

# AUDIT ENERGI DI MESIN KERTAS

Sari Farah Dina<sup>1</sup> dan Herri Susanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balai Besar Pulp dan Kertas

<sup>2</sup>Departemen Teknik Kimia, FTI-ITB

Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

Telp: 022-2500989; Fax: 022-2501438; e-mail: herri@che.itb.ac.id

## ENERGY AUDIT IN PAPER MACHINE

### ABSTRACT

*Energy audit were conducted in five paper mills, namely: A, B, C, D and E with different paper machine and process conditions. Mill A is relatively old and small with a capacity of 160 ton/day of print paper. The steam consumption of mill A was 2.01 ton/ton product, which was higher than that of mill B (1.41 ton/ton). This large different steam consumption might be due to a high water content of paper entering the paper machine (up to 62.83%). A highest steam consumption up to 3.76 ton/ton product was found in Mill E having a small capacity of 38 ton/day. Besides the fact that paper machine in Mill E was old and had no hood, type of product (grammage of 284 g/m<sup>2</sup>) might also contribute to this high steam consumption. Two other mills producing corrugated paper (mills C and D: with a grammage of 115 and 125 g/m<sup>2</sup> respectively) had steam consumptions of about 1.9 ton/ton product, within the range of 1.8 – 2.2 ton/ton reported in literature.*

*Mill B with a capacity of 984 ton/day was the largest mill in this study. Current steam consumption of mill B of about 1.41 ton/ton of product was the lowest among the other four mills. This mill has implemented an energy conservation program. By means of reducing water content in paper entering the drying machine from 54% to 51%, the steam consumption was reduced from 1611 to 1440 ton/day. From a simple mass and heat balance, increasing water content in paper leaving paper machine from the present value of 4% to the allowable one of 5% might also give another saving of steam.*

Keywords : steam saving, paper machine, specific energy consumption

### INTISARI

*Audit energi telah dilakukan pada lima pabrik kertas, dinamai A, B, C, D dan E, dengan berbagai kapasitas dan kondisi proses. Pabrik A memiliki kapasitas kecil, hanya 180 ton/hari dan sudah tua. Konsumsi steam pabrik ini sekitar 2,01 ton/ton kertas, jauh lebih tinggi daripada pabrik B (1,41 ton/ton). Perbedaan mencolok ini salah satunya disebabkan perbedaan kadar air dalam kertas saat masuk mesin kertas (kadar air sampai 62,83% di pabrik A). Konsumsi steam terbesar ditemui di pabrik E (3,76 ton/ton) yang memiliki kapasitas produksi kertas 38 ton/hari. Pabrik E yang sudah tua ini memproduksi kertas tebal (gramatur 284 g/m<sup>2</sup>) dan mesin kertasnya tidak dilengkapi dengan hood. Dua pabrik kertas lainnya memproduksi corrugated-paper: pabrik C dengan gramatur 115 dan pabrik D 125 g/m<sup>2</sup>. Konsumsi steam kedua pabrik ini sekitar 1,9 ton/jam, masih dalam rentang konsumsi steam 1,8 – 2,2 ton/ton kertas yang dilaporkan di beberapa pustaka.*

*Pabrik B merupakan pabrik terbesar dengan kapasitas 984 ton/hari, telah menerapkan program-program penghematan energi. Konsumsi steam pabrik ini adalah 1,41 ton/ton produk, paling rendah di antara kelima pabrik yang ditinjau. Dengan menurunkan kadar air pada kertas sebelum masuk mesin pengering, pabrik ini dapat menghemat pemakaian steam dari 1611 menjadi 1440 ton/hari. Disamping itu perhitungan neraca massa dan energi menunjukkan masih adanya penghematan konsumsi steam jika kadar air dalam kertas keluar mesin pengering dapat dinaikkan dari kebiasaan 4% menjadi yang diijinkan 5%.*

Kata kunci: penghematan steam, mesin kertas, konsumsi energi spesifik (KES)

## PENDAHULUAN

Pada industri pulp dan kertas, biaya energi merupakan biaya tertinggi kedua setelah biaya bahan baku. Karenanya berbagai upaya dilakukan untuk menurunkan biaya energi sejalan dengan meningkatnya harga, terbatasnya persediaan bahan bakar.

*Drying unit* mesin kertas merupakan konsumen energi termal paling besar di pabrik kertas, berfungsi untuk menguapkan *air terikat* dari serat selulosa. Penguapan dilakukan karena air tidak dapat lagi dikeluarkan dari serat dengan secara gravitasi dan vakum di *forming unit* dan secara mekanis di *pressing unit*.

Audit energi merupakan salah satu langkah yang dilakukan dalam upaya merealisasikan program penghematan energi. Audit dapat dilakukan hanya mengarah pada unit proses atau mesin tertentu, tetapi tetap memperhatikan berbagai faktor terkait yang dapat mempengaruhi bagian tersebut.

Penelitian ini berhubungan dengan audit energi terhadap *drying unit*. Data hasil audit ini diolah dengan neraca massa dan energi. Selain mendapatkan gambaran distribusi konsumsi energi, audit ini juga dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran kinerja *drying unit* berdasarkan konsumsi energi spesifik (KES).

KES yang diperoleh dinyatakan sebagai  $KES_{\text{aktual}}$  dan dilakukan *benchmarking* terhadap pabrik lain di luar negeri yang diperoleh dari literatur. Jika terjadi penyimpangan, dilakukan simulasi melalui kajian perbaikan proses dan dianalisa secara ekonomis. Kajian yang akan diamati meliputi optimalisasi proses pengeluaran air sebelum dan sesudah *drying unit*, kajian terhadap sistem penanganan udara dan yang terakhir kajian sistem distribusi *steam* melalui aplikasi sistem termokompresi. Dengan audit yang dilakukan ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang kinerja beberapa mesin kertas di Indonesia mulai dari kecepatan rendah, sedang dan tinggi.

## TINJAUAN PUSTAKA

*Drying unit* merupakan tahap *dewatering* akhir dengan cara penguapan. Energi termal yang digunakan berupa *steam*

bertekanan rendah hingga sedang, yang disuplai kedalam sejumlah silinder *dryer* yang berputar.

Dilihat dari jumlah air yang dikeluarkan, *drying unit* merupakan operasi penyisihan air terendah. Namun dilihat dari sisi biaya, *drying unit* merupakan konsumen energi paling tinggi dibanding dua tahap sebelumnya.

