

# STUDI PENGHEMATAN ENERGI PADA UNIT KETEL UAP DI PABRIK GULA

O. A. Rosyid, Pudjo W. H, Diding F

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi; Balai Besar Teknologi Energi (B2TE-BPPT)  
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314, Indonesia  
Telp. (021) 7560550, Fax. (021) 7560904;  
Email: rosyid\_id@yahoo.com

## Abstract

*This paper presents an energy saving study result conducted in a sugar factory located in the East Java of Indonesia. Formerly, the sugar factory was designed to fulfil their energy demand by using an abundance free energy sources, called "bagasse". However, a fossil fuel consumption (i.e. residue) increased sharply to supply boilers due to the baggase availability was not sufficient. It impacted to the increasing of operational costs. Therefore, an energy saving study for the factory had been an interesting subject. The study proposed to assess boilers performance in the factory to reduce residue consumption. A detail energy audit method was conducted to identify the actual energy consumption, energy losses, and energy saving potential. The study results showed that energy saving potential for the boilers was about 11%. The main energy saving measures was to increase boilers efficiency from 64% to 75%. The study report also included with repairing recommendation for the boilers as well as its techno-economic analysis.*

**Kata kunci:** penghematan energi, ketel uap, pabrik gula, ampas tebu, residu, audit energi.

## 1. PENDAHULUAN

Konsumsi gula nasional semakin meningkat dari tahun ke tahun. Sementara itu kapasitas produksi pabrik-pabrik gula nasional yang semakin menurun. Untuk tahun 2007 diperkirakan kebutuhan konsumsi gula nasional mencapai angka 3,75 juta ton. Pabrik gula di Indonesia kini jumlahnya tinggal 60-an dan mayoritas berada di Pulau Jawa, hanya mampu memproduksi 2,8 juta ton per musim giling. Untuk mencukupi kebutuhan gula nasional pemerintah mengimpor. Untuk periode Desember 2006-Januari 2007 total volume impor 460 ribu ton [NN, 2003].

Berbagai upaya telah dilakukan pemerintah untuk meningkatkan produktifitas gula dalam negeri. Namun kenyataannya produksi gula nasional belum mampu mencukupi kebutuhan dalam negeri sehingga gula impor masih terus diperlukan. Secara umum, kondisi pergulaan nasional memiliki tiga persoalan utama. Pertama, rendahnya harga beli gula bagi produksi petani karena rendahnya harga gula di pasaran dunia. Kedua, rendahnya produktifitas pabrik gula dan banyak yang tidak efisien. Ketiga, perkembangan industri gula nasional terus merosot. Persoalan yang kedua disebabkan karena kondisi PG di Indonesia umumnya sudah sangat tua. Dari 54 unit

PG di Indonesia, 48 unit diantaranya terdapat di pulau Jawa memiliki peralatan pabrik masih sisa peninggalan Belanda. Beberapa PG memiliki hanya sekitar 25 persen peralatan yang tergolong baru. Karena itu investasi berupa peningkatan teknologi (*technology improvement*) pabrik gula harus segera dilakukan, diantaranya: (1) audit teknologi (*technology audited*) di semua pabrik gula, termasuk inventarisasi sumber inefisiensi pabrik; (2) melakukan renovasi dan perbaikan pabrik agar lebih efisien (mengurangi jam berhenti giling), meningkatkan efisiensi pabrik, dan optimalisasi kapasitas giling, (3) Membangun pabrik baru sebagai pengganti pabrik-pabrik yang sudah tidak layak produk [Baikow, 1982].

