

**PENGHEMATAN ENERGI DI INDUSTRI KERTAS MELALUI PERBAIKAN KONDISI
PROSES DAN/ATAU MODIFIKASI UNIT DRYING**

**ENERGY SAVINGS IN THE PAPER INDUSTRY THROUGH THE IMPROVEMENT OF
PROCESS CONDITIONS AND/OR MODIFICATION OF DRYING UNIT**

Sari Farah Dina

Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan
Jl. Sisingamangaraja 24 Medan Telp. (061) 7365379

ABSTRAK

Drying unit mesin kertas sebagai konsumen energi terbesar di mesin kertas merupakan unit proses yang menggunakan steam untuk menguapkan air kertas. Secara menyeluruh, biaya energi di industri pulp dan kertas merupakan biaya tertinggi kedua setelah biaya bahan baku. Karenanya berbagai upaya dilakukan untuk menurunkan biaya energi sejalan dengan meningkatnya harga dan terbatasnya persediaan bahan bakar. Langkah awal untuk mendapatkan gambaran performansi suatu drying unit adalah dengan menentukan konsumsi energi spesifik (KES). KES yang diperoleh dinyatakan sebagai KES dan dilakukan benchmarking terhadap pabrik lain di luar negeri yang diperoleh dari literatur. Atas dasar evaluasi KES dilakukan kajian penghematan energi melalui upaya optimalisasi kadar air lembaran kertas sebelum dan sesudah drying unit, sistem penanganan udara dan/atau modifikasi unit drying dengan cara mengaplikasikan sistem termokompresi. Hasil evaluasi pada 5 (lima) pabrik kertas di Indonesia menunjukkan bahwa KES dipengaruhi oleh kecepatan mesin, kadar air kertas masuk drying unit, kadar air akhir produk, sistem penanganan udara, laju kebocoran udara pada sistem hood. KES dalam ton steam per ton air teruapkan dari pabrik yang memproduksi kertas gramatur rendah (pabrik A dan B) mendekati nilai standar (1,30), tetapi pabrik yang memproduksi kertas gramatur tinggi (C, D dan E) berada jauh di atas standar. Kecuali pabrik yang memproduksi chipboard (pabrik E), semua pabrik memiliki KES dalam ton steam per ton produk berada dalam rentang standar (1,8-2,2). Penurunan kadar air kertas masuk sebesar 3% seperti yang dilakukan pabrik B telah mampu menurunkan konsumsi steam sekitar 12%. Peningkatan kadar air produk dari 4% menjadi 5% dapat menurunkan konsumsi steam sebesar 1%. Pada sistem closed-hood (pabrik B), laju kebocoran udara masih berada di atas kondisi standar (48% vs maksimum 30%). Kajian teoritis tentang aplikasi sistem termokompresi pada salah satu group dryer pabrik C dapat menghemat steam sekitar 5%.

Kata kunci: penghematan energi, pabrik kertas, unit drying, konsumsi energi spesifik (KES).

