

## NERACA UAP SEBAGAI SALAH SATU PIRANTI UPAYA PENGHEMATAN ENERGI DI PABRIK KIMIA

Herri Susanto\*

\*Laboratorium Termofluida dan Sistem Utilitas  
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITB, Bandung.

### *STEAM BALANCE AS A TOOL FOR ENERGY CONSERVATION IN CHEMICAL PLANTS*

#### **ABSTRACT**

*Optimal operation of utility system has become a part of important step for successful business in chemical industries such as pulp and paper mills. The cost of energy in such mill may contribute up to 18% of manufacturing cost. A steam balance may be used to predict an optimal process condition and to understand operation constraints. Steam balance can be easily developed by any process engineer and simulation can be performed in a common electronic spreadsheet. This paper is aimed as an introduction to prepare a steam balance in specific plant.*

*Keywords : mass and energy balance, steam system, steam diagram, LNG-plant*

#### **INTISARI**

Industri kimia seperti industri pulp dan kertas, merupakan industri dengan konsumsi energi yang relatif besar khususnya uap. Karena itu kajian produksi dan konsumsi uap pada sebuah pabrik pulp dan kertas merupakan salah satu langkah sejalan dengan program penghematan energi yang terus berkembang. Beberapa contoh menunjukkan bahwa biaya energi di pabrik pulp dan kertas dapat mencapai 18% dari total biaya produksi. Dengan kajian neraca uap, potensi-potensi penghematan dapat teridentifikasi dan prioritas program dapat disusun. Makalah ini merupakan kajian ringan untuk dikembangkan lebih lanjut sesuai kebutuhan.

Kata kunci : neraca massa dan energi, perangkat sistem uap, diagram uap, pabrik LNG

#### **PENDAHULUAN**

Di dalam pabrik kimia, uap tidak hanya digunakan untuk produksi kerja melalui turbin, tetapi juga digunakan sebagai media pemanas proses dan juga bahan baku proses. Pada saat ini dalam upaya penghematan sumber energi (bahan bakar), uap diproduksi pada tekanan tinggi, kemudian diekspansi lewat turbin untuk menghasilkan kerja dan akhirnya uap keluaran turbin dimanfaatkan sebagai media pemanas. Pengaturan laju alir, tekanan dan temperatur uap sangat menentukan konsumsi sumber energi. Karena itu, pemahaman neraca massa dan tenaga uap (*steam balance*) sangat penting.

Di dalam program konservasi energi, neraca uap merupakan salah satu langkah penghematan energi yang termasuk ke dalam kategori biaya minimal. Dengan neraca uap,

para insinyur dapat memprediksi penghematan energi secara menyeluruh dan terintegrasi. Neraca uap dapat dimanfaatkan untuk:

- penentuan kebutuhan total uap pada berbagai kasus operasional; misalnya sehubungan dengan rencana peningkatan produksi
- identifikasi unit-unit pengguna uap yang boros dan tempat-tempat kehilangan uap identifikasi unit-unit pengguna uap yang memiliki potensi untuk ditangani segera dalam upaya penghematan biaya energi pada seluruh pabrik
- perhitungan potensi penghematan dan penetapan prioritas langkah penyempurnaan operasi
- identifikasi unit-unit proses yang kritis atau sensitif sehubungan dengan konsumsi uap pada saat pengembangan kapasitas

- e. perkiraan reduksi emisi CO<sub>2</sub> sebagai hasil program penghematan energi

Neraca uap merupakan salah satu piranti evaluasi proses dan panas secara terintegrasi. Jika teknik *pinch* digunakan untuk evaluasi secara terintegrasi transfer energi panas antar semua aliran-aliran proses, neraca uap digunakan untuk evaluasi aliran-aliran uap, baik yang untuk produksi listrik dan daya maupun yang untuk pemanas proses dan bahan baku proses. Hasil kajian neraca uap dapat digunakan untuk mengajukan usulan upaya-upaya penghematan energi dengan biaya murah, misalnya melalui modifikasi pola distribusi uap atau prosedur operasi. Neraca uap umumnya melibatkan sistem persamaan aljabar serempak. Walaupun saat ini tersedia simulasi proses yang dapat dimanfaatkan untuk simulasi neraca uap, masalah matematika tersebut dapat diselesaikan dengan bantuan *electronic spreadsheet* (Anonim, 2008).

Artikel ini merupakan kajian tentang uraian dasar-penyusunan neraca uap, dan beberapa kasus sederhana untuk memberi gambaran peranannya dalam perhitungan masalah energi di pabrik kimia. Beberapa kasus industrial dari pabrik pulp dan kertas disajikan untuk memberi gambaran lebih lengkap.

## **SISTEM UAP PADA PABRIK PULP DAN KERTAS**

Pabrik pulp dan pabrik kertas merupakan salah satu pabrik kimia yang menggunakan energi panas dan daya hampir berimbang. Sehingga uap merupakan salah satu bahan pendukung yang sebenarnya memegang peran sangat penting dalam penentuan performansi proses dan ekonomi di pabrik pulp dan kertas. Sebagai contoh, sebuah pabrik pulp dan kertas (*Century Pulp and Paper Ltd*, India) dengan kapasitas produksi *Rayon Grade Pulp (RGP) 31320 TPA* dan *Writing & Printing Papers* (berbasis dari kayu dan bagase) 121.850 TPA telah berhasil menurunkan konsumsi uap dan listrik seperti disajikan di Tabel 1 (Francis *et al.* 2006). Upaya penghematan energi ini dilandasi atas biaya energy yang mencapai 16.78 % dari keseluruhan biaya produksi.