Perkiraan konsumsi energi berupa steam dan listrik, untuk beberapa jenis kertas dapat dilihat pada Tabel 1. Konsumsi energi pada mesin kertas bervariasi sesuai dengan jenis kertas yang dihasilkan. Untuk jenis kertas cetak (nomor 1 sampai dengan nomor 4) konsumsi steam *drying unit* adalah 70 – 75% dari total konsumsi energi.

Konsumsi energi spesifik merupakan gambaran penggunaan energi di *drying unit* yang dapat dinyatakan dalam dua definisi yakni:  $GJ_{\text{energi}}/\text{ton air teruapkan}$ , atau  $\text{ton}_{\text{steam}}/\text{ton air teruapkan}$ . Dua definisi ini erat hubungannya dengan tingkat air yang perlu diuapkan untuk tiap ton kertas yang dihasilkan dan dapat memberikan gambaran terhadap efisiensi termal. Pustaka memberi pedoman konsumsi energi *drying unit* mesin kertas modern yaitu :

$$KES = 2,85 - 3,00 \text{ } GJ_{\text{energi}}/\text{ton}_{\text{evap}}$$

$$KES = 1,30 \text{ } \text{ton}_{\text{steam}}/\text{ton}_{\text{evap}}$$

Pada *drying unit*, panas dimanfaatkan terutama untuk: menaikkan suhu kertas dan air hingga mencapai suhu penguapan air, menguapkan sejumlah air dan memanaskan udara segar yang diperlukan untuk membawa air teruapkan. Porsi konsumsi energi masing-masing disajikan pada Tabel 2. Konsumsi energi meningkat jika proses *drying* menguapkan *air terikat* yang berikatan dengan selulosa akibat ikatan hidrogen. Karena itu, operasi *over drying* harus dihindari. Pemanasan udara tergantung pada sistem penanganan udara.

Hal lain yang juga dapat mempengaruhi konsumsi *steam* diantaranya adalah: jenis serat (kayu dan bukan kayu) yang memiliki hubungan terhadap kapasitas panas; porositas lembaran serta keruahan (*bulky*) serat, kandungan bahan kimia, aplikasi proses *surface sizing* pada *drying unit*, gramatur kertas/karton dll.

Tabel 1. Perkiraan konsumsi energi pada beberapa jenis kertas

No	Jenis Kertas	Steam, GJ/ton	Gas, GJ/ton	Listrik	
				GJ/ton	kWh/ton
1	<i>Newsprint</i>	3,4 – 5,5	-	1,2 – 2,3	420 – 630
2	<i>Wood-containing, coated</i>	5,1 – 5,6	-	2,0 – 2,9	550 – 820
3	<i>Wood-free, noncoated</i>	4,3 – 7,2	-	2,0 – 2,4	550 – 670
4	<i>Wood-free, coated</i>	3,7 – 7,7	-	1,6 – 3,2	440 – 900
5	<i>Liner board</i>	3,4 – 8,8	-	1,8 – 2,4	515 – 660
6	<i>Tissue</i>	2,6 – 4,5	2,0 – 2,4	3,0 – 3,8	835 – 1050

Sumber: FAPET (Finnish American Paper Engineers' Textbook),

Tabel 2. Distribusi energi untuk proses *drying* teoritik <sup>[1]</sup>

Konsumsi energi	kJ/kg air teruapkan	%
Pemanasan air yang diuapkan dari 45 °C ke 80 °C	150	5,0
Panas penguapan pada 80 °C	2300	80,0
Panas sorpsi untuk <i>air terikat</i>	0 – 20	1,0
Pemanasan uap air yang diuapkan dari $T_{ev}$ ke $T_{exh}$ (80 °C ke 85 °C)	10	0,4
Pemanasan serat dan kadar air akhir dari 45 °C ke 80 °C	50	2,0
Pemanasan udara(suplai dan kebocoran)	240 – 700	9,0
<i>Flash steam</i> kondensat keluar drum <i>dryer</i>	30 – 60	1,0
Kebocoran <i>steam</i> dan venting	0	0,0
Kehilangan panas ke ruang mesin	40	1,6
Total	2850	100,0

## METODOLOGI

Langkah-langkah kegiatan yang dilakukan diantaranya: menetapkan parameter serta lokasi pengamatan, perhitungan neraca massa dan energi, penyusunan peta konsumsi energi *drying unit*. Pengamatan dilakukan terhadap mesin kertas di lima pabrik kertas di P. Jawa. Konsumsi energi spesifik (KES) aktual dihitung dan dibandingkan terhadap pabrik lain di dalam dan di luar negeri. Akhirnya berdasarkan pengalaman dalam penelitian ini, kami menyusun teknik-teknik penghematan energi di mesin kertas dan dilengkapi dengan target pencapaian.

Data operasional pabrik yang dikumpulkan, antara lain: karakteristik bahan baku, konfigurasi *drying unit*, sistem distribusi *steam*, kecepatan dan lebar mesin, sifat produk (gramatur, tebal, kekuatan, kadar air, kadar abu dll), temperatur kertas, temperatur udara, laju alir dan tekanan steam, laju alir dan temperatur kondensat, laju alir, temperatur dan humiditas udara masuk dan keluar. Data yang tidak diperoleh langsung dari lapangan diambil dari pustaka penunjang.

Teknik penghematan yang dievaluasi meliputi upaya penurunan kadar air kertas masuk dan keluar *drying unit*, dan kajian pengaruh besarnya kebocoran udara terhadap konsumsi energi. Upaya penghematan *steam* dikaji melalui pemasangan termokompresor.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelima pabrik kertas yang ditinjau dalam penelitian ini berada di Jawa dan dinamai pabrik A, B, C, D dan E.

### Kualitas Produk

Persyaratan kadar air kertas umumnya berkisar antara 5–7%, tetapi kadar air kertas produksi pabrik A dan B kurang dari 5% (lihat Tabel 3). Kadar air kertas/karton produksi pabrik C, D dan E berada pada batas bawah persyaratan kadar air *corrugating médium* dan *chipboard* berkisar antara 7–9%. Jika kertas dikeringkan hingga kadar air < 5%, dikatakan kertas/karton mengalami *over drying*.

Dari sisi konsumsi *steam*, pabrik yang beroperasi pada kondisi *over drying* akan mengkonsumsi *steam* lebih besar karena harus mengeluarkan air yang terikat dengan selulosa

melalui ikatan hidrogen. Pelepasan air ini memerlukan energi lebih banyak, yaitu berupa panas sorpsi (*heat of sorption*) selain panas penguapan air.

