

**SKRIPSI**

**PERBANDINGAN EFISIENSI BOILER DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE LANGSUNG DAN METODE TIDAK  
LANGSUNG PADA BTG UNIT I-II POWER PLANT PT.SEMEN  
TONASA KABUPATEN PANGKEP,SULAWESI SELATAN**



**DISUSUN OLEH :**

**SUDIANTO KURNIAWAN PATA'**

**45 13 044 023**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR**

**2018**

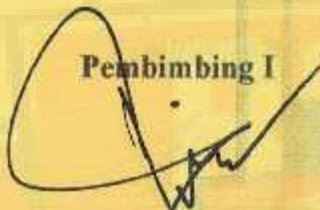
## LEMBAR PENGESAHAN

Mahasiswa Fakultas Teknik jurusan Teknik Kimia Universitas Bosowa Makassar yang tersebut di bawah ini :

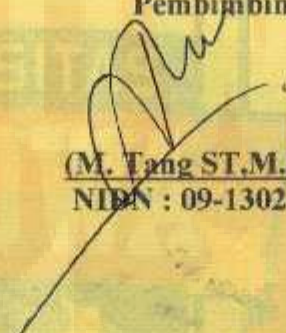
Nama / Nim : **Sudianto Kurniawan Pata/ (4513044023)**  
Judul Tugas Akhir : **PERBANDINGAN EFISIENSI BOILER DENGAN MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG PADA BTG (BOILER TURBIN GENERATOR) UNIT 1 DAN 2 PT. SEMEN TONASA PANGKEP**

Telah diperiksa dan dinyatakan memenuhi syarat untuk mengikuti Ujian Seminar Tugas Akhir.

Pembimbing I

  
**(Dr. A. Zulfiqar Syaiful, ST., MT)**  
NIDN : 09-1802-6902

Pembimbing II

  
**(M. Tang ST.M.Pkim)**  
NIDN : 09-1302-7503

MENGETAHUI

  
Dekan Fakultas Teknik

  
**(Dr. Hamsina, ST, M.Si)**  
NIDN : 09-2406-7601

Ketua Jurusan Teknik Kimia

  
**(Hermawati, S.Si, M.Eng)**  
NIDN : 00-2407-7101

**HALAMAN PENGESAHAN**

**MENENTUKAN PERBANDINGAN EFISIENSI BOILER DENGAN  
METODE LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG PADA BTG( BOILER  
TURBIN GENERATOR) UNIT 1 DAN 2 PT.SEMEN TONASA PANGKEP**

Disusun oleh:

Sudianto kurniawan pata (45 13 044 023)

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Pada tanggal 31 Januari 2018 dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Pembimbing I



(Dr. A. Zulfikar Syaiful, ST.,MT)  
NIDN : 09-1802-6902

Pembimbing II



(M. Tang, ST.M.Pkim)  
NIDN : 09 1302 7503

Penguji I



(Al Gazali, ST,MT)  
NIDN : 09 1302 4404

Penguji II 05/02/18



(Tri Pratiwi Handayani, S.Kom., M.Eng.,  
M.Phil)

NIDN : 09-0405-8902

Makassar, 31 Januari 2018

Ketua Program Studi Teknik Kimia



(Hermawati, S.Si, M.Eng)  
NIDN : 00-207-7101

HALAMAN PERSETUJUAN  
UJIAN MEJA

MENENTUKAN PERBANDINGAN EFISIENSI BOILER DENGAN  
MENGUNAKAN METODE LANGSUNG DAN METODE TIDAK  
LANGSUNG PADA BTG UNIT I – II POWER PLANT PT. SEMEN  
TONASA KABUPATEN PANGKEP, SULAWESI SELATAN

Disusun oleh :

**Sudianto Kurniawan Pata'**

**(4513044023)**

Telah di setujui oleh :

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. A. Zulfikar Syaiful, ST, MT**  
**NIDN : 09 1802 6902**

**M. Tang, ST., M.PKim**  
**NIDN : 09 1302 7503**

## LEMBAR PENGESAHAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sudianto Kurniawan Pata'

NIK : 4513044023

Jurusan : Teknik kimia

Universitas 45 Bosowa Makassar

Telah melaksanakan penelitian pada PT.Semen Tonasa (persero) pangkep sejak tanggal 18 November s/d 30 November 2016 dan lembar pengesahan terlampir.

Demikian disampaikan untuk bahan seperlunya.

Pangkep, 30 november 2016

Disahkan oleh

PT.Semen Tonasa Indonesia

a.n. Direksi



Dr.Ir.H.RegoDevila,M.M.  
SM of Training



Zan/Zan,S.E.  
Mgr. Of Training Organizing

*TUGAS AKHIR*

PERBANDINGAN EFISIENSI BOILER DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE LANGSUNG DAN METODE TIDAK LANGSUNG PADA  
BTG UNIT I-II POWER PLANT PT.SEMEN TONASA KABUPATEN  
PANGKEP,SULAWESI SELATAN



TUGAS AKHIR  
SUDIANTO KURNIAWAN PATA'  
45 13 044 023

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

2018

## **LEMBAR PENGESAHAN**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sudianto Kurniawan Pata'

NIK : 4513044023

Jurusan : Teknik kimia

Universitas 45 Bosowa Makassar

Telah melaksanakan penelitian pada PT.Semen Tonasa(persero)pangkep sejak tanggal 12 Januari s/d 2 Februari 2016 dan lembar pengesahan terlampir.

Demikian disampaikan untuk bahan seperlunya.

Pangkep, februari 2016

Disahkan oleh

PT.Semen Tonasa Indonesia

a.n. Direksi

Dr.Ir.H.Rego Devila,M.M.  
SM of Training

Zam Zam,S.E.  
Mgr. Of Training Organizing

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dihaturkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkah dan kemurahanNya sehingga Ia memberikan kekuatan, kemampuan, kesehatan dan sukacita yang luar biasa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir ini dengan baik.

Tugas akhir yang berjudul "**Perbandingan Efisiensi boiler dengan metode langsung dan metode tidak langsung pada BTG Unit I-II Power Plant PT.Semen Tonasa Indonesia**", disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri Universitas Bosowa 45 Makassar.

Dukungan doa, moral dan moril yang diberikan oleh berbagai pihak telah mengantarkan penulis menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir ini, meskipun dalam proses tersebut banyak hambatan dan kendala yang dihadapi. Melalui kesempatan penuhi sukacita ini, perkenankanlah penulis dengan ketulusan hati mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak **M.Tang ST, M.Pkim** selaku ketua jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri Universitas Bosowa 45 Makassar,
2. Bapak **Zulfikar Syaiful, MT** selaku pembimbing I di Universitas Bosowa 45 Makassar, yang dengan segala kesabaran dan ketulusan hati telah meluangkan waktu ditengah kesibukan untuk membimbing dan mengarahkan penulis, memberikan ide, saran dan masukan dalam menyempurnakan penulisan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak **M. Tang ST, M.Pkim** selaku pembimbing II di Universitas Bosowa 45 Makassar, yang dengan segala kesabaran dan ketulusan hati telah meluangkan waktu ditengah kesibukan untuk membimbing dan mengarahkan penulis, memberikan ide, saran dan masukan dalam menyempurnakan penulisan laporan tugas akhir ini.
4. **Seluruh Dosen Pengajar, Staf Administrasi, Analis Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik** terima kasih atas segenap pengertian, bantuan dan dukungannya kepada penulis.



5. Penulis ucapkan terima kasih kepada keluarga terutama kepada orang tua tercinta, saudara-saudariku yang tercinta terima kasih untuk kasih sayang, nasehat, jerihlelah, tetesan keringat, air mata dan segala yang telah diberikan untuk mendukung penyelesaian studi ini, hanya doa dan harapan semoga Tuhan memampukan ananda memberikan yang terbaik untuk keluarga, agama, bangsa dan negara.
6. Sahabat-sahabatku selama kuliah kakak Nurmi, ima , Kakak Irma, Beatrix, dan kepadakak alumni kakSelvy , Herlin, Agnes, Mei, Siska, dan kakAji yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Penulis ucapkan terima kasih kepada kepala kantor dan rekan- rekan tempat saya bekerja, atas dukungan, bantuan dan izin yang diberikan selama saya menyelesaikan kuliah.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari berbagai kekurangan karena keterbatasan yang penulis miliki. Karenanya, penulis mengucapkan terimakasih untuk setiap koreksi dan saran yang diberikan untuk penyempurnaan penulisan. Masukkan dan saran *konstruktif* tetap penulis harapkan sebagai bekal untuk penulisan pada waktu yang akan datang. Harapan penulis, semoga laporan tugas akhir ini dapat memberi manfaat bagi kita semua dan menjadi berkat bagi orang lain, Terima Kasih .