Pabrik gula merupakan salah satu industri padat energi yang memproduksi gula putih dari tebu (*sugar canes*) sebagai bahan mentah. Pada awalnya pabrik gula ini dirancang agar dapat memenuhi kebutuhan energinya sendiri dengan memakai sumber energi yang gratis dan melimpah, yakni ampas tebu (*bagasse*). Ampas tebu tersebut digunakan sebagai bahan bakar ketel uap (*boiler*). Namun berdasarkan hasil survei pada beberapa PG di Jawa Timur menunjukkan bahwa persediaan ampas tebu ini tidak lagi mencukupi untuk memenuhi kebutuhan sumber energinya. Karena itu diperlukan bahan-bahan

bakar lain, seperti: kayu, residu, daun tebu kering (*dhadhuk*), dan sabut kelapa. Dalam operasi normal residu hanya digunakan pada waktu mulai penyalaan ketel. Namun dalam beberapa tahun giling belakangan ini pemakaian residu menjadi sangat tinggi, sehingga meningkatkan biaya operasional pabrik.

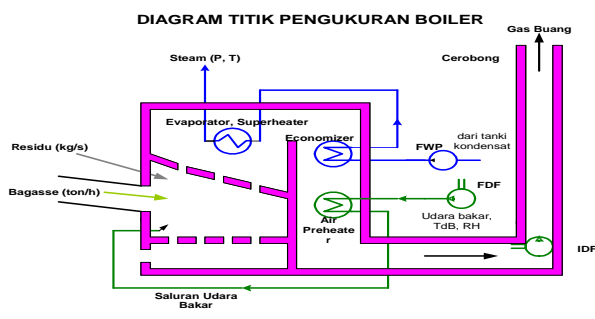
Dalam rangka menurunkan biaya operasional pabrik di pabrik gula, maka telah dilakukan audit energi di salah satu pabrik gula yang berlokasi di Jawa Timur pada bulan Nopember 2006. Audit energi ini difokuskan pada upaya peningkatan efisiensi pemakaian energi di PG, khususnya pengurangan residu sebagai bahan bakar ketel,

Audit energi merupakan suatu kegiatan yang bertujuan untuk mendapatkan potret penggunaan energi, mengidentifikasi peluang penghematan energi, dan memberikan rekomendasi perbaikan guna meningkatkan efisiensi peralatan konversi energi yang pada akhirnya dapat menurunkan biaya produksi. Melalui kegiatan audit energi ini telah dilakukan kajian penurunan biaya produksi melalui penghematan energi. Dari sisi energi, penghematan biaya energi dapat dicapai dengan melakukan perbaikan, modifikasi ringan sampai dengan penambahan peralatan.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Ketel Uap

Ketel uap atau *boiler* merupakan jantung dari pabrik gula. Fungsi dari ketel ini adalah untuk menyediakan uap yang digunakan untuk proses-proses dalam pembuatan gula, seperti: gilingan, pemanasan nira, penguapan nira, pemasakan nira kental, dan pemutaran. Ketel terdiri pipa-pipa dimana lingkungannya terus menerus kontak dengan air dan uap. Gambar 1 menunjukkan diagram ketel uap yang digunakan di suatu pabrik gula dalam studi.



Gb.1. Diagram ketel uap di suatu PG.

Kebutuhan uap di PG ini disuplai oleh 3 unit ketel tekanan menengah dan 2 unit ketel tekanan rendah. Uap yang dihasilkan ketel tersebut yang merupakan uap panas lanjut (*superheated steam*) dengan tekanan menengah sekitar  $17 \text{ kg/cm}^2$  dan temperatur 300 s.d. 330 °C. Untuk mendapatkan tekanan rendah digunakan *desuperheater*. Kapasitas uap maksimum yang dihasilkan semua ketel 50 ton/jam – digunakan untuk menggerakkan turbin alternator yang menghasilkan listrik. Uap tersebut juga digunakan untuk menggerakkan mesin uap setelah tekanannya diturunkan.

Ketel ini dilengkapi pula dengan tungku dengan tipe *dumping grate stoker* yang bisa menggunakan bahan bakar ampas tebu (*baggase*), potongan kayu, *daduk* (potongan daun tebu kering, Jawa), sekam padi, serbuk gergaji, dan minyak residu. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi ketel uap yang digunakan di suatu PG dalam studi ini.

