

**PENENTUAN DAUR TEKNIS OPTIMAL DAN FAKTOR  
EKSPLOITASI KAYU HUTAN TANAMAN JENIS *EUCALYPTUS*  
*HYBRID* SEBAGAI BAHAN BAKU PULP KERTAS**

*(Determining of Optimum Technical Growth Rotation and Exploitation  
Factor for Plantation Forest Wood of Eucalyptus hybrid Species as raw  
Material for Paper-Pulp)*

Oleh/By :

**Han Roliadi<sup>1</sup>, Dulsalam<sup>1</sup> & Dian Anggraini<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan,  
Jln Gunung Batu No. 5, Bogor Telp. 0251-8633378; Fax. 0251-8633413

Diterima: 16 Oktober 2009 ; disetujui : 17 September 2010

**ABSTRACT**

*Currently, there is a disparity between wood-log production from natural production-forest and their consumption for wood-processing industries, including pulp and paper factories. As the consequence, the Indonesia's Ministry of Forestry has enacted the soft-landing policy, among others reducing the role of natural production-forest to supply wood for pulp/paper factories, and replacing it gradually by pulpwood plantation forests (PWPF) with species such as *Acacia mangium*, and *Eucalyptus* spp. In using PWPF woods, it is necessary to scrutinize particular aspects like proper exploitation factor of raw material (wood), basic wood characteristics, pulp-processing properties, and pulp-sheet qualities such that they can satisfy consumers.*

*As the relevance, scrutiny has been realized through "the Determination of Optimum Technical Growth Rotation and Exploitation Factor of Plantation Forest (PF)'s eucalypt (Eucalyptus hybrid) wood as Raw Material for Pulp and Paper Viewed from Basic Wood Characteristics, Kraft Pulp-Processing Properties, and Unbleached Pulp-Sheet Qualities". As such, the eucalypt-wood samples were taken from North Sumatera with their varying tree-ages at 4, 5, 6, and 10 years. Results revealed that by reckoning those characteristics, properties, and qualities, the optimum technical rotation of such wood turned out to be 7.01-year age. The exploitation factor for eucalypt wood at that age was still unknown; and instead at 6 years old, the factor reached 95.5 - 97.5%. Therefore, further related investigation deserves carrying out to determine that unknown exploitation-factor. Nevertheless, all these scrutiny results might be beneficial for the government in determining the policy as well as for the PF enterprisers.*

*Keywords : Eucalyptus hybrid, basic wood characteristics, kraft-pulp processing properties, pulp-sheet qualities, optimal growth rotation, exploitation factor*

**ABSTRAK**

Dewasa ini terdapat kesenjangan antara produksi kayu dari hutan alam produksi dengan konsumsinya untuk industri pengolahan kayu termasuk industri pulp/kertas. Atas dasar itu, Departemen Kehutanan menerapkan kebijakan *soft landing* yaitu mengurangi peran hutan alam produksi sebagai pemasok kayu untuk industri pulp/kertas, dan secara berangsur-angsur diganti peranannya oleh hutan tanaman industri (HTI) kayu pulp antara lain mencakup jenis *Acacia mangium* dan *Eucalyptus* spp. Dalam memanfaatkan kayu HTI, perlu dicermati aspek-aspek seperti faktor eksploitasi, karakteristik

dasar kayu, sifat pengolahan pulp, dan mutu hasil lembaran pulp/kertas yang baik dan dapat memuaskan konsumen.

Terkait dengan uraian tersebut, telah dilakukan penelitian “Penentuan Daur Optimal Kayu HTI jenis eukaliptus (*Eucalyptus hybrid*) untuk Bahan Baku Pulp Ditinjau dari Sifat Dasar Kayu, Sifat Pengolahan Pulp Sulfat, dan Kualitas Lembaran Pulp/Kertas”. Contoh kayu jenis tersebut diambil dari Sumatera Utara dengan variasi umur 4, 5, 6, dan 10 tahun. Hasil menunjukkan daur teknis optimum jenis eukaliptus dengan memperhitungkan aspek karakteristik, sifat, dan kualitas tersebut, dicapai pada umur 7.01 tahun. Besarnya faktor eksploitasi pada umur tersebut tidak diketahui. Akan tetapi pada umur 6 tahun, faktor tersebut sekitar 95.5 - 97.0%, maka masih diperlukan penelitian lebih lanjut penetapan faktor eksploitasi pohon pada umur 7.01 tahun. Diharapkan hasil penelitian ini bermanfaat bagi pemerintah sebagai penentu kebijakan maupun pengusaha HTI sebagai pelaksana di lapangan.

Kata kunci: *Eucalyptus hybrid*, sifat dasar kayu, sifat pengolahan pulp sulfat, kualitas lembaran pulp/kertas, daur teknis optimal, faktor eksploitasi

## I. PENDAHULUAN

Kebijakan *soft landing* Departemen Kehutanan di antaranya adalah mengurangi peran hutan alam produksi sebagai pemasok kayu bahan baku serpih (BBS) untuk pulp dan kertas, dan secara berangsur-angsur diganti oleh hutan tanaman industri (HTI) kayu pulp. Pada tahun 2005, kemampuan pasokan kayu untuk BBS dalam negeri dari hutan alam dan HTI mencapai berturut-turut 10,1-11,3 juta m<sup>3</sup>/tahun dan 8,3-8,7 juta m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan keseluruhan kebutuhan kayu untuk BBS adalah 23-25 juta m<sup>3</sup>/tahun sehingga terjadi kekurangan bahan baku BBS untuk industri pengolahan pulp/kertas sebesar 4,6-5,0 juta m<sup>3</sup>/tahun (Anonim, 2006, 2006a, 2007). Di lain pihak, kebutuhan bahan baku BBS akan cenderung semakin meningkat di masa mendatang (Anonim, 2009).

Untuk HTI pulp, Departemen Kehutanan menargetkan penanamannya sampai tahun 2009 mencapai 3,9 juta ha, di mana realisasinya hingga 2004 baru mencapai 1,65 juta ha (Anonim, 2005; 2006a). Selanjutnya dengan memperhatikan luas hutan alam produksi yang rusak di mana dewasa ini kerusakan tersebut mencapai 44 juta ha, dengan demikian HTI menjadi harapan diunggulkan menggantikan hutan alam produksi guna mencukupi kebutuhan kayu BBS sebagai bahan baku industri pulp/kertas saat ini dan di masa mendatang.

Keuntungan HTI antara lain kayu/pohon yang ditanam memiliki daur tebang lebih pendek (sekitar 7-8 tahun) sehingga cepat dipanen; jenis yang ditanam disesuaikan dengan karakteristik pulp/kertas; dan penanganan bahan baku lebih mudah karena jenisnya monokultur sehingga biaya produksi kayu pulp yang lebih murah. Jenis HTI yang telah ditanam untuk produksi pulp/kertas antara lain *Acacia mangium*, *Eucalyptus grandis*, *E. urrophylla*, *E. saligna*, *E. urrophylla*, *E. pellita*, *Gmelina arborea*, meranti, dan sungkai (Anonim, 2005). Walaupun beberapa jenis kayu HTI telah dimanfaatkan untuk pulp/kertas, pertanyaan yang timbul apakah daur teknis yang diterapkan untuk memanen jenis HTI tersebut sudah optimal atau belum.

Daur teknis optimal berguna memberi informasi pada umur berapa pohon bisa menghasilkan volume kayu secara maksimal dan secara bersamaan menghasilkan pulp/kertas bermutu tinggi. Umur dapat mempengaruhi kecepatan pembentukan sel-sel baru, penebalan dinding sel (termasuk serat), sifat pertumbuhan seperti tinggi dan diameter pohon, dan sekaligus akhirnya volume kayu dan riap pertumbuhan (Ginting, 1990; dan Sinnott dan

Wilson, 1955). Daur teknis jenis pohon tertentu, bila dikaitkan dengan pengolahan kayunya untuk pulp/ kertas, adalah masa tebang di mana kayunya bila diolah menjadi pulp/kertas diharapkan memberikan sifat pengolahan dan mutu produk terbaik pula. Sifat dasar kayu umumnya spesifik. Pada jenis pohon sama tetapi pada lokasi tempat tumbuh yang berbeda dan pada umur pohon berbeda bisa juga mengakibatkan perbedaan sifat dasar kayu (Haygreen dan Bowyer, 1989; Hoadley, 1990).

Secara ideal yang dikehendaki adalah diperoleh daur teknis optimal sama dengan daur fisik. Kenyataannya, hal tersebut jarang terjadi secara bersamaan. Oleh sebab itu dalam penentuan daur teknis optimal jenis pohon tertentu (termasuk jenis HTI pulp), perlu memperhitungkan daur fisik. Di samping daur fisik, faktor eksploitasi juga harus dilibatkan. Faktor eksploitasi berguna untuk menentukan target produksi pemanenan hutan. Faktor tersebut merupakan nilai perbandingan antara volume kayu aktual yang bisa dimanfaatkan dengan potensi volume kayu yang diharapkan dapat dimanfaatkan. Dengan demikian faktor eksploitasi memegang peranan penting dalam pengelolaan hutan tanaman karena faktor tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan target produksi kayu, termasuk BBS.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kegiatan pemanenan hutan dan sekaligus mempengaruhi nilai faktor eksploitasi antara lain lokasi geografis, iklim, kondisi medan, keadaan tegakan, dan industri yang dimiliki. Sampai saat ini publikasi besarnya nilai faktor eksploitasi hutan tanaman masih sangat terbatas bahkan dapat dikatakan belum ada. Terkait dengan segala uraian tersebut, telah dilakukan kajian kegiatan “Penentuan Daur Teknis Optimal dan Faktor Eksploitasi Kayu HTI jenis *Eucalyptus hybrid* untuk Bahan Baku Pulp Ditinjau dari Sifat Dasar Kayu, Sifat Pengolahan Pulp, dan Sifat Produk Pulp/Kertas”, dan rincian hasilnya disajikan dalam tulisan ini.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan adalah *Eucalyptus hybrid* dengan umur 4, 5, 6, dan 10 tahun, masing-masing sebanyak 5 pohon. Lokasi pengambilan adalah dari Hak Pengusahaan Hutan Tanaman Industri (HPHTI) terkait di Sumatera Utara. Bahan kimia mencakup alkohol 96%, benzen, bubuk  $KClO_3$ , asam nitrat, larutan xylol, indikator biru metilen, zat warna safranin dan *fuchsin*, asam sulfat 72%, kristal NaOH, HCl 12%, larutan pholorogucinol, anilin asetat, gas chlor, asam sulfat pekat, larutan KI, larutan  $K_2Cr_2O_7$ , asam nitrat 65%, natrium hidroksida (NaOH), natrium sulfida ( $Na_2S$ ), kalium permanganat ( $KMnO_4$ ), kalium iodida, (KI), natrium tiosulfat ( $Na_2S_2O_3$ ), larutan kanji, dan barium khlorida ( $BaCl_2$ ).

