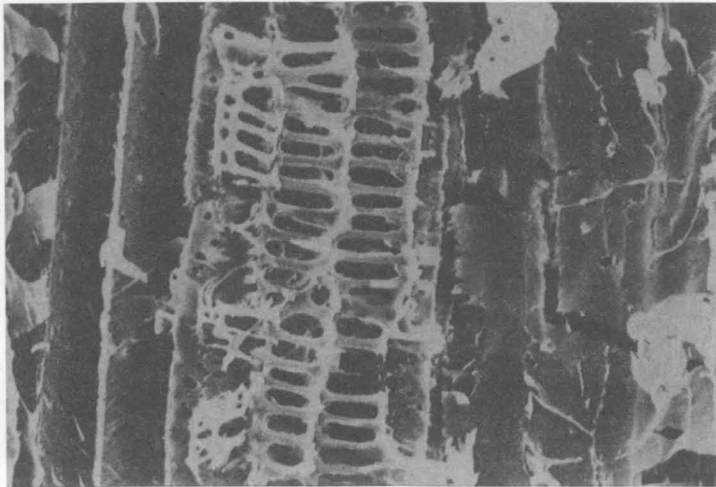
Daripada imej yang telah dirakamkan, mikrostruktur dalaman berkas vaskular batang kelapa sawit tidak menunjukkan sebarang perubahan yang ketara tetapi pemerhatian dapat ditumpukan pada keadaan xilem kerana hanya struktur xilem sahaja yang menunjukkan sedikit perubahan. Walau bagaimanapun, rupa bentuk xilem tidak seiras antara satu sama lain kerana ujian dilakukan ke atas berkas vaskular yang berbeza.

Rajah 2a menunjukkan struktur xilem bagi berkas vaskular yang tidak dikenakan sebarang ujian. Ia berfungsi sebagai kawalan iaitu untuk dibandingkan dengan mikrostruktur berkas vaskular yang lain. Rajah itu menunjukkan struktur xilem yang tersusun rapi kerana tiada canggaaan dibuat ke atasnya.



Rajah 2a: Mikrostruktur berkas vaskular kawalan
Skala: 2.2 cm = 50 μ m

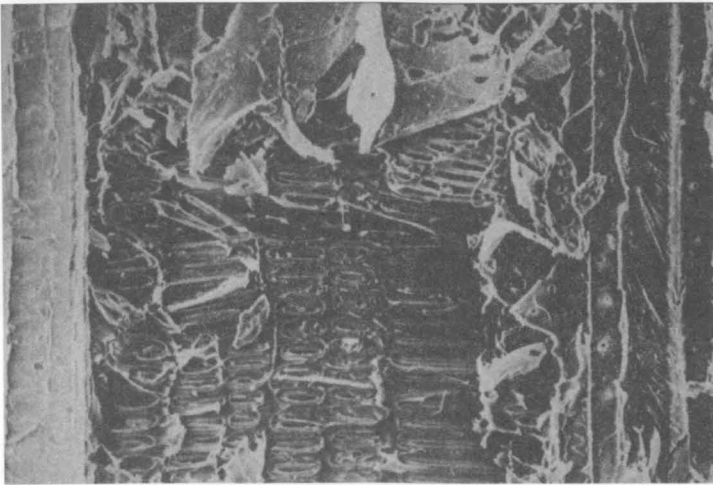
Rajah 2b menunjukkan xilem kelihatan seperti meregang sedikit. Sungguhpun demikian, wujudnya ketidakpastian di sini kerana sampel dicerap selepas ujian dihentikan secara tiba-tiba. Sebaliknya apa yang dilihat mungkin memang merupakan apa yang berlaku di zon plato.



