

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peneliti Terdahulu

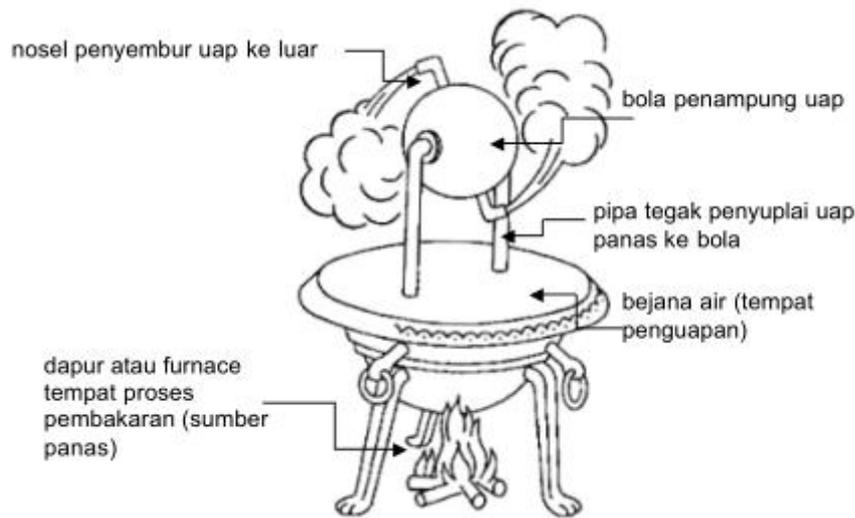
Elfita Yohana (2009) tugas akhir Teknik Mesin Universitas Diponegoro: menganalisa bahan bakar pada boiler EBARA HKL 1800 KA di PT. INDOMOBIL SUZUKI INTERNASIONAL yang mana menggunakan minyak solar (HSD), diganti dengan bahan bakar natural gas (LNG) sebagai alternatif penghematan biaya.

Dalam analisis dan pembahasan dari penelitian yang telah dia lakukan yang berjudul “Perhitungan Efisiensi dan Konversi dari Bahan Bakar Solar ke Gas pada Boiler Ebara HKL 1800 KA” didapatkan hasil yakni untuk menghasilkan output yang sama, konsumsi bahan bakar untuk solar sebanyak 260,79 kg/jam = 0,265 m³/jam dan untuk LNG -. Dan biaya yang dikeluarkan untuk bahan bakar dari solar dan LNG masing-masing sejumlah Rp 1.319.797,00 / jam dan Rp 27.300,00 / jam. Terdapat penghematan signifikan untuk pembelian bahan bakar jika dikonversi ke LNG sebesar Rp 1.292.497,00.

Cahyo Adi Basuki (2008) tugas akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro : dalam penelitiannya yang berjudul “ Analisis Konsumsi Bahan Bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan Metode Least Square” didapatkan kesimpulan dalam pembangkitan, biaya operasional terbesar adalah biaya konsumsi bahan bakar. Harga bahan bakar minyak yang mahal mengakibatkan biaya produksi energi listrik juga mahal. Konsumsi spesifik bahan bakar sering digunakan untuk mendapatkan gambaran mengenai efisiensi unit pembangkit. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui konsumsi spesifik bahan bakar.

Salah satu usaha yang dilakukan dengan pergantian bahan bakar utama pembangkit. Metode perhitungan yang digunakan yakni dengan mencari perhitungan konsumsi spesifik bahan bakar (SFC), penurunan tara kalor atau *heatrate*(HR), dan kenaikan efisiensi termal.