Tabel 1. Spesifikasi Ketel Uap di suatu PG

Parameter	Ketel Tekanan Menengah		Ketel Tekanan Rendah	
	TM1	TM2	TR1	TR 2-3
Merk				
Bahan bakar	Ampas tebu & atau Residu	Ampas tebu & atau Residu	Ampas tebu & atau Residu	Ampas tebu & atau Residu
Jenis	Pipa air	Pipa air	Pipa air	Pipa apu
Kapasitas, ton/ jam	20	16	12	2 x 3,5
Tekanan, kg/cm <sup>2</sup>	19	14	12	8
Temperatur, °C	350	350	325	150
Luas pemanas, m <sup>2</sup>	1269	290	505	305
Superheater		120	109,5	

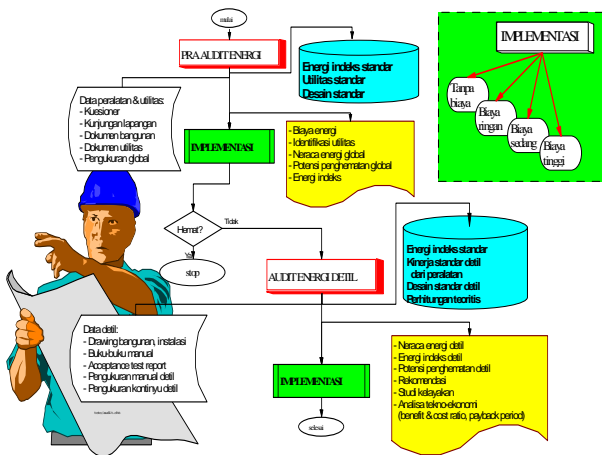
### 2.2. Metode Audit Energi

Audit energi merupakan suatu upaya untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas penggunaan energi serta rasional dalam pemakaian dan pengoperasiannya. Dengan penggunaan energi yang efisien, efektif, dan rasional tersebut tentunya tanpa mengurangi: kualitas dan jumlah produk di industri, dan produktivitas dan kenyamanan kerja karyawan. Karenanya tujuan dari audit energi di pabrik gula ini dapat dirumuskan sebagai berikut [Panggabean, 1993]:

- Memperoleh gambaran secara lengkap dan menyeluruh tentang neraca energi (khususnya uap)
- Mengidentifikasi sumber-sumber pemborosan energi

- Menentukan besarnya potensi penghematan energi
- Mendapatkan potensi penghematan pemakaian energi secara keseluruhan, serta menentukan langkah-langkah penghematan energi tanpa mengurangi produktifitas.
- Mengetahui kinerja peralatan konversi energi
- Mengetahui kebutuhan dan pemakaian energi dari setiap jenis beban (neraca energi)
- Memberikan rekomendasi pelaksanaan penghematan energi

Dalam pelaksanaan studi penghematan energi ini beberapa kegiatan yang telah dilakukan, antara lain: pra-audit (survei), pengumpulan data dan pengukuran di lapangan, analisa dan evaluasi data, dan penyusunan laporan. Gambar 2 menunjukkan beberapa tahapan dalam melakukan audit energi di industri. Metode audit energi dimulai dari pra-audit energi, yaitu dengan mengumpulkan data sekunder yang diperoleh dari kuesioner, dokumen-dokumen (utilitas, bangunan, proses, konstruksi), gambar-gambar, laporan-laporan, pengamatan di lapangan, serta pengukuran yang sifatnya global.



Gb.2 Metode Audit Energi

Data tersebut kemudian dihitung dan dianalisa kemudian dibandingkan dengan standar-standar, desain awal, perhitungan teoritis. Hasil perhitungan tersebut dituangkan dalam laporan yang analisisnya mencakup: biaya energi, identifikasi utilitas, neraca energi secara global, potensi penghematan energi, dan energi indeks. Implementasi yang sifatnya global dan tanpa biaya atau biaya rendah sudah dapat dilakukan, misalnya melakukan *setting* ulang, dll.