Penurunan konsumsi uap dan listrik tersebut diperoleh dari berbagai program dan salah satunya adalah pengaturan distribusi uap. Dengan memaksimalkan aliran uap lewat turbin ekstraksi dan meminimalkan aliran uap *by-pass*, pabrik ini dapat meningkatkan produksi listrik yang menghasilkan penghematan konsumsi listrik dari luar. Dengan kajian neraca uap, Manajemen Pabrik dapat mengidentifikasi pemborosan uap yang dapat segera diatasi pada: *venting* akibat fluktuasi proses dan penggunaan uap tekanan tinggi sebagai pemanas deaerator. Sebuah pompa air umpan ketel (150 kW digerakkan dengan turbin uap) diidentifikasi sangat boros uap dan penggantian segera dilakukan. Dengan demikian Manajemen Pabrik ini telah banyak melakukan *short term process modification* yang berupa penyempurnaan operasi dan modifikasi peralatan proses yang hanya memerlukan biaya minimal.

Distribusi penggunaan uap dan listrik secara menyeluruh pada sebuah pabrik pulp dan kertas lainnya disajikan di Tabel 2 (Kumana, 2001). Pabrik ini dapat memenuhi kebutuhan uap dari *recovery boiler*, tetapi memerlukan energi dari gas alam untuk memenuhi kira-kira 5% listriknya. Sepintas terlihat dari konsumsi uap bahwa potensi penghematan biaya energi dari uap dapat diperoleh dari peningkatan efisiensi pada unit-unit: *digester*, pemutihan, penguapan lindi hitam, dan *power plant*. Tetapi ternyata setelah ditelusuri lebih cermat dengan bantuan neraca uap, penghematan uap tekanan rendah tidak menghasilkan penghematan konsumsi total uap karena keterkaitan antara pasokan uap tekanan rendah dengan produksi daya dari *back pressure turbine* yang menggunakan uap tekanan tinggi. Akibatnya, penghematan uap tekanan rendah hanyalah mengakibatkan *venting* kelebihan uap tersebut.

Contoh kajian penghematan uap secara lokal dilaporkan misalnya pada beberapa mesin kertas (Kilponen *et al.*, 2000.). Sebuah mesin kertas dapat memberi peluang penghematan konsumsi uap di mesin yang bersangkutan sebesar 10%, jika kadar air dalam kertas produk keluar mesin dapat dinaikkan dari kebiasaan operasi 4% menjadi yang diijinkan 5%. Sebaliknya, penghematan uap juga dapat

diperoleh jika kadar air dalam kertas masuk mesin diturunkan dengan memperbaiki performansi mesin press. Tentu saja penghematan uap yang terakhir ini perlu peningkatan kebutuhan daya listrik unit pengepresan untuk mencapai kadar air yang diinginkan tersebut. Tarik-ulur antara antara penghematan uap dan peningkatan daya-pengepresan dapat dikaji lebih mendalam dengan bantuan neraca uap, terutama jika pabrik yang bersangkutan meng-

gunakan listrik produksi sendiri melalui turbin uap.

Dengan menggunakan neraca uap, sebuah pabrik pulp dan kertas dapat menetapkan nilai patokan untuk konsumsi dan distribusi uap sesuai dengan kondisi operasi pabrik dan musim (Dina & Susanto, 2006). Hasil optimasi distribusi uap disajikan di Tabel 3. Evaluasi terhadap sistem uap merupakan salah satu program ringan dari pabrik ini, di samping program-program lain yang memerlukan biaya.

Tabel 1. Konsumsi Uap dan Listrik Sebuah Pabrik Pulp dan Kertas (Francis *et al.* 2006).

	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05
uap/RGP, GJ/ton	12,78	12,68	11,56	10,41	10,32
uap/PAPER, GJ/ton	11,59	11,24	10,72	9,16	8,76

Tabel 2. Distribusi Uap dan Listrik di Pabrik Pulp Kraft Modern (Kumana, 2001)

	Unit Proses	uap GJ/ADt	Listrik kWh/ADt
1	Pengangkutan <i>chip</i>	0.0	20
2	Digester	1.7	40
3	Pencucian dan Penyaringan	0.0	30
4	Delignifikasi Oksigen	0.5	75
5	Pemutihan	2.3	100
6	Mesin Pulp	2.3	141
7	Penguapan Lindi Hitam	3.1	30
8	<i>Power Plant</i>	2.3	60
9	Rekostiasasi dan <i>kiln</i>	0.0	50
10	Pasokan Air Panas	0.0	32
11	Pengolahan Air Limbah	0.0	30
12	Lain-lain	0.0	30
<b>13</b>	<b>Konsumsi Total</b>	<b>12.2</b>	<b>638</b>
<b>14</b>	<b>Produksi pada <i>recovery boiler</i></b>	<b>15.8</b>	<b>655</b>
<b>15</b>	<b>Kelebihan</b>	<b>0.0</b>	<b>17</b>
Konsumsi Gas Alam = 1,2 GJ/ADt; (untuk daya cadangan)			

Catatan: 1 kWh = 3600 kJ = 0,0036 GJ

Tabel 3. Patokan Distribusi Uap Pada Suatu Pabrik Pulp dan Kertas (Dina &amp; Susanto, 2006).