Makassar, februari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
ABSTRAK.....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Pelaksanaan.....	2
1.4 Manfaat penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tinjauan Umum Perusahaan.....	3
2.2 Pengertian Boiler.....	3
2.3 Perpindahan Panas Pada Boiler .....	4
2.4 Pulverized Coal Boiler .....	7
2.5 Proses kerja Boiler Turbin Generator(BTG)Power Plant .....	7
2.6 Efisiensi Boiler .....	8
2.8 Jenis-jenis Boiler.....	14
2.9 Bahan bakar.....	15

**BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....16

3.2 Teknik Pengumpulan Data.....17

3.3 Teknik Pengolahan Data.....18

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Analisa data boiler unit I dan unit II .....24

4.2 Pembahasan.....26

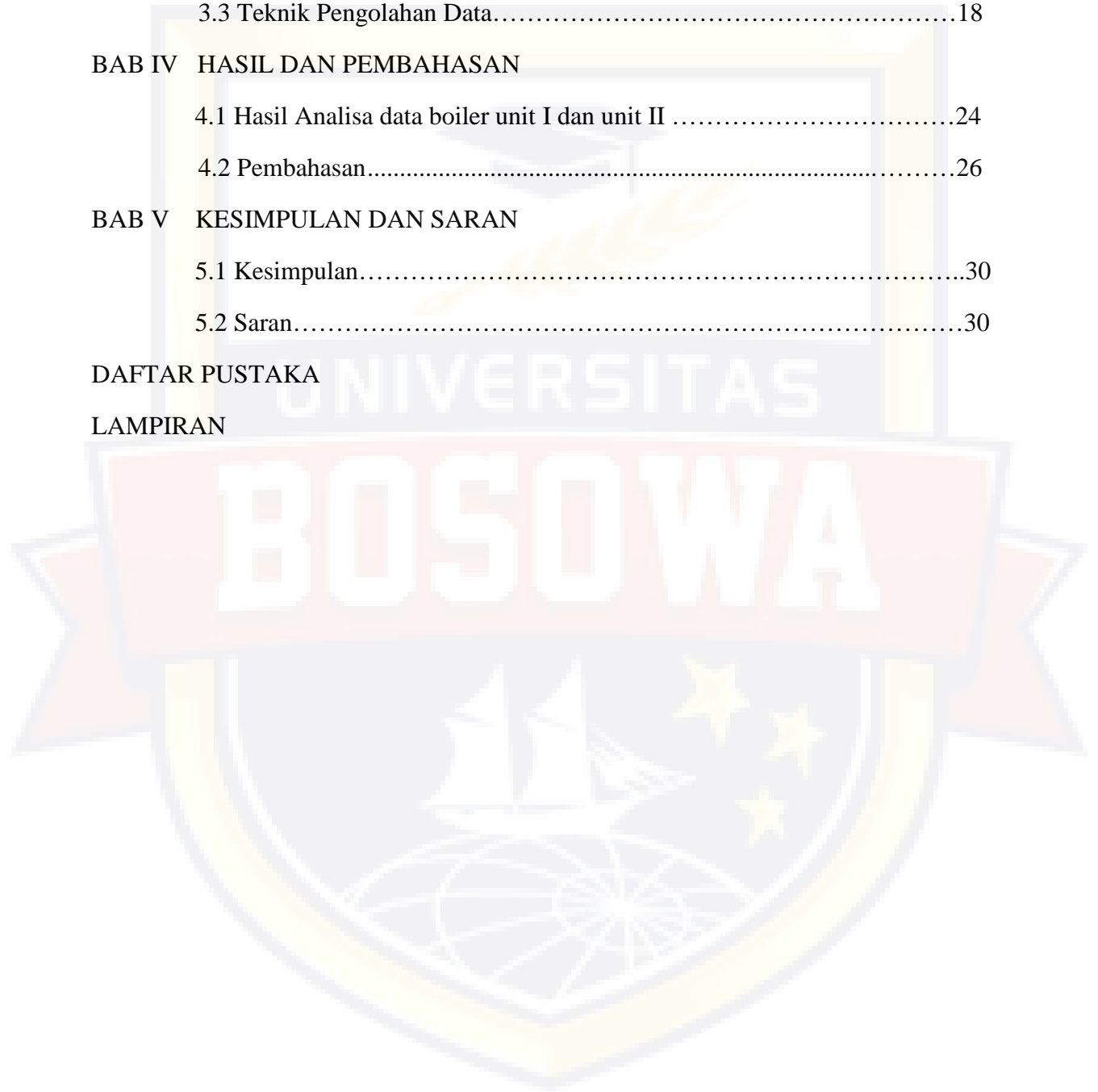
**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan.....30

5.2 Saran.....30

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

Tabel

Tabel 2.1	jadwal penelitian Tugas akhir.....	17
Tabel 4.1.	Data-data ultimate batubara BTG Power Plant Unit I.....	28
Tabel 4.2.	Data- data ultimate batubara BTG Power Plant unit II.....	43
Tabel 4.3	Hasil perhitungan efisiensi boiler unit I.....	51
Tabel 4.3	Hasil perhitungan efisiensi boiler unit II.....	51

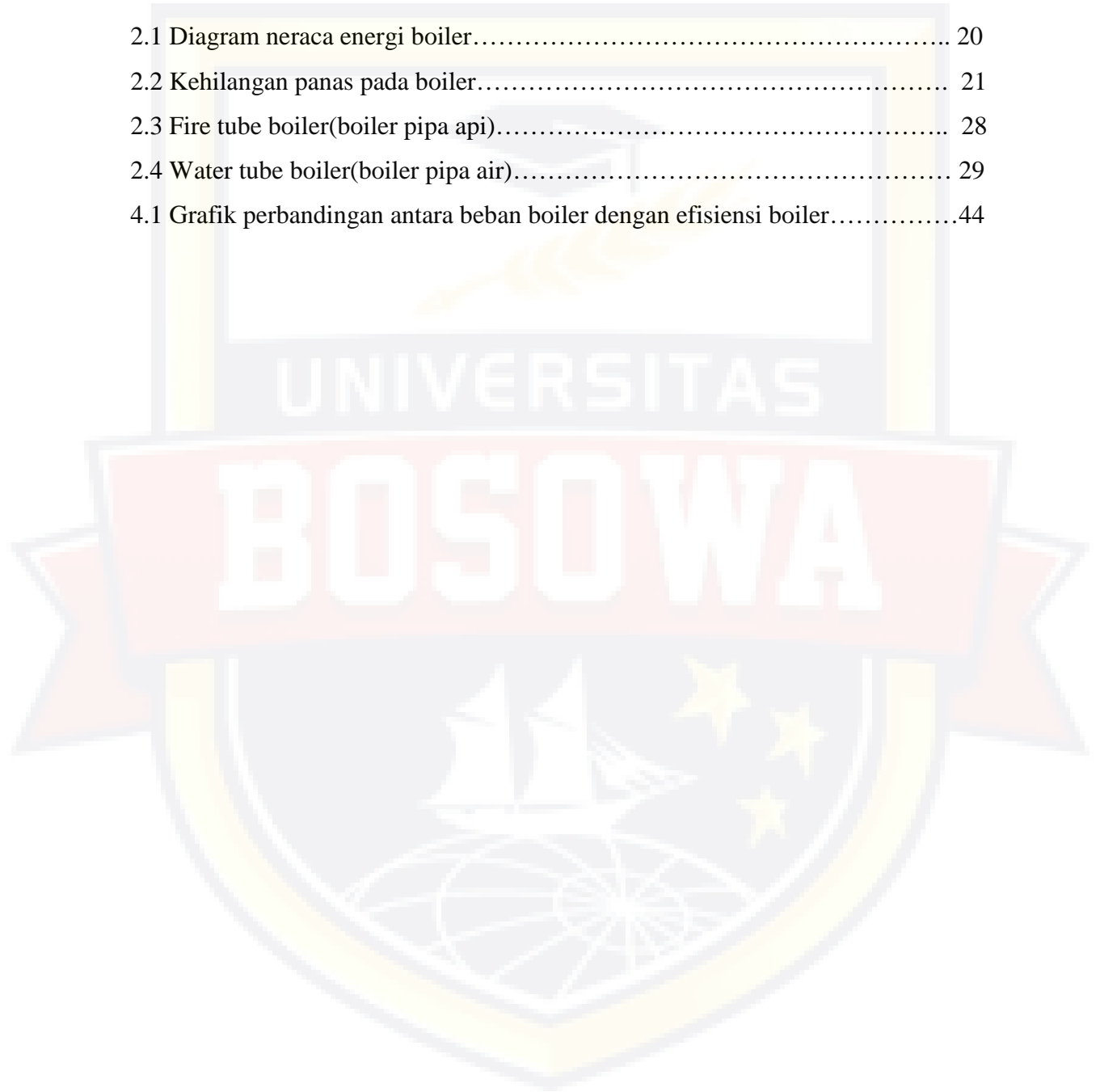
UNIVERSITAS

**BOSOWA**

## DAFTAR GAMBAR

### Gambar

2.1 Diagram neraca energi boiler.....	20
2.2 Kehilangan panas pada boiler.....	21
2.3 Fire tube boiler(boiler pipa api).....	28
2.4 Water tube boiler(boiler pipa air).....	29
4.1 Grafik perbandingan antara beban boiler dengan efisiensi boiler.....	44



## DAFTAR SIMBOL

$Q_{\text{Kalor}}$  GCV (Gross calorific value) (kkal/kg)

MF Kandungan moisture (kg)

W Wud actual (kg)

W Wud teoritis (kg)

$\eta$  Efisiensi (%)

$\uparrow$  Panas keluar / hg (kkal/ kg )

$\downarrow$  Panas masuk / hf (kkal / kg)

$\Delta$  Entalpi( kkal/kg)

$\Delta p$  Steam (kg/jam)

E fuel Jumlah bahan bakar (kg/jam)

## ABSTRAK

Perbandingan efisiensi boiler dengan metode langsung dan tidak langsung pada BTG(Boiler turbin dan generator) unit 1 dan 2 PT.Semen Tonasa Pangkep, dimana boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau uap. Dimana prinsip kerja boiler ini yakni pemindahan energi yang dikandung bahan bakar menjadi energi yang dikandung uap air, proses pelepasan energi bahan bakar dilakukan dengan cara mereaksikan bahan bakar dengan oksigen yang diambil dari udara. Boiler yang digunakan adalah boiler pipa air tipe H 600, dimana bahan bakar yang digunakan adalah batubara dengan temperatur apinya yaitu 250-450 C, dan komposisi unsur yang ada didalamnya terdiri dari oksigen, karbon, hidrogen, nitrogen, dan belerang, dengan rata-rata batubaranya 16-24%, diperoleh nilai kalori batubara yakni 5700 cal/g. efisiensi boiler metode langsung yaitu 69,36 % dan efisiensi metode tak langsung yaitu 87,34%

Kata Kunci : Boiler,BTG ,uap ,Bahan bakar(batubara), Nilai kalori,efisiensi metode langsung dan tidak langsung

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Kualitas telah menjadi sesuatu yang mutlak dimiliki oleh suatu produk, baik yang berupa barang maupun jasa. PT.Semen Tonasa memiliki 4 unit pabrik yang aktif beroperasi yaitu Tonasa II, Tonasa III, Tonasa IV, dan Tonasa V. oleh karena itu, untuk beroperasi pabrik-pabrik tersebut memerlukan daya listrik yang sangat besar. Agar kebutuhan daya listrik dapat terpenuhi selain menggunakan pasokan listrik dari perusahaan listrik negara (PLN), PT. Semen Tonasa membangun dua buah pembangkit listrik bertenaga uap yaitu boiler turbin generator(BTG) 1 dengan kapasitas 2 x 25 MW untuk mensupply Tonasa IV dan boiler turbin generator (BTG)2 dengan kapasitas 2 x 35MW untuk mensupply Tonasa V.listrik dari PLN digunakan untuk mensupply Tonasa II dan Tonasa III.