Sejarah Turbin Uap



Gambar : 2.1 Mesin uap Hero

Dalam Sejarah Mesin Uap, pertama kali dibuat oleh Hero dari Alexandria, yaitu sebuah prototipe turbin uap primitif yang bekerja menggunakan prinsip reaksi. Dilanjutkan Thomas Savery (1650-1715) adalah orang Inggris yang membuat mesin uap bolak-balik pertama, mesin ini tidak populer karena mesin sering meledak dan sangat boros uap. Untuk memperbaiki kinerja dari mesin Savery, Denis Papin (1647-1712) membuat katup-katup pengaman dan mengemukakan gagasan untuk memisahkan uap air dan air dengan menggunakan torak. Perkembangan mesin uap selanjutnya adalah mesin uap yang dikembangkan oleh James Watt. Selama kurang lebih 20 tahun ia mengembangkan dan memperbaiki kinerja dari mesin Newcomen. Gagasan James Watt yang paling penting adalah mengkonversi gerak bolak-balik menjadi gerakan putar (1781). Mesin tersebut kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Corliss (1817-1888), yaitu dengan mengembangkan katup masuk yang menutup cepat, untuk mencegah penekikan katup pada waktu menutup. Mesin Corliss menghemat penggunaan bahan bakar batu bara separo dari batu bara yang digunakan mesin uap James watt. Kemudian Stumpf (1863) mengembangkan mesin *uniflow* yang dirancang untuk mengurangi susut kondensasi. Mesin uap yang dibuat paling besar pada abad

18 adalah menghasilkan daya 5 MW Gustav de Laval (1845-1913) dari Swedia dan Charles Parson (1854-1930) dari Inggris adalah dua penemu awal dari dasar turbin uap modern. De laval pada mulanya mengembangkan turbin reaksi kecil berkecepatan tinggi, namun menganggapnya tidak praktis dan kemudian mengembangkan turbin impuls satu tahap yang andal, dan namanya digunakan untuk nama turbin jenis impuls.

Sajarah Generator

Pada tahun 1831, Michael Faraday sebelas tahun melakukan percobaan, dan dapat membuktikan prinsip pembangkitan listrik dengan induksi magnet. Dengan peragaan dijelaskan, bahwa bila kumparan atau penghantar memotong medan magnet yang berubah-ubah akan terinduksi suatu tegangan listrik . Kini rancangan semua mesin listrik adalah didasarkan pada bukti nyata tersebut. Kemudahan membangkitkan listrik secara induksi memunculkan perkembangan pembuatan dynamo dan pada tahun 1882 tersedia pasok listrik untuk publik di London. Pasokan ini diperoleh dari generator DC yang digerakkan dengan mesin bolak balik (*reciprocating*) yang dicatu dengan uap dari *boiler* pembakaran manual. Permintaan tenaga listrik tumbuh berkembang dan pembangkit kecil muncul di seluruh negeri. Hal ini memberikan keinginan untuk bergabung agar menjadi ekonomis.

Pada tahun 1878 Gramme membuat generator pertama, tetapi tidak menghasilkan listrik sampai tahun 1888 kemudian Nikola Tesla memperkenalkan sistem banyak *fasa (poly phase)* medan berputar. Pada tahun 1882 Sir Charles Parson mengembangkan Turbin generator AC pertama dan pada 1901 dengan membuat generator 3 fasa 1500 kW untuk pusat pembangkit Neptune di Tyne Inggris.

Inilah mesin awal dengan kumparan yang berputar didalam medan magnet, tetapi ternyata bahwa semakin besar output yang diinginkan akan lebih mudah mengalirkan arus listrik pada medan magnet berputar didalam kumparan yang diam atau stator. Rancangan mesin secara bertahap berkembang sehingga pada 1922, generator 20 MW yang berputar pada 3000 rpm beroperasi. Sementara itu karena tuntutan permintaan kebutuhan

rancangan unit pembangkit juga berkembang dan kapasitasnya pun meningkat sehingga dibentuk organisasi untuk mengoperasikan sistem transmisi interkoneksi yang disebut pusat penyaluran dan pengatur beban.

PLTU adalah jenis pembangkit listrik tenaga termal yang banyak digunakan, karena efisiensinya baik dan bahan bakarnya mudah didapat sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. PLTU merupakan mesin konversi energi yang merubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik.

