

# Pulp Termo Mekanis (TMP) dan Kimia Termo Mekanis (CTMP) dari Limbah Batang Kenaf

## *Pulps from TMP and CTMP of Kenaf Stem Residue*

Wawan Kartiwa Haroen

### Abstract

Pulps from thermo mechanical pulping (TMP) are produced by applying elevated temperatures and physical treatment in the process through mechanical energy. A study on the TMP and CTMP processes have been conducted on the residue of Kenaf stems wood. The general pulping conditions of CTMP process are impregnated with Sodium Hydroxide (NaOH) and steamed, while TMP are steamed both for 30 minutes at temperature 120°C, and steam pressure 1.5 atm. Average of pulp yields are TMP 91.29% and CTMP 86.16% and fractionations of fiber pulp was analyzed by using of Bauer McNett fractionators which fiber contents more than 78% at 200 mesh. Pulp bleaching with Hydrogen Peroxide or peroxide bleaching was carried out in two phase P<sub>1</sub> and P<sub>2</sub>. The pulp brightness pulp in the range 70 ~ 76 % ISO and fulfil the physical strength properties for Newspaper requirements according to Indonesian National Standard (SNI .14.0091 – 1998). The energy consumption of Kenaf stem's chips refining for TMP process is 4.75 kWh/kg dry chips and for CTMP process 2.7 kWh/kg dry chip. The consumption of energy for CTMP process is 50% lower compared with the energy consumed for the TMP process.

**Key words:** TMP, CTMP, Kenaf stem, peroxide bleaching.

### Pendahuluan

Kayu Kenaf diperoleh dari tanaman Kenaf (*Hibiscus cannabinus* Linn) tergolong ke dalam tanaman musiman, berumur pendek bisa dipanen pada umur 3.5 ~ 4 bulan. Tinggi tanaman mencapai 4 m; diameter batang 1.5 ~ 2.0 cm; serta bagian kulit mengandung serat sangat tinggi dibandingkan kayunya dengan komposisi kayu 65% dan kulit 35%. Produksi setiap hektar tanaman Kenaf menghasilkan 15 ton batang kering, setara dengan 1.5 ton pita serat Kenaf (BBS 1989; Anonimous 2000). Serat Kenaf di Indonesia merupakan bahan karung goni, karpet, *non woven*, peredam panas, dan peredam suara. Kenaf memiliki potensi untuk dikembangkan secara luas karena dapat tumbuh di berbagai jenis tanah seperti lahan kritis sampai lahan banjir. Serat Kenaf dapat dijadikan sebagai bahan kertas khusus yang memiliki nilai jual tinggi, seperti diproduksi oleh China, India, Australia, Thailand dan Pakistan (Paul 1994).

Berkaitan dengan program pembangunan industri pulp yang berkelanjutan seperti diversifikasi bahan baku pulp dari kayu ke bahan lainnya, tanaman Kenaf merupakan salah satu pilihan yang perlu dipertimbangkan oleh industri pulp kertas. Kayu Kenaf diperoleh dari proses pemisahan kulit sampai saat ini belum dimanfaatkan secara baik, kecuali sebagai kayu bakar. Kayu tersebut mengandung serat selulosa merupakan sumber serat primer yang bisa diproses menjadi pulp kertas. Proses pulping yang paling tepat adalah proses pulp mekanis seperti TMP (*Thermo*

*Mechanical Pulp*) atau CTMP (*Chemi Thermo Mechanical Pulp*), karena sifat kayu lunak dan ringan. Proses tersebut dapat menghemat bahan baku, bebas kimia, rendemen sangat tinggi dan pencemaran yang rendah. Air limbah proses rendemen tinggi umumnya memiliki kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) sekitar 7000 mg/l (Kudo 1991) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) 700 ~ 5000 mg/l (Vipart 1993)

Sampai akhir tahun 2007, industri pulp mekanis di Indonesia belum terwujud bahkan pulp tersebut masih impor. Hal ini kemungkinan ada beberapa alasan diantaranya pulp kimia lebih menguntungkan dan kebutuhan bahan baku pulp kayu masih melimpah dan tidak ada kebijakan dari pemerintah. Pertimbangan lainnya bahwa proses pulp mekanis memerlukan energi lebih tinggi dan harga energi pada saat ini dirasakan sangat mahal. Namun suatu saat sumber alam berupa kayu akan mengalami krisis sehingga kebijakan industri pulp lambat laun akan berubah dan mengarah kepada proses lainnya. Dipastikan usaha dan investasi untuk pembuatan bubur kertas akan beralih pada pembuatan pulp mekanis atau semi kimia mekanis dengan modifikasi teknologi terbaru hemat bahan dan energi.