Jenis boiler yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap yang dimiliki oleh PT.Semen Tonasa yaitu boiler jenis Pulverized Coal Boiler. Dalam pengoprasian boiler banyak hal yang harus diperhatikan yaitu sistem uap, sistem air umpan, sistem bahan bakar. Jika sistem-sistem ini tidak bekerja dengan baik maka akan menurunkan kinerja pada boiler yang berakibat terjadinya penurunan efisiensi boiler.

Oleh karena itu, diperlukan analisa teknis pada boiler untuk mengetahui besarnya efisiensi, energi yang dibutuhkan untuk proses dan kehilangan panas pada boiler, sehingga dapat dilakukan tindak lanjut yang berdampak pada peningkatan efisiensi dan penghematan daya. Semakin tinggi efisiensi boiler maka kinerja sistem tersebut semakin bagus.

### 1.2 RUMUSAN MASALAH

- a. Berapakah besar efisiensi jenis boiler pulverized coal boiler pada BTG Power Plant PT.Semen Tonasa Indonesia yang dihitung dengan metode langsung dan tidak langsung?



- b. Bagaimana perbandingan kuantitas efisiensi jenis boiler *pulverized coal* boiler pada BTG Power Plant PT.Semen Tonasa Indonesia yang dihitung dengan metode langsung dan tidak langsung?
- c. Faktor apa yang mempengaruhi efisiensi boiler *pulverized coal* boiler pada BTG Power Plant PT.Semen Tonasa Indonesia?

### **1.3 TUJUAN PENELITIAN**

- a. Mengetahui efisiensi jenis boiler *pulverized coal* boiler pada BTG Power Plant PT.Semen Tonasa Indonesia yang dihitung dengan metode langsung dan tidak langsung.
- b. Membandingkan efisiensi jenis boiler *pulverized coal* boiler pada BTG Power Plant PT.Semen Tonasa Indonesia yang dihitung dengan metode langsung dan tidak langsung.
- c. Mencari faktor yang mempengaruhi efisiensi jenis boiler *pulverized coal* boiler pada BTG Power Plant PT.Semen Tonasa Indonesia.

### **1.4 MANFAAT PENELITIAN**

- a. Manfaat bagi mahasiswa  
Sebagai sarana untuk menambah wawasan dan mengembangkan pola pikir mahasiswa dalam menerapkan berbagai disiplin ilmu yang telah diperoleh,serta dapat mengetahui efisiensi boiler secara pasti.
- b. Manfaat bagi universitas bosowa Makassar  
Sebagai bahan untuk menambah koleksi pustaka di universitas bosowa makassar
- c. Manfaat bagi perusahaan  
Hasil perhitungan dapat menjadi masukan bagi PT.Semen Tonasa Indonesia mengenai efisiensi boiler.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum Perusahaan**

PT.Semen Tonasa adalah produsen semen terbesar dikawasan timur Indonesia yang menempati lahan seluas 1.200 hektar diDesa Biringere Kec.Bungoro Kab.Pangkep, sekitar 60 km dari kota Makassar dan mulai didirikan berdasarkan TAP MPRS RI No.II/MPRS/1960, tanggal 05 Desember 1960 tentang pola pembangunan Nasional Semesta berencana tahapan 1961-1969.

PT.Semen Tonasa memiliki kapasitas terpasang 5.980.000 ton semen pertahun dan mempunyai 5 unit pabrik, yaitu Tonasa I, Tonasa II, Tonasa III, Tonasa IV, dan Tonasa V. Akan tetapi,sekarang pabrik Tonasa unit I sudah tidak beroperasi lagi karena pertimbangan ekonomi. Selain itu, PT. Semen Tonasa membangun pelabuhan khusus biringkassi yang berjarak 17 km dari lokasi pabrik. Pelabuhan ini berfungsi sebagai jaringan distribusi antarpulau ataupun ekspor dapat disandari dengan muatan diatas 17.500 ton. PT.Semen Tonasa juga membangun pembangkit listrik tenaga uap atau Boiler Turbin Generator(BTG) dipelabuhan biringkassi dengan kapasitas 2 x 25 MW dan 2 x 35 MW.

#### **2.2 Pengertian Boiler**

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesin yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang dikelola dan dijaga dengan sangat baik. Boiler berfungsi untuk memproduksi *steam* yang digunakan untuk berbagai macam operasi dalam industri antara lain:

- a. Media pemanas
- b. Bahan baku proses kimia

### c. Pembangkit listrik

Energi panas ini akan dimanfaatkan untuk proses pendidihan(boiling)air menjadi uap air. Uap air yang terbentuk masih bersifat jenuh sehingga perlu ada pemanasan lanjut untuk menghasilkan uap superpanas yang akan mempunyai sifat-sifat seperti gas sempurna. Uap superpanas tersebut digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin uap sebagai penggerak mula(prime mover).(Muin, 1988)

## 2.3 Perpindahan Panas pada Boiler

Panas yang dihasilkan karena pembakaran bahan bakar dan udara, yang berupa api (yang menyala)dan gas asap(yang tidak menyala) dipindahkan kepada air,uap, ataupun udara,melalui bidang yang dipanaskan atau heating surface, pada suatu instalasi ketel uap dengan tiga cara:

1. Pancaran (radiasi)
  2. Aliran (konveksi)
  3. Perambatan (konduksi)
- (Purnamasari ,2014: 56)

### 2.3.1 Perpindahan panas secara pancaran(radiasi)

Perpindahan panas secara pancaran(radiasi) adalah perpindahan antara suatu benda ke benda yang lain dengan jalan melalui gelombang-gelombang elektromagnetis tanpa tergantung kepada ada atau tidaknya media atau zat diantara benda yang menerima pancaran tersebut. Misalnya pada perpindahan panas yang berlangsung melalui media berupa aether. Api hasil pembakaran dan udara menyebabkan terjadinya keseimbangan elektromagnetis terhadap aether. Sebagian panas dari hasil pembakaran dipindahkan pada aether kemudian panas dari aether akan dipindahkan pada benda atau bidang yang dipanaskan melalui gelombang elektromagnetik.

Semua zat-zat yang memancarkan panas mempunyai intensitas radiasi termis atau kuat pancaran panas yang tergantung dari suhu zat yang memancarkan panas tersebut.

Bila pancaran panas menimpa sesuatu benda atau bidang,sebagian dari panas pancaran yang diterima benda tersebut, akan dipancarkan atau dipantulkan kembali, dan sebagian yang lain akan diserap.

### 2.3.2 Perpindahan panas secara aliran (konveksi)

Perpindahan panas secara aliran atau konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida (cair ataupun gas). Molekul-molekul fluida tersebut mengalir membawa sejumlah panas masing-masing  $q$  joule. Pada saat molekul fluida tersebut menyentuh dinding ketel maka panasnya dipindahkan sebagian ke dinding ketel, yaitu  $q_1$  (joule), selebihnya yaitu  $q_2 = q - q_1$  (joule) dibawanya pergi.

Bila gerakan dari molekul-molekul yang mengalir disebabkan karena perbedaan suhu didalam fluida itu sendiri, maka perpindahan panasnya disebut konveksi bebas (free convection) atau konveksi alamiah (natural convection).

Bila gerakan molekul-molekul tersebut sebagai akibat dari kekuatan mekanis (karena dipompa atau karena dihembus dengan fan) maka perpindahan panasnya disebut konveksi paksa (forced convection). (Purnamasari, 2014:60)

Dalam gerakan molekul-molekul api disebut tidak perlu melalui lintasan yang lurus untuk mencapai dinding ketel atau bidang yang dipanasi.

### 2.3.3 Perpindahan panas secara perambatan (konduksi)

Perpindahan panas disebut konduksi jika panas mengalir dari tempat bersuhu tinggi ke tempat yang bersuhu lebih rendah tetapi media perpindahan panasnya tidak mengalir (tetap). Perpindahan panas secara konduksi dapat berlangsung dengan media gas, padat, atau cair. Pada benda padat terjadinya persinggungan fisik (kontak fisik atau menempel), tanpa terjadinya perpindahan molekul-molekul dari benda padat itu sendiri. Jika media perpindahan panas konduksi berupa gas, maka molekul-molekul gas akan bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi daripada molekul-molekul gas yang bersuhu lebih rendah. Apabila ada perbedaan suhu, molekul-molekul pada daerah bersuhu tinggi akan memberikan panasnya pada molekul-molekul bersuhu lebih rendah saat bertumbukan.

Didalam dinding ketel, panas akan dirambatkan oleh molekul-molekul dinding ketel bagian luar yang berbatasan dengan api, menuju ke molekul-molekul dinding ketel bagian dalam yang berbatasan dengan air, uap ataupun udara.

Untuk selanjutnya, panas yang dibawa merambat oleh dinding ketel tersebut akan diterima oleh molekul-molekul air, uap ataupun udara dengan cara konveksi pula, yaitu penyerahan sebagian panas dari molekul-molekul dinding ketel kepada molekul-

molekul air,uap ataupun udara. Molekul – molekul air, uap ataupun udara tersebut dalam keadaan mengalir/bergerak,bukan dalam kondisi diam.

Dengan demikian penyerahan panas secara konveksi dan konduksi bersama-sama melalui proses-proses sebagai berikut:

Panas dialihkan dari fluida(api atau gas asap)kepada benda padat(dinding ketel).

Panas dirambatkan didalam benda padat(dinding ketel)atau didalam benda padat berlapis-lapis (jelaga-dinding ketel-kerak ketel).

