

## Effisiensi Energi Mesin Refiner

Darono Wikanaji dan Trismawati  
Fakultas Teknik Industri Universitas Panca Marga Probolinggo  
[aji\\_darono@yahoo.co.id](mailto:aji_darono@yahoo.co.id); [tacahya@yahoo.co.id](mailto:tacahya@yahoo.co.id)

### ABSTRAK

Refiner di unit persiapan bahan “Stock Prep” merupakan mesin yang paling penting dan sangat menentukan kelancaran mesin kertas dan kualitas kertas yang dihasilkan. Di sisi lain, mesin refiner merupakan mesin yang mengkonsumsi energi paling besar. Adalah ironis sekali jika cara pengoperasian alat ini kurang mendapat perhatian dan terkesan selalu dikesampingkan. Salah pengoperasian, dapat menyebabkan pemakaian energi boros, umur alat “segment” pendek, serat tidak berkembang optimal, kapasitas mesin refiner tidak dapat optimal (refiner menjadi bottle neck), resiko line perpipaian outlet refiner pecah, mesin kertas berhenti mendadak atau turun speed karena salah satu mesin refiner yang menjadi bottle neck tidak dapat dioperasikan karena segment rompal yang disebabkan terjadinya metal clashing karena load refiner berlebihan atau intensitas yang terlalu tinggi. Bagaimana perpindahan massa dan perpindahan energi didalam refiner tidak diketahui secara pasti, akan tetapi dampak yang dihasilkan secara nyata dapat diketahui dari kelancaran mesin dan kualitas produk yang dihasilkan. Artikel berikut akan membahas secara ringkas semua yang berkaitan dengan hal tersebut di atas.

Kata kunci:

- Energi, refiner, segment, fiber development, kualitas dan kelancaran produksi.

### ABSTRACT

*Refiner in the stock preparation unit of paper machine is the most importance mechine to determine the paper machine runnability and the quality of paper product to be produced. On the other hand, refiner is the most energy consuming machine. Unfortunatly, the operation of this machine has faced lack of attention and just going on as the production running. Lack of knowladge in operation of refiner might cause high energy consumption, less life time of segment refiner, un-optimum of fiber development, refiner capacity being a bottle neck, over pressure of refiner outlet with the risk of pipe crack, paper machine sudently stop or decrease its speed because of the segment of refiner was broken cause by metal clashing in case of the refiner operate at higher intensity or higher load than nesecarry. The mass transfer and energy transfer in the refining process is not known exactly, but it has significant effect on the paper machine runnability and the quality of paper product to be produced. This article will roughly discuss about all of the matter above.*

Key word:

- Energy, refiner, segment, fiber development, product quality, runnability.

### PENDAHULUAN

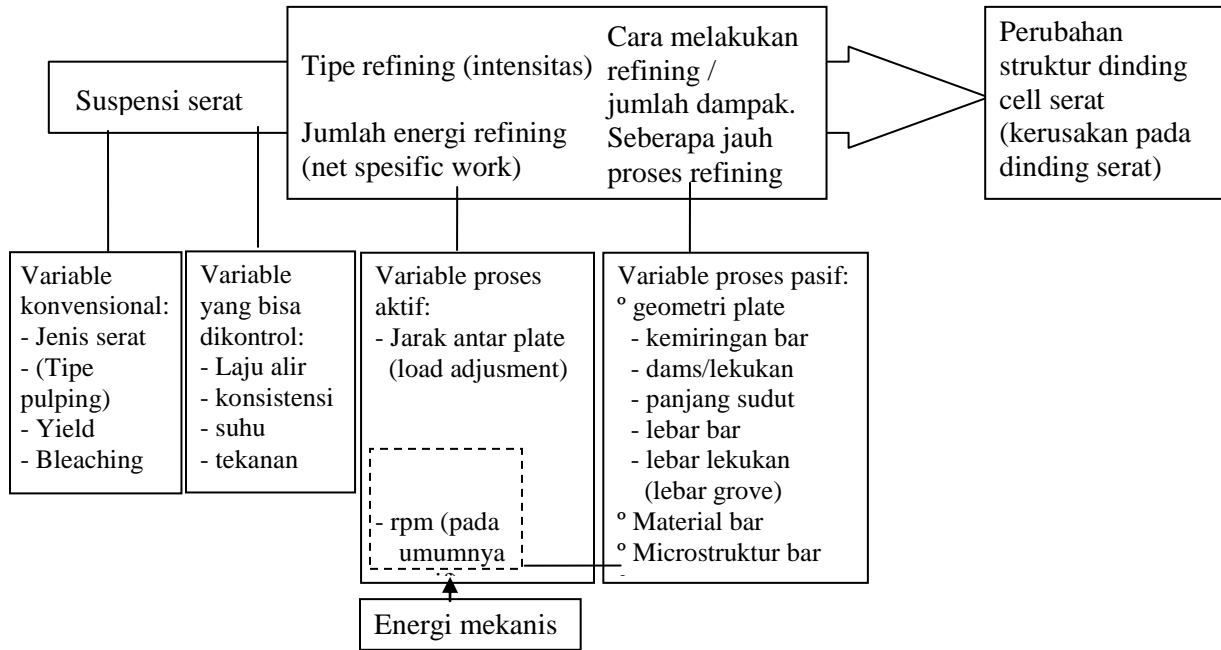
Serat hasil slushing di pulper tidak dapat langsung diumpankan ke mesin kertas. Aditif yang diberikan di stock prep sebatas digunakan sebagai bahan kimia untuk **memperbaiki kenampakan (visual appearance / optical properties)** kertas dengan penambahan bahan warna dan OBA, **memperbaiki ratio serat per kertas** memakai *retention agent* dan *filler* maupun *sizing*, **menaikkan daya tahan kertas terhadap penetrasi air** dengan penambahan AKD