Produk hilir yang bisa dibuat dari pulp mekanis diantaranya untuk kertas koran, kertas industri, tisu dan campuran peredam suara. Vipart (1993) mengemukakan bahwa *thermo mechanical pulp* (TMP) serat panjang apabila dilakukan penggilingan menggunakan *refiner* akan memperlihatkan sifat yang hampir sama dengan sifat serat pendeknya. Namun penguraian serpih yang



Figure 1. Plantation and Kenaf stem.

memiliki serat panjang pada proses TMP harus dipisah dengan serpih yang memiliki serat pendek, hal ini untuk menghindari terjadinya pemotongan serat yang berlebih. Fraksi serat panjang TMP pada lembaran kertas akan mendominasi di bagian permukaan kertas. Metoda pemutihan pulp mekanis ada dua cara yaitu pemutihan secara reduktif dan secara oksidatif; kondisi ini dapat dilakukan secara tunggal atau gabungan. Bahan kimia pemutih bersifat reduktif diantaranya bisulfit, ditonit dan boronhidrida sedangkan bahan pemutih bersifat oksidatif menggunakan peroksida, hipohlorit, asam perasetat atau ozon. Pemutihan pulp mekanis menggunakan hydrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) merupakan bahan pemutih oksidatif paling baik dan banyak digunakan di industri. Bahan kimia pemutih seperti  $Na_2O$  dan  $H_2O_2$  atau campuran keduanya banyak digunakan dengan media alkali harus pertahankan pada pH 10 ~ 11. Adanya penambahan natrium silikat dan garam magnesium pada pemutihan peroksida sangat disarankan karena berfungsi sebagai penyangga, stabilisasi warna dan meningkatkan kecerahan pulp. Perlu diperhatikan pengaturan konsentrasi NaOH, suhu, konsentrasi  $Na_2SO_3$ , konsistensi pulp dan konsentrasi  $H_2O_2$  yang tepat supaya kecerahan pulp mencapai optimum dan kekuatan fisik pulp baik. Keuntungan penggunaan peroksida adalah menghasilkan derajat putih tinggi, biaya produksi hemat, mengantisipasi penurunan rendemen, warna pulp lebih stabil karena serat bisa mempertahankan sekitar 1/10 bagian peroksida yang terpakai (Stanley 1986, Stuart 1996). Penelitian ini mengungkapkan secara teknis tentang proses, kualitas pulp mekanis batang Kenaf dan kendala lainnya yang akan terjadi.

#### Bahan dan Metoda

Penelitian skala laboratorium dengan tahapan seperti yang tertera pada Gambar 2. Batang Kenaf kering bebas kulit memiliki panjang antara 2.5 ~ 3.0 m, diameter 1 ~ 2.5 cm berwarna putih cerah diperoleh

dari Jawa Tengah. Kayu Kenaf dipotong-potong seukuran panjang 2 ~ 3 cm disebut serpih; pemotongan diperlukan untuk mempermudah proses dan mengoptimalkan kapasitas digester terisi serpih. Sebagian serpih dipersiapkan untuk pengujian kadar air, massa jenis, morfologi serat dan pengujian kimia menggunakan metoda pengujian SNI 14. 0700-1998

Serpih kayu Kenaf dikondisikan untuk memperoleh kadar air yang homogen, serpih disimpan dalam plastik kedap air dengan berat kering 1000 gram.

#### Pembuatan pulp termo mekanis (TMP)

Serpih kering dimasukan ke dalam digester berbentuk bejana terbuat dari *stainless* volume 4 liter dilengkapi klep pembuang tekanan uap. *Steaming* dilakukan selama 30 menit dengan tekanan uap 1.5 atm pada suhu 120°C.