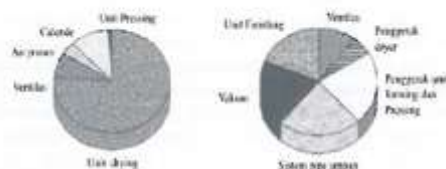
ABSTRACT

Drying unit is the biggest energy consumer in paper machine as processing unit which is use steam for water evaporating in web. As comprehensive, energy costing in pulp and paper industry forms the second highest cost after raw material cost. Therefore, many efforts were doing to reduce it based on price increasing as well as fuel availability limited. Firstly, to get the drying unit performances are by determining of specific energy consumption (SEC). The SEC resulted is defining as actual SEC and benchmarking to worldwide drying unit. Based on SEC evaluating then continued to energy conservation assessment by means of the optimum web moisture content before and after drying unit, air handling system and/or drying unit modification by apply of thermo-compression (THC) system. The results of evaluation on 5(five) Indonesia's paper machines showed that SEC are influenced by machine speed, moisture content of paper web enter drying unit, final moisture content of paper web product, air handling system, the rate of air leakage on the hood system. SEC in ton steam per ton evaporated of paper mills that produce paper with low basis weight (paper mills A and B) coming near standard value (1.3), but paper mills that produce heavy weight product (C, D and E) residing in far above standard. Except paper mill producing chipboard (paper mill E), all other paper mills have the SEC in ton steam per ton product is in the range of standard value (1.8 – 2.2). The decreasing of paper web moisture content enter drying unit up to 3% such as those which is done by paper mill B have been able to reduce the steam consumption of 12%. The increasing final moisture content of product from 4% becoming 5% can reduce the steam consumption 1%. On the closed-hood system, like paper mill B, the rate of air leakage is above standard condition (48% vs up to 30%). The study for application of thermo-compression system in one of paper mill C dryer group reduced steam consumption of 5%.

Keywords: energy conservation, paper machine, drying unit, specific energy consumption (SEC)

PENDAHULUAN

Biaya energi pada industri pulp dan kertas merupakan bagian yang signifikan dari biaya produksi. Energi-energi tersebut berupa energi listrik, energi mekanis dan energi termal. Khusus pada pabrik kertas konsumsi energi listrik dan termal adalah paling besar. Energi listrik yang tinggi dibutuhkan pada unit penyediaan stok terutama untuk kebutuhan refining pada penguraian serat. Konsumsi energi termal dalam bentuk penggunaan steam untuk pengeringan kertas yang terdapat pada tahap akhir proses pembuatan kertas di mesin kertas, merupakan pengguna energi terbesar yang perlu mendapat perhatian (Gambar 1).



Gambar.1 Distribusi penggunaan energi termal dan energi listrik di pabrik kertas²⁾

Drying unit pada mesin 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*.

Kegiatan ini dilakukan dalam upaya merealisasikan program penghematan energi khususnya di industri kertas. Dengan demikian, diperoleh gambaran distribusi konsumsi energi yang dapat merepresentasikan kinerja *drying unit*. Ukuran kinerja ditentukan melalui penetapan konsumsi energi spesifik (KES). Penyimpangan KES _{aktual} terhadap KES _{desain} ataupun *benchmarking* terhadap pabrik lain diluar negeri digunakan sebagai acuan dasar langkah-langkah penghematan energi dengan tetap memperhatikan berbagai faktor terkait yang dapat mempengaruhi efisiensi proses. Melalui kegiatan 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.

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	-	1,8 – 3,2	440 – 900
5	<i>Liner board</i>	3,4 – 8,8	-	1,8 – 2,4	515 – 680
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)

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: $GJ_{\text{energy}} / \text{ton air teruapkan}$, 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. Peritti Heikkilä dkk¹ memberi pedoman konsumsi energi *drying unit* mesin kertas modern adalah:

$$KES = 2,85 - 3,00 \text{ (GJ}_{\text{energi}}/\text{ton}_{\text{emas}})$$

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

Tabel 2. Distribusi energi untuk proses *drying* teoritik

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_{ab} (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
Flash steam kondensat keluar drum <i>dryer</i>	30 – 80 (465)	1,0
Kebocoran steam dan venting	0	0,0
Kehilangan panas ke ruang mesin	40	1,6
Total	2850	100,0

energi meningkat jika proses *drying* menguapkan *air terikat* yang berkaitan 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.

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah kegiatan yang dilakukan diantaranya: menetapkan parameter serta lokasi pengamatannya, 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 dan pabrik lain di luar negeri. Akhirnya berdasarkan pengalaman dalam kegiatan ini disusun teknik-teknik penghematan energi di mesin kertas dan dilengkapi dengan target pencapaian.

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

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 kegiatan ini dinamai pabrik A, B, C, D dan E yang diharapkan dapat mewakili pabrik kertas yang ada di Indonesia atas dasar jenis kertas dan kecepatan mesin. Kelima pabrik tersebut berada di P. Jawa.