atau ASA dan *sizing*, **menaikkan daya rekat antar serat** dengan cationic starch, dll.

Dari sisi daya rekat antar serat yang lebih dikenal dengan istilah *fiber bonding*, penambahan aditif seperti cationic starch berdampak tidak terlalu signifikan sepanjang fiber development yang dihasilkan dari proses refining tidak optimal. Target fiber bonding yang baik hanya dapat dicapai apabila

fiber development yang diinginkan dapat dicapai. Sebagaimana telah diketahui bahwa proses refining bertujuan untuk mendapatkan fiber development yang optimal dalam arti serat dapat berkembang maksimal dengan pemakaian energi minimal. Variable berpengaruh digambarkan pada Gambar 1, dan dampak yang dihasilkan adalah perubahan struktur dinding serat. Perubahan struktur dinding serat ini ada yang

berkontribusi positif dan ada pula yang berkontribusi negatif terhadap daya ikat antar serat (fiber bonding). Perubahan struktur dinding serat yang diinginkan adalah perubahan struktur dinding serat yang berkontribusi positif terhadap fiber bonding yang diperoleh dari tercapainya tingkat fleksibilitas serat melalui fibrilasi internal dan eksternal.



Gambar 1. Variable proses refining dan dampak proses refining [Helle, T., 1992]

Intensitas refining (W/s) dan net spesific refining energy (SRE, kWh/t) harus dikontrol untuk mendapatkan perubahan struktur dinding serat yang diinginkan yaitu fiber development yang optimal (Gambar 1). Variable proses pasif harus sudah ditentukan diawal proses sebelum proses refining dilakukan, bahkan sebelum jenis produk kertas yang akan dibuat ditentukan, dengan demikian sangat terkait dengan perencanaan produksi dan order pasar. Variable proses aktif dapat diatur saat proses refining sedang berjalan.

Dalam proses refining intensitas dan jumlah energi terpakai memegang kendali utama dalam menghasilkan fiber bonding yang diinginkan. Intensitas terpakai dinyatakan dalam specific edge load (SEL, Ws/m) atau specific surface load (SSL, Ws/m<sup>2</sup>), sedangkan jumlah energi terpakai adalah jumlah energi

netto yang dinyatakan dalam specific refining energi (SRE, kWh/ton)

Specific Edge Load (SEL) adalah jumlah energi efektif yang dipakai persatuan total panjang bar rotor dan stator yang berpapasan dalam satu putaran mesin.  $SEL = Pe / L_s$ , dengan  $Pe$  adalah tenaga efektif yang ditransfer ke serat,  $Pe = (Pt - Po)$  dalam satuan daya, dengan  $Pt$  adalah tenaga total yang digunakan untuk proses refining dan  $Po$  adalah idle power.  $L_s = nr.ns.lr.ls.N$  dengan  $n$ ,  $l$  dan  $N$  adalah masing-masing jumlah bar pada rotor – stator, panjang bar rotor-stator, dan kecepatan putar refiner [Lumiainen, 2000].

Spesific Refining Energy (SRE) adalah jumlah energi efektif terpakai persatuan berat pulp yang direfining.  $SRE = Pe/Q$  dengan  $Pe$  adalah tenaga efektif yang ditransfer ke serat, dan  $Q$  adalah laju alir pulp dalam ton/jam yang merupakan hasil perkalian antara laju alir volumetris (m<sup>3</sup>/jam) dan konsistensi pulp (ton/m<sup>3</sup>) [Joris, 1991 and Lumiainen, 2000].