Setelah dilakukan *steaming* tekanan uap dikurangi bertahap sampai tekanan minimal (*release*). Serpih dalam keadaan panas dimasukan ke dalam air panas 60 ~ 70°C untuk menjaga suhu serpih. Serpih dalam keadaan panas di *refining* menggunakan *disk refiner* berdiameter 200 mm terbuat dari baja tahan karat beralur. Serpih dalam *refiner* akan terurai oleh dua jenis piringan yang berputar dan satu piringan statis. Pada tahap awal jarak piringan *refiner* diatur lebih renggang (0.5 mm) supaya serpih hancur merata dan tidak terjadi kemacetan. Jarak piringan pada penguraian tahap kedua diatur lebih rapat (0.25 mm) dan penggilingan dilakukan kontinyu. Selama penggilingan dilakukan pencatatan terhadap pemakaian energi dan penggunaan air. Penguraian dilakukan 3 ~ 4 kali pengulangan sampai diperoleh serat mendekati derajat giling 10 °SR. Selanjutnya ditentukan rendemen pulp dan pengujian klasifikasi serat dengan alat uji Baur Mc.Nett (SNI 14. 1552-1989) , Kappa number (KN) pada penelitian ini tidak dilakukan karena pulp yang diperoleh memiliki *Kappa Number* (KN) yang tinggi.

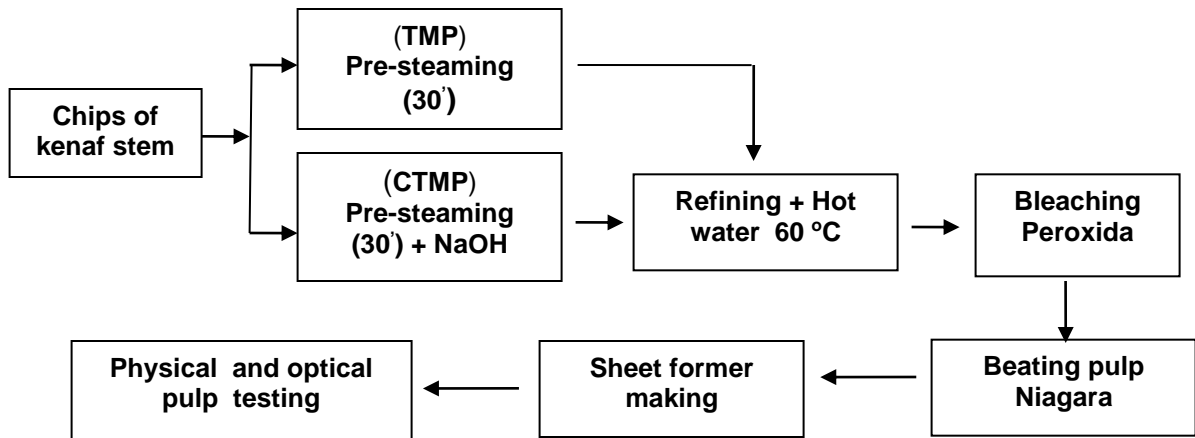


Figure 2. Flowchart of Mechanical pulping TMP/CTMP.

### Pembuatan pulp semi termo mekanis (CTMP)

Tahapan proses penguraian serpih CTMP hampir sama dengan proses TMP, perbedaannya hanya saat *steaming* ditambahkan larutan kimia NaOH 4% dengan perbandingan serpih dan larutan NaOH 1 : 5. Waktu dan tekanan uap dilakukan sama seperti proses TMP. Alur percobaan CTMP tertera pada Gambar 2.

### Pemutihan pulp mekanis

Pulp TMP dan CTMP belum putih ditentukan derajat putihnya (*brightness*). Pulp diputihkan dengan menggunakan peroksida ( $H_2O_2$ ) dalam 2 tahap yaitu: P<sub>1</sub> (3% atau 4%  $H_2O_2$ ) dan tahap P<sub>2</sub> (2%  $H_2O_2$ ), setiap tahap ditambahkan bahan kimia NaOH, EDTA dan  $Na_2SiO_3$  sesuai kondisi proses yang tertera pada Tabel 1.