		Musim Panas			Musim Dingin		
		HPS 82 bar 454 °C	MPS 11,7 bar 241 °C	LPS 3,8 bar 142 °C	HPS 82 bar 454 °C	MPS 11,7 bar 241 °C	LPS 3,8 bar 142 °C
<b>A</b>	<b>Condensing turbine untuk daya listrik</b>						
1	uap masuk, kg/s	72,6			71,8		
2	keluar <i>extraction</i> , kg/s		15,0			15,1	
3	keluar <i>condensing</i> , kg/s			77,9			59,1
4	daya keluar, MW	50,5			38,1		
<b>B</b>	<b>Back pressure turbine untuk daya listrik</b>						
1	uap masuk, kg/s	17,5			447,3		
2	uap keluar, kg/s		17,5			47,3	
3	daya keluar, MW	8,7			26,7		
<b>C</b>	<b>Uap untuk proses</b>						
1	penanganan Kayu, kg/s	-	-	0,2		-	2,1
2	pemasakan, kg/s	-	3,8	4,1		4,3	6,3
3	pencucian/Penyaringan, kg/s	-	-			-	-
4	pemutihan, kg/s	-	1,2	1,1		-	0,9
5	pembuatan Pulp dan pengeringan, kg/s	-	-	6,0		-	7,3
6	penggunaan lain, kg/s	-	-	0,5		-	0,7
7	penguapan, kg/s	-	-	19,8		-	20,7
8	kostisasi, kg/s	-	-	-		-	44,9
9	pabrik Kertas, kg/s	-	1,5	42,7		1,6	44,9
10	ekspor Uap, kg/s	-	2,8	3,8		2,6	3,9

Catatan :

HPS : Uap Ttekanan Tinggi

MPS : Uap Tekanan Sedang

LPS : Uap Tekanan Rendah

## DIAGRAM UAP

Diagram-alir uap merupakan salah satu alat peraga neraca massa dan energi sistem uap. Diagram uap memuat informasi laju alir uap dan kondensat, tekanan uap, temperatur uap, entalpi uap, serta produksi kerja turbin dan konsumsi uap untuk pemanas dan proses atau alat-alat konversi energi yang melibatkan uap. Secara ringkas, peralatan di dalam diagram *uap* diuraikan pada Tabel 4,

*Steam header* digambarkan sebagai garis horisontal. Beberapa *steam header* disusun dari atas ke bawah atas dasar tekanan *uap* (Gambar 1), Contoh kondisi pada *steam header* beberapa industri kimia disajikan di Tabel 5 (data hasil

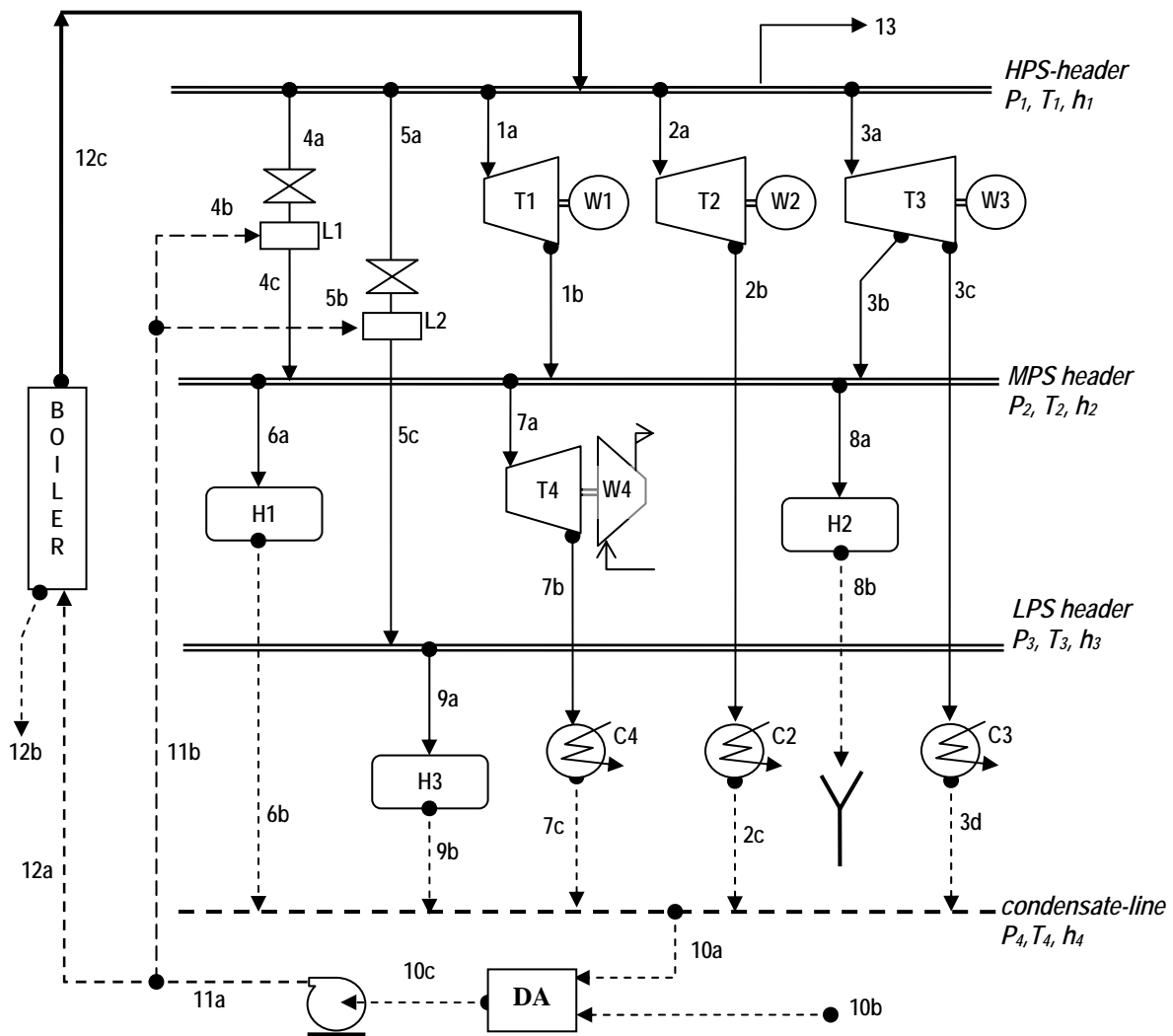
komunikasi pribadi). Peralatan yang menggunakan uap digambarkan tepat di bawah *steam header* yang bersangkutan, Aliran uap keluar satu peralatan dapat masuk ke *steam header* tepat di bawahnya maupun *steam header* beberapa tingkat di bawahnya, Boiler sebagai penghasil uap seharusnya digambarkan di atas *steam header* dengan tekanan yang bersangkutan, tetapi boiler sering kali digambarkan di bawah *steam header* (untuk menghemat bidang gambar), *Let down station* merupakan *by pass* untuk memenuhi kebutuhan *uap* dari *header* tinggi ke *header* rendah, *Safety valve* untuk setiap saluran induk uap dapat digambarkan di bagian kanan diagram sistem uap ini.