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 medium* 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 3).

Tabel 3. Data kondisi pabrik dan hasil pengamatan/pengukuran (*dry basis*)

No	Parameter	Pabrik A	Pabrik B	Pabrik C	Pabrik D	Pabrik E
1	Gramatur, g/m ²					
	- <i>pre dryer</i>	-	-	-	-	-
	- <i>after dryer</i>	56,32	80,20	115,50	125,84	284,11
2	Kadar air akhir, %	4,34	4,00	7,10	7,20	6,85
3	Tebal, mm	0,1148	0,1040	0,2190	0,2000	0,4150
4	Kadar abu, %	15,0	22,9	9,9	-	-
5	Temperatur kertas pada <i>pre-dryer</i> , °C-					
	- masuk	34	36	40	36	38
	- keluar	-	105	81	-	-
6	Temperatur kertas pada <i>after-dryer</i> , °C-					
	- masuk	-	70	80	-	-
	- keluar	90	80	90	90	85
7	Kecepatan mesin, mpm	370	1280	690	190	40
8	Kadar air kertas masuk <i>drying unit</i> , %	62,83	51,00	55,00	51,29	58,87
9	Tekanan <i>main steam</i> , kg/cm ²	3	5	7	5	4
10	Laju <i>main steam</i> , ton/hari	336	1440	1205	204	142
11	Laju kondensat, ton/hari	300	1104	1116	192	120
12	Temperatur kondensat, °C	89	80	73	90	90
13	<i>Sizing agent pick-up</i> , %	-	1,4	3,0	-	-
14	Tipe Hood	Closed	closed	closed	open	open
15	Dimensi Hood atas <i>pre dryer</i> , m panjang/lebar/tinggi	48/10/5	54/12/8	48/10/10	-	-
16	Dimensi Hood bawah <i>pre dryer</i> , m panjang/lebar/tinggi	48/10/5	54/12/15	48/10/6	-	-
17	Dimensi Hood atas <i>after dryer</i> , m panjang/lebar/tinggi	30/10/5	19/12/8	30/10/6	-	-
18	Dimensi Hood bawah <i>after dryer</i> , m panjang/lebar/tinggi	30/10/5	19/12/15	30/10/6	-	-
19	Diameter silinder dryer, m	1,50	1,83	1,50	1,20	1,20
20	Jumlah silinder dryer, buah-					
	- <i>pre dryer</i>	33	28	49	42	30+1
	- <i>after dryer</i>	-	16	24	-	yankee
21	Jumlah air yang diuapkan, ton/hari					
	- <i>pre-dryer</i>	-	981	619	-	-
	- <i>after-dryer</i>	-	101	268	-	-
	- total	263	1082	887	106	51
22	Kapasitas produksi di <i>pope-reel</i> , ton/hari	160	984	574	109	38

Catatan: [?] konsumsi total untuk *drying unit* (1202 ton/hari untuk silinder *dryer* dan 238 ton/hari untuk *steam coil* pemanas udara pengering).

Pabrik A dan C termasuk dalam kategori kecepatan sedang (300–700), sedangkan pabrik D dan E mempunyai kecepatan rendah (<300). 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*.

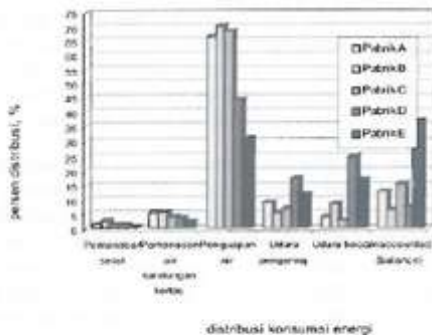
Neraca Energi Drying Unit.

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 (lihat Tabel 4 dan Gambar 2).