Kertas tulis-cetak mengandung sejumlah bahan pengisi, kalsium karbonat (15 – 20%), yang bertujuan untuk perbaikan sifat tulis/cetak dan optik kertas produk. Hal ini juga terlihat untuk pabrik A dan B. Bahkan pabrik C yang memproduksi kertas *corrugating medium* juga menambahkan bahan pengisi untuk tujuan perbaikan porositas agar mudah mengeluarkan air selama proses penguapan. Ternyata kehadiran bahan pengisi di dalam kertas dapat menurunkan jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur kertas sampai titik penguapan air. Hal ini dikarenakan bahan pengisi umumnya memiliki kapasitas panas lebih rendah daripada serat dan air.

#### Efek Kecepatan Mesin dan Aplikasi *Surface Sizing* pada Operasi *Drying*.

Dari kelima pabrik kertas yang diaudit, hanya pabrik B yang beroperasi pada kecepatan tinggi (1260 meter per menit, lihat Tabel 4). Pabrik A dan C termasuk dalam kategori kecepatan sedang (300 – 700 m/menit), sedangkan pabrik D dan E mempunyai kecepatan rendah (<300 m/menit). Pada studi ini terlihat bahwa laju air teruapkan sekitar 263 ton/hari atau lebih untuk pabrik A, B dan C yang menggunakan sistem *closed-hood*. Pabrik A dan B memproduksi kertas tulis-cetak, tetapi pabrik B menggunakan *surface sizing* berupa larutan *starch* 10% pada *size press*. *Surface sizing* dimaksudkan sebagai *pre-coat* untuk memperbaiki sifat permukaan kertas. Hal serupa juga dijumpai untuk pabrik C dan D yang sama-sama

memproduksi *corrugating medium*. Lapisan *starch* pada permukaan kertas diperkirakan mempengaruhi laju penguapan air dari kertas, sehingga diperlukan panas yang lebih besar.

Penambahan sejumlah bahan pengisi pada pembuatan *corrugating medium* di pabrik C secara teoritis akan menurunkan konsumsi energi, karena lembaran lebih berpori dan kertas secara keseluruhan memiliki kapasitas panas yang lebih rendah. Tetapi bahan pengisi ini dapat menurunkan kekuatan ikatan antar serat, sehingga pabrik C perlu mengaplikasikan proses *surface sizing* untuk perbaikan kekuatan ikatan antar serat terutama pada permukaan kertas dan perbaikan sifat penetrasi cairan.

Pada penelitian ini, efek aplikasi *surface sizing* terhadap konsumsi *steam* tidak terlihat nyata. Hal ini karena pada jenis kertas yang sama dijumpai perbedaan pada sistem konfigurasi *drying unit* (pabrik A dan B) atau sistem *Hood* (pabrik C dan D) yang juga merupakan variabel yang dapat mempengaruhi konsumsi energi.

Kadar air didalam kertas masuk dan keluar *drying unit* merupakan variabel penting sehubungan dengan konsumsi *steam*. Untuk jenis kertas yang sama (A dan B, atau C dan D), kadar air kertas masuk *drying unit* dapat berbeda. Rendahnya kadar air kertas masuk di pabrik B dan D mengindikasikan bahwa operasi sebelum *drying unit* sudah bekerja secara optimal. Perbaikan kondisi kertas masuk *drying unit* ini dapat dilakukan dengan pengendalian kondisi bahan baku yang dapat menghasilkan *freeness* lebih tinggi sehingga air lebih mudah dikeluarkan dari serat. Selain itu, operasi *forming unit* dan *pressing unit* mungkin sudah dioperasikan secara optimal. Dengan demikian, pabrik A dan C masih mempunyai peluang penghematan energi melalui penurunan kadar air didalam kertas saat masuk *drying unit*.

Tabel 3. Jenis dan kualitas kertas

No	Jenis dan Persyaratan	Pabrik A	Pabrik B	Pabrik C	Pabrik D	Pabrik E
1	Jenis kertas	tulis -cetak	tulis -cetak	corr. medium	corr. medium	<i>chipboard</i>
2	Gramatur ( <i>dry</i> ), g/m <sup>2</sup>	56,00	80,20	115,50	125,84	284,11
3	Tebal, mm	0,1148	0,1040	0,2190	0,2000	0,4150
4	Kadar air, %	4,34	4,00	7,10	7,20	6,85
5	Kadar abu, %	15	22,9	9,9	-	-

Tabel 4. Data kondisi pabrik dan hasil pengamatan (*dry basis*)

No	Parameter	Pabrik A	Pabrik B	Pabrik C	Pabrik D	Pabrik E
1	Gramatur, g/m <sup>2</sup> - <i>pre dryer</i> - <i>after dryer</i>	- 56,32	- 80,20	115,50	- 116,78	- 284,11
2	Kadar air akhir, %	4,34	4,00	7,10	7,20	6,85
3	Temperatur kertas pada <i>pre-dryer</i> , °C - masuk - keluar	34 -	36 105	40 81	36 -	38 -
4	Temperatur kertas pada <i>after-dryer</i> , °C - masuk - keluar	- 90	70 80	80 90	- 90	- 85
5	Kecepatan mesin, mpm	370	1260	690	190	40
6	Kadar air kertas masuk <i>drying unit</i> , %	62,83	51,00	55,00	51,29	58,87
7	Tekanan <i>main steam</i> , kg/cm <sup>2</sup>	3	5	7	5	4
8	Laju <i>main steam</i> , ton/hari	336	1440 <sup>*)</sup>	1205	204	142
9	Laju kondensat, ton/hari	300	1104	1116	192	120
10	Temperatur kondensat, °C	89	80	73	90	90
11	<i>Sizing agent pick-up</i> , %	-	1,4	3,0	-	-
12	Tipe Hood	<i>Closed</i>	<i>closed</i>	<i>closed</i>	<i>open</i>	<i>open</i>
13	Dimensi Hood atas <i>pre dryer</i> , m panjang/lebar/tinggi	48/10/6	54/12/8	48/10/10	-	-
14	Dimensi Hood bawah <i>pre dryer</i> , m panjang/lebar/tinggi	48/10/6	54/12/15	48/10/6	-	-
15	Dimensi Hood atas <i>after dryer</i> , m panjang/lebar/tinggi	30/10/6	19/12/8	30/10/6	-	-
16	Dimensi Hood bawah <i>after dryer</i> , m panjang/lebar/tinggi	30/10/6	19/12/15	30/10/6	-	-
17	Diameter silinder dryer, m	1,50	1,83	1,50	1,20	1,20
18	Jumlah silinder dryer, buah - <i>pre dryer</i> - <i>after dryer</i>	33 -	28 16	49 24	42	30 + 1 yankee
19	Jumlah air yang diuapkan, ton/hari - <i>pre-dryer</i> - <i>after-dryer</i> - total	- - 263	981 101 1082	619 268 887	- - 106	- - 51
20	Kapasitas produksi di <i>pope-reel</i> , ton/hari	160	984	574	109	38

Catatan: <sup>\*)</sup> konsumsi total untuk drying unit (1202 ton/hari untuk silinder *dryer* dan 238 ton/hari untuk *steam coil* pemanas udara pengering).