Tahapan berikutnya adalah audit energi detail yang dilakukan dengan melihat prioritasnya. Data sekunder masih diperlukan yaitu data yang lebih rinci, selain itu data primernya adalah dari hasil pengukuran-pengukuran baik sesaat atau

sinambung, satu demi satu atau simultan, manual atau dengan akuisi data. Data primer dan sekunder tersebut kemudian dihitung, dianalisa, dan dievaluasi, dengan acuan perhitungan teoritis dan standar-standar detail (energi indeks, desain, kinerja peralatan). Laporan akhir yang sifatnya *confidential* dan analisa detailnya mencakup: neraca energi, energi indeks, potensi penghematan. Bila diperlukan sampai ke studi kelayakan untuk implementasinya, termasuk analisa tekno-ekonomi (*payback period, benefit and cost ratio*).

### 2.3. Pengujian Kinerja Ketel

Perhitungan kinerja (efisiensi) ketel uap dalam studi ini mengacu pada standar Inggris, yaitu BS 845:1987 dan standar Amerika ASME PTC-4-1 (*American Standard for Mechanical Engineering Power Test Code Steam Generating Units*). Persamaan 1 menunjukkan rumus perhitungan efisiensi atau kinerja ketel yang mengacu pada Nilai Kalor Atas, *Gross Heating Value (GHV)* atau *Higher Heating Value (HHV)*. Studi ini menggunakan GHV sebagai basis perhitungan.

$$Efisiensi_{ketel} = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times GHV} \quad [1]$$

Dimana:

$Q$  = Jumlah laju alir uap yang dihasilkan, [ton /jam].

$q$  = Jumlah laju alir bahan bakar yang digunakan, [ton/jam].

$GHV$  = Nilai panas atas bahan bakar, [kcal/kg]

$h_g$  = Enthalpi uap pada tekanan kerja, [kcal/kg uap].

$h_f$  = Enthalpi air umpan ketel, [kcal/kg uap].

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Data Produksi, Konsumsi Energi, dan indeks energi

Pabrik gula (PG) dalam studi ini memiliki kapasitas produksi 1800 TCD (*tone cane per day*) dengan realisasi produksi 1500 TCD, dan memproduksi gula kristal putih (*superior hoof suiker, SHS*) sebanyak 3.188,2 ton per bulan, dengan jumlah tebu tergiling mencapai 47.307,9 ton/bulan. Tabel 2 menunjukkan gambaran ringkas data produksi gula dan konsumsi energi periode 15 harian yang diperoleh dari suatu PG dalam studi. Dari tabel tersebut terlihat bahwa hampir semua kebutuhan energi di PG diperoleh dari ampas tebu yang dikonversi menjadi uap (*steam*) dalam suatu ketel (boiler). Uap yang dihasilkan selanjutnya

digunakan baik untuk memproduksi energi listrik maupun digunakan dalam proses-proses pembuatan gula. Jenis energi yang digunakan di PG adalah energi sekunder yang berupa panas (thermal) dan listrik. Energi panas dalam bentuk uap (*steam*) digunakan untuk menggerakkan mesin-mesin uap, turbin generator, dan proses pembuatan gula. Sedangkan energi listrik digunakan untuk menggerakkan motor-motor listrik, sistem pencahayaan, peralatan instrumentasi dan kontrol, dan peralatan kantor lainnya. Sistem yang berkaitan dengan proses konversi di pabrik gula adalah: boiler (ketel uap), turbin, dan distribusi uap.