Peralatan yang digunakan antara lain kaca pembesar (*loupe*), mikroskop dengan pembesaran 10, 40, dan 100 kali, fibroskop, alat timbang, oven 105°C, labu hisap 500 ml, cawan berpori, penangas air, gelas piala 250-500 ml, ayakan 40-60 mesh, cawan penyaring alundum, alat ekstraksi Soxhlet, labu suling 300 ml, pendingin (*condenser*), gelas ukur, cawan penyaring dari pyrex, golok untuk pembuatan serpih, *rotary digester*, *flat screen*, *defibrator*, *centrifuge*, *niagara beater*, *head box*, *Canadian standard freeness tester*, *handsheet forming machine*, *bursting strength tester*, *tensile strength tester*, *tear strength tester*, *photovolt* untuk pemeriksaan opasitas dan derajat kecerahan lembaran pulp.

## B. Metode

### 1. Sifat dasar kayu

#### a. Berat jenis / kerapatan kayu:

Pemeriksaan berat jenis/kerapatan kayu dilakukan menurut Standar TAPPI T 258 om - 89 (Anonim, 2006b).

#### b. Dimensi serat dan nilai turunannya

Pemeriksaan dimensi serat kayu dan nilai turunannya dilakukan menurut Prosedur Lembaga Penelitian Hasil Hutan (Silitonga, *et al.*, 1972). Pemeriksaan tersebut mencakup panjang serat, diameter serat dan diameter lumen, tebal dinding serat, bilangan Runkel, bilangan Muhlstep, daya tenun, koefisien kekakuan, dan kelemasan (koefisien fleksibilitas) serat.

#### c. Analisis komponen kimia kayu

Analisis komponen kimia yang dilakukan mencakup antara lain penetapan kadar selulosa, kadar lignin, kadar holoselulosa, kadar pentosan, kadar hemiselulosa, kadar abu, kadar silika, kelarutan dalam alkohol-benzen 1:2, kelarutan dalam NaOH 1%, dilakukan menurut Standar TAPPI (Anonim, 2006a) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) (Anonim, 1989).

### 2. Pembuatan pulp sulfat

Kayu HTI pulp jenis *Eucalyptus hybrid* pada umur 4, 5, 6, dan 10 tahun dibuat menjadi serpih berukuran panjang 3 cm, lebar 2,5 cm, dan tebal 23 mm menggunakan golok. Serpih dikering udarkan dan ditentukan kadar airnya, selanjutnya diolah menjadi pulp dalam ketel pemasak tipe *rotary digester*, menggunakan proses kimia sulfat dengan kondisi pemasakan standar untuk kayu daun lebar (Siagian, *et al.*, 2004; Anonim, 2008), yaitu alkali aktif 16% (sebagai Na<sub>2</sub>O), sulfiditas 22,5%, suhu maksimum 170°C, perbandingan kayu dengan larutan pemasak 1:4, dan waktu pemasakan 1,5 jam sampai suhu maksimum dan 2 jam pada suhu maksimum. Setelah pemasakan, serpih yang telah lunak dicuci bersih sampai bebas bahan kimia, dibolak-balik secara mekanis sambil disaring pada alat penyaring *slotted flat-screen*. Pulp yang lolos saringan dan tidak lolos saringan (*reject*) ditentukan rendemennya (tanpa pemutihan). Pulp yang lolos saringan ditentukan derajat gilingnya dan digiling dalam *Niagara beater* hingga mencapai derajat giling (derajat kehalusan) 250-300 ml CSF, dan waktu giling yang diperlukan dicatat. Penggilingan tersebut dilakukan untuk memperbaiki ikatan dan anyaman antar serat pada saat pulp dibentuk menjadi lembaran. Kesemuanya dilakukan menurut Standar TAPPI (Anonim, 2006b). Di samping itu juga ditentukan bilangan Kappa terhadap pulp lolos saringan tersebut menurut SNI (Anonim, 1989) dan konsumsi alkali menurut Standar TAPPI (Anonim, 2006b).

### 3. Pembentukan lembaran pulp

Pulp lolos saringan yang telah mencapai derajat kehalusan 250-300 ml CSF dibentuk menjadi lembaran dalam alat *handsheet-forming machine* dengan target gramatur 60 gram/m<sup>2</sup> dengan mengacu pada standar SNI (Anonim, 2005a). Setelah dikondisikan pada suhu dan ruangan tertentu, lembaran pulp tersebut dilakukan pemeriksaan yang mencakup antara lain gramatur riil, sifat fisik/kekuatan (indeks sobek, indeks tarik, indeks pecah, dan ketahanan lipat) menurut SNI (Anonim, 1989) dan sifat optik cahaya (opasitas dan derajat kecerahan) menurut Standar TAPPI (Anonim, 2006b).

4. Penentuan faktor eksploitasi

Prosedur penelitian melalui tahapan-tahapan sebagai berikut

- a. Menentukan lokasi penelitian secara purposif dan mewakili seluruh populasi tegakan *Eucalyptus hybrid* pada umur yang umum dipanen oleh HPHTI bersangkutan untuk pembuatan pulp kertas;
- b. Membuat 3 plot masing-masing seluas satu hektar pada area seluas 20 m x 20 m;
- c. Melakukan inventarisasi tegakan pada plot penelitian (mengukur diameter setinggi dada dan tinggi pohon sampai batas diameter batang yang dapat dimanfaatkan atau 10 cm);
- d. Menebang pohon pada plot penelitian;
- e. Mengukur diameter dan panjang kayu sampai diameter yang dapat dimanfaatkan
- f. Melakukan pembagian batang menggunakan *chainsaw* dengan panjang menurut persyaratan perusahaan;
- g. Mengukur diameter dan panjang kayu yang telah dilakukan pembagian batang;
- h. Mencatat diameter dan panjang kayu yang disarad pada plot penelitian;
- i. Mencatat diameter dan panjang kayu yang diangkut dari hasil penyaradan pada plot penelitian.

Untuk menghitung volume kayu (V) digunakan rumus sebagai berikut

$$V = 1/4 \Pi D^2 \times L \dots\dots\dots (1)$$

Di mana: V = Volume kayu (m<sup>3</sup>), D = Diameter rata-rata (pangkal dan ujung) kayu (m);

$\Pi = 22/7$ , dan L = Panjang kayu (m);

Diameter rata-rata (DR) di hitung dengan rumus

$$DR = 1/2 [1/2 (D1 + D2) + 1/2 (D3 + D4)] \dots\dots\dots (2)$$

Di mana: DR = Diameter rata-rata (m) D1 = Diameter terbesar pangkal batang kayu melalui sumbu kayu, D2 = Diameter terkecil pangkal batang tegak lurus dengan D1 dan melalui sumbu kayu, D3 = Diameter terbesar ujung batang kayu melalui sumbu kayu, D4 = Diameter terkecil ujung batang kayu tegak lurus dengan D3 dan melalui sumbu kayu

j. Untuk menghitung faktor eksploitasi (FE) digunakan rumus:

$$FE = \frac{\sum_{i=1}^n V_{ai}}{\sum_{i=1}^n V_{hi}} \dots\dots\dots (3)$$

Di mana: FE = Faktor eksploitasi,  $V_{ai}$  = Volume kayu yang dimanfaatkan pada batang ke i (m<sup>3</sup>);  $V_{hi}$  = Volume kayu yang diharapkan dapat dimanfaatkan pada batang ke i (m<sup>3</sup>)

**C. Rancangan Percobaan dan Analisis Data**

Penelaahan data sifat dasar kayu (berat jenis dan komposisi kimia, dimensi serat dan nilai turunannya), serta data sifat pengolahan pulp menggunakan analisis keragaman berpola rancangan acak lengkap. Sebagai faktor (perlakuan) adalah umur pohon jenis kayu tersebut

yang terdiri dari 4 taraf yaitu 4, 5, 6, dan 10 tahun. Masing-masing taraf umur dilakukan ulangan sebanyak 3-5 kali. Untuk data sifat lembaran pulp (fisik, kekuatan, dan optik), penelaahan dilakukan menggunakan analisis ragam-peragam berpola acak lengkap. Sebagai ragam (faktor) adalah umur pohon (4, 5, 6, dan 10 tahun), sedangkan sebagai peragam adalah waktu giling pulp mencapai derajat kehalusan 250-300 ml CSF. Ulangan pada masing-masing taraf umur dilakukan sebanyak 3 kali, yaitu berupa contoh dolok kayu di mana masing-masing berasal dari 3 pohon berbeda dari jenis eukaliptus.