Panas dialihkan dari benda padat (dinding ketel atau kerak ketel) kepada fluida(uap,air,ataupun udara).(purnamasari 2014: 61)

#### **2.4 *Pulverize Coal Boiler( batubara serbuk halus pada boiler)***

*Pembangkit listrik di PT.Semen Tonasa menggunakan boiler jenis Pulverize Coal Boiler. Kebanyakan boiler stasiun pembangkit tenaga yang berbahan bakar batubara menggunakan batubara halus,dan banyak boiler pipa air diindustri yang lebih besar juga menggunakan batubara yang halus. Teknologi ini berkembang dengan baik dan diseluruh dunia terdapat ribuan unit dan lebih dari 90 persen kapasitas pembakaran batubara merupakan jenis ini. Untuk batubara jenis bituminous,batubara digiling sampai menjadi bubuk halus, yang berukuran+ 300 micrometer (um kurang dari 2 persen dan yang berukuran dibawah 75 microns sebesar 70-75 persen) harus diperhatikan bahwa bubuk yang terlalu halus akan memboroskan energi penggilingan. Sebaliknya, bubuk yang terlalu kasar tidak akan terbakar sempurna pada ruang pembakaran dan menyebabkan kerugian yang lebih besar karena bahan yang tidak terbakar. Batubara bubuk dihembuskan dengan sebagian udara pembakaran masuk menuju plant boiler melalui serangkaian nozzle burner. Udara sekunder dan tersier dapat juga ditambahkan. Pembakaran berlangsung pada suhu dari 1300-1700 C, tergantung pada kualitas batubara. Waktu tinggal partikel dalam boiler biasanya 2 hingga 5 detik, dan partikel harus cukup kecil untuk pembakaran yang sempurna.(Deby,2012:59)*

#### **2.5 *Proses kerja boiler Turbin Generator (BTG)Power Plant***

Secara umum pada BTG Power Plant terdapat enam unit proses, yaitu:

1. Unit penyiapan dan pembakaran batubara
2. Unit pengolahan air
3. Unit penyiapan udara
4. Unit penyiapan Diesel Oil(Solar)
5. Unit Penghasil Uap dan Pembangkit Listrik

Bila data karakteristik bahan bakar udara lebih yang dibutuhkan dan kesempurnaan pembakaran dapat diperkirakan, maka komposisi gas asap dapat diperkirakan sebagai berikut:

$$\text{CO}_2 = (44/12).C(\%) \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{SO}_2 = (64/32).S = 2S(\%) \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{N}_2 = N + (0,768 * W_{\text{udactual}}) (\%) \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{O}_2 = (W_{\text{udactual}} - W_{\text{udteoritis}}) \cdot 0,232 (\%) \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{H}_2\text{O} = \text{MF} + (9\text{H}) + (0,013.W_{\text{udteoritis}}) (\%) \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

C,H,N,S = elemen-elemen bahan bakar (kg/kg bb)

MF = Kandungan uap basah (kg/kg bb)

Wud actual (w) = pembakaran actual(kg)

Wud teoritis (w) = pembakaran teoritis (kg)

1. Pembakaran actual  
pembakaran sempurna dengan udara teoritis yang dapat bertemu dan beraksi dengan unsur – unsur dalam bahan bakar.
2. Pembakaran teoritis  
pembakaran yang terjadi dengan baik bila disupply dengan oksigen dan temperature yang cukup untuk bereaksi dengan substansi yang mudah terbakar dalam bahan bakar.

## 2.6 Efisiensi Boiler

Efisiensi termis boiler didefinisikan sebagai “persen energi panas yang digunakan secara efektif pada steam yang dihasilkan.”

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat sedangkan efisiensi pada *boiler* adalah prestasi kerja atau tingkat unjuk kerja *boiler* atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan ke atau diserap oleh

fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Untuk tingkat efisiensi pada *boiler* atau ketel uap tingkat efisiensinya berkisar antara 70% hingga 90%.

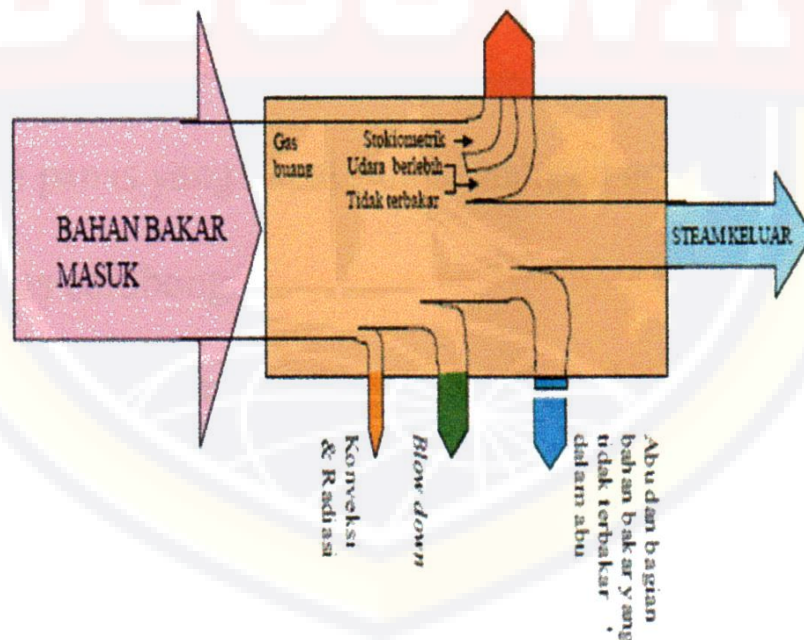
Terdapat dua metode dalam pengesif:

- Metode Langsung : energi yang didapat dari fluida kerja (air dan *steam*) dibandingkan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler.
- Metode tak Langsung: efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energi yang masuk.

Sesuai keterangan di atas, efisiensi *boiler* dapat didefinisikan sebagai jumlah energi yang oleh air untuk menjadi uap superheated dibandingkan dengan total energi input dari hasil pembakaran

### 1. Neraca Panas

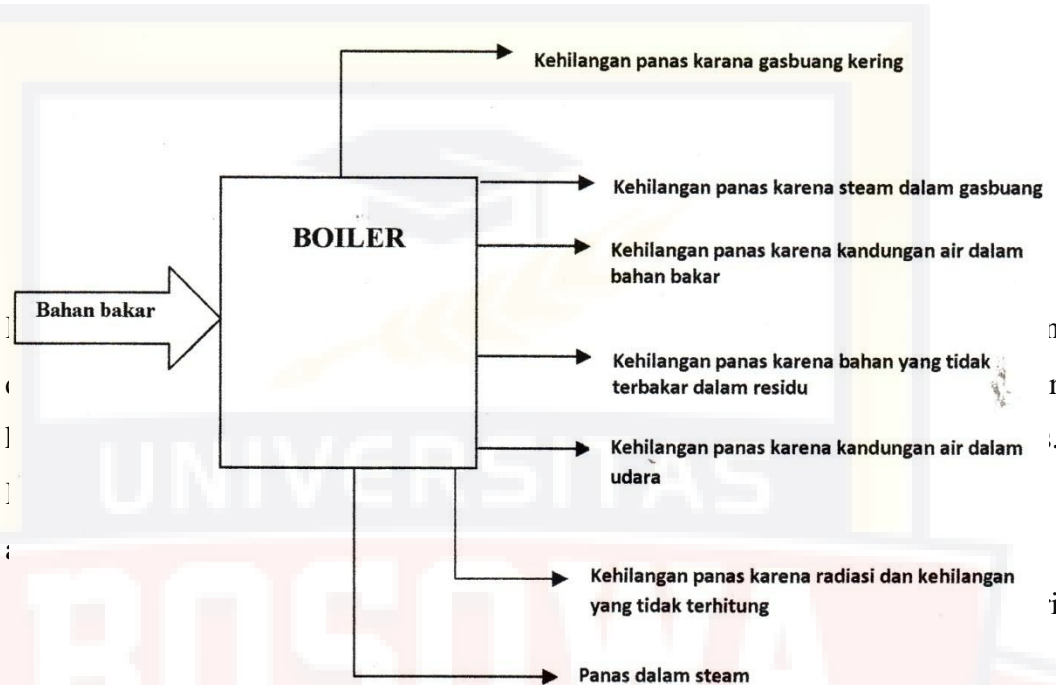
Proses pembakaran dalam boiler dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir energi. Diagram ini menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi. Panah tebal menunjukkan jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing-masing.



Gambar 2.2 Diagram neraca energi boiler

(Sumber : Agung .2010)

Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk boiler terhadap yang meninggalkan boiler dalam bentuk yang berbeda. Gambar berikut memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkit steam. (Agung,2010:40)



2) suhu gas (diturunkan dengan mengoptimalkan perawatan(pembersihan), beban, burner yang lebih baik dan teknologi boiler).

- b. kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu(mengoptimalkan operasi dan pemeliharaan; teknologi burner yang lebih baik).
- c. kehilangan dari blowdown (pengolahan air umpan segar, daur ulang kondensat)
- d. kehilangan kondensat (manfaatkan sebanyak mungkin kondensat)
- e. kehilangan konveksi dan radiasi(dikurangi dengan isolasi boiler yang lebih baik)

## 2. Metode perhitungan efisiensi boiler

Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler yaitu:

- a. Metode langsung dalam menentukan efisiensi boiler

Metode langsung : energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energy yang terkandung dalam bahan bakar boiler.



## 1) Metodologi

Dikenal juga sebagai ‘ metode input-output ‘ karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/output (steam) dan panas masuk/input (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus:

$$\text{Efisiensi boiler } (\pi) = \frac{\text{panas keluar}}{\text{panas masuk}} \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{Efisiensi boiler } (\pi) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times \text{GCV}} \times 100 \dots \dots \dots (7)$$

Parameter yang dipantau untuk perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung adalah :

- a) Jumlah steam yang dihasilkan per jam (Q) dalam kg/jam
- b) Jumlah bahan bakar yang digunakan perjam(q) dalam kg/jam
- c) Tekanan kerja (dalam kg/cm<sup>2</sup>(g)) dan suhu lewat panas(<sup>0</sup>C), jika ada
- d) Suhu air umpan(<sup>0</sup>C)
- e) Jenis bahan bakar dan nilai panas kotor bahan bakar (GCV) dalam kkal/kg bahan bakar

Dimana

H<sub>g</sub>- entalpi steam jenuh dalam kkal/kg steam

H<sub>f</sub> – entalpi air umpan dalam kkal/kg air

## 2) Keuntungan metode langsung

- a) Pekerja pabrik dapat dengan cepat mengevaluasi efisiensi boiler
- b) Memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan
- c) Memerlukan sedikit instrument untuk pemantauan
- d) Mudah membandingkan rasio penguapan dengan data benchmark

## 3) Kerugian metode langsung

- a) Tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah
- b) Tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi

## b. Metode tidak langsung dalam menentukan efisiensi boiler

Metode tidak langsung: efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energy yang masuk

### 1) Metodologi

Standar acuan untuk uji boiler ditempat dengan menggunakan metode tidak langsung adalah british standard, BS 845:1987 dan USA standard ASME PTC-4-1 power test condesteam generating units.