Tabel 4. Peralatan Pada Diagram Uap

		Keterangan dan Simbol Pada Gambar 1
1	<i>Steam header</i>	saluran induk uap; disusun dari atas ke bawah atas dasar tekanan: a. <i>high pressure steam header</i> (HPS-header) b. <i>low pressure steam header</i> (MPS-header) c. <i>pressure steam header</i> (LPS-header) d. saluran kondensat ( <i>condensate line</i> )
2	Boiler	Boiler penghasil uap, beberapa jenis atau istilah boiler: a. <i>steam generator, package boiler</i> b. WHB ( <i>waste heat boiler</i> ) c. <i>recovery boiler</i>
3	Turbin	alat konversi entalpi uap menjadi daya atau kerja a. <i>back pressure-turbine</i> (T1) b. <i>condensing-turbine</i> (T2 dan T4) c. <i>extraction turbine</i> (T3) d. turbin dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik (W1, W2 dan W3); kompresor (W4); pompa atau peralatan mekanik lainnya (misalnya mesin giling dan <i>chipper</i> )
4	<i>Let Down Station</i>	a. alat penurunan tekanan uap dan merupakan saluran <i>by pass</i> antara satu <i>steam header</i> ke <i>steam header</i> di bawahnya b. biasanya tersusun dari <i>Pressure Reducing Valve</i> (PRV) dan <i>Desuperheater</i> (penurunan <i>degree of superheat</i> , DS)
5	<i>Heater</i>	a. konsumen uap untuk pemanas proses dan kondensatnya dapat dipakai kembali (H1 dan H3) b. konsumen uap untuk proses dan kondensatnya tidak kembali (H2)
6	<i>Deaerator</i>	DA digunakan untuk penyisihan O <sub>2</sub> (udara) terlarut di dalam air umpan boiler atas dasar penurunan kelarutan O <sub>2</sub> pada temperatur tinggi, Air umpan boiler dipanasi dengan injeksi HPS-uap,
7	<i>Condensor</i>	pelepasan entalpi uap ke air pendingin (C1, C2, C3)
8	Pompa	pendorong air umpan boiler untuk masuk ke Boiler

Tabel 5. Kondisi *Steam Header* di Berbagai Pabrik

		Tekanann Tinggi	Tekanan Sedang	Tekanan Rendah
1	Pabrik Pulp dan Kertas (Leces)	44 bar 440 °C	12 bar 200 °C	6 bar 160 °C
2	Pabrik Pulp (Lhokseumawe)	63,3 kg/cm <sup>2</sup> 482 °C	12 kg/cm <sup>2</sup>	4,5 kg/cm <sup>2</sup> 147 °C
3	Pabrik Pulp (Palembang)	84 bar 480 °C	11,5 bar 255 °C	4 bar 158 °C
4	Kilang Gas Alam Cair (Bontang)	60 kg/cm <sup>2</sup> G 445 °C	18 kg/cm <sup>2</sup> G 316 °C	3,8 kg/cm <sup>2</sup> G, 218 °C 0,5 kg/cm <sup>2</sup> G, 110 °C
5	Kilang Minyak Bumi (Palembang)	32 kg/cm <sup>2</sup> G 400 °C	15 kg/cm <sup>2</sup> G 375 °C	0,5 kg/cm <sup>2</sup> G 110 °C
6	Pabrik Polipropilen (Cilegon)	42 kg/cm <sup>2</sup> G 253 °C	16 kg/cm <sup>2</sup> G 203 °C	5 kg/cm <sup>2</sup> G 158 °C
7	Pabrik Pupuk (Palembang)	123 bar 510 °C	42 bar 382 °C	3,6 bar 247 °C
8	Pabrik Minyak Sawit (Bandar Lampung)	-	19 bar 275 °C	4,5 bar 180 °C
9	PLTGU (Gresik)	75 atg 505 °C	-	5,1 atg 176 °C