### Neraca Energi *Drying Unit*.

Sebagaimana diperkirakan, sistem tertutup (*closed hood*) seperti pabrik A, B dan C memanfaatkan sebagian besar (sekitar 70%) panas yang masuk untuk penguapan air kandungan kertas (Tabel 5 dan Gambar 1). Sedang pada sistem terbuka (pabrik D dan E), banyak panas yang digunakan untuk pemanasan udara bocor dan juga yang hilang ke lingkungan tanpa terkendali. Ini merupakan salah satu penyebab tingginya konsumsi energi spesifik *drying unit*. Analisa kebocoran udara sebagai salah satu penyebab pemborosan energi di pabrik B disajikan pada pembahasan perbaikan sistem *hood*.

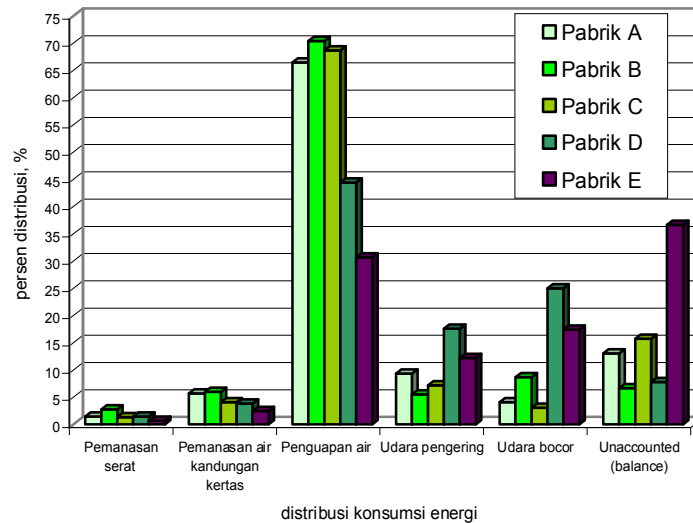
Tingginya kehilangan panas yang tidak terkendali yang dinyatakan sebagai *unaccounted* di pabrik D dan E diantaranya

disebabkan pabrik tersebut masih menggunakan sistem *hood* terbuka sehingga sebagian panas digunakan untuk menjaga temperatur ruang tetap diatas titik embun udara basah didaerah *drying unit*. Hal ini dibatasi agar tidak terjadi kondensasi dini yang dapat menimbulkan cacat pada produk yang dihasilkan. *Unaccounted* pada pabrik A dan B dapat disebabkan oleh panas hilang lewat *over drying* menyebabkan kadar air kertas terlalu rendah sehingga perlu tambahan *heat of sorption* dan laju *steam* berlebih untuk pemanasan udara pengering, yang mungkin dapat di-*recover* dengan jalan menaikkan kadar air keluar *dryer* dan memperbaiki kinerja *steam coil*. Semakin rendah kadar air kertas (<5%) maka semakin besar *heat of sorption* yang diperlukan untuk melepas air terikat.

Tabel 5. Neraca energi *drying unit*  
(lihat pula Gambar 1)

No	Konsumsi energi	Energi, GJ/hari				
		Pabrik A	Pabrik B	Pabrik C	Pabrik D	Pabrik E
1	Panas untuk pemanasan serat	13	99	40	8	2,5
2	Panas untuk pemanasan air kandungan kertas	52	212	122	21	9,5
3	Panas untuk penguapan air	606	2.498	2050	245	118
4	Pemanasan udara pengering	85	196	214	97	47
5	Pemanasan udara bocor	37 <sup>*)</sup>	308	92 <sup>*)</sup>	138 <sup>*)</sup>	67 <sup>*)</sup>
6	<i>Unaccounted (balance)</i>	119	236	469	42,90	140,95
	Total (panas masuk lewat <i>steam</i> )	912	3.549	2987	551,90	384,95

Catatan: <sup>\*)</sup> laju udara bocor diasumsikan 30% dan 60% dari laju udara keluar masing-masing untuk sistem *closed-hood* dan *open-hood*.

Gambar 1. Persen distribusi energi *drying unit*

### Benchmarking

Hasil penghitungan nilai KES berdasarkan keempat definisi, disajikan dalam Tabel 6. Khusus pabrik B, masih tersedianya data desain dapat dijadikan sebagai *benchmark*. Selain terhadap kondisi aktual, perhitungan juga dilakukan terhadap kondisi desain dan kondisi teoritis. Perhitungan terhadap kondisi teoritis untuk pabrik B dilakukan atas dasar kebutuhan panas untuk pemanasan serat, pemanasan dan penguapan air serta kebutuhan pemanasan udara tanpa adanya kebocoran.

Secara keseluruhan, semua pabrik memiliki KES keempat definisi lebih tinggi dibanding pabrik-pabrik di luar negeri<sup>1,2</sup>.

Tetapi pabrik B paling mendekati kondisi pabrik-pabrik di luar negeri.