Metode tidak langsung juga dikenal dengan metode kehilangan panas. Efisiensi dapat dihitung dengan mengurangkan bagian kehilangan panas dari 100 sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi boiler (n)} = 100 - L_{\text{tot}} (i + ii + iii + iv + v + vi + vii) \dots \dots \dots (8)$$

Dimana kehilangan yang terjadi dalam boiler adalah kehilangan panas yang diakibatkan oleh:

- i. Gas cerobong yang kering ( $L_{dg}$ )
- ii. Penguapan kadar air dalam bahan bakar ( $L_{mf}$ )
- iii. Penguapan air yang terbentuk karena  $H_2$  dalam bahan bakar ( $L_H$ )
- iv. Adanya kadar air dalam udara pembakaran ( $L_{ma}$ )
- v. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang (fly ash) dan abu bawah (bottom ash/slag ash) ( $L_c$ )
- vi. Panas radiasi ( $L_R$ )
- vii. Kehilangan panas yang tidak terukur ( $L_{uc}$ )

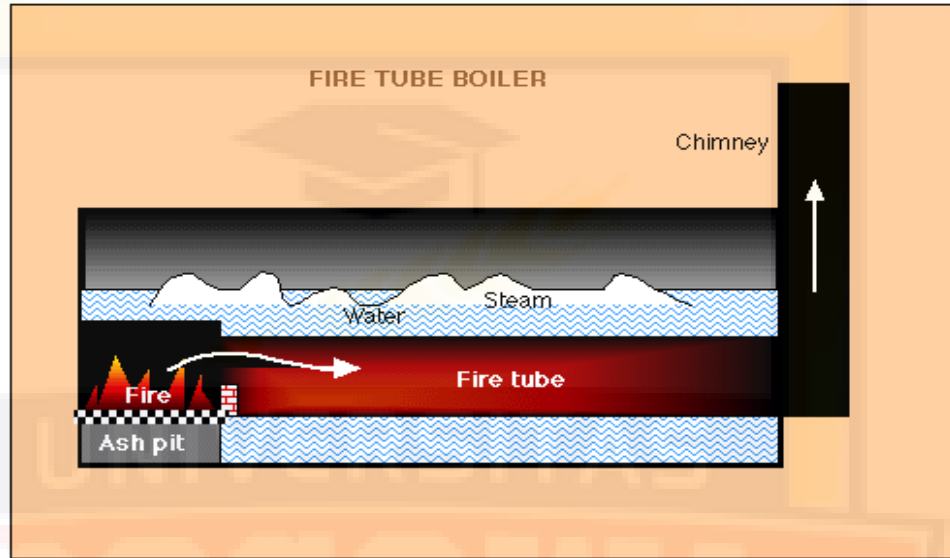
Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh pembakaran hydrogen tergantung pada bahan bakar dan tidak dapat dikendalikan oleh perancangan. Data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi boiler dengan menggunakan metode tidak langsung adalah:

- a) analisis ultimate bahan bakar ( $H_2, O_2, S, C$ , kadar air, kadar abu)
- b) persentase oksigen dalam gas buang
- c) suhu gas buang dalam  $^{\circ}C$  ( $T_f$ )
- d) suhu ambient dalam  $^{\circ}C$  ( $T_a$ ) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
- e) persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar)
- f) GCV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat)
- g) prosedur lengkap untuk perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode tidak langsung

**a. JENIS –JENIS BOILER**

Adapun jenis boiler yaitu; fire tube boiler,dan water tube boiler,

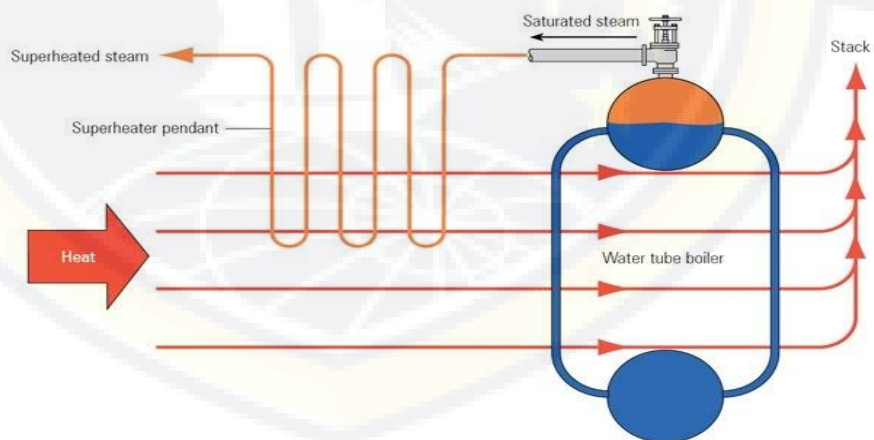
i. Fire tube boiler (ketel pipa lorong api)



Gambar 2.4 fire tube boiler

(Sumber:Alkon, 2010.)

ii. Water tube boiler (pipa air boiler)



Gambar 2.5 Water tube boiler

(Sumber: Alkon, 2010.)

### 2.7.3 Bahan bakar pada boiler

Bahan bakar adalah suatu bahan yang mudah terbakar di atmosfer dan energi yang dihasilkan dari pembakaran tersebut dapat digunakan. Bahan bakar harus mempunyai kualifikasi yaitu : mudah didapat dan kaya akan bahan-bahan yang berasal dari alam, mudah disimpan dan dipindahkan dan mudah penggunaannya juga tidak menggunakan efek samping.

Bahan bakar yang digunakan didalam boiler pada umumnya diklasifikasikan sebagai berikut:

#### **Bahan bakar padat**

Bahan bakar padat yang berasal dari alam dan ada juga yang berasal dari proses pengolahan industri.

#### **Bahan Bakar Batu Bara (*Coal Fuel*)**

Kualitas suatu batu bara ditentukan oleh perbandingan antara zat yang mudah menguap dengan karbon tetap. Dimana perbandingan ini disebut dengan perbandingan bahan bakar (*fuel ratio*). Semakin tinggi angka fuel ratio maka semakin baik kualitas batu bara tersebut. Normalnya batu bara akan mengembang jika dipanaskan. Jika batu bara dalam pengembangannya dapat membentuk retakan (*crack*) maka akan membantu dalam proses pembakaran. Sehingga udara dapat dengan mudah masuk ke sela-sela retakan sehingga pada bagian bawah batu bara dapat terbakar.

Titik cair abu adalah berkisar 1000 - 1500°C. Abu yang mencair ini akan membuat ampas biji dan kerak abu dan dapat merusak *refractory* dapur. Sering kali kalau batu bara disimpan di udara luar secara langsung terkena sinar matahari akan membara dan akhirnya dapat terbakar sendiri. Fenomena ini disebut dengan merusak sendiri (*weathering and autogeneous ignition*). (yoshemine,2015:10)

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 1.1 Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Boiler Turbin Generator PT.Semen Tonasa Indonesia pada tanggal 12 januari - 2 februari 2016.

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian Tugas Akhir

Tanggal	Kegiatan
12 januari 2016	Pengarahan dikantor Diklat PT.Semen Tonasa dan di BTG
13 januari 2016	Pengenalan proses diBTG
14 januari 2016	Pengenalan proses di BTG
15 januari 2016	Pengenalan dan kunjungan lapangan di BTG
16 januari 2016	Kunjungan ke laboratorium batubara BTG
17 januari 2016	Mencatat data-data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi boiler di CCR dan lab
18 januari 2016	Ke gudang batubara untuk melihat proses batubara sampai dimasukkan ke boiler,
18 januari 2016	Melakukan pengecekan konsumsi bahan bakar,suhu cerobong pembuangan,suhu air umpan,tekanan kerja staem drum, tekanan uap superheated,Melakukan analisa batubara dengan berbagai parameter uji yaitu nilai kalor,volatile metter, fixed carbon, sulfur, inherent moisture,temperature inlet air boiler,temperature outlet air boiler,suhu uap superheated, tekanan uap superheated
19 januari 2016	Melakukan pengujian BTG Unit I , melakukan pengujian boiler

	dengan mengamati langsung proses kerja boiler dan mencatat suhu air umpan boiler, laju alir bahan bakar, beban yang dihasilkan, laju alir uap, tekanan steam(uap), laju alir air umpan, suhu flue gas, serta melakukan pengujian fly ash unburn carbon and bottom ash pada BTG I
20 januari 2016	Melakukan pengujian BTG Unit II, melakukan pengujian boiler dengan mengamati langsung proses kerja boiler dan mencatat suhu air umpan boiler, laju alir bahan bakar, beban yang dihasilkan, laju alir uap, tekanan steam (uap), laju alir air umpan, suhu flue gas, serta melakukan pengujian fly ash unburn carbon and bottom ash pada BTG II
23 januari 2016	Mencatat hasil pengujian yang dilakukan
26 januari	Asistensi laporan ke pembimbing perusahaan
29 januari 2016	Mengolah data
30 januari - 2 februari 2016	Mengolah data

### 3.2 Cara kerja efisiensi boiler

#### 3.2.1 metode langsung

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan
- b. Mengisi air kedalam ketel uap (boiler pipa air) model B dan WB-130/3,82-M pada btg unit I dan model Kawasaki SR-144 type PCB pada btg unit II hingga mencapai ketinggian tertentu.
- c. Memasukan sampel batu bara yang telah ditimbang sebanyak 15 ton kedalam boiler pipa air model B dan WB-130/3,82-M pada btg unit I dan model Kawasaki SR-144 type PCB pada btg unit II.
- d. Menyalakan pilot burner dan selanjutnya mengapien berlangsung .
- e. Menunggu sampai 20 menit, setelah itu menangkap uap yang keluar dari corong boiler pipa air model B dan WB-130/3,82-M pada btg unit I dan model Kawasaki SR-144 type PCB pada btg unit II.
- f. Menghitung masing-masing efisiensi boiler pada btg unit I dan II dengan metode langsung.
- g. Meng offkan alat boiler pipa air model B dan WB-130/3,82-M pada btg unit I dan model Kawasaki SR-144 type PCB pada btg unit II.