Gambar 1. Diagram Uap Dasar

### PENYUSUNAN NERACA UAP

Neraca uap tidak lain adalah neraca massa dan energi sistem aliran uap yang disusun untuk setiap *steam header* dan peralatan konversi energi yang melibatkan uap. Perhitungan neraca uap tentu saja harus dilengkapi dahulu dengan data uap yang dapat diperoleh dari tabel uap atau persamaan-persamaan empirik sifat uap yang banyak disajikan di internet, Dasar-dasar konversi energi yang melibatkan uap disajikan pada Tabel 6.

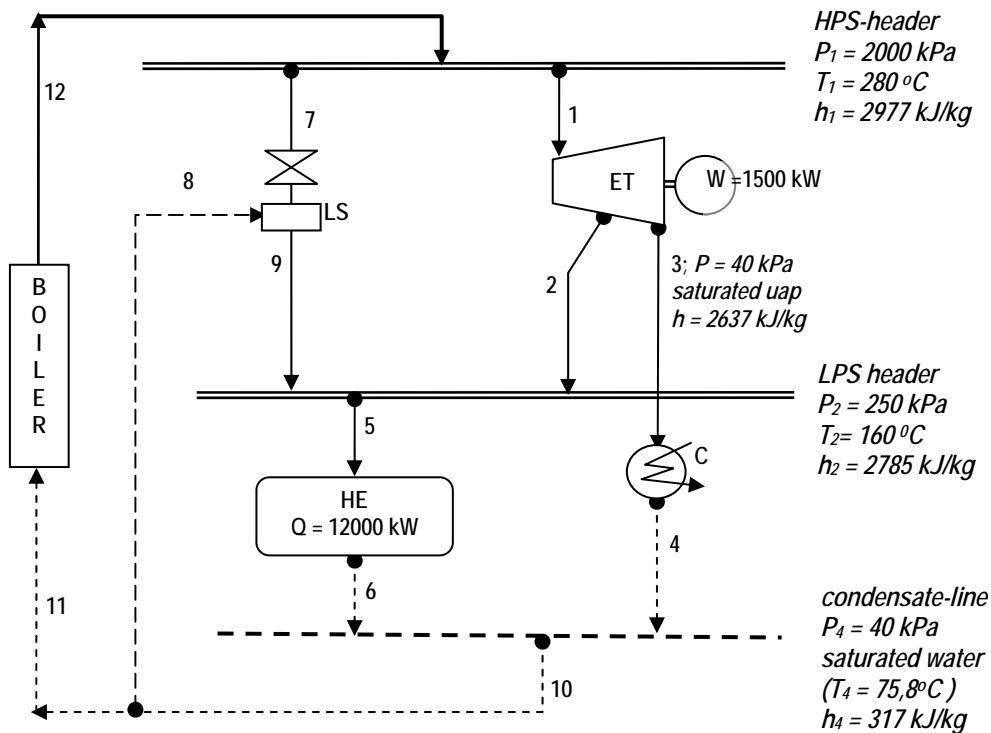
### SISTEM UAP SEDERHANA

Sistem Uap sederhana dapat ditemukan di pabrik minyak sawit mentah (CPO) atau di

pabrik gula konvensional. Boiler pada pabrik-pabrik semacam ini digerakkan dengan bahan bakar biomassa: serabut sawit dan cangkang sawit di pabrik CPO atau ampas tebu di pabrik gula. Sistem uap umumnya tersusun dari dua tingkat *steam header*: *HPS-header* (sekitar 20 bar dan 280 °C) dan *LPS-header* (2,5 bar dan 160 °C), Uap tekanan rendah diperoleh terutama dari ekstraksi di *extraction-turbine* ((lihat Gambar 2, diagram-alat ET), Jika pasokan uap dari ET kurang, kebutuhan uap untuk pemanas proses dipenuhi dengan aliran lewat *Let Down Station* (LS), Tentu saja laju aliran uap *by-pass* ini harus dijaga minimum.