Konversi Energi

Untuk menggerakkan suatu mesin dibutuhkan energi. Kata energi hampir setiap hari terdengar diantara kita, tetapi kadangkala tidak mengerti apa arti kata tersebut. Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja. Seseorang dikatakan berenergi jika ia mampu melakukan gerak fisik tertentu. Seperti halnya manusia, memperoleh energi dari makanan yang kita makan atau suatu aksi kimia. Energi yang diperoleh dari makanan yang kita makan sesungguhnya berasal dari matahari.

Pada kenyataannya semua energi yang kita gunakan di muka bumi ini berasal dari matahari. Batubara yang kita bakar, bensin yang kita gunakan untuk kendaraan, angin yang berhembus melintasi negara, hujan yang turun membasahi bumi semua melepaskan energi.

Energi dapat disimpan dalam berbagai bentuk, tetapi untuk dapat dimanfaatkan oleh kita energi harus diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Ketika membuat segelas teh, maka kita merebus air dengan cara menyalakan kompor. Proses yang terjadi adalah merubah energi kimia bahan bakar menjadi energi panas untuk memanaskan (diberikan) pada air hingga mendidih. Apabila kemudian air panas dibiarkan mendingin, maka energi panas ini diserahkan ke udara sekitarnya.

Dari contoh diatas dapat disimpulkan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat diubah dari satu bentuk menjadi bentuk lain.

Pusat pembangkit listrik adalah salah satu contoh bagaimana proses konversi energi itu terjadi. Pada dasarnya semua pembangkit mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya.

Batubara atau minyak yang dibakar terjadi dari tumbuhan, tanaman atau organisme yang membusuk. Tanaman pada dasarnya tumbuh pada bumi dan menyimpan energi yang diperoleh dari matahari. Dengan berlalunya waktu dimana tanaman ini tertimbun tetapi tetap menyimpan energinya.

Ketika batubara dibakar energi panas dilepas dan diberikan ke air didalam boiler. Air berubah menjadi uap superheat yang bertekanan dan uap ini dialirkan ke turbin. Energi panas didalam uap dilepas ketika uap mengalir melalui turbin. Energi panas diubah menjadi energi mekanik ketika uap mengalir mendorong turbin sehingga poros berputar.

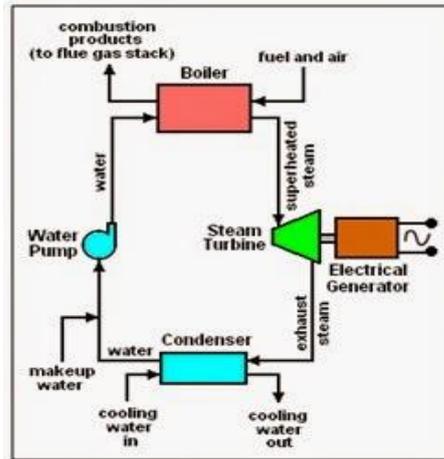
2.2 Proses Konversi Energi Pada PLTU

PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersikulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut :

1. Pertama air diisikan ke *boiler* hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam *boiler* air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
2. Kedua, uap hasil produksi *boiler* dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
3. Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator.
4. Keempat, uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi

sebagai air pengisi *boiler*.

5. Demikian siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang.



Gambar : 2.2 Siklus fluida kerja sederhana pada PLTU

2.3 Profil PT. PJB

PT Pembangkitan Jawa-Bali (PJB) adalah sebuah anak perusahaan PLN BUMN produsen listrik yang menyuplai kebutuhan listrik di Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Yogyakarta, Jawa Timur dan Bali. Saat ini PT PJB mengelola 6 Pembangkit Tenaga Listrik di Pulau Jawa, dengan kapasitas total 6.511 Mega Watt. PT PJB juga mengelola sejumlah unit bisnis, termasuk unit pengelolaan, teknologi informasi, dan pengembangan. Kantor pusat PT PJB berada di Surabaya. PT. PJB Adalah perusahaan pertama di asia pasifik yang memiliki sertifikasi ISO 55001.