Pabrik A dan pabrik B sama-sama memproduksi jenis kertas tulis cetak, tetapi pabrik B mengkonsumsi ton  $\frac{steam}{ton_{air}}$  teruapkan lebih besar dari pabrik A. Beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan ini diantaranya adalah gramatur, kecepatan mesin dan aplikasi *surface sizing*. Semakin tinggi gramatur diikuti dengan peningkatan kecepatan mesin, akan memberikan waktu kontak kertas di permukaan *dryer* lebih singkat semakin tinggi sehingga harus diikuti dengan peningkatan laju *steam*. Pabrik B menggunakan *surface sizing unit* untuk perbaikan sifat kekuatan permukaannya, sedangkan pabrik A tidak. Kertas yang tidak dilapis dengan larutan

Tabel 6. Konsumsi energi spesifik *drying unit*

Parameter	Pabrik A	Pabrik B			Pabrik C	Pabrik D	Pabrik E	Pustaka [Hannu P] <sup>1</sup> [Simon A] <sup>7</sup>
		teoritis	desain	aktual				
Jenis produk	Kertas tulis cetak	Kertas tulis cetak	Kertas tulis cetak	Kertas tulis cetak	<i>Corrugating medium</i>	<i>Corrugating medium</i>	<i>Chip-board</i>	Kertas dan karton
Bahan baku	( <i>virgin + deinked + broke</i> ) pulp	-	-	( <i>virgin + broke</i> ) chem. pulp	OCC (lokal + impor) + <i>mix waste</i>	Pulp Semi kimia + <i>waste box</i>	kertas bekas campuran	-
Gramatur, g/m <sup>2</sup>	58,88	80±3,20	69,60	80,20	124,30	125,84	300	-
<i>Freeness stok</i> , ml CSF	375±25	-	-	375±25	400	420	450	-
Kadar air masuk <i>dryer</i> , %	62,83	50 - 60	54	51	45	51,29	58,87	-
Kadar air keluar <i>dryer</i> , %	4,34	5 - 7	5	4	7,10	7,20	6,85	5 - 7% <sup>(*)</sup> 7-9% <sup>(**)</sup>
<i>Hood system</i>	<i>closed</i>	<i>closed</i>	<i>closed</i>	<i>closed</i>	<i>closed</i>	<i>open</i>	<i>open</i>	<i>closed</i>
<i>Aplikasi sizing</i>	tidak	ya	ya	ya	ya	tidak	tidak	tidak
KES $\frac{\text{ton}_{\text{steam}}}{\text{ton}_{\text{evap}}}$	1,28	1,30	1,33	1,33	1,82	1,93	2,77	1,30
KES $\frac{\text{ton}_{\text{steam}}}{\text{ton}_{\text{produk}}}$	2,01	1,37	1,80	1,41	1,95	1,88	3,76	1,8 - 2,2
KES $\frac{\text{GJ}_{\text{energi}}}{\text{ton}_{\text{evap}}}$	3,47	3,10	3,23	3,28	4,47	5,21	7,54	3,00
KES $\frac{\text{GJ}_{\text{energi}}}{\text{ton}_{\text{produk}}}$	5,47	3,27	4,36	3,46	4,80	5,08	10,23	3,01 - 5,04 <sup>(*)</sup> 2,38 - 6,16 <sup>(*)</sup>

*Starch* pada permukaannya akan memiliki laju penguapan lebih tinggi dibanding kertas yang tertutupi oleh lapisan *starch* (pabrik B).

Pabrik D dan E mengkonsumsi energi paling tinggi karena masih menggunakan sistem tanpa *hood*, sehingga sebagian besar *steam* yang disuplai digunakan untuk memanaskan udara disekitar *drying unit* untuk mencegah terjadinya kondensasi. Dengan sistem terbuka energi pemanasan udara pengering akan semakin bertambah besar.

Penyebab lain dari tingginya konsumsi *steam* mungkin juga disebabkan kapasitas produksi yang tidak sesuai desain. Hal ini terlihat dari kecepatan operasi mesin yang berada dibawah desain. Kecepatan mesin pabrik D diturunkan dari 210 menjadi 190 mpm dan pabrik E dari 45 menjadi 40 mpm.

Ditinjau dari aspek bahan baku dan gramatur, pabrik A dan B menggunakan pulp kimia putih. Pabrik C dan D menggunakan pulp kimia belum diputihkan yang berasal dari kertas bekas. Pabrik E menggunakan bahan baku kertas bekas campuran (*mixed waste*) yang mungkin mengandung pulp mekanis. Barangkali, adanya lignin atau bahan kimia lain yang terbawa kedalam pulp kertas bekas juga memberikan kontribusi pada peningkatan

kapasitas panas kertas sehingga membutuhkan pemanasan lebih besar (pabrik C, D dan E).

Gramatur juga merupakan variabel yang mempengaruhi konsumsi energi. Dengan meningkatnya gramatur (ketebalan juga bertambah) seperti pabrik C, D dan E, konsumsi energi semakin meningkat. Hal ini dipahami karena dengan semakin tebalnya kertas/karton diperlukan panas yang lebih besar agar dapat menaikkan temperatur kertas keseluruhan. Kondisi pabrik-pabrik di luar negeri juga menunjukkan kecenderungan yang sama, meskipun nilainya masih dibawah pabrik C, D dan E.

### Kajian Penghematan *Steam*

Studi berikut merupakan kajian potensi penghematan *steam* yang dilakukan atas pemikiran sendiri, tetapi data-data yang digunakan merupakan data yang diperoleh dari pabrik.

### *Pengaruh Kadar Air Kertas Masuk dan Keluar Drying Unit*

Pabrik B telah berupaya untuk menghemat *steam*, misalnya dengan cara penurunan kadar air kertas masuk *dryer* dari 54% menjadi 51%, yang mungkin dilaksanakan dengan peningkatan operasi *pressing*. Penurunan kadar air dalam kertas masuk *dryer* ini dapat menghasilkan

Tabel 7. Pengaruh kadar air kertas masuk *drying unit* terhadap kebutuhan *steam*

No	Variabel Operasi	Kadar air kertas masuk <i>drying unit</i> <sup>*)</sup>			
		54% (desain)		51% (aktual)	
		<i>Pre-Dryer</i>	<i>After-Dryer</i>	<i>Pre-Dryer</i>	<i>After-Dryer</i>
1	Berat <i>sheet</i> kering keluar, ton/hari		983,68		983,68
2	Berat <i>sheet</i> keluar dryer, ton/hari	1001,20	1024,67	1001,21	1024,67
3	Berat <i>sheet</i> masuk dryer, ton/hari	2111,24	1126,30	1981,98	1126,30
4	Berat <i>starch</i> , ton/hari	-	12,51	-	12,51
5	Berat serat kering, ton/hari	971,00	971,17	971,17	971,17
6	Berat air masuk, ton/hari	1140,07	142,61	1010,81	142,61
7	Berat air keluar, ton/hari	24,90	40,99	30,04	40,99
8	Berat air yang diuapkan, ton/hari	1110,04	101,63	980,78	101,63
9	Kebutuhan <i>steam</i> , ton/hari	1611		1440	