Data faktor eksploitasi dianalisis secara tabulasi, berupa rata-rata, simpangan baku, dan simpangan baku rata-rata. Hasil tabulasi lalu dikaitkan dengan hasil penaksiran daur teknis optimal jenis kayu HTI. Hasil kajian digunakan untuk menetapkan faktor eksploitasi dalam memproyeksikan produksi kayu untuk BBS, dan diharapkan dapat digunakan sebagai bahan kebijakan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Sifat Dasar Kayu Pulp

##### 1. Berat jenis dan komposisi kimia kayu

Hasil analisis keragaman terhadap berat jenis dan komposisi kimia kayu disajikan pada Tabel 1. Ternyata umur pohon berpengaruh nyata secara positif terhadap berat jenis, kadar holoselulosa, kadar selulosa alfa, dan lignin, tetapi terhadap kadar hemiselulosa dan pentosan tidak berpengaruh nyata. Hubungan positif tersebut dapat dilihat dari hasil uji beda jarak Duncan (Tabel 2) dan telaahan persamaan regresi (Tabel 3). Berat jenis yang tinggi diduga berkaitan dengan porsi kayu dewasa (*mature wood*) yang cenderung meningkat dengan bertambahnya umur. Berat jenis tinggi membutuhkan kondisi pemasakan kayu yang lebih keras menjadi pulp sehingga memungkinkan mendegradasi komponen kimia kayu. Energi yang dibutuhkan lebih besar pada proses penanganan kayu mulai dari pemotongan hingga penyerpihan sebelum dimasak (diolah) menjadi pulp. Meningkatnya kadar komponen kimia penyusun utama dinding sel kayu (holoselulosa, alfa-selulosa, dan lignin) dengan umur terkait dengan semakin tingginya porsi kayu dewasa. Kadar holoselulosa dan alfa-selulosa yang tinggi berpengaruh positif pada rendemen pulp. Sebaliknya, kadar lignin yang tinggi akan membutuhkan proses delignifikasi kayu yang lebih keras dan mengkonsumsi lebih banyak bahan kimia pemasak.

Terhadap kadar abu, kadar silika, kelarutan dalam pelarut tertentu (alkohol benzena, air dingin, air panas, dan NaOH 1%), pengaruh umur nyata (Tabel 1). Penelaahan dengan uji beda jarak Duncan dan persamaan regresi (Tabel 2 dan 3) ternyata umur mula-mula berpengaruh positif terhadap kadar abu dan selanjutnya negatif. Diduga ini ada kaitannya dengan aktifitas fisiologis akar dalam menyerap mineral (bahan anorganik) dan zat hara dari tanah, di mana pada saat pohon mencapai umur sekitar 5-6 tahun aktifitas tersebut maksimum dan selanjutnya menurun (Romberger, 1977). Di samping itu, mineral tersebut dalam kayu akan mengalami translokasi ke jaringan lain pada pohon untuk keperluan aktifitas metabolisme dan aktifitas biologis lainnya (Meyer dan Anderson, 1962). Adanya abu yang tinggi pada kayu dapat berakibat tinggi pula sisa kandungan abu tersebut pada produk pulp, dan sebaliknya kayu dengan kadar abu rendah berindikasi menghasilkan pulp dengan sisa

kadar abu rendah pula; sekiranya kayu dengan berbagai variasi kadar abu tersebut (tinggi hingga rendah) diolah menjadi pulp menggunakan kondisi yang sama (tetap). Abu (mineral) dapat bereaksi dengan fraksi karbohidrat kayu melalui gugusan fungsionalnya (OH, CO, dan OR) mengakibatkan degradasi fraksi tersebut (Smook and Kocurek, 1992). Mengenai silika, ternyata kadarnya meningkat dengan umur pohon (Tabel 1, 2, dan 3). Ini diduga akibat adanya proses akumulasi bahan mineral/anorganik (termasuk silika) dalam kayu akibat kegiatan fisiologis sejalan dengan bertambahnya umur pohon (Romberger, 1977). Adanya silika dalam jumlah tinggi tidak dikehendaki karena dapat mempertumpul peralatan logam yang digunakan pada pengerjaan kayu (pemotongan, pembelahan, dan penyerpihan) (Haygreen and Bowyer, 1989).

Kelarutan dalam alkohol benzen relatif tidak banyak mengalami perubahan pada pohon dengan umur 4-10 tahun, di mana kelarutan tersebut maksimum pada umur 6 tahun (Tabel 1, 2, dan 3). Diduga hingga umur tersebut, terjadi akumulasi senyawa ekstraktif dalam struktur kayu (dalam dinding sel kayu dan lumen atau rongga sel) yang diindikasikan oleh tingginya kelarutan dalam pelarut tersebut. Melewati umur 6 tahun, terjadi perubahan kimia atau degradasi senyawa ekstraktif sehingga kadarnya menurun.

Kelarutan dalam air dingin cenderung meningkat dengan bertambahnya umur, sedangkan kelarutan dalam air panas sebaliknya. Kelarutan dalam berbagai pelarut (organik, netral, polar, dan tidak polar) dapat mengindikasikan banyaknya bahan ekstraktif pada kayu seperti resin, lemak, senyawa fenol, tannin, karbohidrat, dan mineral (Sjostrom, 1982). Adanya ekstraktif yang tinggi pada kayu tidak dikehendaki dalam pengolahan pulp karena dapat memperbesar konsumsi bahan kimia selama pemasakan kayu menjadi pulp. Selanjutnya, kelarutan dalam NaOH 1% mula-mula meningkat sejalan dengan pertambahan umur pohon, dan selanjutnya menurun (Tabel 1, 2, dan 3). Kelarutan tersebut merupakan indikasi seberapa jauh terjadi degradasi komponen kimia kayu. Ini mengindikasikan degradasi kayu mula-mula menjadi lebih intensif dan selanjutnya menurun berkurang dengan bertambahnya umur pohon. Degradasi tersebut dapat berakibat rendahnya rendemen dan sifat kekuatan pulp (Smook dan Kocurek, 1992). Diduga ini ada kaitannya dengan akumulasi zat ekstraktif dengan semakin tuanya umur kayu, sebagaimana diindikasikan dengan semakin tingginya kelarutan air dingin pada umur kayu mendekati 10 tahun (Tabel 3).

Penelaahan secara keseluruhan terhadap berat jenis dan komposisi kimia menggunakan sistim skor, yang tidak lain merupakan hasil manipulasi penggunaan uji beda jarak Duncan (Tabel 2), ternyata total skor tersebut cenderung meningkat dengan umur pohon. Dengan demikian daur pohon *Eucalyptus hybrid* yang optimum ditinjau dari berat jenis dan komposisi kimia tersebut adalah pada umur 10 tahun.

## 2. Dimensi serat dan nilai turunannya

Hasil penelaahan dengan analisis keragaman terhadap dimensi serat dan nilai turunannya disajikan pada Tabel 4. Penelaahan lebih lanjut dengan uji beda jarak Duncan (Tabel 5) dan persamaan regresi (Tabel 6) menunjukkan bahwa umur berpengaruh nyata secara positif terhadap panjang serat dan tebal dinding serat, dan sebaliknya negatif terhadap diameter lumen. Terhadap diameter serat, tidak terdapat kecenderungan yang jelas dengan perubahan umur (4-10 tahun), walaupun pengaruh umur nyata (Tabel 4 dan 5). Gejala tersebut ada kaitannya dengan porsi kayu muda (*juvenile wood*) yang tinggi pada pohon dengan umur muda, dan porsi kayu dewasa (*mature wood*) yang tinggi pada pohon berumur lebih tua.

**Tabel1. Analisis keragaman terhadap berat jenis dan komposisi kimia kayu *Eucalyptus hybrid***  
**Table 1. Analysis of variances on specific gravity and chemical composition of *Eucalyptus hybrid wood*.**

Berat jenis dan komposisi kimia ( <i>Specific gravity and chemical composition</i> )	Sumber keragaman ( <i>Sources of variation</i> ) / db			F-hit/ <i>F-cal.</i>	Peluang/ <i>Probability</i>	Rata-rata/ <i>Means</i>	KK (%)	D0.05
	Total	Perlakuan/ Treatment ( <i>T</i> )	Galat/ Errors					
Berat jenis ( <i>Specific gravity</i> )	13	3	10	18.97	**	0.5098	2.50	0.0204-0.0256
Holosekulosa ( <i>Holocellulosa</i> ), %	13	3	10	6.77	*	80.63	1.25	1.894-2.018
Alfa-selulosa (- <i>cellulose</i> ), %	13	3	10	34.17	**	50.84	0.46	0.4425-0.4715
Hemiselulosa ( <i>Hemicellulose</i> ), %	13	3	10	2.11	tn	29.78	3.85	-
Pentosan ( <i>Pentosans</i> ), %	13	3	10	1.06	tn	16.28	4.76	-
Lignin, %	13	3	10	91.72	**	24.03	1.40	0.6352-0.6769
Abu ( <i>Ash</i> ), %	13	3	10	31.20	**	0.39	3.51	0.0258-0.0275
Silika ( <i>Silica</i> ), %	13	3	10	12.94	**	0.013	18.79	0.0047-0.0050
Kelarutan dalam alkohol-benzen ( <i>Solubility in alcohol-benzene</i> ), %	13	3	10	13.73	**	2.59	2.50	0.1218-0.1298
Kelarutan dalam air dingin ( <i>Solubility in cold water</i> ), %	13	3	10	19.13	**	1.45	2.54	0.0692-0.0738
Kelarutan dalam air panas ( <i>Solubility in hot water</i> ), %	13	3	10	84.23	**	2.19	2.62	0.1035-0.1103
Kelarutan dalam NaOH 1% ( <i>Solubility in 1% NaOH</i> ), %	13	3	10	21.33	**	21.33	2.50	0.4413-0.4703

Keterangan (*Remarks*): T = Umur pohon pada saat ditebang (*Tree ages at felling*) / tahun (*years*); db = Derajat bebas (*Degrees of freedom*); \* = Nyata pada taraf (*Significant at*) 5%; \*\* = Nyata pada (*Significant at*) 1%; tn = Tidak nyata (*not significant*); KK = Koefisien keragaman (*Coeff. of variation*); D0.05 = Nilai kritis uji jarak beda nyata Duncan pada taraf/ *Critical value of the Duncan's multiple range test at 5%*).