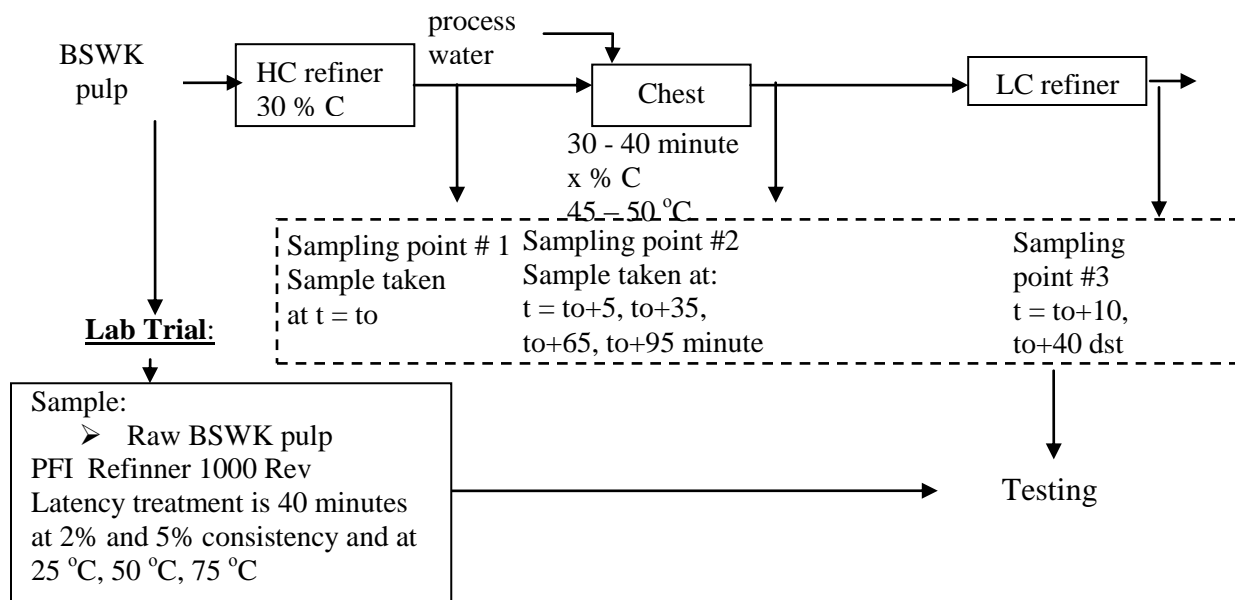
**METODE**

Bahan baku pulp yang digunakan adalah NBKP dari kayu spruce dengan panjang serat rata-rata 2,22 mm, lebar serat 31-32 μm dan coarsness 0,211 mg/m serta mempunyai nilai derajat giling 15,4 °SR. Untuk mengetahui seberapa besar dampak proses refining di refiner konsistensi tinggi (HC Refiner) maupun refiner konsistensi rendah (LC Refiner) maka

fiber bonding yang dianalisa adalah murni fiber bonding dari serat pulp hasil proses refining sebelum tercampur dengan beberapa aditif yang biasa dipakai pada proses pembuatan kertas. Hasil pengamatan diharapkan dapat digunakan sebagai panduan operasional mengingat dalam proses pembuatan kertas banyak sekali variable yang berpengaruh.

**Tabel 1. Variable pengamatan pada HC Refiner dan LC Refiner.**

Test code	Waktu pengamatan (interval dalam jam)	SRE HC Refiner, kWh/t (interval $t_x + 5$ menit)	SRE LC Refiner, kWh/t (interval $t_x + 40$ menit)
1A	$t_0$	200	70
1B	$t_1 = t_0 + 1$	200	50
1C	$t_2 = t_1 + 1$	200	35
1D	$t_3 = t_2 + 1$	200	20
2A	$t_4 = t_3 + 1$	250	50
2B	$t_5 = t_4 + 1$	200	50
2C	$t_6 = t_5 + 1$	150	50
2D	$t_7 = t_6 + 1$	100	50
Keterangan	$t_0$ : sampling raw BSWK	Antara HC Refiner dan LC Refiner ada latency chest dengan holding time 30 – 40 menit	



Gambar 2. Sampling point dan skedul sampling pada proses refining.