Tabel 6. Dasar Hitungan Neraca Uap

		Dasar Hitungan (lihat simbol pada Gambar 1)
1	<i>Steam header</i>	a. Neraca massa: $\Sigma m_{\text{masuk}} = \Sigma m_{\text{keluar}}$ misalnya: $m_{12c} = m_{4a} + m_{5a} + m_{1a} + m_{2a} + m_{3a} + m_{13}$ b. Entalpi: semua aliran masuk atau keluar suatu <i>steam header</i> memiliki entalpi sama; misalnya: $h_{12c} = h_{4a} = h_{5a} = h_{1a} = h_{2a} = h_{3a} = h_{13}$
2	Boiler	a. Neraca massa: $m_{12a} = m_{12b} + m_{12c}$ b. Neraca entalpi: $Q = m_{12b} \cdot h_{12b} + m_{12c} \cdot h_{12c} - m_{12a} \cdot h_{12a}$ catatan: $m_{12b}$ = laju alir <i>blowdown</i>
3	Turbin	<i>Back pressure</i> (T1 dan T4) atau <i>condensing turbine</i> (T2) Neraca entalpi: $W = m \cdot \Delta h = m \cdot (h_{\text{keluar}} - h_{\text{masuk}})$ misalnya: $W1 = m_{1a} \cdot (h_{1b} - h_{1a})$
4	Turbin	<i>Condensing turbine</i> (T3) a. Neraca massa: $m_{3a} = m_{3b} - m_{3c}$ b. Neraca entalpi: $W3 = m_{3a} \cdot (h_{3b} - h_{3a}) + m_{3c} \cdot (h_{3c} - h_{3a})$
5	PRV dan DS	a. PRV terjadi ekspansi isentalpi b. DS ditujukan untuk penurunan <i>degree of superheat</i> dari uap hasil ekspansi dengan cara penyemprotan air, c. Neraca massa (misalnya L1): $m_{4a} + m_{4b} = m_{4c}$ d. Neraca entalpi (L1): $m_{4a} \cdot h_{4a} + m_{4b} \cdot h_{4b} = m_{4c} \cdot h_{4c}$
6	Heater dan Condensor	Neraca entalpi (misalnya H1): $Q = m_{6a} \cdot (h_{6b} - h_{6a})$



Gambar 2. Contoh Neraca Uap Sederhana

Persamaan neraca uap disajikan di Tabel 7, dengan data kebutuhan panas, kebutuhan daya dan nilai entalpi disajikan di Gambar 2, Permasalahan dalam adalah menentukan nilai semua laju alir yang memberi nilai kebutuhan total uap minimum, Faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah total uap antara lain:

- pengaturan laju alir uap *by-pass*
- pengaturan laju alir uap ekstraksi ( $m_2$  dalam contoh di atas) yang berkaitan dengan nilai
- efisiensi mekanik masing-masing turbin ( $\eta_1$  dan  $\eta_2$ ),

Efisiensi mekanik turbin merupakan nilai praktis yang harus diperoleh dari data lapangan, Hasil simulasi dengan mengabaikan laju *blow down* dan laju injeksi uap ke *desuperheater* ( $m_8 = 0$ ) disajikan di Tabel 8. Dalam praktek uap *by-pass* bukan ditutup, tetapi dijaga pada nilai minimum fungsional *let down station* agar selalu siap menanggapi perubahan beban.

Tabel 7. Persamaan Neraca Uap Sederhana

		Persamaan
1	HPS-header	$m_{12} = m_7 + m_1$
2	Extraction Turbine	a. $m_1 = m_2 + m_3$ b. Back Pressure: $W_1 = [m_1, (2977 - 2785)/\eta_1]/3600$ c. Condensing: $W_2 = [m_3, (2785 - 2637)/\eta_2]/3600$ d. $W_{total} = W_1 + W_2 = 1500$ e. $\eta_1$ dan $\eta_2 =$ efisiensi mekanik turbin
3	Let Down Station (by-pass)	a. $m_7 + m_8 = m_9$ b. $2977, m_7 + 317, m_8 = 2785, m_9$
4	LPS-header	$m_9 + m_2 = m_5$
5	Panas Proses	$12,000 = m_5, (2785 - 317)/3600$
6	condensate line	$m_{10} = m_6 + m_4$
7	Boiler (tanpa blow down)	$m_{11} = m_{12}$ $Q_{in} = m_{11}, (2977 - 413)/\eta_{boiler}$

Tabel 8, Hasil Simulasi Neraca Uap Sederhana (lihat Gambar 2 dan Tabel 7)

		satuan	kasus-A1	kasus-A2	kasus-A3	kasus-B	kasus-C
1	Panas Proses	kW	12000	12000	12000	12000	12000
	laju uap, m5	kg/jam	17504	17504	17504	17504	17504
2	Turbin:						
	a. efisiensi, $\eta_1$	-	80%	80%	80%	<b>70%</b>	80%
	b. efisiensi, $\eta_1$	-	80%	80%	80%	80%	<b>70%</b>
	c. laju alir, $m_1$	kg/jam	<b>21,664</b>	<b>25,000</b>	<b>27,472</b>	<b>29,559</b>	<b>28,046</b>
	d. laju alir, $m_2$	kg/jam	4,159	11,824	17,504	17,504	17,504
	e. laju alir, $m_3$	kg/jam	17,504	13,176	9,968	12,055	10,542
	f. daya, $W_1$	kW	924	1,067	1,172	1,104	1,197
	g. daya, $W_2$	kW	576	433	328	397	303
	h. daya total	kW	1,500	1,500	1,500,0	1,500	1,500
3	laju alir, $m_7$	kg/jam	13,345	5,680	0	0	0
4	laju alir total uap, $m_{12}$	<b>kg/jam</b>	<b>35,008</b>	<b>30,680</b>	<b>27,472 (minimum)</b>	<b>29,559 (minimum)</b>	<b>28,046 (minimum)</b>