Sejarah PJB bermula sejak tahun 1945, dimana didirikan Perusahaan Listrik dan Gas. Tahun 1965, perusahaan tersebut dibagi menjadi 2: Perusahaan Listrik Negara dan Perusahaan Gas Negara. Tahun 1972, status PLN menjadi Perusahaan umum (Perum). Tahun 1982, PLN dipecah lagi menjadi dua: Unit Divisi dan Unit Pembangkitan Tenaga Listrik dan Transmisi. Tahun 1994, status PLN menjadi Persero. Setahun kemudian, dilakukan restrukturisasi atas PT PLN (Persero) dengan pendirian subsider pembangkitan. Restrukturisasi ini dilakukan untuk memisahkan misi perusahaan atas sosial dan komersial.

Pada tanggal 3 Oktober 1995, PT PLN (Persero) membentuk 2 (dua) anak perusahaan untuk mengelola pembangkit listrik yang memasok energi listrik di Pulau Jawa dan Bali. Kedua anak perusahaan PLN tersebut adalah PT PLN Pembangkitan Jawa Bali I (PT PLN PJB I) yang berkantor pusat di Jakarta dan PT PLN Pembangkitan Jawa Bali II (PT PLN PJB II) yang berkantor pusat di Surabaya. Pada tahun 2000, PT PLN PJB II diubah nama menjadi PT Pembangkitan Jawa-Bali atau singkatnya PT PJB. Sedangkan PT PLN Pembangkitan Jawa Bali I (PT PLN PJB I) berubah nama menjadi PT Indonesia Power.

2.4 Profil PLTU 1 Jatim UBJOM Pacitan



Gambar : 2.3 Maket PLTU Pacitan 2x315 MW

PLTU 1 Jatim UBJOM Pacitan dibangun dalam proyek percepatan pembangkitan tenaga listrik berbahan bakar batubara berdasarkan pada Peraturan Presiden RI Nomor 71 tahun 2006 tanggal 05 Juli 2006 tentang penugasan kepada PT. PLN (Persero) untuk melakukan percepatan pembangunan pembangkit tenaga listrik yang menggunakan batubara. Peraturan Presiden tersebut menjadi dasar pembangunan 10 PLTU di Jawa dan 25 PLTU di Luar Jawa Bali atau yang dikenal dengan nama Proyek Percepatan PLTU 10.000 MW. Pembangunan proyek PLTU tersebut guna mengejar pasokan listrik yang akan mengalami defisit sampai beberapa tahun

mendatang, serta pengalihan penggunaan bahan bakar minyak (BBM) ke batubara yang berkalori rendah (4200 kcal/kg).

Dalam pelaksanaan pembangunan proyek PLTU 1 Jatim, Pacitan yang mempunyai kapasitas sebesar 2 x 315 MW, PT. PLN (Persero) ditunjuk sebagai pelaksana Jasa Manajemen Konstruksi (JMK) untuk melakukan supervisi selama periode konstruksi, sesuai surat penugasan 9 Direksi No.01041/121/DIRKIT/2007 bulan Juni 2007. Kontrak EPC PLTU 1 Jatim, Pacitan ditanda tangani pada tanggal 7 Agustus 2007 oleh PT. PLN (Persero) dan Konsorsium Dongfang Electric Company dari China dan Perusahaan Lokal PT. Dalley Energy. Nilai kontrak dari proyek ini sebesar US\$ 344.971.840,- dan Rp. 1.230.499.108,- belum termasuk *Value Added Tax*.

Struktur Organisasi

Manajemen merupakan suatu sistem yang mengatur jalannya suatu perusahaan. Manajemen akan merencanakan, mengatur, mengendalikan, dan mengarahkan perusahaan untuk mencapai tujuan yang diharapkan. Suatu perusahaan yang baik akan memiliki sistem manajemen yang baik dan tertata rapi agar mampu bertahan.