Perubahan struktur dinding serat yang diinginkan adalah perubahan struktur dinding serat yang berkontribusi positif terhadap fiber bonding. Jenis pulp dan laju alir pulp sudah ditentukan terkait dengan kualitas dan kapasitas produksi yang diinginkan. Konsistensi pulp yang diumpankan ke HC

Refiner dan LC Refiner adalah konsistensi yang optimal. Pattern dari segment refiner tidak diamati dan sudah baku sebagaimana telah digunakan. Umur segment akan sangat menentukan fiber development yang dihasilkan serta kapasitas treatment dari refiner tersebut, untuk itu pengamatan fiber development harus

selalu dilakukan setiap waktu sejalan dengan umur segment. Intensitas yang dinyatakan dalam Specific Edge Load (SEL) ataupun Spesific Surface Load (SSL) yang merupakan fungsi dari efektif power dan patern segment yang digunakan, serta jumlah energi refining atau net specific work atau specific refining energi (SRE) yang digunakan akan sangat menentukan fiber development yang dihasilkan. Dalam hal ini nilai SRE divariasikan untuk mendapatkan fiber development yang diinginkan. Adapun variasi SRE yang digunakan adalah sebagai tertera pada Tabel 1.

Metode pengamatan yang dilakukan seperti tergambar dalam Gambar 2 dengan mempertimbangkan waktu tinggal di masing – masing alat proses serta lama waktu yang diperlukan untuk merubah kombinasi variable specific refining energy (SRE, kWh/t) yang akan digunakan sampai diperkirakan sudah mencapai kondisi steady state, sehingga sample yang diambil cukup mewakili.

Dalam optimasi dual refining system, digunakan refiner konsistensi tinggi dan refiner konsistensi rendah. Optimasi dual refining system yang

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Optimasi proses refining (Kasus 1)

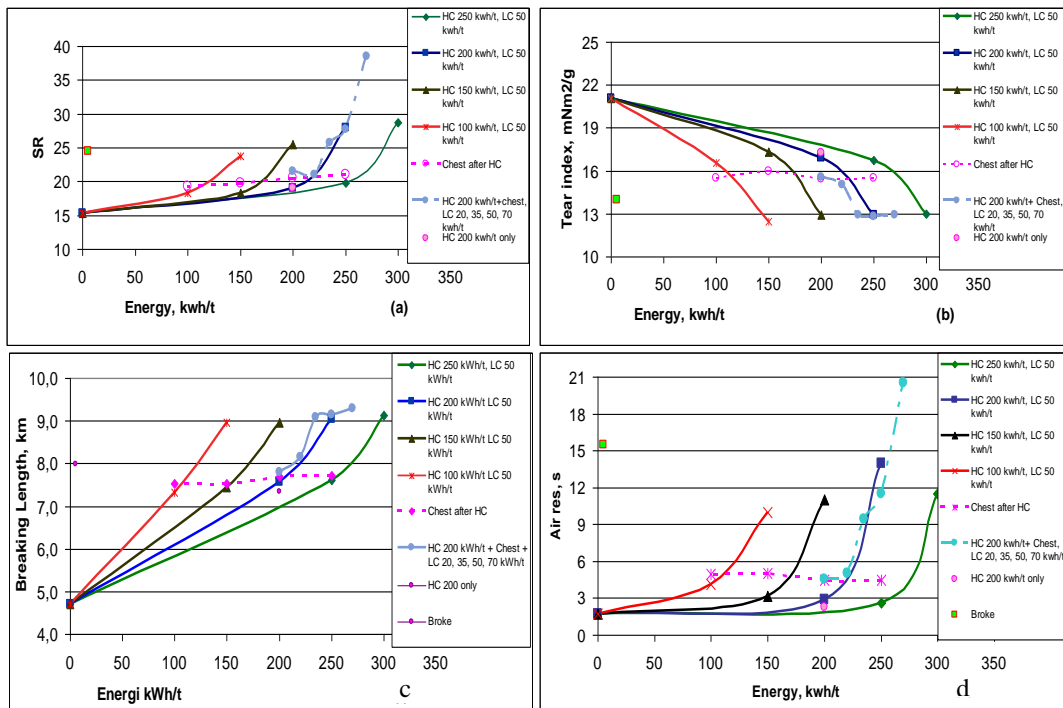
Hasil percobaan diatas dianalisa dan dievaluasi dengan hasil sebagaimana tertera pada Gambar 3, terlihat bahwa kombinasi proses refining konsistensi tinggi 200 kWh/t dengan proses refining konsistensi rendah 35 kWh/t dapat menghasilkan fiber development cukup baik, dengan hasil tear index, tensile index, dan TEA index yang paling optimal sementara nilai derajat gilingnya cukup baik sekitar 26 °SR sehingga tidak mengganggu proses drainase pada proses pembentukan lembaran kertas basah di wire section.

telah dilakukan ini masih perlu disempurnakan lagi dengan memilih kombinasi pemakaian energi yang ada, meskipun data yang diperoleh sudah dapat memberikan gambaran nyata bahwa spesifikasi serat pulp yang diharapkan telah dapat dicapai dengan kombinasi yang ada.