Table 1. Bleaching condition mechanical pulp

Variable	Stage	
	P1	P2
$H_2O_2$ , %	3 and 4	2
NaOH, %	1	1
EDTA, %	0.5	0.5
$Na_2SiO_3$ , %	4	4
Temperature, °C	70	70
Consistency, %	10	10
pH	10	10
Time, minute	180	180

### Evaluasi pulp putih mekanis

Pulp putih TMP dan CTMP dilakukan penggilingan supaya serat terfibrilasi menggunakan alat *Niagara Beater*. Pulp dengan konsistensi standar digiling sesuai waktu atau derajat giling yang ditentukan. Pada derajat giling 30 dan 40 °SR dibuat lembaran dengan *sheet*

*former* berbentuk lingkaran bergaris tengah 15 cm dengan berat dasar 60 ~ 65 g/m. Lembaran pulp dikondisikan pada ruangan khusus dengan suhu 23°C, Rh 65% selama 24 jam. Lembaran pulp TMP atau CTMP diuji sifat fisik dan optiknya dengan metoda uji mengacu standar SNI (SNI 14.0493-1989; SNI14.0438-1989). Pengujiannya meliputi gramatur, tebal, sobek, retak, tarik, panjang putus, derajat putih dan opasitas

### Hasil dan Pembahasan

Kayu Kenaf memiliki warna putih cerah bagian tengah berlubang dan bergabus dengan massa jenis sangat ringan (0.15). Sifat ini menunjukkan bahwa kayu Kenaf sangat lunak dan memiliki sifat ruah (*bulky*). Berdasarkan kriteria tersebut kayu Kenaf mudah direfiner; hal ini merupakan salah satu syarat yang diperlukan pada pemilihan bahan baku untuk pulp proses mekanis atau semi mekanis (Gullichsen dan Paulapuro 1998).

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa kayu Kenaf memiliki serat yang pendek (0.87 mm) dengan sebaran panjang antara 0.47 ~ 1.20 mm, dinding serat tipis (2.52  $\mu$ ) dan diameter serat sedang (16.93  $\mu$ ). Berdasarkan klasifikasi mutu serat (Cassey 1980) maka kualitas pulp yang dihasilkan akan memiliki kekuatan fisik rendah sampai sedang. Kandungan kimia kayu Kenaf terdiri dari lignin (11.68%) atau hampir setengah lignin yang terdapat pada kayu daun (*hardwood*); selulosa  $\alpha$  39.12% tergolong baik dengan kandungan ekstraktif 3.80 % atau hampir sama dengan ekstraktif kayu jarum (Cassey 1980; Humming *et.al.* 1996).

Penambahan NaOH 4% pada serpih saat *pre-steaming* dapat membantu pelunakan serpih sehingga serpih mudah digiling dan kumpulan serat (*fiber bundle*) pada kayu cepat terurai dengan sifat serat fleksibel. Kejadian ini terlihat pada proses CTMP sedangkan pada TMP pembentukan serat halus lebih banyak; hal ini serupa dengan dikemukakan Kappel (1999) bahwa *finer*

akan terkelupas lebih banyak pada lapisan serat primer (P) dan lapisan sekunder (S1) sehingga energi yang diperlukan akan lebih besar. Kejadian tersebut dapat dipantau secara visual saat penggilingan seperti kualitas serat dan amper meter yang digunakan (Tabel 3).

Table 2. Morphology fiber and Chemical Analysis Kenaf stem.

Parameter	Value
Fiber length, mm	0.87
Fiber diameter, $\mu$	16.93
Cell wall thickness, $\mu$	2.52
Density	0.15
Wood color	White
$\alpha$ Cellulose, %	39.12
Lignin, %	11.68
Extractif (alc.benz), %	3.80

Serat CTMP berwarna gelap dibandingkan dengan serat TMP, hal ini akibat adanya NaOH turut bereaksi dengan serpih saat *presteaming* (Gambar 3). Derajat putih pulp CTMP mencapai 38.47% ISO lebih rendah 8 point dibandingkan pulp TMP 46.32% ISO; rendemen pulp CTMP 86.16%, sedangkan pulp TMP lebih tinggi yaitu 91.29%.