Catatan: 1. <sup>\*)</sup> kondisi diatas berlangsung pada kadar air keluar *drying unit* 4%

2.  $KES_{\text{aktual}} 1,33 t_{\text{steam}}/t_{\text{evap}}$

Tabel 8. Pengaruh kadar air kertas keluar *drying unit* terhadap kebutuhan *steam*

No	Variabel Operasi	Kadar air akhir kertas keluar dryer <sup>*)</sup>			
		5% (desain)		4% (aktual)	
		<i>Pre-Dryer</i>	<i>After-Dryer</i>	<i>Pre-Dryer</i>	<i>After-Dryer</i>
1	Berat <i>sheet</i> kering keluar, ton/jam		1035,45		983,68
2	Berat <i>sheet</i> keluar dryer, ton/jam	1001,21	1024,67	1001,21	1024,67
3	Berat <i>sheet</i> masuk dryer, ton/jam	1981,98	1126,30	1981,98	1126,30
4	Berat <i>starch</i> , ton/jam	-	12,51	-	12,51
5	Berat serat kering, ton/jam	971,17	971,17	971,17	971,17
6	Berat air masuk, ton/jam	1010,81	142,61	1010,81	142,61
7	Berat air keluar, ton/jam	30,04	51,77	30,04	40,99
8	Berat air yang diuapkan, ton/jam	980,78	90,84	980,78	101,63
9	Kebutuhan <i>steam</i> , ton/jam	1425		1440	

Catatan: 1. <sup>\*)</sup> kondisi diatas berlangsung pada kadar air masuk *drying unit* 51%

2.  $KES_{\text{aktual}} 1,33 t_{\text{steam}}/t_{\text{evap}}$

penghematan *steam* 12%, yaitu dari 1611 menjadi 1440 ton/hari (lihat Tabel 7). Penghematan konsumsi *steam* ini setara dengan kira-kira Rp. 14.535.000/hari

Beban pengeringan diperkirakan dapat diturunkan dengan mengembalikan kadar air dalam kertas produk dari 4% (data operasi saat ini, lihat Tabel 8) menjadi 5% (sesuai persyaratan pabrik untuk produk kertas). Penurunan beban pengeringan ini diperkirakan dapat memberi potensi penghematan *steam* sebesar 15 ton/hari.

Penurunan kadar air pabrik A dan C masih mungkin dilakukan atas dasar tolok ukur kadar air kertas di pabrik B dan D untuk masing-masing produk sejenis (lihat Tabel 4). Namun upaya ini harus disesuaikan dengan kemampuan operasi *pressing unit* dan batasan ketebalan yang dipersyaratkan. Operasi *pressing* selain menurunkan kadar air dan konsolidasi serat, juga menurunkan ketebalan kertas. Khusus untuk pabrik A, upaya lain yang mungkin dilakukan adalah menaikkan *freeness* bubur

kertas lebih besar dari 375 ml CSF (lihat Tabel 6).

Semakin rendah *freeness* bubur kertas atau semakin tinggi derajat penggilingan biasanya kandungan serat halus (*finer content*) dalam stok semakin tinggi. Serat halus memiliki luas permukaan spesifik sangat besar dibanding serat (10 – 20 vs 1m<sup>2</sup>/g), yang akan memperbanyak rantai ikatan hidrogen antara serat dan air. Dengan semakin banyaknya *air terikat* maka konsumsi energi *drying unit* juga akan semakin meningkat.

### Perbaikan Sistem Hood

Pabrik B dilengkapi dengan 3 (tiga) buah *heat recovery unit*, dua set di bagian *pre-dryer* dan satu set di bagian *after dryer*. Masing-masing *heat recovery unit* memanfaatkan panas udara buang untuk memanaskan udara segar yang dilanjutkan dengan pemanasan menggunakan *steam*. Hasil perhitungan neraca massa dan energi disajikan pada Tabel 9 atas dasar data desain *Heat Recovery Unit ABB*.



Berdasarkan perhitungan neraca massa dan energi, kebutuhan *steam* teoritis adalah  $0,014 \text{ ton}_{\text{steam}}/\text{ton}_{\text{udara}}$ . Nilai ini berbeda dengan kondisi aktual  $0,035 \text{ ton}_{\text{steam}}/\text{ton}_{\text{udara}}$ . Penyimpangan konsumsi *steam* pemanas sebesar  $0,021 \text{ ton}_{\text{steam}}/\text{ton}_{\text{udara}}$  dapat dikarenakan beberapa hal diantaranya, perbedaan laju alir, temperatur dan humiditas udara panas aktual keluar *dryer*. Untuk mendapatkan data konsumsi teoritis aktual, maka data-data tersebut perlu direkonsiliasi.

Ditinjau dari rasio kebutuhan udara terhadap jumlah air yang diuapkan (lihat Tabel 10), pabrik B mempunyai rasio sebesar  $6,3 \text{ kg udara/kg air}$  teruapkan.

Berdasarkan nilai pustaka<sup>1,6</sup> diketahui bahwa jumlah udara yang dibutuhkan untuk sistem *closed-hood* adalah  $6 - 7 \text{ kg/kg}$  air yang diuapkan, jadi kebutuhan udara untuk pabrik B masih dalam rentang yang direkomendasikan. Namun jika dilihat dari besarnya laju kebocoran udara yakni sebesar  $6240 \text{ ton/hari}$  atau  $48\%$  terhadap laju udara buang adalah cukup besar. Hal ini dibandingkan terhadap persyaratan *Total Closed-Hood*<sup>1)</sup> yang bahwa persen kebocoran untuk sistem tertutup adalah  $20 - 30\%$  terhadap udara buang. Dengan menurunkan kapasitas total *exhaust fan/blower* menjadi  $8500 - 9700 \text{ ton/hari}$  kebocoran udara (sekitar  $1700 - 2900 \text{ ton/hari}$ ) sudah sesuai dengan rekomendasi persyaratan *closed hood*.