Tabel 4. Neraca energi *drying unit* (lihat pula Gambar 2)

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 ²⁾	308	92 ¹⁾	138 ¹⁾	67 ¹⁾
6	<i>Unaccounted (balance)</i>	119	236	469	42,90	140,95
Total (panas masuk lewat steam)		912	3.549	2987	551,90	384,95

Catatan: ¹⁾ laju udara bocor diasumsikan 30% dan 60% dari laju udara keluar masing-masing untuk sistem *closed-hood* dan *open-hood*.



Gambar 2. Persen distribusi energi

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 di daerah *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.

Benchmarking

Hasil penghitungan nilai KES berdasarkan keempat definisi, disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Konsumsi energi spesifik *drying unit*

Parameter	Pabrik A	Pabrik B			Pabrik C	Pabrik D	Pabrik E	Pustaka [Hannu P] ¹ [Simon A] ⁷
		teoritis	desain	aktual				
Jenis produk	Kertas tulis cetak	Kertas tulis cetak	Kertas tulis cetak	Kertas tulis cetak	Corrugated medium	Corrugated medium	Chip-board	Kertas dan karton
Bahan baku	(virgin + broke) + pulpa	-	-	(virgin + broke) chem. pulpa	OCC (local + impor) + mix waste	Pulp Semi kimia + waste box	kertas bekas campuran	-
Gramatur, gm ²	58,88	80? 3,20	69-60	80-20	124,30	125,84	300	-
Freezeness stok, ml CSF	375x25	-	-	375x25	400	420	450	-
Kadar air masuk dryer, %	62,83	50 - 60	54	51	45	51,29	58,87	-
Kadar air keluar dryer, %	4,34	5 - 7	5	4	7,10	7,20	8,85	5 - 7% ⁷ 7-9 % ⁷
Hood system	closed	closed	closed	closed	closed	open	open	closed
Aplikasi saving	tidak	ya	ya	ya	ya	tidak	tidak	tidak
KES ton _{steam} /ton _{evap}	1,28	1,30	1,33	1,33	1,82	1,93	2,77	1,30
KES ton _{steam} /ton _{produk}	2,01	1,37	1,80	1,41	1,95	1,88	3,75	1,8 - 2,2
KES GJ _{energy} /ton _{evap}	3,47	3,10	3,23	3,28	4,47	5,21	7,54	3,00
KES GJ _{energy} /ton _{product}	5,47	3,27	4,36	3,45	4,80	5,08	10,23	3,01 - 5,04 ^{7a)} 2,38 - 6,16 ^{7b)}

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^{1,2}. 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 $\frac{\text{steam}}{\text{ton}}$ per ton 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 *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 yang 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 penghematan *steam* 12%, yaitu dari 1611 menjadi 1440 ton/hari (lihat Tabel 6).

Tabel 6. Pengaruh kadar air kertas masuk *drying unit* terhadap kebutuhan *steam*

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

Catatan : 1. ¹⁾ kondisi diatas berlangsung pada kadar air keluar *drying unit* 4%
 2. $KES_{\text{total}} = 1,33 t_{\text{total}} / t_{\text{sheet}} / \text{top}$

Penghematan konsumsi *steam* ini setara dengan kira-kira Rp. 18.468.000/hari.

Beban pengeringan diperkirakan dapat diturunkan dengan mengembalikan kadar air dalam kertas produk dari 4% (data operasi saat

ini, lihat Tabel 7) menjadi 5% (sesuai persyaratan pabrik untuk produk kertas). Penurunan beban pengeringan ini diperkirakan dapat memberi potensi penghematan *steam* sebesar 15 ton/hari.

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

No	Variabel Operasi	Kadar air akhir kertas keluar <i>dryer</i> ¹⁾			
		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, t/hari		1035,48		983,68
2	Berat <i>sheet</i> keluar <i>dryer</i> , t/hari	1001,21	1024,67	1001,21	1024,67
3	Berat <i>sheet</i> masuk <i>dryer</i> , t/hari	1981,98	1126,30	1981,98	1126,30
4	Berat <i>starch</i> , t/hari	-	12,51	-	12,51
5	Berat serat kering, t/hari	971,17	971,17	971,17	971,17
6	Berat air masuk, t/hari	1010,81	142,61	1010,81	142,61
7	Berat air keluar, t/hari	30,04	51,77	30,04	40,99
8	Berat air yang diuapkan, t/hari	980,78	90,64	980,78	101,63
9	Kebutuhan <i>steam</i> , t/hari	1425		1440	

Catatan : 1. ¹⁾ kondisi diatas berlangsung pada kadar air masuk *drying unit* 51%
 2. $KES_{\text{total}} = 1,33 t_{\text{total}} / t_{\text{sheet}} / \text{top}$

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 3). 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 1m²/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.