- h. Membilas sisa batu bara yang tinggal dialat
- i. Merapikan bahan dan area kerja.

### 3.3 teknik pengumpulan data

metode yang digunakan dalam pengumpulan data adalah sebagai berikut:

#### 3.3.1 .Pengamatan langsung

Pengamatan langsung dilakukan dengan observasi disekitar pabrik dan wawancara dengan staf atau operator yang berhubungan dengan topic permasalahan. Data – data yang diperlukan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- a. metode langsung dalam menentukan efisiensi boiler :
  - 1) jumlah steam yang dihasilkan per jam(Q)dalam ton/jam
  - 2) jumlah bahan bakar yang digunakan per jam (q)dalam ton/jam
  - 3) tekanan kerja (dalam MPa) dan suhu lewat panas ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - 4) suhu air umpan( $^{\circ}\text{C}$ )
  - 5) jenis bahan bakar dan nilai kalor bahan bakar dalam (kkal/kg bahan bakar)
- b. metode tidak langsung dalam menentukan efisiensi boiler :
  - 1) analisis ultimate bahan bakar ( $\text{H}_2, \text{O}_2, \text{S}, \text{C}$ , kadar air, kadar abu)
  - 2) analisa proximate bahan bakar (nilai kalor , fixed carbon, volatile meter)
  - 3) persentase oksigen dalam gas buang
  - 4) suhu gas buang dalam  $^{\circ}\text{C}$  ( $T_f$ )
  - 5) suhu ambient dalam  $^{\circ}\text{C}$  ( $T_a$ ) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
  - 6) GCV bahan bakar dalam kkal/kg
  - 7) Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)

### 3.4 Prosedur Kerja Analisis Ultimate dan Proximate Batubara Metode Tidak Langsung

#### 1. Penentuan kadar air

Alat-alat yang digunakan :

- Wadah sampel
- Neraca teknis

Cara kerja:

- Timbang 5-10 gram sampel batubara yang telah dihaluskan dengan menggunakan neraca teknis, dan ratakan diatas piringan neraca teknis
- Tutup neraca teknis dan tunggu beberapa menit hingga hasil kadar airnya muncul dilayar neraca
- Catat hasil

#### 2. Penentuan kadar air lembab(inherent moisture)

Alat-alat yang digunakan:

- Botol timbang (wadah penimbangan)
- Oven pengering
- Neraca analitik
- Desicator

Cara kerja:

- Timbang 1 gram contoh batubara yang berukuran 60 mesh kedalam botol/cawan yang telah diketahui bobotnya.
- Panaskan dalam oven pengering pada suhu  $105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$  selama  $1\frac{1}{2}$  jam
- Dinginkan didalam desicator dan kemudian ditimbang

#### 3. Penentuan kadar abu (Ash Content)

Alat- alat yang digunakan:

- Furnace



- Cawan porselin
- Desicator
- Neraca analitik

Cara kerja:

- Timbang kurang lebih 1 gram contoh batubara yang berukuran 60 mesh kedalam cawan yang telah diketahui bobotnya
- Panaskan dalam furnace pada suhu rendah( kurang lebih 35<sup>0</sup>C) kemudian perlahan –lahan suhu dinaikkan sampai 750<sup>0</sup>C
- Pemanasan dilanjutkan sampai contoh sempurna jadi abu ( berat konstan) selama 2 jam
- Dinginkan dalam desicator dan kemudian ditimbang

4. Penentuan kadar zat terbang( volatile matter)

Alat-alat yang digunakan:

- Furnace
- Cawan platina bertutup ( porselin bertutup )
- Desicator
- Stop watch (weker )

Cara kerja:

- Timbang 1 gram contoh batubara yang berukuran 60 mesh kedalam cawan platina porselin yang telah diketahui bobotnya, kemudian ditutup
- Masukkan kedalam furnace pada suhu 900<sup>0</sup>C selama 7 menit
- Dinginkan dalam desicator dan kemudian ditimbang

5. Penentuan kadar karbon padat( fixed carbon )

Kadar karbon padat (fixed carbon ) kadar karbon padat dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut:

$$= 100 \% - (\% \text{ air lembab} + \% \text{ abu} + \% \text{ vm} )$$

6. Penentuan calorific value

Alat- alat yang digunakan :

1. Calorimeter Parr 6200 dilengkapi dengan water handling system, water cooler, printer dan sebagainya.
2. Pipet 5 ml dan labu pengisap karet.

3. Tabung gas Oksigen yang berisi Oksigen murni.
4. Kawat Nichrome.
5. Neraca Analitic
6. Bomb Clorimeter.

Bahan kimia :

1. Asam Benzoat Pellet : Sudah tersedia dari Parr.

Prosedur Kerja :

1. Persiapan sampel
2. Peralatan dirakit sesuai dengan instruksi dalam manual pabrik pembuatnya
3. Ditimbang sekitar 1 gram sample dengan teliti dan dimasukkan kedalam cawan nikel. Dicatat beratnya didalam form.
4. Dipotong 10 cm kawat Nichrom, diikatkan pada electrode dari bomb dan dililitkan pada loop.
5. Disimpan cawan yang berisi sample pada ring support dari kepala bomb dan kenakan kawat sampai menyentuh sample. Kawat dijaga jangan sampai menyentuh cawan.
6. Dipipet 5 ml aquadest kedalam botol.  
Cawan dipasangkan pada bomb dan tutup bomb diputar sampai ketat.  
Bomb disambungkan dengan selang oksigen dan isi secara otomatis dengan menekan tombol  
"O<sub>2</sub> FILL" pada instrument yang sebelumnya telah dihidupkan.  
Pengisian dilakukan selama 1 menit dengan mencapai tekanan 3000 kPa.
7. Bucket diisi dengan 2000 ml air yang suhunya 3-5°C dibawah suhu jacket dan tetapkan 0,5°C  
dari penentuan yang satu ke penentuan yang lainnya. Pekerjaan ini umumnya menggunakan water Handling System.

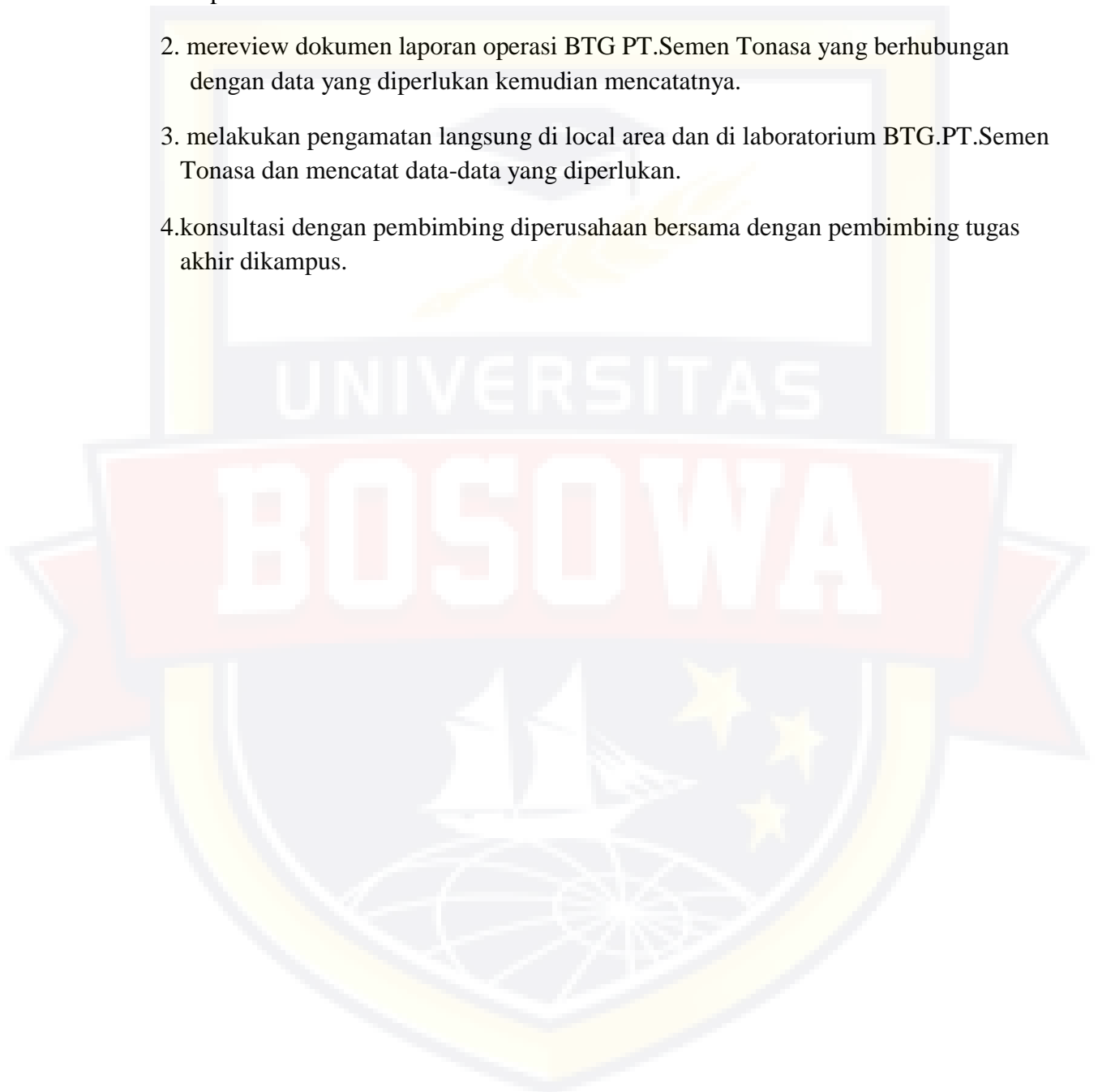
B. Prosedur Penentuan :