2.5 Lokasi PLTU UBJOM Pacitan

- Nama Perusahaan : PLTU 1 Jawa Timur — Pacitan
- Tahun Berdiri : Unit 1 pada tanggal 24 Juni 2013 Unit 2 pada tanggal 21 Agustus 2013
- Pemilik : PT. Pembangunan Jawa Bali (PJB)
- Luas Pabrik : ± 65 Ha
- Kantor Pusat : Jl. Pacitan - Trenggalek Km. 55 Desa Sukorejo, Kecamatan Sudimoro, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur, Indonesia
- Telepon : (0357) 442241
- Fax : (0357) 442241
- Daya Output : 2 x 315 MW
- Transmisi : JAMALI (Jawa Madura Bali)
- Bahan Bakar Utama : Batubara Kalori Rendah (4200 kcal/kg)

2.6 Mill/Pulverized

Mill adalah salah satu peralatan utama dari PLTU yang berfungsi sebagai penghalus material batubara sampai ukuran 200 mesh sehingga bisa digunakan untuk pembakaran di *furnace*. Di PLTU Pacitan, *mill* yang digunakan sebagai pendukung *tiny oil* adalah *mill E*, karena output dari *mill E* berada di *layer* paling bawah sehingga bisa untuk mengatur *pressure main steam*.



Gambar : 2.4 Mill/pulverized

2.7 Tiny Oil

Tiny oil adalah sebuah alat yang berfungsi sebagai alternatif pengganti *oil gun* yang digunakan saat penyalaan awal atau *startup* boiler di PLTU 1 Jatim Pacitan. Cara kerja alat ini hampir sama dengan *oil gun*, tetapi menggunakan flow yang sangat rendah dan dicampurkan dengan batubara yang disupply dari *mill E*.

Bagian Tiny Oil

1. *Supply Return HSD Tiny Oil*
2. Counter flow indikator
3. *Pressure gauge main supply HSD*

4. *Pressure gauge supply return HSD tiny oil*
5. *Pneumatik valve main supply tiny oil*
6. *Filter supply return HSD tiny oil*
7. *Percabangan pipa tiny oil dari line utama HSD*
8. *Manual valve supply udara pembakaran tiny oil*
9. *Tiny oil*
10. *Pneumatic valve suplly tiny oil*
11. *Pneumatic valve purging tiny oil*
12. *Manual valve supply tiny oil*
13. *Manual valve purging tiny oil*
14. *Pressure gauge tiny oil saat keadaan beroperasi*



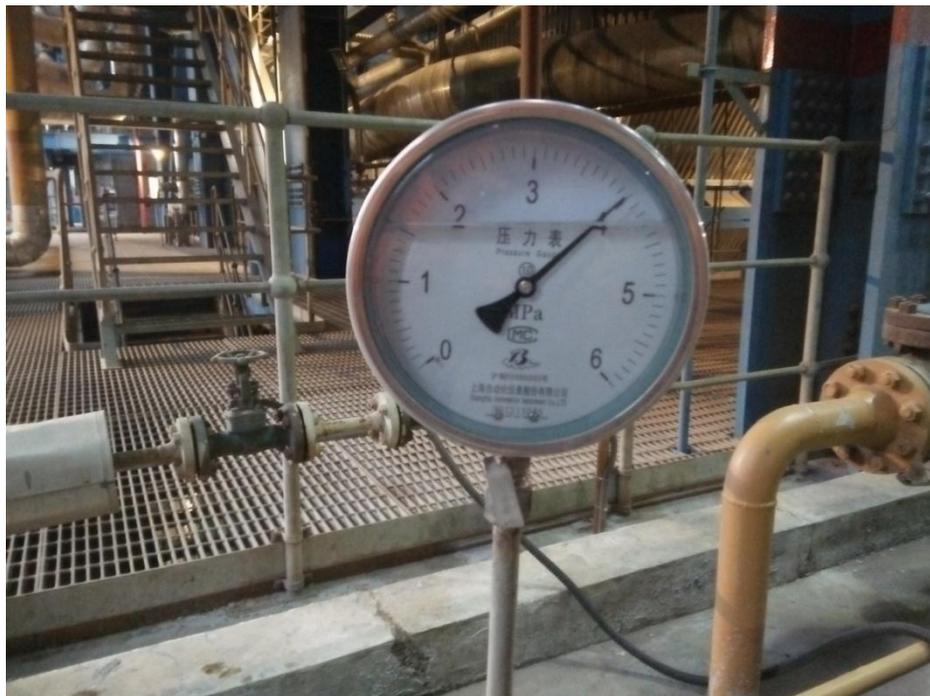
Gambar : 2.5 *Supply return HSD tiny oil*