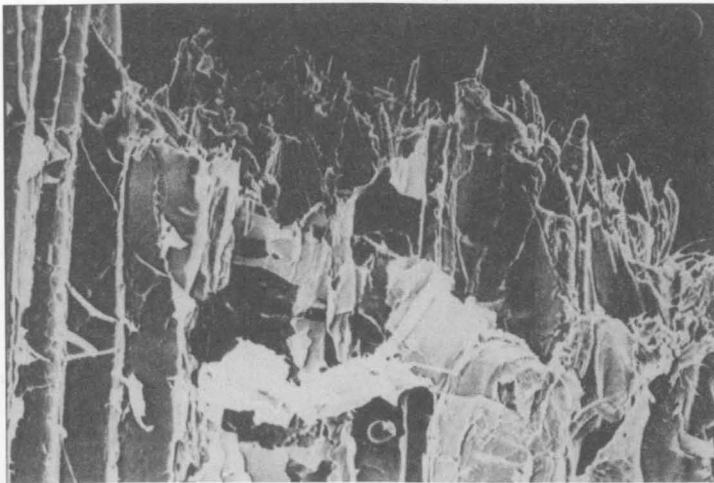
Rajah 2b: Mikrostruktur berkas vaskular ketika di zon plato
Skala: 2.2 cm = 50 μ m

Rajah 2c menunjukkan struktur xilem yang telah mengalami kerosakan yang mana ia telah terkoyak pada satu bahagian. Di sini juga terdapat kemusykilan iaitu sama ada ia terkoyak kerana canggaan atau terkoyak semasa pengoyakan keratan membujur. Walau bagaimanapun, didapati hanya xilem sahaja yang terusik sedangkan jiran-jirannya tidak mengalami sebarang perubahan.

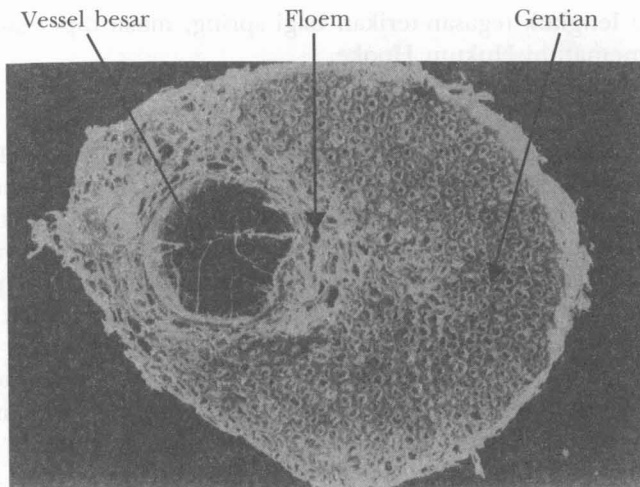
Rajah 2d menunjukkan kawasan berkas vaskular yang telah putus. Didapati permukaannya tidak rata sama sekali dan terdapat kesan-kesan gentian halus mengalami canggaan. Di sini, xilem tidak dapat diperhatikan manakala Rajah 2e menunjukkan keratan rentas berkas vaskular pada pembesaran 130 kali. Berkas vaskular tersebut mengandungi satu vessel besar, floem dan gentian.



Rajah 2c: Mikrostruktur berkas vaskular sebelum putus
Skala: 2.2 cm = 50 μ m



Rajah 2d: Mikrostruktur berkas vaskular selepas putus
Skala: 2.2 cm = 50 μ m



Rajah 2e: Keratan rentas berkas vaskular
Skala: 2.3 cm = 200 μ m

PERBINCANGAN

Graf Tegasan-Terikan

Daripada penyelidikan mikrostruktur berkas vaskular dengan menggunakan SEM, sungguhpun tidak begitu ketara tetapi masih dapat diperhatikan adanya sedikit perubahan pada struktur dalaman. Oleh itu, dapat dikatakan bahawa lengkung graf tegasan-terikan yang terbahagi kepada 3 zon itu adalah disebabkan oleh mikrostruktur berkas vaskular itu sendiri.