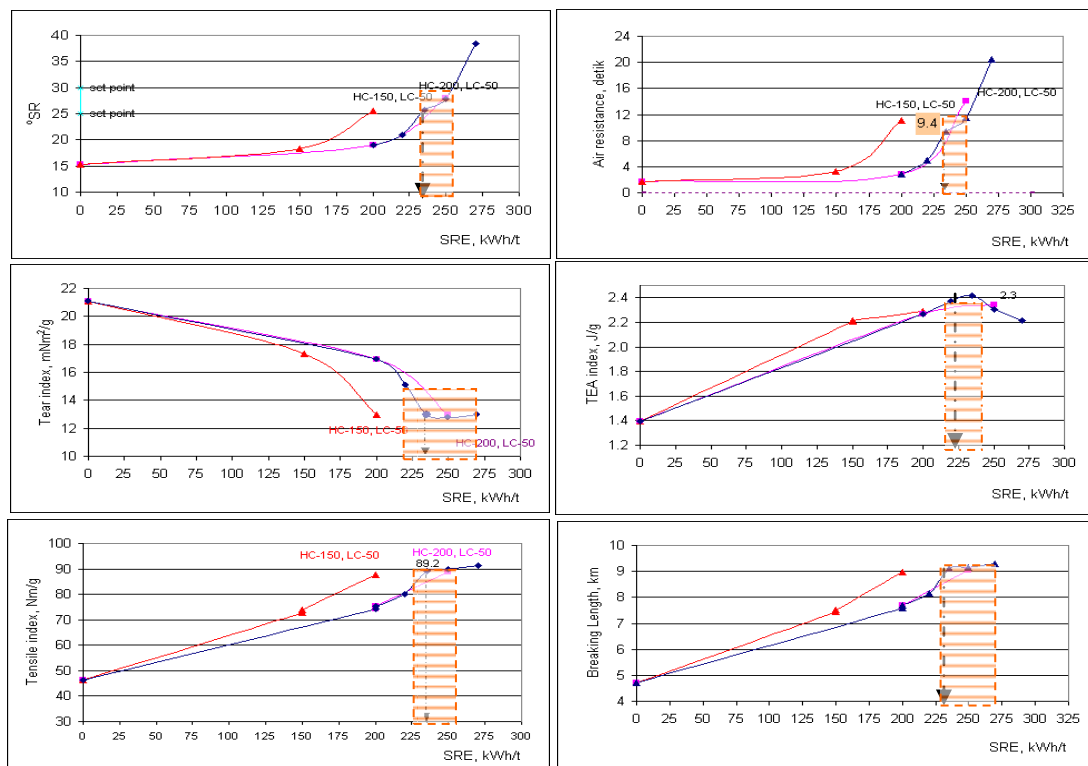
Pulp hasil slushing pertama di refining pada refiner konsistensi tinggi dan diamati dampak beberapa tingkat pemakaian energi refiner dari 100 kWh/t, 150 kWh/t, 200 kWh/t, dan 250 kWh/t terhadap fiber development pulp hasil refining, setelah melewati latency chest direfining ulang pada refiner konsistensi rendah pada tingkat pemakaian energi refining yang berbeda dimulai dari 20 kWh/t, 35 kWh/t, 50 kWh/t dan 75 kWh/t. Fiber development yang terjadi diamati untuk menentukan fiber development yang optimal pada tingkat pemakaian energi minimal. Blok diagram percobaan dan sampling pointnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

### Optimasi energi refiner (Kasus 2)

Dalam kasus ini dilakukan optimasi pemakaian energi – specific refining energy (SRE, kWh/jam) dalam upaya mendapatkan fiber development yang paling optimal. Data yang dipakai disini adalah hasil perolehan optimasi energi refiner pada kasus 1 dan evaluasi dilanjutkan terhadap pemakaian energi refiner.



Gambar 3. Optimasi energi refining pada dual refining system.



Gambar 4. Ploting spesifikasi produk white zack kraft pada hasil pengamatan performance DDR.