Tabel 2. Data Produksi dan Konsumsi Energi

Item	Uraian	unit	Periode 15 hari	S/d Periode Ini
Bahan Baku	Tebu Digiling	ton	22.305	230.231
	Air untuk Ketel (Boiler)	ton	16.183	166.253
Hasil (Produk)	Gula SHS	ton	1.646	15.674
Hasil Samping	Tetes	ton	1.005	9.425
Energi	-Primer			
	-Ampas Tebu	ton	6.781	68.538
	-Dhadhuk	ton	77	77
	-Residu	ton	15,6	1.116
	-Solar	ton	27	230
	-Sekunder			
	-Kayu	ton	0	306
-Listrik	kWh	218.403	2.527.435	
	-Uap kering dihasilkan	ton	14.498	149.650
Operasi Pabrik	Jml Hari	hari	15	159
	Jml Waktu Giling	hari	14	146
		jam	342	3.515
	Jml Berhenti Giling	jam	17	294

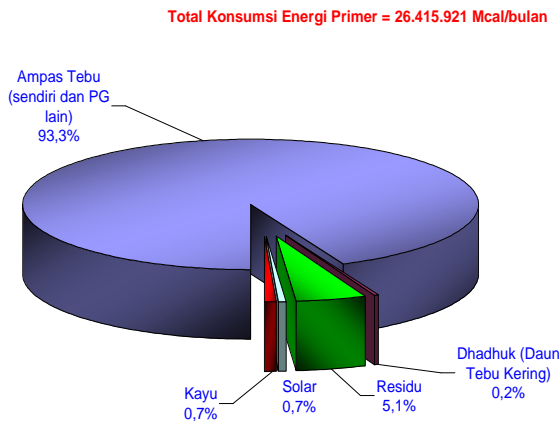
Tabel ini menunjukkan pula bahwa PG ini sejak awal musim giling 2006 hingga periode hari giling ke-146 menghasilkan gula SHS sebanyak 15.673,9 ton atau setara dengan 3.220,7 ton/bulan. Jumlah tebu tergiling hingga periode ini adalah 230.231,70 ton (47.307,9 ton/bulan). Sementara itu, uap kering yang dihasilkan dari ketel sampai dengan periode ini adalah 149.650,6 ton (30.650,12 ton/bulan). Sumber energi yang digunakan sebagai bahan bakar ketel, antara lain berasal dari ampas tebu/baggase (114.083,3 ton/bln), daun tebu kering/dhadhuk (15,8 ton/bln), residu (229,4 ton/bln), solar (47,4 ton/bln), dan kayu (62,96 ton/bln). Dengan memperhitungkan harga energi (residu, daduk, solar, dan kayu),

maka total biaya energi PG ini adalah Rp. 1.323.291.007,00/bulan. Ampas tebu tidak termasuk bahan bakar yang harus dibeli, karena ampas tebu merupakan "limbah" dari penggilingan tebu yang merupakan "bahan baku" gula.

Untuk memenuhi kebutuhan energinya PG ini mengoperasikan 5 unit ketel, yakni 3 unit ketel tekanan menengah (TM) dan 2 unit ketel tekanan rendah (TR). Dengan total kapasitas ketel yang beroperasi adalah 55 ton uap per jam. Uap yang dihasilkan dari ketel TM berupa uap lewat jenuh (*superheated steam*), dengan tekanan 15 kg/cm<sup>2</sup>, dan temperatur 325°C. Sedangkan ketel TR menghasilkan uap jenuh (*saturated steam*) dengan tekanan 6 kg/cm<sup>2</sup> dan temperatur 150°C. Uap lewat jenuh (disebut juga sebagai uap baru) digunakan untuk menggerakkan turbin alternator, turbin gilingan, dan lain-lain. Uap keluaran dari turbin dan mesin uap yang disebut sebagai uap bekas ditambah dengan uap baru dari ketel TR digunakan untuk mesin uap gilingan, pompa-pompa uap, dan "suplesi" di pabrik tengah atau unit proses dalam proses produksi gula putih, misalnya pemanas pendahuluan (PP), badan pemansa (*evaporator*), dan pan masakan.