Berkas vaskular terdiri daripada pelbagai jenis sel dan tisu. Apabila daya dikenakan terhadapnya, komponen-komponen ini terutamanya gentian dan dinding sel akan melawan daya yang dikenakan sehingga mengakibatkan ketegangan pada gentian dan dinding sel. Oleh kerana berkas vaskular adalah komposit kompleks, sifat tegasan-terikan boleh menjadi melengkuk sedikit, yang mana kadar terikan setiap komposit adalah tidak sama apabila daya tegangan dikenakan. Pada ketika satu komposit sedang mengalami terikan, mungkin satu komposit yang lain belum mengalaminya (seperti yang diperhatikan pada zon I dalam Rajah 1).

Apabila daya terus dikenakan, kemungkinan gentian dan dinding sel yang telah meregang itu akan patah dan gelinciran tisu berlaku dalam struktur kompleks ini. Apabila ini terjadi, sifat tegasan-terikan akan menghasilkan pemanjangan berkas vaskular tanpa ada perubahan daya. Ini menerangkan keadaan yang berlaku pada lengkung tegasan-terikan zon II. Selain daripada itu, sel berhampiran spiral/heliks dinding sekunder xilem juga telah mula memisah kerana dinding sel primer telah pecah dalam zon I.

Apabila daya yang lebih besar dikenakan, struktur spiral/heliks dinding sekunder xilem yang bertindak seolah-olah seperti spring akan diregangkan dan mengakibatkan pertambahan dalam tegasan. Ini dapat diperhatikan dalam zon III lengkung tegasan-terikan. Oleh kerana struktur spiral/heliks bertindak

balas seperti lengkung tegasan-terikan bagi spring, maka diperhatikan bahawa zon III ini mematuhi Hukum Hooke.

Pengaruh Kelembapan Terhadap Data Ujikaji

Bagi nilai tegasan maksimum, kebanyakan sampel kecuali sampel 7I, didapati nilainya berkadar songsang dengan peratus kelembapan. Semakin kurang kandungan air di dalam berkas vaskular, semakin tinggi nilai tegasan maksimum. Begitu juga dengan kebanyakan nilai modulus elastik akhir. Nilai yang tertinggi bagi kedua-dua sifat tersebut ialah dari segmen 13O (pangkal pokok) yang mana nilai modulus akhir mencapai $4.65 \times 10^9 \text{ Nm}^{-2}$ manakala nilai bagi tegasan maksimum mencapai $153.9 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$ (rujuk Jadual 1 dan 2). Keadaan ini boleh diterangkan dengan fakta bahawa dinding sel tumbuhan adalah sangat higroskopik kerana selulosa (kandungan utama dinding sel) mengandungi banyak kumpulan hidroksil yang sangat hidrofilik. Apabila ia didedahkan kepada kelembapan, dinding sel akan menyerap sebahagian besar air dan akan mengembang. Proses ini akan menyebabkan tegasan berkas vaskular berkurang. Kesan penyerapan molekul air adalah seperti 'plasticizer' iaitu untuk meneutralkan daya intermolekul antara makromolekul selulosa lalu meningkatkan ciri plastik dan mengurangkan kekuatannya. Ini bermakna berkas vaskular yang rendah kandungan kelembapannya mempunyai kekuatan yang lebih tinggi (Jastrzebski, 1959).