1. Calorimeter dihidupkan dan tekan tombol CALORIMETER OPERATION untuk masuk pada menu pengerjaan Calorific Value.

2. Kemudian aktifkan pompa dengan mengubah tombol PUMP dari "OFF" menjadi "ON". Tunggu sampai muncul pada layar tombol START aktif.
3. Bucket disimpan dalam Calorimeter dan masukkan bomb calorimeter yang telah diisi dengan oksigen kedalam bucket. Sambungkan electrode kedalam terminal pada kepala bomb Calorimeter ditutup dengan penutupnya. Pengaduk dan thermistor probe akan masuk kedalam bucket.
4. Tekan tombol START untuk memulai penentuan. Akan muncul dengan sendirinya CAL ID dan secara otomatis akan menentukan sendiri ID dari sample tersebut sesuai dengan urutannya, kemudian tekan ENTER. Setelah itu akan muncul perintah untuk memasukkan nomor BOMB dan BUCKET berapa yang dipakai. Tekan angka yang sesuai dengan BOMB dan BUCKET yang dipakai kemudian tekan ENTER. Setelah itu akan muncul perintah untuk memasukkan berat dari sample yang telah ditimbang tadi. Masukkan berat sample kemudian tekan ENTER lagi. Selama Calorimeter bekerja akan menyala huruf PREPERIOD yang menandakan batubara dalam bomb belum terbakar. Begitu batubara dalam bomb terbakar, maka akan terdengar bunyi seperti alarm yang tidak terlalu besar bunyinya. Setelah bunyi tersebut berhenti, maka secara otomatis tulisan PREPERIOD akan berubah menjadi POSTPERIOD yang menandakan bahwa batubara dalam bomb telah terbakar.
5. Setelah penentuan selesai, akan terpampang tulisan di layar dari Calorimeter hasil Calori dari batubara yang telah dibakar dalam bomb tadi, dan secara otomatis juga printer akan mengeluarkan data yang sama dengan data yang telah terpampang dan tersimpan pada calorimeter.
6. Buka tutup calorimeter dan angkat bomb serta bucket dari Calorimeter.
7. Cuci semua permukaan bagian bomb dengan aquadest sampai bersih dan
8. bersihkan sisa kawat yang tidak terbakar yang masih menempel pada loop.
9. Tutup gas Oksigen dengan terlebih dahulu membuang semua oksigen yang masuk ke dalam calorimeter dan PUMP di OFF-kan. Setelah itu kembali ke menu awal dan matikan calorimeter serta semua perlengkapan lain yang dipakai bersamanya.
10. Catat semua angka yang terdapat pada print out kedalam form yang telah disediakan.

### 3.5. Teknik Pengolahan Data

1. teknik wawancara, yaitu melakukan wawancara dengan operator operasi dan manager operasi BTG PT. Semen Tonasa untuk mendapatkan informasi yang diperlukan.
2. mereview dokumen laporan operasi BTG PT. Semen Tonasa yang berhubungan dengan data yang diperlukan kemudian mencatatnya.
3. melakukan pengamatan langsung di local area dan di laboratorium BTG. PT. Semen Tonasa dan mencatat data-data yang diperlukan.
4. konsultasi dengan pembimbing diperusahaan bersama dengan pembimbing tugas akhir dikampus.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil analisa data boiler unit I dan unit II di PLTU PT.Semen Tonasa

Boiler yang menjadi objek penelitian ini adalah boiler yang berada di BTG power plant unit I dan unit II.

Adapun spesifikasi Boiler BTG Power Plant unit I sebagai berikut:

Model : B dan WB – 130/3.82 - M

Kapasitas : 130 Ton/jam

Tekanan kerja steam drum : 4.22 Mpa

Tekanan uap superheated : 3.82 Mpa

Suhu uap superheated : 450<sup>0</sup>C

Suhu air umpan : 170<sup>0</sup>C

Suhu air panas : 317<sup>0</sup>C

Efisiensi boiler : 91%

Konsumsi bahan bakar : 15,720 kg/jam

Suhu cerobong pembuangan : 131<sup>0</sup>C

Adapun spesifikasi Boiler BTG Power Plant unit II sebagai berikut:

Model : Kawasaki SR – 144 type PCB mono drum radiant type natural circulation boiler

Kapasitas : 144 Ton/jam

Tekanan steam : 8,9 Mpa

Suhu uap superheated: 513<sup>0</sup>C

Suhu air umpan: 193<sup>0</sup>C

Suhu cerobong pembuangan: 90-120<sup>0</sup>C

Suhu lingkungan: 30<sup>0</sup>C

## 1. Analisis efisiensi boiler Metode Tidak Langsung

Berdasarkan metode heat loss(kehilangan panas )sesuai standar ASME PTC 4-1 dengan didukung analisis ultimate batubara, suhu gas buang keluar air heater, suhu udara sekitar dan beberapa asumsi yang diperlukan maka efisiensi termal dapat dihitung. Adapun data-data boiler dan ultimate batubara yang diperoleh sebagai berikut:

Tabel 4.1. Data-data ultimate batubara BTG Power Plant Unit I

No.	UNSUR	SIMBOL	NILAI	SATUAN
1	Carbon	C	60,64	%
2	Hydrogen	H	4,43	%
3	Oksigen	O	33,71	%
4	Nitrogen	N	1,06	%
5	Sulfur	S	0,34	%

Sumber : Data hasil analisa ultimate batubara BTG Power Plant unit I

Tabel 4.2. Data- data ultimate batubara BTG Power Plant unit II

No.	UNSUR	SIMBOL	NILAI	SATUAN
1	Carbon	C	46,99	%
2	Hydrogen	H	4,84	%
3	Oksigen	O	46,47	%
4	Nitrogen	N	0,87	%
5	Sulfur	S	0,11	%

Sumber : Data hasil analisa ultimate batubara BTG Power Plant unit II

## 2. Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler A,B,C, dan D

### a. BTG Unit I (boiler A dan B)

Tabel 4.3 Hasil perhitungan efisiensi boiler A

Jumlah steam(ton/jam)	Efisiensi (%)	Beban (MW)
67,34	84,94	14,37
68,46	84,97	14,13
69,42	84,98	14,46
73	84,95	15,365
74,09	84,88	16,36
80,05	85,013	17,15

Tabel 4.4 Hasil perhitungan efisiensi boiler B

Jumlah steam (ton/jam)	Efisiensi (%)	Beban (MW)
72,89	84,86	12,62
75,89	84,98	14,39
82,53	85,03	15,85
86,72	84,97	14,58
87,54	84,92	16,32
90,82	85,07	17,18

b. BTG Unit II (boiler C dan D)

Tabel 4.5 Hasil perhitungan efisiensi boiler C

Jumlah steam (ton /jam)	Efisiensi (%)	Beban (MW)
75	87,59	20
80,95	87,61	21
85,2	87,66	22
86,6	87,69	23
162,2	88,27	33,06
134	88,46	35

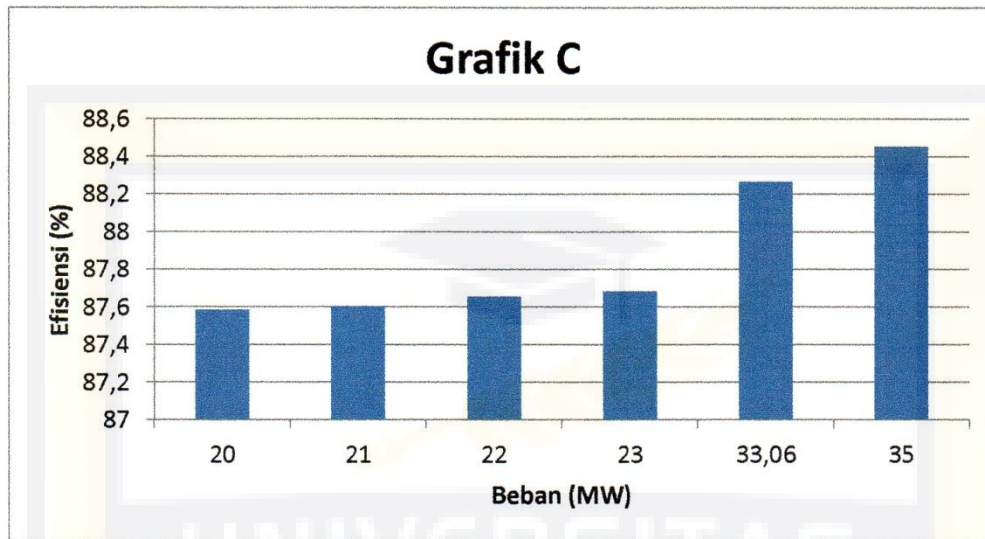
Tabel 4.6 Hasil perhitungan efisiensi boiler D

Jumlah steam (ton/jam)	Efisiensi (%)	Beban (MW)
76,07	87,66	20
79,63	87,68	21
88,8	87,78	23
130.3	88,33	34,49

#### 4.2 Pembahasan

Perhitungan efisiensi boiler yang kami lakukan dengan metode tidak langsung yaitu berdasarkan kehilangan panas yang terjadi dalam pembakaran dan dengan metode langsung yang berdasarkan banyaknya jumlah steam yang dihasilkan. Efisiensi boiler yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan metode tidak langsung adalah 84,88% pada beban 14,46 MW dan 84,92% pada beban 16,32 MW untuk boiler A dan B; 87,59% dan 87,6608% untuk boiler C dan D pada beban yang dihasilkan 20 MW. Sedangkan efisiensi boiler yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan metode langsung adalah

66,64% pada beban 14,46 MW dan 64,3 pada beban 16,32 MW;74,67% untuk boiler C dan 67,24% untuk boiler D pada beban yang dihasilkan 20 MW.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan antara beban boiler dengan efisiensi boiler.

Hasil perhitungan berdasarkan metode langsung kurang akurat dan tidak dapat diketahui secara pasti faktor apa saja yang menjadi penyebab berkurangnya efisiensi karena sedikitnya parameter yang dihitung, sedangkan metode tidak langsung cenderung lebih akurat dan dapat diketahui faktor yang menjadi penyebab berkurangnya efisiensi karena dihitung berbagai kehilangan panas yang berpengaruh pada efisiensi boiler.