**Tabel 2. Hasil uji jarak Duncan berat jenis dan komposisi kimia kayu *Eucalyptus hybrid* (dinyatakan dalam grade/ mutu dan skor)**

**Table 2. Results of Duncan's range test on specific gravity and chemical composition of *Eucalyptus hybrid* wood (expressed in grades and scores)**

Berat jenis dan komposisi kimia ( <i>Specific gravity and chemical composition</i> )	Aspek ( <i>Items</i> )	Umur pohon / <i>Tree ages (T)</i> , tahun ( <i>years</i> )			
		4	5	6	10
Berat jenis ( <i>Specific gravity</i> )	M	0.4693	0.4993	0.5373	0.5340
	G	C	B	A	A
	S	3	2	1	1
Holoselulosa ( <i>Holocellulosa</i> ), %	M	79.91	79.68	80.03	82.88
	G	B	B	B	A
	S	3	3	3	4
Alfa-selulosa ( <i>-cellulose</i> ), %	M	50.05	50.35	51.18	51.79
	G	C	C	B	A
	S	2	2	3	4
Hemiselulosa ( <i>Hemicellulose</i> ), %	M	29.86	29.33	28.55	31.09
	G	A	A	A	A
	S	4	4	4	4
Pentosan ( <i>Pentosans</i> ), %	M	16.40	15.85	15.99	16.87
	G	A	A	A	A
	S	4	4	4	4
Lignin, %	M	21.64	23.44	25.63	25.41
	G	C	B	A	A
	S	3	2	1	1
Abu ( <i>Ash</i> ), %	M	0.38	0.44	0.41	0.34
	G	B	A	B	C
	S	2	1	2	3
Silika ( <i>Silica</i> ), %	M	0.01099	0.0085	0.0150	0.0200
	G	C	C	B	A
	S	3	3	2	1
Kelarutan dalam alkohol-benzen ( <i>Solubility in alcohol-benzene</i> ), %	M	2.57	2.50	2.79	2.49
	G	B	B	A	B
	S	2	2	1	2
Kelarutan dalam air dingin ( <i>Solubility in cold water</i> ), %	M	1.24	1.55	1.15	1.84
	G	C	B	D	A
	S	3	2	4	1
Kelarutan dalam air panas ( <i>Solubility in hot water</i> ), %	M	2.54	1.90	2.30	2.00
	G	A	C	B	D
	S	1	3	2	4
Kelarutan dalam NaOH 1% ( <i>Solubility in 1% alkali</i> ), %	M	8.99	10.03	9.73	8.69
	G	B	A	A	B
	S	2	1	1	2
	TS	29	28	31	32

Keterangan (*Remarks*): Rata-rata dari 3 ulangan (*Average of 3 replications*); Angka (dalam kolom M) yang diikuti secara horizontal oleh huruf (kolom G) dan skor (kolom S) yang sama tidak berbeda nyata / *Figures (in column M) followed horizontally by same letters (column G) and same scores (column S) are not significantly different*: A > B > C > D (Sumber/*Sources*: Anonim, 1994; Ott, R.L., 1994); TS = Total skor (*Total score*): S1 + S2 + S3 + ..... + Sn

Tabel 3. Hubungan antara umur pohon *Eucalyptus hybrid* (X) dengan sifat dasar kayu (Y) yaitu berat jenis dan komposisi kimia dalam bentuk persamaan regresi linier (L) dan regresi kuadratik (Q)  
 Table 3. Relationship between ages of *Eucalyptus hybrid trees* (X) and wood basic properties (Y), i.e. specific gravity and chemical composition in linier regression (L) and quadratic (Q) regression equations

No	Sifat dasar (Basic properties)	Koefisien regresi (Regression coeff.)			Keeratan X-Y (X-Y relation intensity)		Keterangan (Relation description) 1)
		bo	b1	b11	R <sup>2</sup>	R	
1	Berat jenis (dasar kering oven) / Specific gravity (oven-dry basis), Y1	0.2007	0.0886	-0.0055	0.859 **	0.926 **	QR
2	Komposisi kimia (Chemical comp.)						
	- Holoselulosa (Holocellulose), Y2.1	82.3860	-0.3860	0.1136	0.715 *	0.846 *	QR
	- Selulosa alfa (Alpha-cellulose), Y2.2	46.3473	1.1323	-0.0590	0.892 **	0.944 *	QR
	- Hemiselulosa (Hemicellulose), Y2.3	29.7838					NR
	- Pentosan (Pentosans), Y2.4	16.2763					NR
	- Lignin, Y2.5	5.9420	5.1848	-0.3237	0.956 **	0.977 *	QR
	- Abu (Ash), Y2.6	0.1806	0.0776	-0.0622	0.740 *	0.860 *	QR
	- Silika (Silica), Y2.7	-0.0021	0.0031	-0.0009	0.714 *	0.845 *	QR
	- Kelarutan dalam alkohol benzen (Solubility in alcohol-benzene), Y2.8	1.5538	0.3379	-0.0244	0.435 *	0.660 *	QR
	- Kelarutan dalam air dingin (Solubility in cool water), Y2.9	2.0193	-0.2687	0.0250	0.662 *	0.814 *	QR
	- Kelarutan dalam air panas (Solubility in hot water), Y2.10	2.5359	-0.0562	-	0.249 *	0.499 *	NR
	- Kelarutan dalam NaOH 1% (Solubility in 1% NaOH), Y2.11	4.5991	1.6204	-0.1213	0.734 *	0.857 *	QR

Keterangan (Remarks): L:  $Y = bo + b1X$ ; Q:  $Y = bo + b1X + b11X^2$ ; \*\* = Nyata pada taraf (Significant at) 5%; \* = Nyata pada taraf (Significant at) 10%; - = Tidak nyata (Not significant); R = Koefisien determinasi (Coeff. of determination); R = Koefisien korelasi (Coeff. of correlation); <sup>1)</sup> hanya berlaku pada selang umur yang dicoba (4-10 tahun) / only applicable at the experimental range of ages (4-10 years); QR = Hubungan kuadratik (Quadratic relation); LR = Hubungan linier (Linear relation); NR = Tidak ada hubungan (No relation)

**Tabel 4. Analisis keragaman terhadap dimensi serat dan nilai turunannya pada kayu *Eucalyptus hybrid***

**Table 4. Analysis of variance on fiber dimensions and their derived values of *Eucalyptus hybrid wood***

Dimensi serat dan nilai turunannya ( <i>Fiber dimensions and their derived values</i> )	Sumber keragaman ( <i>Sources of variation</i> ) / db			F-hit/ <i>F-calc.</i>	Peluang/ <i>Probability</i>	Rata-rata/ <i>Means</i>	KK (%)	D0.05
	Total	Perlakuan/ <i>Treatment (T)</i>	Galat/ <i>Errors</i>					
Panjang serat ( <i>Fiber length</i> ), L	323	3	320	38.91	**	1261.34 m	6.5717	25.63- 27.88
Diameter serat ( <i>Fiber diameter</i> ), d	323	3	320	11.99	*	25.6912 m	3.8412	0.3051- 0.3319
Diameter lumen ( <i>Lumen diameter</i> ), l	323	3	320	12.51	**	21.1798 m	5.0202	0.3287- 0.3576
Tebal dinding serat ( <i>Fiber wall thickness</i> ), w	323	3	320	13.84	**	2.2548 m	4.9481	0.03449- 0.03753
Daya tenun ( <i>Felting power</i> ), L/d	323	3	320	15.22	**	46.4063	22.4471	3.220- 3.504
Bilangan Runkel ( <i>Runkel ratio</i> ), $2w/l$	323	3	320	15.32	**	0.1786	7.3216	0.00404- 0.00440
Koef. fleksibilitas ( <i>Flexibility coeff.</i> ), $l/d$	323	3	320	15.62	**	0.8214	1.5923	0.00408- 0.00443
Koef. kekakuan ( <i>Rigidity coeff.</i> ), $w/d$	323	3	320	9.10	**	0.0872	6.5377	0.00176- 0.00190
Bilangan Muhlstep ( <i>Muhlstep coeff.</i> ), $100 * [(d^2 - l^2) / d^2]$	323	3	320	13.14	**	32.2958 %	6.1220	0.6113- 0.6650

Keterangan (*Remarks*): Mengenai baris paling atas, mulai dari kolom ke dua, sama seperti Tabel 1 (*About the very upper row, beginning from the second column, similar to those in Table 1*)

**Tabel 5. Hasil uji jarak Duncan data dimensi serat dan nilai turunannya pada kayu *Eucalyptus hybrid* (dinyatakan dalam grade/mutu dan skor)**  
**Table 5. Results of Duncan's range test on fiber dimensions and their derived values at *Eucalyptus hybrid wood* (expressed in grades and scores)**