Tabel 9. Kondisi desain *Heat Recovery Unit*

Recovery Unit	Subjek	Flow, ton/jam	Temperatur, °C	Humiditas, kg/kg	Tekanan, Pa	Q, MW
HR-1 (pre-dryer)	Hood exhaust 1	90,5	71,5	0,095	-70	-
	Turbo air 1	12,7	138,5	0,095	445	-
	Belrun BS	69,7	73,5	0,112	-2374	-
	Belrun FS	35,3	74	0,085	-1490	-
	Udara segar masuk	104,5	31	0,015	-	-
	Make up	96,3	91	0,015	-440	-
	Make up PV roll	8,2	118	0,015	-660	-
	Air-air HE	-	-	-	-	0,846
	Steam coil 1	-	-	-	-	0,840
Steam coil 2	-	-	-	-	0,063	
HR-2 (pre-dryer)	Hood exhaust 2	81	79,1	0,083	-45	-
	Turbo air 2	12	137,7	0,095	532	-
	Belrun BS	79,1	82	0,113	-1964	-
	Belrun FS	40,1	82,8	0,093	-1500	-
	Udara segar masuk	115,5	31	0,015	-	-
	Makeup	115,5	88,1	0,015	-520	-
	Air-air HE	-	-	-	-	1,127
	Steam coil	-	-	-	-	0,640
HR-3 (pre-dryer)	Hood exhaust 3	121,9	77	0,061	-225	-
	Udara segar masuk	62,3	31	0,015	-	-
	Make up	39	97,3	0,015	-300	-
	Make up PV roll	23,3	117	0,015	-279	-
	Air-air HE	-	-	-	-	0,517
	Steam coil 1	-	-	-	-	0,376
Steam coil 2	-	-	-	-	0,357	

Tabel 10. Hasil perhitungan kebutuhan *steam* pemanas pada kondisi desain *Heat Recovery Unit*

<i>Heat Recovery Unit</i>	Udara masuk			Udara keluar		Udara bocor, ton/hari	Kebutuhan <i>steam</i> pemanas, ton/hari
	Laju alir ton/hari	T <sub>in,HR</sub> C	T <sub>out,HR</sub> C	Laju alir ton/hari	T <sub>out,campuran</sub> C		
HR-1	2311	31	88	4997	76	2489	35
	197	31	115				3
HR-2	2772	31	85	5093	84	2321	26
HR-3	936	31	94	2925	77	1430	15
	559	31	115				15
Total	6775			13015		6240	94

### Aplikasi Sistem Termokompresi

Prinsip kerja termokompresor adalah *steam* tekanan rendah (hasil *flash*) diisap dengan *steam ejector* untuk dijadikan *steam* tekanan sedang. Sebagai *steam* penggerak *ejector* digunakan *steam* tekanan tinggi (*motive steam*). Dengan cara ini *steam* tekanan rendah dapat dimanfaatkan kembali untuk pemanasan di *dryer*. Simulasi sistem termokompresor pada penelitian ini adalah untuk melihat seberapa besar jumlah dan tekanan *motive steam* serta prediksi besarnya penghematan yang dapat diperoleh dibanding sistem *cascade*.

Pemilihan variasi tekanan *flash* berdasarkan rasio tekanan *output* terhadap tekanan *suction*  $< 2$ . Hal ini dimaksudkan agar termokompresor beroperasi pada kondisi non-kritik.

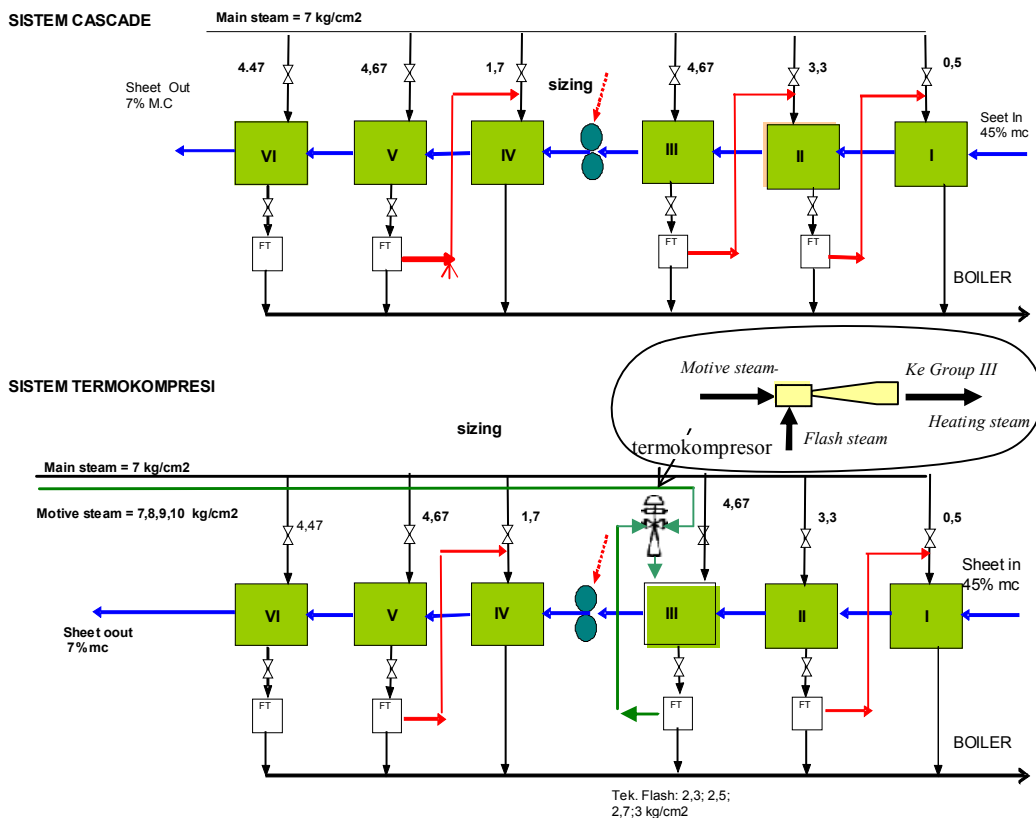
Kajian dilakukan dengan titik pemasangan termokompresor hanya pada *group III* pabrik C dengan kondisi seperti Gambar 2. Dengan mevariasikan tekanan *flash* 2,3 – 3,0 kg/cm<sup>2</sup> didapat rasio penambahan *motive* terhadap *main steam*

serta potensi penghematan dibanding sistem konvensional (*cascade*).