**Tabel 2. Optimasi DDR  
REFINER - KAJIAN TEORI PRAKTIS**

NO	F		C		Rumus: $P_o=0.65xD^4N^{2.57}$ SRE = $P_u / Q$	rumus: $P_t = P_u + 1.2 \times P_o$ $Q = P_u / SRE$	rumus: $P_u = Q \times SRE$														
	$M^3/j$	%		%																	
1	85	32																			
2	675	4	Spec pattern: $g_1$		data input	spec: pattern: $g_1$	Spec: pattern: $g_1$														
	27	t/j																			
	<b>2 HC Refiner</b>		D = 30 inch = 0.76 m N = 2000 rpm = 33.3 rps		<b>0.76</b> <b>33.3</b>	<b>2 HC Refiner</b>	D = 30 inch = 0.76 m N = 2000 rpm = 33.3 rps														
	<b>4 LC Refiner</b>		D = 34 inch = 0.86 m N = 600 rpm = 10 rps		<b>0.86</b> <b>10</b>	<b>4 LC Refiner</b>	D = 34 inch = 0.86 m N = 600 rpm = 10 rps														
5	<b>Analisa: 2 HC Ref @ 150 kWh/t + 4 LC Ref @ 50 kWh/t</b>				<b>Solusi 1: 2 HC Ref @ 200 kWh/t + 4 LC Ref @ 50 kWh/t</b>			<b>Solusi 2: 2 HC Ref @ 200 kWh/t + 3 LC Ref @ 50 kWh/t</b>													
HC Ref	Q	SRE	$P_u$	$P_u$	$P_o$	$P_t$	$\eta = P_u/P_t$	SRE	$P_o$	$P_t$	$P_u$	$P_u$	Q	$\eta = P_u/P_t$	Q	SRE	$P_u$	$P_u$	$P_o$	$P_t$	$\eta = P_u/P_t$
	T/j	kWh/T (grafik)	k W (2 ref)	k W (1 ref)	k W	k W	%	kWh/T (grafik)	k W	k W	k W (1 ref)	k W (2 ref)	T / j	%	T / j	kWh/T (grafik)	k W (2 ref)	k W (1 ref)	k W	k W	%
	27	1 5 0	4050	2025	1774	4153	49 %	2 0 0	1774	4153	2025	4049	20	49 %	27	2 0 0	5400	2700	1774	4828	56 %
	Acuan							tetap					Kurang		Acuan						
LC Ref	Q	SRE	$P_u$	$P_u$	$P_o$	$P_t$	$\eta = P_u/P_t$	SRE	Q	$P_u$	$P_u$	$P_o$	$P_t$	$\eta = P_u/P_t$	Q	SRE	$P_u$	$P_u$	$P_o$	$P_t$	$\eta = P_u/P_t$
	T/j	kWh/T (grafik)	k W (4 ref)	k W (1 ref)	k W	k W	%	kWh/T (grafik)	T / j	k W (4 ref)	k W (1 ref)	k W	k W	%	T / j	kWh/T (grafik)	k W (3 ref)	k W (1 ref)	k W	k W	%
10	27	50	1350	338	275	667.4	51 %	50	20	1012.5	253	132	412	61 %	27	50	1350	450	132	609	74 %
11	Acuan							kurang							Acuan	tetap			tetap		
12	Sifat fisik		Dicapai	Diinginkan	Satuan	keterangan	Sifat fisik		Dicapai	Diinginkan	Satuan	keterangan	Sifat fisik		Dicapai	Diinginkan	Satuan	keterangan			
13	TEA		2.3	2.3	J/g	Cukup	TEA		2.3	2.3	J/g	Cukup	TEA		2.3	2.3	J/g	Cukup			
	Tensile index		87.8	85 minimal	Nm/g	Bagus	Tensile index		88.7	85 minimal	Nm/g	Bagus	Tensile index		88.7	85 minimal	Nm/g	Bagus			
	Tear index		13	13 minimal	mNm <sup>2</sup> /g	Cukup	Tear index		13	13 minimal	mNm <sup>2</sup> /g	Cukup	Tear index		13	13 minimal	mNm <sup>2</sup> /g	Cukup			
14	air resistance		11	8-12	detik	Bagus	air resistance		14	8-12	detik	Jelek	air resistance		14	8-12	detik	Jelek			
	Breaking Length		9,0	8,5 minimal	km	Bagus	Breaking Length		8,16	8,5 minimal	km	Jelek	Breaking Length		8,16	8,5 minimal	km	Jelek			
15	°SR		25.5	25 - 30	°SR	Cukup	°SR		28	25 - 30	°SR	Bagus	°SR		28	25 - 30	°SR	Bagus			
16	Total komsumsi energi:						Total komsumsi energi						Total komsumsi energi								
17	= $\{(2 \times P_t) \text{ HC ref} + (4 \times P_t) \text{ LC ref}\} / Q =$						= $\{(2 \times P_t) \text{ HC ref} + (4 \times P_t) \text{ LC ref}\} / Q =$						= $\{(2 \times P_t) \text{ HC ref} + (3 \times P_t) \text{ LC ref}\} / Q =$								
18	= <b>406.5</b> kW/T						= <b>610.2</b> kW/T						= <b>425.3</b> kW/T								
19	(sebelum optimasi)						(t a m b a h : 5 0 . 1 % )						(t a m b a h : 4 . 6 % )								