Perbaiki 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 8 atas dasar data desain *Heat Recovery Unit ABB*.

Berdasarkan perhitungan neraca massa dan energi, kebutuhan *steam* teoritis adalah 0,014 ton_{steam}/ton_{udara}. Nilai ini berbeda dengan kondisi aktual 0,035ton_{steam}/ton_{udara}. Penyimpangan konsumsi *steam* pemanas sebesar 0,021 ton_{steam}/ton_{udara} dapat dikarenakan beberapa hal diantaranya, perbedaan laju alir, temperatur dan humiditas udara panas aktual keluar *dryer*.

Tabel 8. Kondisi desain *Heat Recovery Unit*

Recovery Unit	Subjek	Flow, t/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	86,1	0,015	-520	-
	Air-air HE	-	-	-	-	1,127
	Steam coil	-	-	-	-	0,640
HR-3 (after-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

Untuk mendapatkan data konsumsi teoritis aktual, maka data-data tersebut perlu perlu direkonsiliasi.

Ditinjau dari rasio kebutuhan udara terhadap jumlah air yang diuapkan (lihat Tabel 9), pabrik B mempunyai rasio sebesar 6,3 kg udara/kg air teruapkan. Berdasarkan nilai pustaka^{1,6}

diketahui bahwa jumlah udara yang dibutuhkan untuk sistem *closed-hood* adalah 6 – 7 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 ton/hari atau 48% terhadap laju udara buang adalah cukup besar. Hal ini dibandingkan

Tabel 9. Hasil perhitungan kebutuhan steam pemanas pada kondisi desain *Heat Recovery Unit*

Heat Recovery Unit	Udara masuk			Udara keluar		Udara bocor, t/hari	Kebutuhan steam pemanas, t/hari
	Laju alir t/hari	T _{in,HR} C	T _{out,HR} C	Laju alir t/hari	T _{out, campuran} C		
HR-1	2311	31	88	4997	70	2489	35
	197	31	115				3
HR-2	2772	31	85	6093	84	2321	26
HR-3	936	31	94	2925	77	1430	15
	559	31	115				15
Total	6775			13015		6240	94

terhadap persyaratan *Total Closed-Hood*⁽¹⁾ yang bahwa persen kebocoran untuk sistem tertutup adalah 20 – 30% terhadap udara buang. Dengan menurunkan kapasitas total *exhaust fan/blower* menjadi 8500 - 9700 ton/hari kebocoran udara (sekitar 1700 – 2900 ton/hari) sudah sesuai dengan rekomendasi persyaratan *closed hood*.

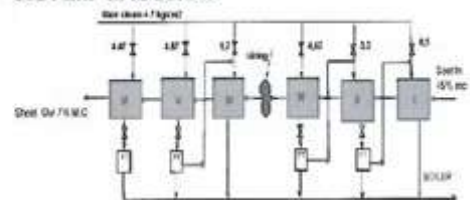
Aplikasi Sistem Termokompresi

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*.

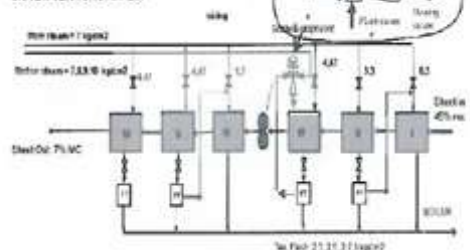
Pemilihan variasi tekanan *flash* berdasarkan rasio tekanan *output* terhadap tekanan *suction* < 2. Hal ini dimaksudkan agar termokompresor beroperasi pada kondisi non-kritis.