Berfungsi sebagai blok valve utama untuk membuka menutup laju aliran *high speed diesel* (HSD) yang masuk ke unit.



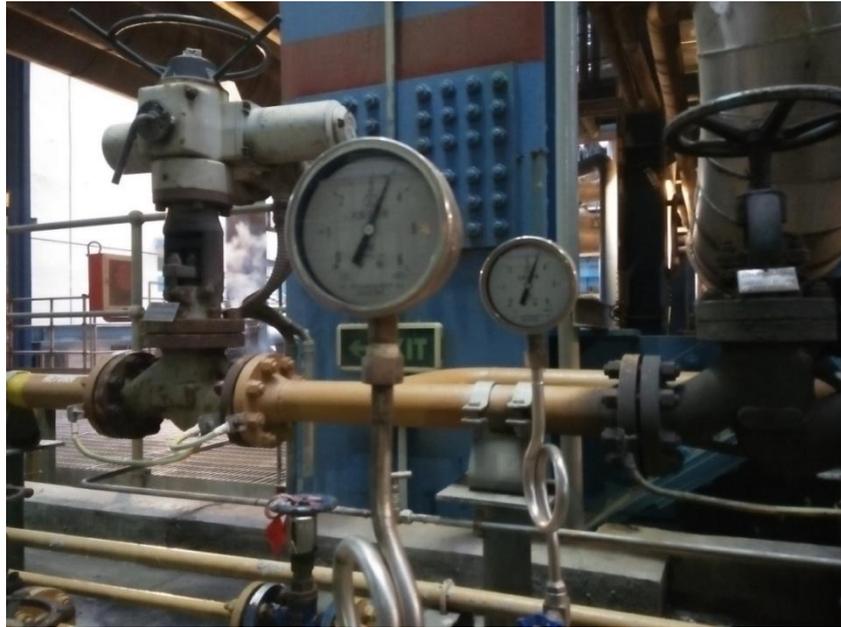
Gambar : 2.6 *Counter flow* indikator

Berfungsi sebagai indikator jumlah pemakaian HSD selama operasi.



Gambar : 2.7 *Pressure gauge main supply* HSD

Berfungsi sebagai indikator *pressure supply* HSD yang akan masuk ke unit.



Gambar : 2.8 *Pressure gauge supply return HSD tiny oil*



Gambar : 2.9 *Pneumatik valve main supply tiny oil*

Berfungsi sebagai valve utama supply HSD tiny oil dengan penggerak pneumatik.



Gambar : 2.10 *Filter supply return HSD tiny oil*

Berfungsi untuk menyaring kotoran yang terkandung di dalam HSD.



Gambar : 2.11 Percabangan pipa *tiny oil* dari *line* utama HSD



Gambar : 2.12 *Manual valve supply* udara pembakaran *tiny oil*

Berfungsi untuk membuka dan menutup laju aliran udara utama pembakaran *tiny oil*.



Gambar : 2.13 *Tiny oil*



Gambar : 2.14 *Pneumatic valve suply tiny oil*



Gambar : 2.15 *Pneumatic valve purging tiny oil*



Gambar : 2.16 *Manual valve purging tiny oil*



Gambar : 2.17 *Manual valve supply tiny oil*



Gambar : 2.18 *Pressure gauge tiny oil* saat keadaan beroperasi.