Tabel 2. Optimasi DDR (Lanjutan)

NO	rumus: $P_t = P_u + 1.2 \times P_o$ $Q = P_u / SRE$						rumus: $P_t = P_u + 1.2 \times P_o$ $P_u = Q \times SRE$						rumus: $P_t = P_u + 1.2 \times P_o$ $P_u = Q \times SRE$							
	spec: <b>pattern: g<sub>1</sub></b> data input						spec: <b>pattern: g<sub>1</sub></b>						spec: <b>pattern: g<sub>1</sub></b>							
1	2 HC Refiner D = 30 inch = 0.76 m N = 2000 rpm = 33.3 rps						2 HC Refiner D = 30 inch = 0.76 m N = 2000 rpm = 33.3 rps						2 HC Refiner D = 30 inch = 0.76 m N = 2000 rpm = 33.3 rps							
2	4 LC Refiner D = 34 inch = 0.86 m N = 600 rpm = 10 rps						3 LC Refiner D = 34 inch = 0.86 m N = 600 rpm = 10 rps						2 LC Refiner D = 34 inch = 0.86 m N = 600 rpm = 10 rps							
Solusi 3: 2 HC Ref @ 200 kWh/t + 4 LC Ref @ 35 kWh/t							Solusi 4: 2 HC Ref @ 200 kWh/t + 3 LC Ref @ 35 kWh/t							Solusi 5: 2 HC Ref @ 200 kWh/t + 2 LC Ref @ 35 kWh/t						
Q T/j	SRE kWh/T (grafik)	P <sub>u</sub> k W (2 ref)	P <sub>u</sub> kW (1 ref)	P <sub>o</sub> kW	P <sub>t</sub> k W	$\eta = P_u/P_t$ %	Q T/j	SRE kWh/T (grafik)	P <sub>u</sub> k W (2 ref)	P <sub>u</sub> kW (1 ref)	P <sub>o</sub> kW	P <sub>t</sub> k W	$\eta = P_u/P_t$ %	Q T/j	SRE kWh/T (grafik)	P <sub>u</sub> k W (2 ref)	P <sub>u</sub> kW (1 ref)	P <sub>o</sub> kW	P <sub>t</sub> k W	$\eta = P_u/P_t$ %
27	200	5400	2700	1774	4828	56%	27	200	5400	2700	1774	4828	56%	27	200	5400	2700	1774	4828	56%
acuan	tetap						tetap						tetap							
Q T/j	SRE kWh/T (grafik)	P <sub>u</sub> k W (4 ref)	P <sub>u</sub> kW (1 ref)	P <sub>o</sub> kW	P <sub>t</sub> k W	$\eta = P_u/P_t$ %	SRE kWh/T (grafik)	Q T / j	P <sub>u</sub> k W (3 ref)	P <sub>u</sub> kW (1 ref)	P <sub>o</sub> kW	P <sub>t</sub> k W	$\eta = P_u/P_t$ %	Q T/j	SRE kWh/T (grafik)	P <sub>u</sub> k W (2 ref)	P <sub>u</sub> kW (1 ref)	P <sub>o</sub> kW	P <sub>t</sub> k W	$\eta = P_u/P_t$ %
27	35	945	236	132	395	60%	35	27	945	315	132	474	67%	27	35	945	472.5	132	631	75%
acuan	tetap						tetap						tetap							
Sifat fisik	Dicapai	Diinginkan	Satuan	keterangan		Sifat fisik	Dicapai	Diinginkan	Satuan	keterangan		Sifat fisik	Dicapai	Diinginkan	Satuan	keterangan				
TEA	2.42	2.3	J/g	Bagus		TEA	2.42	2.3	J/g	Bagus		TEA	2.42	2.3	J/g	Bagus				
Tensile index	89.2	85 minimal	Nm/g	Bagus		Tensile index	89.2	85 minimal	Nm/g	Bagus		Tensile index	89.2	85 minimal	Nm/g	Bagus				
Tear index	13	13 minimal	mNm <sup>2</sup> /g	Cukup		Tear index	13	13 minimal	mNm <sup>2</sup> /g	Cukup		Tear index	13	13 minimal	mNm <sup>2</sup> /g	Cukup				
air resistance	9.4	8-12	detik	Bagus		air resistance	9.4	8-12	detik	Bagus		air resistance	9.4	8-12	detik	Bagus				
Breaking Length	9,1	8,5 minimal	km	Bagus		Breaking Length	9,1	8,5 minimal	km	Bagus		Breaking Length	9,1	8,5 minimal	km	Bagus				
°SR	26	25 - 30	°SR	Cukup		°SR	26	25 - 30	°SR	Cukup		°SR	26	25 - 30	°SR	Cukup				
Total komsumsi energi						Total komsumsi energi						Total komsumsi energi								
= $\{(2 \times P_u) \text{ HC ref} + (4 \times P_t) \text{ LC ref}\} / Q =$						= $\{(2 \times P_u) \text{ HC ref} + (3 \times P_t) \text{ LC ref}\} / Q =$						= $\{(2 \times P_t) \text{ HC ref} + (2 \times P_t) \text{ LC ref}\} / Q =$								
= 416.1 kW/T						= 410.3 kW/T						= 404.4 kW/T								
(tambah 2.4 %)						(tambah 0.9 %)						(Hemat: 0.5 %)								