Kajian dilakukan dengan titik pemasangan termokompresor hanya pada *group III* pabrik C dengan kondisi seperti Gambar 3.

SISTEM CASCADE



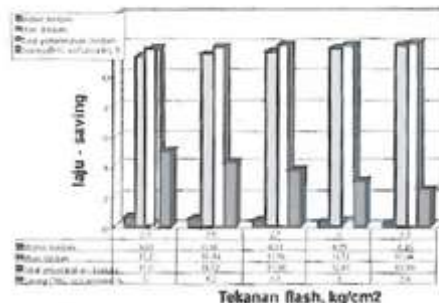
SISTEM TERMOKOMPRESI



Gambar 3. Usulan modifikasi sistem *cascade* (kondisi asal) menjadi termokompresi

Dengan mevariasikan tekanan *flash* 2,3 – 3,0 kg/cm² didapat rasio penambahan *motive steam* 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 4

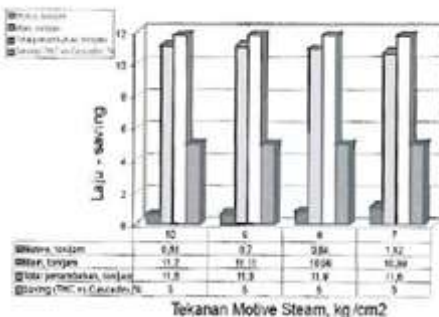


Gambar 4. Variasi tekanan flash vs laju motive steam dan % saving

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 5), atas dasar tekanan *flash* 2,3 kg/cm² dilakukan perhitungan ulang



Gambar 5. Variasi tekanan vs laju motive steam

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.

KESIMPULAN DAN SARAN

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

- KES *drying unit* ke lima mesin kertas umumnya lebih besar dibanding pabrik-pabrik di luar negeri.
- Pabrik B paling hemat energi, mungkin karena kondisi operasi mendekati pabrik modern, yaitu *highest speed, total closed, heat recovery*
- Melalui simulasi perhitungan neraca massa dan energi, maka penghematan energi (penurunan konsumsi steam) dapat dilakukan dengan cara:
 - Penurunan kadar air lembaran kertas masuk *drying unit* maksimum 3% dapat menghemat steam 11%.
 - Menghindari *over drying* lembaran kertas keluar *drying unit* sebesar 1% dapat menghemat steam 1%.
 - Mengendalikan kebocoran udara masuk *drying unit* maksimal 30%, dapat menghemat energi pemanasan sebesar 5,3%.
 - Modifikasi *drying unit* melalui pemasangan satu unit termokompresor (*steam ejector*) dapat menghemat steam 5%.

Daftar Pustaka

- Hannu Paulapuro, Johan Gullichsen, (2000) *'Papermaking Part 2: Drying'*, Papermaking Science and Technology, Finnish Paper Engineers' Association (FAPET) and TAPPI.
- Hill K.,(2009). Optimizing Thermo-compressor Design and Operation For Paper Drying Applications. www.kadant.com.
- 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
- Ritz , Carlton B., (1988), *'Practical aspects of Pressing and Drying'*, Tappi Press, Atlanta, USA.

Raymond K., Perry D., (1999), *'Paper Machine – Steam and Condensate System'*, 5th edition, Tappi Press, atlanta, USA

Simons Agra, (1999) *'Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry'*, A Monograph, Pulp and Paper Research Institute of Canada.

Sivill L. and Pekka A. (2009), *Paper Machine Production Efficiency as a Key Performance Indicator of Energy Efficiency*, Chemical

Engineering Transactions, Vol 18, ISBN 978-88-95608-04-4,ISSN 1974-9791.

Walker P.J.R. (1988), *'How to Reduce Steam Consumption in Paper Mill'*, Machine Room, Energy Management and Conservation.

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.