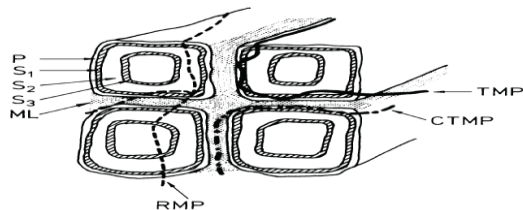


Figure 3. Fracture zones in fiber as different process (Kappel 1999).

Notes: P = primer; S = sekunder; ML = middle lamela; TMP = thermo mechanical pulping; CTMP = chemi- thermo mechanical pulping.

Penggilingan serpih kayu Kenaf dilakukan berulang sampai diperoleh serat terurai sempurna dengan perkiraan mencapai derajat giling 10 °SR. Untuk mencapai kriteria tersebut ditambahkan air panas 60 ~ 70 °C sebagai media penggilingan. Penambahan air panas dimaksudkan untuk membantu pelunakan serpih supaya kerja *refiner* tidak terlalu berat dan serat tidak banyak terpotong (Gordon *et.al.* 1996; Gavelin 1993; Stuart 1996). Kondisi ini dimodifikasi karena peralatan *refiner* yang digunakan tidak memiliki aliran *steam*. Pada saat penggilingan serpih TMP atau CTMP terjadi perbedaan sangat nyata, terutama pada penggunaan energi listrik yang terpantau pada skala amper meter. Penggilingan serpih pada proses CTMP diperlukan 3 kali

ulangan dengan pemakaian arus listrik kumulatif 7.1 Ampere sedangkan untuk serpih TMP diperlukan 4 kali penggilingan diperlukan arus listrik 12.5 Ampere. Hal ini menunjukkan bahwa proses TMP memerlukan energi lebih tinggi dibandingkan CTMP. Hal ini akibat kondisi serpih yang berbeda, serpih CTMP lebih lunak sehingga energi *refiner* yang diperlukan hanya 50% dari energi TMP. Berdasarkan data Ampere meter tersebut, dilakukan perhitungan secara empiris dengan hasil bahwa untuk 1 kg serpih kayu Kenaf, proses TMP diperlukan energi 4.75 kWh sedangkan untuk CTMP 2.6 Kwh untuk memperoleh serat pulp mendekati derajat giling 10 °SR. (Tabel 3).

Table 3. Mechanical Pulping and Energy Consumption.

Parameter	Process	
	TMP	CTMP
Yield of pulp, %	91.29	86.16
Color of pulp	Bright	Dark
Brightness, % ISO	46.32	39.53
Beating process, time	4	3
Freenees, °SR	10 ~ 15	10 ~ 15
Energy consumption / kg chips Kenaf wood		
• Ampere meter (A)	12.5	7.1
• Voltage (V)	380	380
• kWh (KVA)	4.75	2.70

Penambahan NaOH 4% pada CTMP dapat membantu terjadinya *swelling* dan delignifikasi melalui pori-pori serpih, sehingga proses pengembangan serat lebih cepat. *Middle lamella* (ML) serat pada proses CTMP akan terbuka dengan adanya panas dan kimia sehingga serat mudah terurai dan serat halus yang terbentuk lebih rendah, serat mudah terfibrilasi dan lebih fleksibel (Kappel 1999) Kondisi ini akan berpengaruh terhadap ikatan antar serat menjadi lemah dan serat mudah terurai sejalan aksi mekanis oleh *refiner*. Demikian pula halnya dengan penambahan air panas + NaOH akan menyebabkan sebagian lignin pada lapisan serat ML dan P akan larut. Akibat perlakuan mekanis yang sangat kuat oleh *refiner* menyebabkan ikatan serat terlepas dan ada sebagian serat yang hancur terbawa air (Sachs *et.al.* 1990; Yung *et.al.* 2002). Semakin tinggi jumlah serat yang hancur akan berinteraksi langsung terhadap rendemen pulpnya. Pengaruh perlakuan yang berbeda pada TMP dan CTMP, maka fraksi serat pulp yang dihasilkan juga berbeda, hal ini diperlihatkan oleh fraksionasi serat pulpnya (Tabel 4). Pengujian menggunakan alat klasifikasi serat *Baur Mc Nett* terdiri dari beberapa saringan (*screen*) dengan ukuran berbeda dan tersusun bertingkat. Hasilnya ternyata bahwa serat pulp CTMP tidak banyak terpotong sedangkan serat pulp pada TMP banyak terpotong saat