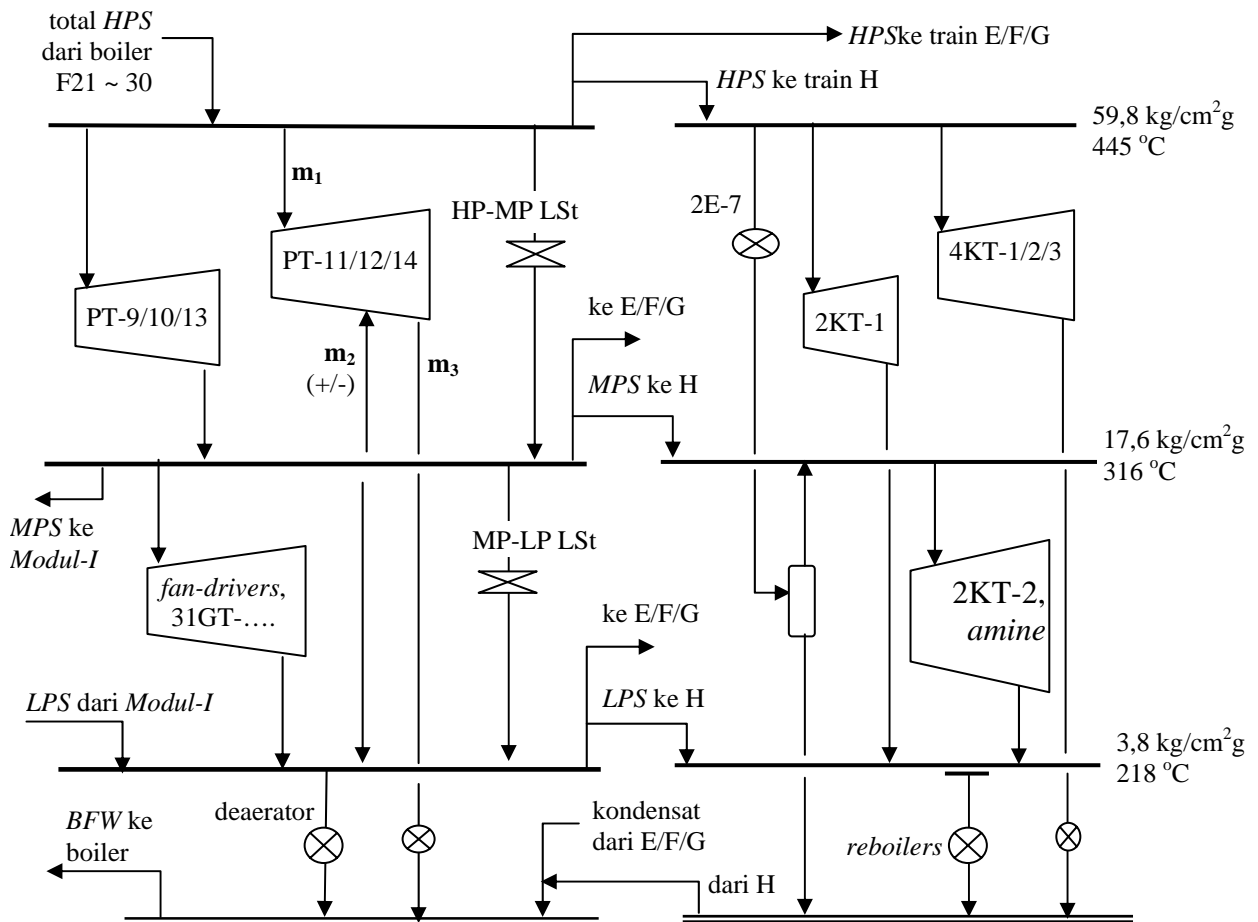
Kasus-A1, kasus-A2 dan kasus-A3 berturut-turut menunjukkan pengaturan laju alir uap masuk turbin ( $m_1$ ) untuk meminimasi aliran *by-pass* uap ( $m_7$ ) yang selanjutnya diharapkan mengurangi konsumsi total uap ( $m_{12}$ , lihat baris terakhir Tabel 8), Sedangkan kasus-A3, kasus-B dan kasus-C menunjukkan efek efisiensi mekanik turbin ( $\eta_1$  dan  $\eta_2$ ) terhadap kebutuhan total uap ( $m_{12}$ ) dengan tetap menjaga tidak ada aliran *by-pass* uap ( $m_7 = 0$ ), Simulasi sederhana ini kiranya dapat memberi gambaran pada peranan neraca uap dalam pengelolaan atau manajemen energi,

- a. produksi daya listrik: *back pressure turbine* 31PT-9, 31-PT-10 dan 31PT-13, serta *extraction turbine* 31PT-11, 31-PT12 dan 31PT-14
- b. daya penggerak beberapa kompresor dengan kapasitas masing mencapai 45 MW (2KT-1, 4KT-1/2/3), penggerak pompa (2KT-2), dan penggerak blower untuk boiler
- c. pemanas proses (*reboiler*).