Dimensi serat dan nilai turunannya ( <i>Fiber dimensions and their derived values</i> )	Aspek ( <i>Items</i> )	Umur pohon / <i>Tree ages</i> (T), tahun ( <i>years</i> )			
		4	5	6	10
Panjang serat ( <i>Fiber length</i> ), L	M	1232.6	1205.1	1269.8	1337.8
	G	C	D	B	A
	S	2	1	3	4
Diameter serat ( <i>Fiber diameter</i> ), D	M	26.12	25.44	25.89	25.31
	G	A	B	A	B
	S	4	3	4	3
Diameter lumen ( <i>Lumen diameter</i> ), l	M	21.60	21.02	21.43	20.67
	G	A	B	A	B
	S	4	3	4	3
Tebal dinding serat ( <i>Fiber wall thickness</i> ), w	M	2.26	2.21	2.23	2.31
	G	B	C	BC	A
	S	2	3	2.5	1
Daya tenun ( <i>Felting power</i> ), L/d	M	48.07	34.14	49.90	53.50
	G	B	C	B	A
	S	3	2	3	4
Bilangan Runkel ( <i>Runkel ratio</i> ), 2w/l	M	0.1733	0.1779	0.1767	0.1867
	G	B	B	B	A
	S	4	4	4	3
Koef. fleksibilitas ( <i>Flexibility coeff.</i> ), 1/d	M	0.8267	0.8221	0.8233	0.8137
	G	A	A	A	B
	S	4	4	4	3
Koef. kekakuan ( <i>Rigidity coeff.</i> ), w/d	M	0.087	0.086	0.087	0.090
	G	B	B	B	A
	S	2	2	2	1
Bilangan Muhlstep ( <i>Muhlstep coeff.</i> ), $100 \cdot [(d^2 - l^2) / d^2]$	M	31.86	32.02	31.82	33.48
	G	B	B	B	A
	S	4	4	4	3
	TS	26	31	28.5	25

Keterangan (*Remarks*): Mengenai baris paling atas ke satu dan kedua, mulai dari kolom ke dua, sama seperti Tabel 2 (*About the first and second upper row, beginning from the second column, similar to those in Table 2*)

Tabel 6. Hubungan antara umur pohon *Eucalyptus hybrid* (X) dengan sifat dasar kayu (Y) yaitu dimensi serat dan nilai turunannya dalam bentuk persamaan regresi linier (L) dan regresi kuadratik (Q)  
 Table 6. Relationships between ages of *Eucalyptus hybrid* trees (X) and wood basic properties (Y), i.e. fiber dimensions and their derived values in linear regression (L) and quadratic (Q) regression equations

No	Dimensi serat dan nilai turunannya (Fiber dimensions and their derived values)	Koefisien regresi (Regression coeff.)			Keeratan X-Y (X-Y relation intensity)		Keterangan (Relation description) <sup>1)</sup>
		b0	b1	b11	R <sup>2</sup>	R	
1	Panjang serat (Fiber length), Y1	1183.8283	4.8457	1.0673	0.230 **	0.480 **	QR
2	Diameter serat (Fiber diameter), Y2	26.3349	-0.1028	-	0.051 *	0.226 *	LR
3	Diameter lumen (Lumen diameter), Y3	21.9958	-0.1306	-	0.071 *	0.266 *	LR
4	Tebal dinding serat (Fiber wall thickness), Y4	2.1697	35.1437	-	0.069 *	0.263 *	LR
5	Daya tenun (Felting power), Y5	35.1437	1.8020	-	0.104 *	0.323	LR
6	Bilangan Runkel (Runkel ratio), Y6	0.1655	0.0021	-	0.118 *	0.344 *	LR
7	Koefisien fleksibilitas (Flexibility coeff), Y7	0.8345	-0.0020	-	0.119 *	0.345 *	LR
8	Koefisien kekakuan (Rigidity coeff), Y8	0.0831	0.0007	-	0.066 *	0.257 *	LR
9	Bilangan Muhlstep (Muhlstep coeff), Y9	30.5175	0.2845	-	0.096 *	0.311 *	LR

Keterangan (Remarks): Sama seperti pada Tabel 3 (Similar to those in Table 3)

Kayu muda umumnya memiliki serat pendek, diameter lumen besar, dan berding serit tipis. Untuk kayu tua keadaan sebaliknya yaitu serit lebih panjang, diameter lumen lebih kecil, dan dinding serit lebih tebal (Haygreen dan Bowyer, 1989). Serit yang panjang, berding tipis, dan diameter lumen lebih besar mengakibatkan serit mudah mengepeng dan memungkinkan anyaman yang lebih baik dalam pembentukan lembaran pulp/kertas sehingga berpengaruh positif terhadap sifat kekuatannya. Hal sebaliknya untuk serit pendek, berding tebal, dan berdiameter lumen kecil, karena serit tersebut lebih sulit mengepeng sehingga luas bidang kontak antar serit relatif lebih rendah pada saat pembentukan lembaran pulp (Smook dan Kocurek, 1992).

Terhadap nilai turunan dimensi serit, analisis keragaman (Tabel 4), uji Duncan (Tabel 5), dan persamaan regresi (Tabel 6) menunjukkan hubungan positif antara umur dengan daya tenun, bilangan Runkel, koefisien kekakuan, dan bilangan Muhlstep; dan sebaliknya terdapat hubungan negatif dengan koefisien fleksibilitas. Daya tenun yang tinggi berindikasi serit makin panjang; bilangan Runkel, bilangan Muhlstep, dan koefisien kekakuan semakin rendah berindikasi dinding serit makin tipis; dan koefisien fleksibilitas semakin tinggi berindikasi pula dinding serit makin tipis. Kesemua hal tersebut berpengaruh positif pada daya anyaman antar serit dan sifat mengepeng serit dalam pembentukan lembaran pulp/kertas.

Penelaahan secara keseluruhan terhadap dimensi serit dan nilai turunannya juga dengan sistim skor (hasil manipulasi uji Duncan) ternyata terdapat hubungan kuadratik antara umur dengan total skor tersebut (Tabel 5). Dengan demikian ditinjau dari dimensi serit dan nilai turunannya, daur optimum pohon dicapai pada umur 5 tahun.

## B. Sifat Pengolahan Pulp

Penelaahan dengan analisis keragaman terhadap sifat pengolahan pulp (Tabel 7), dilanjutkan dengan uji beda jarak Duncan (Tabel 8) dan persamaan regresi (Tabel 9) menunjukkan bahwa umur pohon berpengaruh nyata secara positif terhadap rendemen total, rendemen tersaring, dan konsumsi alkali; dan sebaliknya negatif terhadap konsumsi alkali dan waktu giling. Terhadap bilangan kappa, mula-mula bilangan tersebut meningkat dengan bertambahnya umur dan selanjutnya menurun. Lebih lanjut, tidak terdapat hubungan yang nyata antara umur pohon dengan *rejects* (Tabel 7, 8, dan 9). Terhadap waktu giling pulp untuk mencapai derajat kehalusan 250-300 ml CSF, pengaruh umur nyata dimana waktu giling menurun dengan meningkatnya umur (Tabel 7, 8, dan 9).

Meningkatnya rendemen total dan rendemen tersaring diduga ada kaitannya dengan kadar holoselulosa dan selulosa alfa yang meningkat dengan bertambahnya umur (Tabel 2). Selanjutnya penurunan konsumsi alkali dengan umur mungkin ada kaitannya dengan menurunnya kandungan ekstraktif kayu dengan bertambahnya umur, jika ditinjau dari total keseluruhan kelarutan kayu dalam alkohol-benzena, dalam air dingin, dan dalam air panas (Tabel 2). Peningkatan bilangan kappa hingga umur sekitar 6 tahun diduga ada hubungannya dengan peningkatan kadar lignin, selanjutnya menurunnya bilangan kappa pada umur 10 tahun diindikasikan dengan menurunnya keseluruhan total kelarutan kayu dalam alkohol-benzena, air dingin, dan air panas pada umur tersebut (Tabel 2). Bilangan kappa merupakan indikasi banyaknya kebutuhan bahan pemutih untuk pemutihan pulp, di mana pulp dengan bilangan kappa rendah membutuhkan kondisi dan bahan kimia proses pemutihan lebih lunak/sedikit. Menurunnya waktu giling dengan umur pohon diduga terkait dengan

**Tabel 7. Analisis keragaman terhadap sifat pengolahan pulp kayu *Eucalyptus hybrid***  
**Table 7. Analysis of variance on pulp-processing properties for *Eucalyptus hybrid* wood**

Sifat pengolahan pulp ( <i>Pulp Processing properties</i> )	Sumber keragaman ( <i>Sources of variation</i> ) / db			F-hit/ F-calc.	Peluang / Probability	Rata-rata/ Means	KK (%)	D0.05
	Total	Perlakuan/ <i>Treatment (T)</i>	Galat/ <i>Errors</i>					
Rendemen pulp total ( <i>Total yield</i> )	59	3	56	7.78	*	49.02 %	0.81	0.29-0.31
Rendemen pulp tersaring ( <i>Screened pulp yield</i> )	59	3	56	7.74	*	48.42 %	0.82	0.29-0.32
Rejects	59	3	56	1.23	tn	0.60 %	2.11	-
Konsumsi alkali ( <i>Alkali consumption</i> )	59	3	56	19.41	**	15.085 %	2.05	0.23-0.25
Bilangan kappa ( <i>Kappa number</i> )	59	3	56	21.47	**	18.9063	18.91	3.70-4.95
Waktu giling ( <i>Beating duration</i> )	59	3	56	7.01	*	64.3750 menit ( <i>minutes</i> )	34.38	5.26-5.61

Keterangan (*Remarks*): Mengenai baris paling atas, mulai dari kolom ke dua, sama seperti Tabel 1 (*About the very upper row, beginning from the second column, similar to those in Table*)

peningkatan kadar holoselulosa kayu sejalan dengan pertambahan umur. Holoselulosa terdiri dari polimer selulosa dan hemiselulosa. Hemiselulosa yang bersifat hidrofil dan banyak mengandung gugusan hidroksil (OH) mempermudah pengerjaan mekanis serpih lunak kayu hasil pemasakan untuk pulp (termasuk penggilingan) sehingga waktu giling lebih singkat (Smook dan Kocurek, 1992). Waktu giling terkait dengan kebutuhan energi pada proses pengerjaan mekanis terhadap pulp, dengan demikian waktu giling singkat lebih dikehendaki.