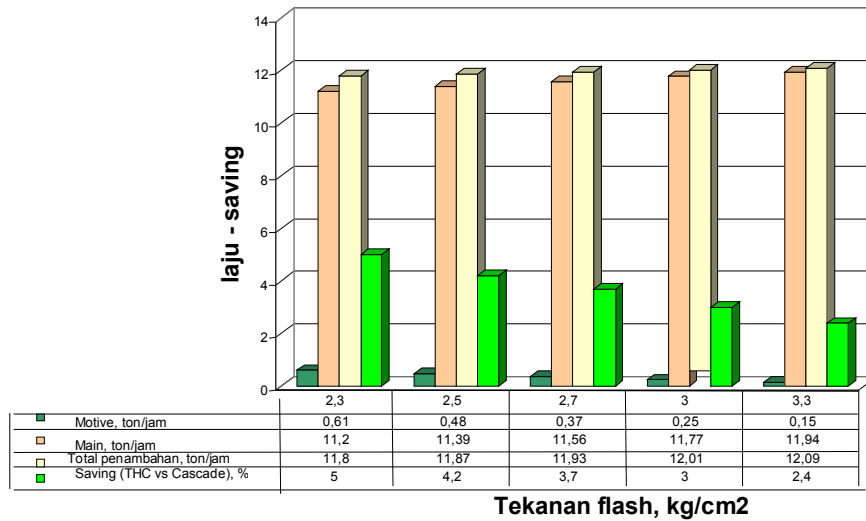
Hasil simulasi menunjukkan semakin rendah tekanan *flash* yang dapat diaplikasikan, akan semakin banyak jumlah uap yang dapat dimanfaatkan kembali meskipun jumlah *motive steam* yang diperlukan lebih besar. Gambar 3 merupakan hasil perhitungan variasi tekanan *flash* pada tekanan *motive* konstan. Penurunan tekanan *flash* lebih rendah lagi tidak dapat dilakukan untuk menjaga rasio kompresi  $< 2$ .

Pada jumlah beban pengeringan yang sama (pemanasan serat, pemanasan air, penguapan dan pemanasan udara pengering) ternyata sistem termokompresor dapat menurunkan konsumsi *steam* maksimal sekitar 5%.

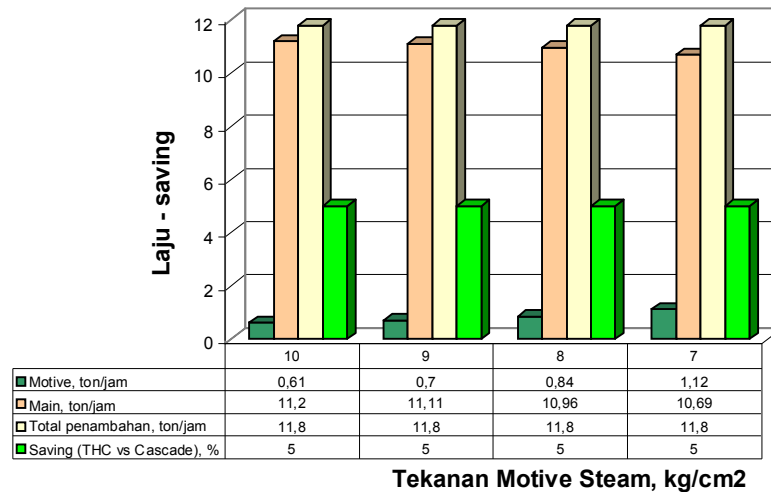
Lebih lanjut (Gambar 4), atas dasar tekanan *flash* 2,3 kg/cm<sup>2</sup> dilakukan perhitungan ulang pada berbagai kemungkinan tekanan *motive steam*. Hasil menunjukkan semakin tinggi tekanan *motive* maka laju *motive steam* yang diperlukan akan semakin rendah. Namun jika tekanan *motive steam* yang digunakan sama dengan tekanan *main steam*, laju penambahan total dan persen penghematan ternyata tidak mengalami perubahan.



Gambar 2. Usulan modifikasi sistem *cascade* (kondisi asal) menjadi termokompresi



Gambar 3. Variasi tekanan *flash* vs laju *motive steam* dan *saving*



Gambar 4. Variasi tekanan vs laju *motive steam*

**KESIMPULAN**

Dari hasil kegiatan audit energi yang dilakukan pada 5(lima) *drying unit* mesin kertas di Indonesia dapat diambil beberapa kesimpulan:

- Konsumsi energi spesifik *drying unit* ke lima mesin kertas umumnya lebih besar dibanding pabrik-pabrik di luar negeri. Namun pabrik B yang beroperasi pada kecepatan paling tinggi dan dilengkapi dengan sistem *closed-hood* dan *heat recovery* dalam penanganan udara, paling mendekati kondisi luar negeri.

- Konsumsi energi spesifik *drying unit* dipengaruhi oleh jenis dan karakteristik kertas, kadar air masuk dan keluar, kecepatan mesin, sistem pengelolaan udara dan sistem pengelolaan *steam*.
- Variabel proses dan alat penyebab tingginya KES ke lima pabrik diantaranya:
  - kecuali pabrik B, pabrik lain beroperasi pada kecepatan di bawah desain.
  - kadar air akhir produk lebih rendah dari standar (untuk kertas <5%)

- kadar air kertas masuk *drying unit* masih tinggi
- masih ada pabrik beroperasi dengan sistem *open-hood*
- kebocoran udara > dari standar untuk pabrik dengan sistem *closed-hood*
- belum diaplikasikannya sistem termokompresi untuk menghemat *steam*.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Hannu Paulapuro, Johan Gullichsen, 2000 '*Papermaking Part 2: Drying*', Papermaking Science and Technology, Finnish Paper Engineers' Association (FAPET) and TAPPI.
  2. Kocurek M.J., 1991, '*Paper Machine Operations Volume 7*', Pulp and Paper Manufacture, 3<sup>rd</sup> edition, TAPPI.
  3. Peter F. Lee, Jeffrey A. Hinds, 1979, '*Optimizing Dryer Performance – A Technique for Measuring the Drying Characteristics of Fiber Webs*', Tappi Journal, vol 62, April, p.:45
  4. Ritz , Carlton B., 1988, '*Practical aspects of Pressing and Drying*', Tappi Press, Atlanta, USA.
  5. Raymond K., Perry D., 1999, '*Paper Machine – Steam and Condensate System*', 5<sup>th</sup> edition, Tappi Press, atlanta, USA
  6. Simons Agra, 1999 '*Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry*', A Monograph, Pulp and Paper Research Institute of Canada.
  7. Walker P.J.R. 1988, '*How to Reduce Steam Consumption in Paper Mill*', Machine Room, Energy Management and Conservation.
  8. Wicks L.D. and Nelson J.P. 1988, '*Paper Machine Press Sections Can Be Made to Conserve More Fuel*', Machine Room, Energy Management and Conservation.
-