penggilingan. Semakin lama gesekan pisau *refiner* dengan serpih mengakibatkan serat banyak terpotong dan menyebabkan perbedaan waktu penggilingan karena serpih masih keras dan ikatan seratnya menimbulkan serat terpotong sebagian hancur menjadi *finer*. Perbedaan nilai klasifikasi serat tertera pada Tabel 4. Serat utuh CTMP tertahan saringan 30 ~ 200 mesh mencapai 77.84% untuk serat yang lolos saringan 200 mesh jumlahnya lebih kecil (21.18%) dibandingkan dengan TMP (27.01%).

Table 4. Bauer Mc Nett Fractination.

Screen	Process	
	TMP	CTMP
+ 30 mesh , %	32.32	31.98
+ 50 mesh , %	13.32	14.90
+ 100 mesh , %	12.02	20.03
+ 200 mesh , %	15.33	11.91
- 200 mesh , %	27.01	21.18

Sifat optik pulp TMP dan CTMP yang diputihkan dengan hidrogen peroksida menghasilkan derajat putih cukup baik ( 70 ~ 76% ISO). Penggunaan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 4% meningkatkan derajat putih lebih tinggi namun kekuatannya menurun. Sedangkan pemakaian H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3%, derajat putihnya lebih rendah (70% ISO) tetapi sifat fisik pulpnya lebih tinggi (Tabel 5). Secara umum kekuatan fisik pulp TMP dan CTMP yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi pulp kertas koran Indonesia (SNI 14.0091-1998, Spesifikasi Kertas Koran).

*Presteaming* serpih dilakukan pada alat yang terpisah dengan *refiner*nya sehingga terjadi pemutusan panas dari bejana ke *refiner*. Untuk mempertahankan

panas pada serpih digunakan media air panas suhu 60 °C kemudian digiling. Pengaruh perendaman serpih dalam air panas kemungkinan akan berpengaruh terhadap konsumsi energi *refiner* saat penggilingan serpih dan jumlah rendemen pulp yang dihasilkan. Berdasarkan pengamatan selama pembuatan pulp mekanis TMP dan CTMP, kayu Kenaf telah menunjukkan adanya suatu perbedaan dalam pemakaian energi dan kualitas pulp yang dihasilkan. Hal tersebut dapat dijadikan bahan acuan untuk mengevaluasi pengembangan pulp mekanis.

## Kesimpulan

Kayu Kenaf memiliki sifat dan karakter yang memenuhi syarat sebagai bahan baku pulp mekanis diantaranya memiliki massa jenis ringan, kandungan lignin rendah, selulosa sedang, dan mudah digiling secara mekanis dengan *disk refiner*. Potensi kayu Kenaf berupa limbah dapat dimanfaatkan menjadi bahan bermanfaat melalui proses pulping mekanis.

Pembuatan pulp mekanis kayu Kenaf dengan proses CTMP diperoleh rendemen 86% dengan energi *refining* 2.7 kWh/kg serpih. Sedangkan proses TMP menghasilkan rendemen 92%, diperlukan 4.75 kWh/kg serpih kayu Kenaf.

Pemutihan peroksida 2 tahap memberikan tingkat kecerahan dengan derajat putih 70 ~ 76% ISO, kekuatan fisik pulp sedang dan sebanding dengan derajat putih yang dihasilkan. Kedua jenis pulp putih kayu Kenaf TMP dan CTMP memiliki kualitas yang memenuhi persyaratan spesifikasi mutu SNI 14. 0091 - 1998 kertas koran di Indonesia.

Table 5. Physical properties of TMP and CTMP Kenaf stem ( 30 °SR).