Penelaahan secara keseluruhan terhadap sifat pengolahan pulp juga menggunakan sistim total skor (Tabel 8), ternyata terdapat kecenderungan yang jelas antara umur dengan total skor tersebut, di mana total skor tertinggi terdapat pada umur pohon 4 dan 10 tahun. Atas dasar itu dapat ditentukan perkiraan daur optimum pohon *Eucalyptus hybrid* ditinjau dari sifat pengolahan pulp adalah pada umur 4 dan 10 tahun.

**Tabel 8. Hasil uji jarak Duncan sifat pengolahan pulp kayu *Eucalyptus hybrid* (dinyatakan dalam grade/mutu dan skor)**  
**Table 8. Results of Duncan's range test on pulp-rocessing properties for *Eucalyptus hybrid* wood (expressed in grades and scores)**

Sifat pengolahan pulp ( <i>Pulp-processing properties</i> )	Aspek ( <i>Items</i> )	Umur pohon / <i>Tree ages</i> (T), tahun ( <i>years</i> )			
		4	5	6	10
Rendemen pulp total ( <i>Total yield</i> )	M	49.15	48.72	48.86	49.36
	G	AB	C	BC	A
	S	3.5	2	2.5	4
Rendemen pulp tersaring ( <i>Screened pulp yield</i> )	M	48.55	48.12	48.27	48.76
	G	AB	C	BC	A
	S	3.5	2	2.5	4
Rejects	M	0.60	0.60	0.60	0.60
	G	A	A	A	A
	S	4	4	4	4
Konsumsi alkali ( <i>Alkali consumption</i> )	M	15.39	15.39	14.78	14.78
	G	A	A	B	B
	S	1	1	2	2
Bilangan kappa ( <i>Kappa number</i> )	M	18.00	19.11	20.88	17.63
	G	C	B	A	C
	S	3	2	1	3
Waktu giling ( <i>Beating duration</i> )	M	70.0	65.0	62.5	60.0
	G	A	AB	B	C
	S	1	1.5	2	3
	TS	16	12.5	14	20

Keterangan (*Remarks*): Mengenai baris paling atas ke satu dan kedua, mulai dari kolom ke dua, sama seperti Tabel 2 (*About the first and second upper row, beginning from the second column, similar to those in Table 2*)

### C. Sifat Lembaran Pulp (Fisik, Kekuatan, dan Optik)

Terhadap gramatur, ternyata pengaruh umur pohon tidak nyata (Tabel 10 dan 11), sedangkan terhadap indeks retak, indeks tarik, indeks sobek, dan ketahanan lipat, pengaruh tersebut nyata. Penelaahan dengan uji Duncan (Tabel 12) dan persamaan regresi (Tabel 13) ternyata indeks retak, indeks tarik, dan ketahanan lipat cenderung menurun dengan bertambahnya umur. Diduga hal tersebut terkait dengan berat jenis kayu yang makin tinggi (Tabel 2 dan 3) dan dinding serat makin tebal (Tabel 5 dan 6) dengan bertambahnya umur pohon. Kayu dengan berat jenis tinggi dan dinding serat tebal yang menggunakan kondisi pemasakan (*pulping*) sama seperti untuk kayu berat jenis rendah (berdinding tipis) menyebabkan pelunakan serpih kayu berat jenis tinggi tersebut dan pemisahan dan penipisan serat menjadi kurang sempurna pada saat penggilingan pulp (*beating/refining*) dibandingkan dengan kayu dengan berat jenis rendah. Hal tersebut mengakibatkan dinding serat masih tebal sehingga sukar menggepeng dan ikatan antar serat kurang sempurna pada saat



Tabel 9. Hubungan antara umur pohon *Eucalyptus hybrid* (X) dengan sifat pengolahan pulp (Y) dalam bentuk persamaan regresi linier (L) dan regresi kuadratik (Q)  
 Table 9. Relationship between ages of *Eucalyptus hybrid trees* (X) and pulp-processing properties (Y) in linier regression (L) and quadratic regression (Q) equations

No	Sifat pengolahan pulp (Pulp-processing properties)	Koefisien regresi (Regression coeff.)			Keeratan X-Y (X-Y relation intensity)		Keterangan (Relation description) 1)
		bo	b1	b11	R <sup>2</sup>	R	
1	Rendemen total (Total yield), Y1	50.9518	-0.6723	0.0513	0.249 *	0.499 *	QR
2	Rendemen tersaring (Screened yield), Y2	50.3518	-0.6727	0.0513	0.246 *	0.497 *	QR
3	Reject, Y3s	0.60	-	-	-	-	NR
4	Konsumsi alkali (Alkali consumption), Y4	17.5838	-0.6871	0.0406	0.399 *	0.632 *	QR
5	Bilangan Kappa (Kappa number), Y5	3.7049	4.9486	-0.3554	0.508 **	0.713 **	QR
6	Waktu giling mencapai (Beating duration to reach) 250-300 ml CSF, Y6	98.0044	-2.2170	0.5418	0.720 **	0.849 **	QR

Keterangan (Remarks): Sama seperti pada Tabel 3 (Similar to those in Table 3)

**Tabel 10. Data sifat fisik, kekuatan, dan optik lembaran pulp kayu *Eucalyptus hybrid***  
**Table 10. Data on physical, strength, and optic properties of pulp for *Eucalyptus hybrid* wood**

Sifat fisik, kekuatan, dan optik ( <i>Physical, strength, and optical properties</i> ) <sup>*</sup>	Umur pohon / <i>Tree ages</i> (T), tahun ( <i>years</i> )			
	4	5	6	10
Gramatur ( <i>Basis weight</i> ), g/m <sup>2</sup>	61.57	62.54	57.16	60.20
Derajat kecerahan ( <i>Brightness</i> ), %GE	26.605	27.580	23.735	26.045
Opasitas ( <i>Opacity</i> ), %	99.475	99.575	99.530	99.450
Indeks retak ( <i>Burst index</i> ), kPam <sup>2</sup> .g	5.220	4.835	4.135	4.300
Indeks tarik ( <i>Tensile index</i> ), Nm/g	84.605	82.755	75.790	78.140
Faktor sobek ( <i>Tear index</i> ), mN.m <sup>2</sup> /g	7.169	7.625	6.380	7.415
Ketahanan lipat ( <i>Folding endurance</i> ), df	146.6	71.0	48.5	24.0

Keterangan (*Remarks*):<sup>\*</sup> Rata-rata dari 3 ulangan (*Average of 3 replications*); Data rata-rata waktu giling pada umur pohon 4, 5, 6, 7 tahun disajikan pada Tabel 8 (*Data on average beating duration at consecutively 4, 5, 6, 7 years of tree ages are disclosed on Table 8*)

pembentukan lembaran pulp. Keadaan tersebut menyebabkan kekuatan lembaran pulp rendah. Di lain hal, indeks sobek mula-mula menurun dan kemudian meningkat dengan bertambahnya umur pohon. Menurunnya indeks sobek dapat dijelaskan mengikuti gejala yang terjadi pada indeks retak, indeks tarik, dan ketahanan lipat. Selanjutnya, meningkatnya indeks sobek mungkin terkait dengan serat lebih panjang dan daya tenun semakin tinggi pada pohon dengan umur mendekati 10 tahun (Tabel 5 dan 6). Keadaan tersebut berakibat positif terhadap daya anyam antar serat sehingga kekuatan sobek (indeks) meningkat.

Dalam hal waktu giling, pengaruhnya tidak nyata terhadap gramatur, indeks retak, indeks sobek, dan ketahanan lipat, tetapi nyata terhadap indeks tarik dan opasitas (Tabel 11). Penelaahan dengan persamaan regresi (Tabel 13), ternyata indeks tarik dan opasitas meningkat dengan waktu giling. Diduga waktu giling yang lebih lama mengakibatkan penipisan dan fibrilisasidinding serat pulp. Hal tersebut berpengaruh positif terhadap ikatan, kekompakan, dan daya anyam antar serat sehingga kekuatan (indeks) tarik meningkat. Semakin kompak ikatan dan daya anyam tersebut berakibat semakin sulit lembaran serat pulp ditembus cahaya sehingga berakibat peningkatan opasitasnya.