Kualitas produk yang diinginkan adalah membuat kertas white sack kraft dengan spesifikasi sebagai berikut: Tensile index > 85 Nm/g; Tear Index > 13 mNm<sup>2</sup>/g; Breaking Length > 8,5 km; TEA Index > 2,3 J/g (critical) dan Air resistance 8 -12 detik (critical).

Spesifikasi white sack kraft diatas diperkirakan dapat dicapai jika fiber development hasil proses dual refining dapat mencapai karakteristik seperti digambarkan pada Gambar 3 dan 4 yang merupakan persyaratan minimal murni fiber bonding tanpa interferensi MD/CD fiber orientation, filler, dan bahan kimia penolong.

Dari Gambar 4 dan Tabel 2 dapat diamati bahwa pada proses refining dengan 2 buah HC Refiner @ 200 kWh/t dan 4 buah LC Refiner @ 35 kWh/t telah diperoleh fiber development yang diinginkan tetapi ada penambahan pemakaian energi sebesar 2,4 % terhadap kombinasi 2 buah HC Refiner @ 150 kWh/t dan 4 buah LC Refiner @ 50 kWh/t, dan apabila optimasi dilanjutkan dengan mengoptimalkan DDR yang ada diperoleh bahwa kombinasi 2 buah HC Refiner @ 200 kWh/t dan 2 buah LC Refiner @ 35 kWh/t telah cukup ideal untuk proses refining dimaksud dengan penghematan energi sebesar 0,5 %. Sementara itu kombinasi 2 HR Refiner @ 200 kWh/t dan 4 LC Refiner @ 50 kWh/t maupun kombinasi 2 HC Refiner 200 kWh/t dan 3 LC Refiner @ 50 kWh/t menghasilkan pemborosan energi sementara itu spesifikasi serat pulp yang diinginkan tidak tercapai.

### SIMPULAN

1. Fiber development yang diinginkan dapat diperoleh dengan kombinasi 2 HC Refiner @ 150 kWh/t dan 4 LC Refiner @ 50 kWh/t dengan total pemakaian energi 406,5 kW/t.
2. Fiber development serupa juga dapat diperoleh dengan kombinasi 2 HC Refiner @ 200 kWh/t dan 4 LC Refiner @ 35 kWh/t dengan total pemakaian energi 416,1 kW/t sehingga terdapat pemakaian energi lebih sebesar 2,4 %.
3. Fiber development serupa juga dapat diperoleh dengan kombinasi 2 HC Refiner @ 200 kWh/t dan 3 LC Refiner @ 35 kWh/t dengan total pemakaian energi 410,3 kW/t sehingga terdapat pemakaian energi lebih sebesar 0,9 % akan tetapi ada penghematan pemakaian mesin LC Refiner 1 buah.
4. Fiber development serupa juga dapat diperoleh dengan kombinasi 2 HC Refiner @ 200 kWh/t dan 2 LC Refiner @ 35 kWh/t dengan total pemakaian energi 404,4 kW/t sehingga terdapat penghematan energi sebesar 0,5 % dan

penghematan pemakaian mesin LC Refiner 2 buah.

5. Kombinasi 2 HC Refiner @ 200 kWh/t dengan 4 LC Refiner @ 50 kWh/t ataupun dengan 3 LC Refiner @ 50 kWh/t tidak dapat dilakukan karena karakteristik serat atau fiber development yang diinginkan tidak tercapai sementara pemakaian energi sangat berlebihan.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Helle, T., 2003, *The Fundamental of Pulp Beating*, Lecture Handout, AIT Bangkok and NTNU, Norway.
- [2] Joris, G., 1991, *Pulp Refining Process*, vol.1, Acieries de Bonpertuis, Seyssinet.
- [3] Lumiainen, J, 2000, *Refining of Chemical Pulp in Paulapuro*, H., Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End, Papermaking Science and Technology Series, Jyvaskyla, Finland.
- [4] Smook, G. A., 2002, *Handbook for Pulp and Paper Technologist*, 3<sup>th</sup> ed., Tappi, Atlanta. GA.