Manajemen pabrik ini sangat memperhatikan penghematan energi, apalagi harga gas alam terus meningkat, sehingga setiap hasil penghematan konsumsi uap sekecil apapun diharapkan dapat menambah produksi gas alam cair,

### NERACA UAP DI PABRIK LNG

Kilang Pencairan Gas Alam (lihat Gambar 3, Tim ITB, 2002) menggunakan uap untuk :



$m_1$  = laju alir *HP-steam* masuk;  $m_3$  = laju *exhaust steam*  
 $m_2$  = laju ekstraksi (+) atau laju induksi (-)

Gambar 3. Diagram Uap Kilang LNG

Tabel 9. Hasil Simulasi Pengaturan Distribusi Aliran Uap di Kilang LNG

		<i>Base case, data pabrik</i>	<b>Simulasi A</b>	<b>Simulasi B</b>
1	laju alir uap BP-1, ton/h (dijaga tetap)	178,0	178,0	178,0
2	laju alir uap BP-2, ton/h (dijaga tetap)	178,0	178,0	178,0
3	laju alir uap BP-3, ton/h (dijaga tetap)	160,0	160,0	160,0
4	Subtotal daya dari BP1 + BP2 + BP3 (dijaga tetap), MW	26,6	26,6	26,6
5	Subtotal daya dari ET1 + ET2 + ET3 (dijaga tetap), MW	22,4	22,4	22,4
<b>Laju Alir yang Diubah:</b> (-) aliran induksi dan (+) aliran ekstraksi				
6	induksi/ekstraksi ET-1, ton/h	-12,7	<b>0</b>	<b>+5,0</b>
7	induksi/ekstraksi ET-2, ton/h	0	<b>0</b>	<b>+5,0</b>
8	induksi/ekstraksi ET-3, ton/h	-11,9	<b>0</b>	<b>+5,0</b>
<b>Hasil Simulasi:</b>				
9	<i>HP-MP let down station</i> , ton/h	46,2	<b>22,4</b>	<b>7,9</b>
10	<i>MP-LP let down station</i> , ton/h	52,4	<b>26,9</b>	<b>11,4</b>
11	total <i>HP-steam</i> dari boiler, ton/h	2504,0	2493,4	2486,9
12	penghematan <i>HP-steam</i> terhadap <i>base case</i>		10,6 (0,42%)	17,1 (0,68%)

Laju alir/distribusi uap dipantau secara cermat dan beberapa pemborosan dapat diperbaiki dengan hanya perubahan operasional tanpa biaya. Misalnya adanya aliran induksi (arah kebalikan dengan ekstraksi) pada *extraction turbine* yang diikuti dengan aliran uap *by-pass* pada *let down station*. Hal ini menunjukkan fenomena yang kontradiksi, di mana uap *by-pass* merupakan aliran uap dari tekanan tinggi ke tekanan rendah tanpa menghasilkan kerja, sedangkan aliran induksi masuk *extraction turbine* mencerminkan kelebihan uap tekanan rendah. Hasil simulasi neraca uap menunjukkan bahwa upaya pengurangan uap *by-pass* dan induksi dapat memberikan penghematan konsumsi total uap (Tabel 9), Penghematan uap pada kasus ini dan ditambah dengan penghematan uap pada kasus lainnya dapat meningkatkan *Plant Thermal Efficiency* yang sangat berarti

## PENUTUP

Uraian singkat tentang sistem uap dan beberapa contoh di industri telah dipaparkan dalam makalah ini dengan maksud untuk memperlihatkan peranan neraca uap sebagai peranti dalam pengelolaan energi.

Perhitungan neraca uap tidak lain adalah neraca massa dan energi yang relatif sederhana. Diharapkan paparan singkat dalam bentuk perhitungan kasus sederhana dalam makalah ini dapat menggugah oleh para insinyur mengembangkan lebih lanjut cukup dengan menggunakan *spreadsheet* (misalnya *Excel*), tanpa terkendala mahal-nya perangkat lunak simulasi proses.

Penulis berharap untuk memperoleh kesempatan studi dan pengembangan neraca uap di beberapa pabrik pulp dan kertas di Indonesia. Disamping itu, penulis berharap untuk memperoleh masukan data operasi pabrik untuk mengembangkan permasalahan neraca uap maupun konservasi energi pada umumnya

## DAFTAR PUSTAKA

- , A State Of The Art Technology for Bagasse Pulping, Sound Environment Practices and Excellent Product *Quality*, *Liflet* dari *Century Pulp and Paper Ltd*, (Desember 2008)

- Francis, D,W; M,T, Tower and T,C, Browne, 2006. Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry - An Energy Benchmarking Prespective, *Report Cat, No, M144-121/2006*, ISBN 0-662-69589-5
- JD, Kumana, 2001. *Use Spreadsheet-Based CHP Models to Identify and Evaluate Energy Cost Reduction Opportunity in Industrial Plants*, 23<sup>rd</sup> IETC, Houston, May
- Kilponen, L., P,Ahtila, J,Parpala and M,Pilko,2000, Improvement of Pulp Mill Energy Efficiency in An Integrated Pulp and Paper Mill – *A Case Study, Research Report, HUT/EVO, UDK 620,93 : 676,012,3*, Helsinki University.
- Sari Farah Dina dan Herri Susanto, 2006, Audit Energy di Mesin Kertas, *Berita Selulosa*, Volume 41, No, 2,
- Tim ITB, 2002.Studi Peningkatan ‘Plant Thermal Efficiency’ di Kilang LNG, *Laporan Proyek Kerja Sama, LAPI-ITB dengan PT Badak Co, NGL; No, C-01148*,
-