2.8 Duct Burner

Berfungsi sebagai pemanas *line hot air Primary Air Fan 2B* yang digunakan sebagai *supply* utama udara pengangkut material batubara di dalam mill menuju *furnace*. Cara kerja alat ini yaitu menggunakan HSD untuk menciptakan pembakaran di dalam *line* udara *hot air* ini, sehingga udara yang masuk ke dalam mill E memenuhi *temperature* untuk *start* mill E.

Bagian-bagian Duct Burner :

1. *Duct Burner*
2. *Pressure gauge supply HSD ke duct burner*
3. *Counter flow* indikator
4. *Manual* dan *pneumatic valve purging duct burner*
5. *Pneumatic valve supply HSD duct burner*
6. *Duct burner fan*
7. Kontrol panel lokal *duct burner*
8. *MOV outlet duct burner fan*



Gambar : 2.19 *Duct Burner*



Gambar : 2.19 *Pressure gauge supply HSD ke duct burner*



Gambar : 2.20 *Counter flow indikator*



Gambar : 2.21 *Manual dan pneumatic valve purging duct burner*



Gambar : 2.22 *Pneumatic valve supply HSD duct burner*



Gambar : 2.23 *Duct burner fan*

Berfungsi sebagai penghasil udara utama pembakaran *tiny oil* dan sebagai pendingin di duct burner mill E.



Gambar : 2.24 Kontrol panel lokal *duct burner*
Berfungsi untuk mengoperasikan *duct burner* dari lokal



Gambar : 2.25 MOV outlet duct burner fan

Rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan konsumsi spesifik bahan bakar, *heatrate* (tara kalor), dan efisiensi termal adalah :

1. Pemakaian bahan bakar spesifik brutto (SFC_B)

$$SFC_B = \frac{Q_f}{kWh_B} \quad (1)$$

2. Pemakaian bahan bakar netto (SFC_N)

$$SFC_N = \frac{Q_f}{kWh_B - kWh_{PS}} \quad (2)$$

Dimana :

Q_f : jumlah bahan bakar yang dipakai (dalam liter)

LHV : nilai kalor bawah bahan bakar yang digunakan (dalam kJ/kg atau kcal/kg)

HHV : nilai kalor bawah bahan bakar yang digunakan (dalam kJ/kg atau kcal/kg)

kWh_B : jumlah kWh yang dibangkitkan generator (dalam kWh)

kWh_{PS} : jumlah kWh yang dibutuhkan untuk pemakaian sendiri (dalam kWh)

M_f : berat bahan bakar selama pengujian (dalam kg)

Sedangkan persamaan yang digunakan untuk menghitung tara kalor (*heat rate*) sebagai berikut :

1. Tara kalor brutto (HR_B)

$$HR_B = \frac{M_f \times LHV}{kWh_B} \quad (3)$$

2. Tara kalor netto (HR_N)

$$HR_N = \frac{M_f \times LHV}{kWh_B - kWh_{PS}} \quad (4)$$

Dimana :

- Tara kalor unit brutto (HR_B) adalah jumlah kalor bahan bakar dihitung berdasarkan nilai kalor bawah (LHV) untuk menghasilkan setiap kWh brutto.

- Tara kalor unit netto (HR_N) adalah jumlah kalor bahan bakar yang dihitung berdasarkan nilai kalor bawah (LHV) untuk menghasilkan setiap kWh netto.

Sedangkan, persamaan guna menghitung efisiensi termal adalah sebagai berikut :

$$\eta_{thB} = \frac{860 \text{ kcal}}{HR_B} \quad (5)$$

$$\eta_{thN} = \frac{860 \text{ kcal}}{HR_N} \quad (6)$$

Dimana :

η_{th} : efisiensi termal (dalam persen, %)

tara kalor (HR) : dalam kcal/kWh

Besarnya efisiensi termal tergantung beban, semakin tinggi beban, makin besar efisiensinya. Efisiensi termal unit (η_{th}) adalah presentase keluaran energi terhadap masukan kalor.

Catatan : 1 kWh = 859,8 = 860 kcal