Terhadap opasitas, pengaruh umur pohon tidak nyata, tetapi nyata terhadap derajat kecerahan lembaran pulp (Tabel 11). Penelaahan dengan uji Duncan (Tabel 12) dan persamaan regresi (Tabel 13) menunjukkan ada hubungan negatif antara umur dan derajat kecerahan. Hal ini dapat dijelaskan dengan menurunnya bilangan kappa pulp yang diolah dari kayu dengan umur mendekati 10 tahun. Bilangan kappa merupakan indikasi positif terhadap

**Tabel 11. Analisis keragaman sifat fisik, kekuatan, optik lembaran pulp kayu *Eucalyptus hybrid***

**Table 11. Analysis of variance on physical, strength, and optical properties of pulp sheet fo *Eucalyptus hybrid wood***

Sifat fisik, kekuatan, dan optik (Physical, strength, and optical properties)	Sumber keragaman (Sources of variation) / db				F-hit/ F-cal.		Peluang/ Probability (T)	Rata-rata/ Means	KK (%)	D0.05
	Total	Perlakuan/ Treatment (T)	W	Galat/ Errors						
Gramatur (Basis weight) g/m <sup>2</sup>	59	3	1	55	2.20	5.42 tn	tn	60.365 g/m <sup>2</sup>	4.52	5.876- 5.508
Derajat kecerahan (Brightness)	59	3	1	55	4.19	0.59 tn	*	25.991 %GE	5.23	2.659- 2.822
Opasitas (Opacity)	59	3	1	55	3.03	10.02 **	tn	99.508 %	0.11	0.216- 0.229
Indeks retak (Burst index)	59	3	1	55	6.69	1.66 tn	**	4.6225 kPam <sup>2</sup> .g	3.88	0.349- 0.367
Indeks tarik (Tensile index)	59	3	1	55	3.99	4.83 *	*	80.323 Nm/g	2.47	3.823- 4.056
Faktor sobek (Tear index) mN.m <sup>2</sup> /g	59	3	1	55	7.00	0.55 tn	**	7.146 mN.m <sup>2</sup> /g	4.99	0.688- 0.730
Ketahanan lipat (Folding endurance)	59	3	1	55	24.06	0.86 tn	**	72.50 df	12.58	17.76- 18.84

Keterangan (Remarks): W = Waktu giling (Beating duration); Lainnya mengenai baris paling atas, mulai dari kolom ke dua, sama seperti Tabel 1 (Others about the very upper row, beginning from the second column, similar to those in Table 1)

sisa lignin pada pulp. Dengan demikian derajat kecerahan meningkat pada pulp dengan kadar sisa lignin rendah. Dilain hal, derajat kecerahan tidak dipengaruhi waktu giling, tetapi berpengaruh nyata terhadap opasitas (Tabel 12). Penelaahan dengan persamaan regresi menunjukkan opasitas meningkat dengan waktu giling (Tabel 13). Penipisan dan fibrilisasi dinding serat pulp yang lebih intensif akibat waktu giling lebih lama berakibat anjuran serat lebih padat (kompak) sewaktu pembentukan lembaran pulp. Hal tersebut berakibat lembaran pulp semakin tidak tembus terhadap cahaya (opaque) sehingga opasitasnya meningkat.

**Tabel 12. Hasil uji jarak Duncan sifat fisik, kekuatan, dan optik lembran pulp kayu *Eucalyptus hybrid* (dinyatakan dalam grade/mutu dan skor)**  
**Table 12. Results of Duncan's range test on physical, strength, and optical properties of pulp sheet for *Eucalyptus hybrid* wood (expressed in grades and scores)**

Sifat fisik, kekuatan, dan optik ( <i>Physical, strength, and optical properties</i> ) *)	Aspek ( <i>Items</i> )	Umur pohon / <i>Tree ages</i> (T), tahun ( <i>years</i> )			
		4	5	6	10
Gramatur ( <i>Basis weight</i> ), g/m <sup>2</sup>	M	57.043	62.032	58.669	63.716
	G	A	A	A	A
	S	4	4	4	4
Derajat kecerahan ( <i>Brightness</i> ), %GE	M	27.359	27.664	23.484	25.459
	G	A	A	B	AB
	S	4	4	3	3.5
Opasitas ( <i>Opacity</i> ), %	M	99.223	99.547	99.614	99.646
	G	A	A	A	A
	S	4	4	4	4
Indeks retak ( <i>Burst index</i> ), kPam <sup>2</sup> .g	M	5.0557	4.8168	4.1897	4.4278
	G	A	B	C	C
	S	4	3	2	2
Indeks tarik ( <i>Tensile index</i> ), Nm/g	M	81.509	82.411	76.822	80.458
	G	A	A	B	B
	S	4	4	3	3
Faktor sobek ( <i>Tear index</i> ) mN.m <sup>2</sup> /g	M	7.219	7.631	6.362	7.373
	G	A	A	B	A
	S	4	4	3	4
Ketahanan lipat ( <i>Folding endurance</i> ), df	M	140.43	70.33	50.53	28.73
	G	A	B	C	D
	S	4	3	2	1
	TS	28	26	21	21.5

Keterangan (*Remarks*): \*) Di-adjust pada waktu giling / *Adjusted at beating duration* (W) = 64.375 menit (minutes); Lainnya mengenai baris paling atas ke satu dan kedua, mulai dari kolom ke dua, sama seperti Tabel 2 (*Others about the first and second upper row, beginning from the second column, similar to those in Table 2*)

Penelaahan secara keseluruhan terhadap sifat fisik, kekuatan, optik lembaran pulp dilakukan dengan sistim total skor (Tabel 12). Ternyata terdapat hubungan negatif antara total skor tersebut dengan umur pohon. Dengan demikian ditinjau dari sifat lembaran pulp, daur optimum pohon terjadi pada umur 4 tahun.

Tabel 13. Hubungan antara umur pohon *Eucalyptus hybrid* (X), waktu giling pulp (W) dengan sifat fisik, kekuatan, dan optik lembaran pulp (Y) dalam bentuk persamaan regresi linier berganda ( $MLY = bo + bX1 + bwW$ ) dan regresi kuadrat berganda (MQ)

Table 13. Relationship between ages of *Eucalyptus hybrid trees* (X), beating duration (W), and physical, strength, and optic properties of pulp (Y) in liner regression ( $Y = bo + b1X + bwW$ ) and quadratic regression ( $Y = bo + b1X + b11X^2 + bwW$ ) equations

No	Sifat fisik, kekuatan, dan optik lembaran pulp (Physical, strength, and optic properties of pulp sheet)	Koefisien regresi (Regression coeff.)				Kecepatan X-Y (X-Y relation intensity)		Keterangan (Relation description) <sup>1)</sup>
		Bo	b1	b11	bw	R <sup>2</sup>	R	
1	Gramatur (Basis weight), Y1	60.635	-	-	-	-	-	Tidak ada hubungan antara (No relation between) X, W, dan (and) Y1
2	Derajat kecerahan (Brightness), Y2	57.3349	-5.58954	0.36044	-	0.3926 *	0.6266 *	QR dengan (with) X
3	Opasitas (Opacity), Y3	94.9493	-	-	0.0427	0.5630 **	0.7583 **	LR dengan (with) W
4	Indeks retak (Burst index), Y4	7.2821	-1.2119	0.0774	-	0.8532 **	0.9237 **	QR dengan (with) X
5	Indeks tarik (Tensile index), Y5	74.0997	-7.2253	0.4817	0.4670	0.7204 **	0.8488 **	QR dengan (with) X
6	Indeks sobek (Tear index), Y6	13.6722	-1.4188	0.0974	-	0.3687 *	0.6072 *	QR dengan (with) X
7	Ketahanan lipat (Folding endurance), Y7	381.5775	-113.6067	6.8973	-	0.9520 **	0.9757 **	QR dengan (with) X

Keterangan (Remarks): **ML: Y = bo + bX1 + bwW; MQ: Y = bo + b1X + b11X<sup>2</sup> + bwW**; bw = Koefisien regresi waktu giling (Regression coefficient for beating duration); Lainnya, sama seperti pada Tabel 3 (Others, similar to those in Table 3)

#### D. Faktor Eksploitasi Tegakan Pohon

Rincian hasil penetapan faktor eksploitasi tegakan pohon *Eucalyptus hybrid* pada umur yang umum dipanen di HPHTI bersangkutan (6 tahun) dengan luas hutan 7,196.70 ha, topografi 0-25%, dan rencana produksi kayu 1,660,206.70 m<sup>3</sup> per tahun adalah faktor eksploitasi sebesar 97% dengan simpangan baku 2%; sedangkan pada topografi 16-25%, faktor eksploitasi 95.5% dengan simpangan baku 24.5%. Atas dasar itu, terdapat kecenderungan dengan semakin besarnya derajat topografi, maka angka faktor eksploitasi menurun; dan sebaliknya. Hal ini dapat dipahami karena semakin besar derajat topografi, makin sulit medan yang dihadapi dan dengan sendirinya berkorelasi secara negatif terhadap faktor eksploitasi tersebut.

#### E. Penentuan Daur Optimum Dikaitkan dengan Sifat Dasar, Sifat Pengolahan Pulp, Sifat Lembaran Pulp, dan Faktor Eksploitasi

Untuk penentuan daur optimum tersebut, dibuat tabulasi yang menggambarkan hubungan umur dengan total skor yang merupakan jumlah keseluruhan skor dari sifat dasar, sifat pengolahan pulp, dan sifat lembaran (fisik, kekuatan, dan optik) pulp (Tabel 14). Ternyata dari tabel tersebut terdapat hubungan kuadratik antara umur pohon (X) dengan total skor (Y). Melalui analisis regresi dapat dibuat persamaan kuadratik yaitu  $Y = 112.554324 - 3.427217 X + 0.241430 X^2$  ( $R=0.823 *$ ). Selanjutnya melalui turunan pertama persamaan tersebut  $dY/dX = 3.427217 - 2 (0.241430) X = 0$ , maka daur optimum dapat ditentukan yaitu  $X = 7.01$  tahun. Dengan memasukkan angka 7.01 tahun tersebut (X) ke persamaan regresi di atas, diperoleh skor maksimum (Y) sebesar 100.38. Pada umur tersebut (7.01 tahun), data faktor eksploitasi tegakan pohon *Acacia sp.* tidak diketahui. Yang diketahui adalah pada umur 6 tahun, yaitu faktor eksploitasi sebesar 97% pada topografi 0-25%, dan faktor eksploitasi 95.5% pada topografi 16-25%.

### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

#### 1. Berat jenis dan komposisi kimia kayu

Umur pohon kayu *Eucalyptus hybrid* berpengaruh nyata secara positif terhadap berat jenis, kadar holoselulosa, kadar *alfa-selulosa*, dan lignin. Selanjutnya umur tidak berpengaruh nyata terhadap kadar hemiselulosa dan pentosan.

Kelarutan dalam alkohol benzen relatif tidak banyak mengalami perubahan pada pohon dengan umur 4-10 tahun. Kelarutan dalam air dingin cenderung meningkat dengan bertambahnya umur, sedangkan kelarutan dalam air panas sebaliknya. Kelarutan dalam NaOH 1% cenderung menurun dengan umur pohon.

Perkiraan daur pohon yang optimum ditinjau dari berat jenis dan komposisi kimia kayunya pada umur 10 tahun.

**Tabel 14. Penelaahan pulp kayu *Eucalyptus hybrid* ditinjau dari total skor sifat dasar (kayu), sifat pengolahan pulp, dan sifat fisik, kekuatan, dan optik lembaran pulp pada variasi umur pohon induk (4-10 tahun)**

**Table 14. Assessments on *Eucalyptus hybrid wood pulp* viewed from total scores elaborating wood basic properties, pulp-processing properties, and physical - strength - optic properties of pulp sheet at various ages of host trees (4-10 years)**

Total skor ( <i>Total scores</i> )	Umur pohon / <i>Tree ages</i> (T), tahun ( <i>years</i> )			
	4	5	6	10
Sifat dasar ( <i>Basic properties</i> )				
- Berat jenis dan komposisi kimia ( <i>Specific gravity and chemical composition</i> )	29	28	31	32
- Dimensi serat dan nilai turunannya ( <i>Fiber dimensions and their derived values</i> )	24	32.5	29	25
Sifat pengolahan pulp ( <i>Pulp-processing properties</i> )	19	14.5	15	19
Sifat fisik, kekuatan, dan optik lembaran pulp ( <i>Physical, strength, and optical properties of pulp sheet</i> )	28	26	21	21.5
Total skor keseluruhan ( <i>Overall total scores</i> )	100	101	96	97.5

## 2. Dimensi serat dan nilai turunannya

Umur berpengaruh nyata secara positif terhadap panjang serat dan tebal dinding serat, dan sebaliknya negatif terhadap diameter lumen. Terhadap diameter serat, tidak terdapat kecenderungan yang jelas dengan perubahan umur (4 - 10 tahun).

Terdapat hubungan positif antara umur dengan daya tenun, bilangan Runkel, koefisien kekakuan, dan bilangan Muhlstep, dan sebaliknya terdapat hubungan negatif dengan koefisien fleksibilitas.

Perkiraan daur optimum pohon ditinjau dari dimensi serat kayu dan nilai turunannya, pada umur 5 tahun.

## 3. Sifat pengolahan pulp

Umur pohon berpengaruh nyata secara positif terhadap rendemen total, rendemen tersaring, dan konsumsi alkali; dan sebaliknya secara negatif terhadap konsumsi alkali dan waktu giling. Terhadap bilangan kappa, mula-mula bilangan tersebut meningkat dengan bertambahnya umur dan selanjutnya menurun. Lebih lanjut, tidak terdapat hubungan yang nyata antara umur pohon dengan *rejects*.

Daur optimum pohon *Eucalyptus hybrid* ditinjau dari sifat pengolahan pulp diperkirakan pada umur 4 dan 10 tahun.

4. Sifat lembaran pulp (fisik, kekuatan, dan optik)

Pengaruh umur pohon tidak nyata terhadap gramatur dan opasitas lembaran pulp, tetapi nyata secara negatif terhadap derajat kecerahan, indeks retak, indeks tarik, dan ketahanan lipat. Terhadap indeks sobek, mula-mula pengaruh umur negatif dan kemudian positif. Waktu giling pulp mencapai derajat kehalusan 250 - 300 ml CSF berpengaruh positif terhadap opasitas dan indeks tarik.

Perkiraan daur optimum pohon ditinjau dari sifat lembaran pulp (fisik, kekuatan, dan optik), pada umur 4 tahun.

5. Faktor eksploitasi tegakan pohon

Faktor eksploitasi tegakan pohon (kisaran 95.5 - 97.5%) cenderung menurun dengan meningkatnya derajat topografi areal tegakan tersebut (0.25 - 16.25%).

6. Penentuan daur optimum

Perkiraan daur optimum pohon dikaitkan secara keseluruhan dengan sifat dasar dan sifat pengolahan pulp adalah pada umur 7.01 tahun. Data faktor eksploitasi tegakan pohon tersebut tidak ada pada umur 7.01 tahun. Pada umur 6 tahun, diperoleh besar faktor eksploitasi pohon tersebut 97% (pada topografi 0 - 25%) dan 95.5% (pada topografi 16 - 25%). Atas dasar itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut penetapan faktor eksploitasi tegakan *Eucalyptus hybrid* pada umur 7.01 tahun tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1989. Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 14-0494-1989. Badan Standarisasi nasional. Jakarta.
- \_\_\_\_\_. 1994. Experimental Statistics Syllabus. Dept. of Experimental Statistics, Louisiana State Univ. Baton Rouge, LA., USA
- \_\_\_\_\_. 2005. Statistik Kehutanan Indonesia. Departemen Kehutanan, Jakarta.
- \_\_\_\_\_. 2005a. Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 14-0405-2005. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- \_\_\_\_\_. 2006. Sektor kehutanan masih lesu. *Harian Kompas*, tanggal 12 Desember 2006. Hlm. 39-40. Kompas. Jakarta
- \_\_\_\_\_. 2006a. Implementasi kebijakan pembangunan hutan tanaman industri (HTI). Direktorat Jenderal Bina Produksi Kehutanan. Makalah Disajikan pada Seminar Kebijakan Pembangunan HTI dan Pengembangan Industri Pulp di Indonesia di Hotel Le Meridien, Jakarta, tanggal 28 Juni 2006. Kerjasama Pusat Penelitian Sosial Ekonomi dan Kebijakan Kehutanan (Puslitsosek) dengan Center for International Forestry Research (CIFOR)



- \_\_\_\_\_. 2006b. TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industries) test methods. TAPPI Press. Atlanta, Georgia.
- \_\_\_\_\_. 2007. Mengeksplorasi hutan, menuai bencana. *Harian Kompas*, tanggal 13 Januari 2007. Hlm. 35-36. Kompas. Jakarta.
- \_\_\_\_\_. 2008. Kondisi pemasakan kayu *Eucalyptus* spp. di PT. Toba Pulp Lestari (TPL). Desa Sosor Ladang, Kecamatan Porsea, Kabupaten Toba Samosir, Provinsi Sumatera Utara. Konsultasi pribadi dengan Staf PT. TPL.
- \_\_\_\_\_. 2009. Harga pulp mulai naik lagi. *Harian Kompas*, tanggal 24 Januari 2009. Hlm. 18. Kompas. Jakarta.
- Gintings, A. 1990. Kesesuaian tempat tumbuh untuk berbagai jenis pohon hutan tanaman industri. *Prosiding Diskusi Hutan Tanaman Industri*, tanggal 13 - 14 Maret 1990 di Jakarta. Hlmn. 30 - 56. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Jakarta
- Haygreen, J.G. and J.L. Bowyer. 1989. *Forest Products and Wood Sciences: An Introduction*. 2nd ed. Iowa State University / Ames. 1 - 20 pp.
- Hoadley, R. B. 1990. *Identifying Wood: Accurate Results with Simple Tools*. The Taunton Press. Newtown, Cincinnati. 1 - 11 pp.
- Lestari, S.B. dan P. Hastoeti. 2000. Penelaahan dimensi serat dan komposisi kimia kayu kapok. *Buletin Penelitian Hasil Hutan* 18 (2): 105-110. Pusat Litbang Hasil Hutan. Bogor.
- Meyer, B.S. and D.B. Anderson. 1962. *Introduction to Plant Physiology*. D. Van Nostrand Co, Inc. Toronto - New York - London.
- Ott, R.L. 1994. *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis*. Fourth ed. Duxbury Press. Belmont, Ca., USA.
- Romberger, J.A. 1977. Meristem, growth, and development in woody plants: An anatomical review on anatomical, physiological, and morphogenic aspects. *Technical Bull. No. 1293*. Beltsville, MD.
- Siagian, R. M., S.B. Lestari, dan Yoswita. 2004. Sifat pulp sulfat kayu kurang dikenal asal Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 22 (2): 75 - 86. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor
- Silitonga, T., R. M. Siagian, dan A. Nurachman. 1972. Cara pengukuran serat kayu di Lembaga Penelitian Hasil Hutan. *Publikasi Khusus* 12 (8): 1 - 17. Lembaga Penelitian Hasil Hutan, Bogor.
- Sinnot, E. W. and K. S. Wilson. 1955. *Botany: Principles and Problems*. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York - Toronto - London. 17 - 20 pp.
- Sjostrom, E. 1982. *Wood Chemistry: Fundamental and Applications*. Academic Press, Inc. Orlando - San Diego - New York - London - Sydney - Tokyo.

Smook, G.A. and M.J. Kocurek. 1992. Handbook for Pulp and Paper Technologists. Joint Textbook Committee of the Paper Industry. TAPPI. Atlanta, Georgia, USA.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih dan menyampaikan rasa penghargaan yang tinggi pada Ir. Ridwan A. Pasaribu, MS., dan Ir. Rena M. Siagian, MS, keduanya sebagai Peneliti Utama pada Pusat Litbang Hasil Hutan (Bogor) yang telah banyak menyumbangkan tenaga dan pikirannya dalam kegiatan penelitian terkait dengan tulisan ini.