Bahan bakar ketel yang digunakan meliputi ampas tebu (*bagasse*), potongan daun tebu kering (*dhadhuk*), potongan kayu, minyak residu, dan sabut kelapa. Pada kondisi "normal" semua ketel beroperasi dengan menggunakan bahan bakar ampas tebu. Namun pada kenyataannya jumlah ampas tebu tidak mencukupi, sehingga operasi ketel di PG senantiasa berhadapan dengan kondisi "tidak normal". Untuk itu diperlukan bahan bakar tambahan, yakni *dhadhuk*, potongan kayu, serabut kelapa atau bahkan minyak residu untuk memenuhi kebutuhan uap secara cepat. Berdasarkan informasi di pengelola pabrik, belakangan ini penggunaan residu ini menjadi sangat tinggi. Sehingga berbagai upaya untuk meminimalisasi penggunaan residu ini sedang menjadi isu menarik yang harus segera ditindaklanjuti.

Gambar 3 menunjukkan bahwa konsumsi energi dari bahan bakar pada ketel sebesar 26.415 Giga kalori/bulan, yang berasal dari ampas tebu/baggase (93,3%), residu (5,08%), kayu (0,74%), daun tebu kering/dhadhuk (0,18%), dan solar (0,7%). Dengan memperhitungkan harga energi (residu, *dhadhuk*, solar, dan kayu), maka total biaya energi PG ini adalah Rp. 1.323.291.000/bulan. Ampas tebu tidak termasuk bahan bakar yang harus dibeli, karena ampas tebu merupakan "limbah" dari penggilingan tebu yang merupakan "bahan baku" gula.



Gb. 3 Konsumsi bahan bakar ketel uap

Indeks energi atau konsumsi energi spesifik (KES) merupakan suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan besarnya pemakaian energi (uap) yang diperlukan untuk memproduksi gula (tebu tergiling). Nilai KES ini dapat digunakan sebagai pembandingan atau acuan dalam menentukan standar pabrik gula yang hemat energi. KES dinyatakan dalam satuan Ton uap/ton tebu, dan dihitung dengan rumus berikut:

$$KES = \frac{\text{Konsumsi Uap (ton uap / hari)}}{\text{Tebu Tergiling (ton tebu / hari)}} \quad [2]$$

Dari data produksi dan konsumsi energi di atas, maka dapat dihitung bahwa besarnya konsumsi energi (uap) spesifik (ES) untuk memproduksi gula di PG tersebut sebesar 0,65 ton uap/ton tebu. Artinya untuk menggiling 1 ton tebu diperlukan uap sebanyak 0,65 ton. Sebagai perbandingan, suatu PG yang baru dibangun memiliki energi spesifik 0,49 ton uap/ton tebu. Hal ini menunjukkan bahwa PG ini sudah tidak efisien lagi. Hal ini selain disebabkan karena umur ketel dan peralatan lainnya sudah tua, juga perawatan yang kurang optimal.

### 3.2. Penghematan Energi

Dari spesifikasi ketel uap (Tabel 1) terlihat bahwa kapasitas terpasang (desain) PG ini adalah 55 ton uap per jam. Namun berdasarkan hasil pengukuran di lapangan menunjukkan bahwa jumlah uap yang diproduksi dari semua ketel hanya mencapai 50,5 ton per jam. Dengan kata lain ketel-ketel tersebut bekerja pada beban rata-rata 92 persen.

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis data pada ketel uap yang digunakan di PG

tersebut dapat dihitung besarnya potensi penghematan energi di PG tersebut. Tabel 3 memperlihatkan penghematan energi total yang diperoleh dari penggunaan residu dari semua ketel yang beroperasi. Total penghematan energi dari kelima ketel tersebut adalah 26.5 GJ/jam (6.3 Gcal), dengan potensi penghematan energi rata-rata 12.5%. Total penggunaan residu sampai periode 2006 sebesar 195,01 ton ( 17% dari total residu 1.116,4 ton ) atau setara 721,5 juta rupiah (harga residu Rp 3700). Jika semua ketel beroperasi normal (tidak memakai residu), maka pemakaian residu hanya 2,38 ton/periode 15 hari, artinya ketel memungkinkan untuk mengurangi pemakaian residu. Dalam kondisi ini residu hanya digunakan pada waktu mulai penyalaan ketel dan korekan abu terbang.