Daripada Jadual 1, diperhatikan bahawa nilai bagi terikan maksimum tidak mempunyai corak tertentu tidak kira sama ada mengikut peratus kelembapan mahupun mengikut kedudukan berkas vaskular. Ia berbeza-beza dari satu segmen ke satu segmen yang lain menyebabkan kesukaran untuk menyimpulkannya menjadi satu aturan umum. Walau bagaimanapun, nilai peratus terikan maksimum bagi batang kelapa sawit ini hanya mempunyai julat dari 5.28% (segmen 7O(2)) hingga 8.22% (segmen 2I(4)). Begitu juga dengan panjang zon plato di mana tiada corak spesifik untuk mengaitkannya dengan peratus kelembapan dan kedudukan berkas vaskular. Nilai bagi peratus panjang zon plato mempunyai julat dari 8.16% hingga 12.56%. Jika dilihat pada data bagi tegasan ketika zon plato terbentuk (Jadual 2), didapati nilai tegasan tersebut meningkat mengikut ketinggian pohon dan mengikut kedalaman batang. Semakin tinggi nilai tegasan ini bermakna semakin besar tenaga diperlukan untuk menyebabkan spesimen bahan mengalami peleheran. Ini menunjukkan bahawa berkas vaskular bahagian atas pokok adalah yang paling kuat berbanding berkas vaskular bahagian bawah pokok. Oleh itu, lebih tenaga diperlukan untuk mencapai titik alah. Walau bagaimanapun nilai tegasan zon plato ini berjulat antara $22.5 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$ hingga $49.2 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$, dengan segmen 2I(3) merupakan segmen yang mempunyai nilai tertinggi.

KESIMPULAN

Hasil daripada projek ini, satu fenomena yang tidak dijangkakan berlaku telah ditemui iaitu terbentuknya zon plato dalam graf tegasan-terikan. Kesemua sampel yang diuji menghasilkan fenomena ini. Keadaan plato itu telah dikenal

pasti akibat daripada gelinciran tisu-tisu yang telah terurai ikatannya akibat daripada tegangan yang dikenakan pada peringkat awal.

Daripada data yang telah dikumpulkan dan dipuratakan, didapati bahawa terdapat dua kecerunan pada graf tegasan-terikan yang boleh menghasilkan dua nilai modulus elastik iaitu modulus awal dan modulus akhir. Walau bagaimanapun, nilai modulus elastik bagi berkas vaskular kelapa sawit hanya berjulat antara $0.55 \times 10^9 \text{ Nm}^{-2}$ hingga $1.63 \times 10^9 \text{ Nm}^{-2}$ bagi modulus awal dan berjulat antara $0.86 \times 10^9 \text{ Nm}^{-2}$ hingga $4.65 \times 10^9 \text{ Nm}^{-2}$ bagi modulus akhir. Ini membuktikan berkas vaskular menjadi bertambah kuat selepas peleheran berlaku. Bagi panjang zon plato pula, tiada corak spesifik yang dapat dikatakan tetapi peratus pemanjangan zon plato ini mempunyai julat antara 8.16% hingga 12.56% sahaja dan tertabur secara rawak tanpa mengira kedudukan berkas vaskular tersebut. Ujikaji ini menunjukkan bahawa bahagian yang paling tegar adalah bahagian bawah-luar batang terutama bagi segmen dengan peratus kelembapan yang rendah.

PENGHARGAAN

Projek ini telah dijalankan dengan bantuan Geran IRPA (No. 190/9605/2802).

RUJUKAN

- CHEW, L.T., KHOO, K.C., RAHIM SUDIN & KHOZIRAH SHAARI. 1991. In *Oil Palm Stem Utilisation - Review of Research*, Research pamphlet No. 107. ed. Khozirah Shaari, Choon, K.K. & Abdul Razak Mohd Ali, p 35-50. Kuala Lumpur : Forest Research Institute Malaysia.
- KILLMAN, W. & LIM, S.C. (1985). Anatomy and properties of oil palm stem. *Proceedings of the National Symposium of Oil Palm By-products for Agro-based Industries*, Kuala Lumpur. PORIM Buletin No. 11: 18-42. Kuala Lumpur: Palm Oil Research Institute Malaysia.
- JASTRZEBSKI, Z.D. 1959. *The Nature and Properties of Engineering Materials*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- LAPORAN TAHUNAN 1997. Majlis Penanam-penanam Kelapa Sawit Malaysia.