Pulp	Gramage (g/m <sup>2</sup> )	Thickness (mm)	Tears index m <sup>2</sup> /kg	Burst index (MN/kg)	Tensile index (kNm/kg)	Breaking length, (m)	Folding indurance (times)	Opacity Dh/Dp	Brightness % ISO
TMP-4	68.37	0.27	3.07	3.89	62.90	998	10	95.03	72
TMP-3	66.79	0.28	3.25	4.01	67.76	968	12	94.21	70
CTMP-4	68.82	0,28	4.13	4.89	70.23	1124	20	95.78	76
CTMP-3	66.37	0.26	3.89	4.38	70.01	1100	17	95.18	75
SNI 14.0091 - 1998 News paper	45 ~ 55	0,10	-	-	-	-	-	89 ~ 90	55

## Daftar Pustaka

- Anonimus. 2000. Prospek Kayu Kenaf untuk Bahan Baku Pulp Industri Kertas. Kertas Leces. PT (Persero).
- Balai Besar Selulosa (BBS). 1989. Penelitian Batang, Kayu dan Serat Kenaf Grade C sebagai Bahan Baku Pulp Kertas. (Tidak dipublikasi).
- Cassey, J.P. 1980. Pulp and paper. Third ed. Vol. 2. Jhon Willey & Sons, NY.
- Gavelin, G. 1993. Pulping Technology and Requirements and Potentialities of Developing Countries. Swedish International Development Authority, Monograph on App. Industrial Tech.
- Gullichsen, J. and H. Paulapuro. 1998. Mechanical Pulping. Published in Cooperation with the Finnish Paper Engineers' Association and Tappi.
- Gordon B.; J. Paris; L.V. Jacques. 1996. Fiber Development to Refining Mechanical Pulping. Tappi Journal 79 (4): 193-210.
- Humming X.; R. Pelton; A. Hamler. 1996. Novel Retention Aid for Mechanical Pulp. Tappi Journal 79 (4): 129-141
- Kudo, A.T. 1991. An Aerobic Treatment of Pulp CTMP Waste Water and Toxicity on Granules. Water Sc. Tech. 13: 1919
- Kappel, J. 1999. Mechanical Pulps from Wood to Bleach Pulp. Book CD ROM - Video Multimedia. Tappi Press, USA.
- Paul, P.K. 1994. Thai Experience of Pulp Production using Kenaf. Paper Asia, Book 5, p. 33.
- SNI 14.1552-1989 Cara Uji Fraksionasi Serat Pulp (Metode MC Nett).
- SNI 14.04737-1998 Cara Uji Ketahanan Tarik Lembaran Pulp, Kertas dan Karton (Metoda Kecepatan Elongasi Tetap).
- SNI 14.0091-1998 Spesifikasi Kertas Koran.
- SNI 14.0493-1989 Cara Uji Ketahanan Retak Lembaran Pulp dan Kertas.
- SNI 14. 0438-1989 Cara Uji Derajat Putih Pulp, Kertas dan Karton.
- SNI 14.0495-1989 Cara Uji Opasitas Cetak Kertas.
- SNI 14.0439-1989 Cara Uji Gramatur Kertas dan Karton.
- SNI 14.0700-1998 Cara Uji Massa Jenis Kayu untuk Pulp.
- Sachs, B.; G.F. Leatham; G.C. Miyer; T.H. Wegner. 1990. Biomechanical Pulping of Aspen Chips; Fungal Growth Pattern and Effects on Cell Wall, Fiber and Pulp Morphology. Biotech. Pulp & Paper Manufacture, USA.
- Stanley, N.M. 1986. Introduction to Paper Technology University of Maine. Orono, Maine.
- Stuart R.C. 1996 Development TMP Fiber and Quality of Pulp. Appita Journal 49( 5): 197-210.
- Vipart, B. 1993. Evaluating the Anaerobic Treatability of Termomechanical Pulping Waste Water. Pulp & Paper Canada 91(3): 193.
- Yung, B.S.; Y. Jeon; Y. C. Shin; D. Kim. 2002. Effect of Mechanical Impact Treatment on Fibre Morphology and Hand-sheet Properties. Appita Journal 55(6): 475-479

Makalah masuk (*received*) : 18 Januari 2008

Diterima (*accepted*) : 31 Januari 2008

Revisi terakhir (*final revision*) : 09 Mei 2008

Wawan Kartiwa Haroen

Balai Besar Pulp dan Kertas (BBPK) Departemen Perindustrian  
(Center for Pulp and Paper (CPP) Ministry of Industry)

Jl. Raya Deyeuhkolot 132 Bandung 40258

Tel : 022.5202980

Fax : 022.5202871

Email : wawankh@yahoo.com; wawankh@depperin.go.id