Tabel 3. Potensi Penghematan Energi pada Ketel

	Potensi Penghematan	TOTAL
1	Penghematan Energi [kJ/ jam]	26.461.252
2	Penghematan Energi [kCal/ jam]	6.321.369
3	Jumlah ampas tebu [ton]/ periode ini (15 hari)	1.266
4	Jumlah ampas tebu [ton] / s/d periode ini.	14.647
5	Jumlah residu [ton] / periode ini (15 hari)	2,38
6	Jumlah residu [ton]/ s/d periode ini.	195,01
7	Efisiensi langsung, [%]	64,17%
8	Efisiensi ketel menjadi [%]	75,21%

Dengan demikian, besarnya potensi penghematan energi yang diperoleh dari pengurangan konsumsi residu pada semua ketel di PG ini mencapai 40.1 ton residu/bulan (17,5%) atau setara dengan penghematan sebesar Rp.190.835.984/bulan. Konsumsi residu dapat diminimalkan dengan meningkatkan efisiensi ketel dari 64% menjadi 75%, dan mengurangi kehilangan panas pada distribusi uap.

## 4. KESIMPULAN

- ❖ Peningkatan suplesi bahan bakar residu pada ketel merupakan salah satu sumber pemborosan energi di pabrik gula.
- ❖ Besarnya potensi penghematan energi pada pabrik gula (PG) melalui reduksi penggunaan

bahan bakar residu dan peningkatan efisiensi ketel uap adalah 10-15%.

- ❖ Peningkatan efisiensi ketel dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:
  - a) Menaikkan temperatur air umpan ketel dengan merawat pemanas air umpan (*economiser*).
  - b) Menaikkan temperatur udara bakar dengan merawat pemanas udara bakar (*air heater*).
  - c) Mengurangi pasokan udara pembakaran sehingga udara lebih menjadi 30%, dan mengoptimalkan udara primer dengan membuat fluidisasi dan turbulensi pembakaran diruang bakar.
  - d) Memperbaiki kualitas bahan bakar residu dan ampas tebu, yakni mengurangi kadar air dalam bahan bakar.
  - e) Memperbaiki isolasi ketel/dinding batu tahan api, dan menghindari kebocoran pada dinding batu tahan api. Kebocoran ini selain menyebabkan keluarnya abu halus (*fly ash*), juga akan menyebabkan kehilangan panas yang relatif besar, serta membahayakan struktur boiler. Selain itu, kerja *ID fan* semakin berat dan mengakibatkan lebih banyak udara sekunder, karena adanya infiltrasi udara luar.
  - f) Memasang sistem pengaturan pembakaran (oksigen atau karbondioksida analiser), dll

## DAFTAR PUSTAKA

- Thumann A., 1981, *Energy Management: Sourcebook of Current Practices*, The Fairmont Press, Georgia.
- Baikow, V.E., 1982, *Manufacture and Refining of Raw Cane Sugar*, 2<sup>nd</sup> Edition, Elsevier Scientific Publishing Company, New York
- NN, 1980, *Data Instalasi Peralatan PG Pandjie, Situbondo, Jawa Timur*.
- Hugot E., 1972, *Handbook of Cane Sugar Engineering*, Elsevier Publishing Company, New York
- Kern D.Q., 1983, *Process Heat Transfer*. McGraw Hill Company, New York
- NN, 2006, *Laporan Pabrik 15-Harian PG Pandjie, Situbondo, Jawa Timur*.
- Kenneth O.G, 1989, *Industrial Boiler Management*, Industrial Press Inc., New York
- Perry, Robert, dan D. Green, 1984, *Perry's Chemical Engineers Handbook*, Edisi VI, McGraw-Hill Company, New York
- NN, 2003, *Profil Pabrik Gula di Indonesia*, PG Pandjie, Situbondo, Jawa Timur
- Panggabean L.M., 1993, *Prosedur Penghematan Energi di Industri, LSDE-BPPT, Serpong*.