Berdasarkan perhitungan menggunakan metode tidak langsung (kehilangan panas/heat loss) terdapat adanya penurunan efisiensi boiler yang disebabkan oleh faktor kehilangan panas yang disebabkan oleh gas buang kering, kehilangan panas karena terdapatnya kadar air pada proses pembakaran hydrogen, dan kehilangan panas karena adanya kadar air didalam bahan bakar. Ketiga kehilangan panas ini merupakan kehilangan panas yang paling besar pengaruhnya pada penurunan efisiensi boiler.

Selain itu ada juga faktor lain yang berpengaruh terhadap besarnya kehilangan panas, yaitu nilai kalor dan kandungan ultimate batubara, kualitas batubara yang digunakan, suhu gas buang kering, umur pakai boiler, dan air umpan boiler yang kurang memenuhi standar baku air umpan.

Faktor pertama adalah kualitas batubara. Kualitas batubara ini meliputi nilai kalor,ultimate, dan kadar air. Nilai kalor (CV) batu bara sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran. Sebagaimana diketahui semakin tinggi nilai kalor (CV) yang terkandung pada bahan bakar, pembakaran akan menghasilkan energy panas yang lebih tinggi dan meningkatkan efisiensi boiler. Begitu pula kandungan karbon, hydrogen,



nitrogen, oksigen sulfur, moisture dan ash content dalam batubara sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran. Dimana karbon, hydrogen, sulfur adalah unsure batubara yang mudah terbakar dan ketiga unsure inilah yang banyak dibahas dalam persamaan reaksi pembakaran. Moisture (kelembaban) dan unsure kandungan hidrogen pada batubara merupakan faktor penting terhadap kinerja boiler, karena semakin tinggi unsure moisture pada batu bara akibatnya kalor yang timbul akibat pembakaran bahan bakar pada boiler sebagian akan diserap oleh kandungan air pada batubara, sehingga mengurangi kalor yang digunakan oleh boiler untuk menguapkan air umpan (feed water).

Faktor kedua yang menyebabkan tingginya persentase kehilangan panas adalah karena gas buang kering, salah satunya adalah temperature gas buang yang cukup tinggi, dimana semakin tinggi nilai dari temperature gas buang berarti semakin tinggi pula panas yang keluar dari boiler, dengan kata lain akan mengurangi efisiensi boiler. Oleh karena itu, suhu gas buang harus serendah mungkin, walau demikian suhu tersebut tidak boleh terlalu rendah sehingga uap air akan mengembun pada dinding cerobong. Hal ini penting bagi batubara yang mengandung sulfur dimana pada suhu rendah akan mengakibatkan korosi titik embun sulfur.

Faktor ketiga yaitu umur pakai (life time) boiler, semakin tinggi lama umur pakai boiler tersebut kinerjanya akan semakin menurun. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemeliharaan boiler secara teratur.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

1. Efisiensi boiler BTG Power Plant unit I adalah 87,37% pada beban 14,46 MW dan 87,63% pada beban 16,32 MW untuk boiler A dan B
2. Efisiensi boiler BTG Power Plant unit II pada beban 20 MW adalah 70,81 % untuk boiler C dan 69,86% untuk boiler D.
3. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi yaitu, kualitas batubara (kandungan air dan nilai kalor) dan temperature gas buang kering.

#### B. Saran

1. Untuk meningkatkan efisiensi boiler perlu dilakukan penjadwalan pemeliharaan boiler secara teratur terutama pembersihan pipa-pipa secara teratur untuk menghilangkan kerak atau jelaga dengan melakukan shoot blowing.
2. Menjaga kualitas batubara dengan melakukan analisa ultimate secara berkala, karena kualitas batubara sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran dan kehilangan panas yang terjadi pada boiler.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung. N.2010. *Perhitungan Efisiensi Boiler PLTU*. Taman Jeranjang Lombok. online). ([http://www.Perhitungan\\_efisiensi\\_boiler.htm](http://www.Perhitungan_efisiensi_boiler.htm) diakses 17 april 2012).
- Alkon, 2010. *Pelatihan dan sertifikasi operator pesawat uap kelas 1*, Pembinaan keterampilan dan manajemen, Surwabaya.
- D.Jengel.alih bahasa oleh G. Wegener,2011. *Kimia Ultrastruktur reaksi-reaksi uap air*, University press, Gajah mada.
- Deby S.D, 2012. *Proses produksi boiler pipa air PT. Katingan timber Celebes Makasaar* (online),([http://www.proses\\_produksi\\_boiler\\_pipa\\_air.htm](http://www.proses_produksi_boiler_pipa_air.htm), diakses 07 juni 2012).
- Heri Abri S.2013. *boiler(ketel uap)*, universitas Kehutanan, Sumatera utara.
- Luchis Rubianto, LRSC, 2011. *Termodinamika*, Pusat Pengembangan Pendidikan, Politeknik Bandung.
- Muin Syamsir.A. Ir, 2013. *Pesawat-pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*, Cetakan Pertama, CV. Rajawali, Jakarta.
- Mujahidah. 2012. Laporan Tugas Akhir. “Efisiensi Boiler PLTU PT.PLN (PERSERO) wilayah sulseltra. Makassar.
- Purnamasari, Esti.2014. *Efisiensi boiler di utility cold rolling mill* . Cilegon, Bandung.online (Neraca Panas for Efisiensi Boiler CRM.htm diakses 08 september 2010)
- Yoshimine. 2015. *Boiler Industry water tube boiler*. University Jepang.



**LAMPIRAN**

## DATA PENGAMATAN

### LAPORAN HASIL ANALISA RAW COAL DAN KOMPOSIT LABORATORIUM BTG

Tgl	Nilai kalor (Min. 6200 cal/g)		Ash		Volatile Matter	
	I	II	I	II	I	II
07 s/d 13 Mei 2015	5599,72	5371,86	6,96	5,89	41,98	44,87
14 s/d 20 Mei 2015	5500,89	5208,53	7,47	6,52	40,64	43,71

Tgl	Fixed Carbon		Sulfur		Inherent Moisture	
	I	II	I	II	I	II
07 s/d 13 Mei 2015	39,39	37,89	0,28	0,3	27,04	22,21
14 s/d 20 Mei 2015	39,35	36,28	0,26	0,24	27,19	24,86

### LAPORAN HARIAN HASIL ANALISA (COAL MILL) BATUBARA

#### BTG Unit I

Tanggal	Jam	Unburn carbon	Unburn in bottom ash	
		in fly ash	Slag I	Slag II
		Ash		
18-Mei-15	07.30			
	09.30	0,4	55,78	8,68
	11.30			
	13.30	1,09	35,71	3,89
	15.30			
	17.30	0,98	45,35	3,85
	19.30			
	21.30	0,49	51,54	2,24
	23.30			
	01.30	0,63	58,91	3,73
	03.30			
	05.30	0,5	62,03	4,27

## **BTG Unit II**

<b>Tanggal</b>	<b>Jam</b>	<b>Unburn carbon in fly ash</b>		<b>Unburn in bottom ash</b>	
		<b>Ash C</b>	<b>Ash D</b>	<b>Slag I</b>	<b>Slag II</b>
19-Mei-15	00.00	0,19	0,1		
	02.00				
	04.00	0,3	0,59		
	06.00			9,37	0,6
	08.00	0	0		
	10.00				
	12.00	0,2	0,1		
	14.00				
	16.00	0,26	0,18		
	18.00			1,07	1,73
	20.00	0,09	0,03		
	22.00				
	<b>Rata-rata</b>	0,17	0,17	5,22	1,17

I  
T  
I  
N  
I  
T  
I  
B

Tgl	jam	Bahan bakar		Bfw				Steam Keluar				Flue gas		Beban (MW)			
		Laju Alir ton/jam		Suhu (C)		Laju Alir ton/jam		Suhu (C)		Laju Alir (ton/jam)		tekanan (Mpa)		Suhu (C)			
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
18-Mei-15	10.00	14,91	16,2672	103	129,85	72,19	103,1	437,32	432,71	74,09	87,54	3,54	3,55	140,19	140,25	16,36	16,32
	11.00	15,6576	16,2936	105,15	131,88	82,72	96,67	434,6	435,11	72,68	90,82	3,46	3,51	138,46	140,37	15,91	15,91
	12.00	12,2628	15,7044	104,43	100,1	65,38	100,9	436,37	436,26	72,73	82,53	3,54	3,57	137,49	138,76	14,82	14,82
	13.00	12,7728	14,4792	102,88	127,83	60,19	83,77	434,52	425,63	68,46	75,32	3,53	3,56	136,42	138,04	14,13	14,39
	14.00	13,0008	13,695	104,23	127,6	69,42	72,89	439,27	422,64	69,42	72,89	3,63	3,53	137,85	138,24	14,46	12,62
	15.00	12,2064	14,1	102,36	126,78	67,34	86,72	438,73	439,65	67,34	86,72	3,55	3,56	135,82	138,62	14,37	14,58
	16.00	12,2628	15,7044	109,75	133,24	75,26	100,2	444,18	446,21	80,5	84,92	3,57	3,59	137,25	138,62	17,15	16,18

H I T I N G U B

Tanggal	Jam	Boiler Feed Water				Steam				Bahan Bakar			Flue gas			Beban			
		Suhu (Ta)		Laju alir (Fa)		Suhu (Ts)		Laju Alir (Fs)		Tekanan (Ps)		Laju Alir			Suhu				
		(C)		(ton/jam)		(C)		(ton/jam)		(Mpa)		(ton/jam)			C			MW	
		C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D
19/05/2015	09.00	171	171	84,9	89,9	509	513	76,6	77,1	8,57	8,71	12,5	15,2	106	104	20,5	20,54		
	10.00	170	171	82,6	85,2	508	511	75	75	8,67	8,77	12,4	14,6	106	103	20,02	20,03		
	11.00	172	172	84,8	88,5	509	517	80,3	75,6	8,81	8,82	12,6	13,9	106	103	21,03	20,05		
	12.00	172	171	86,9	85,9	511	508	81,5	76,3	8,74	8,79	12,4	13,9	107	104	21,01	20		
	13.00	172	171	94,4	86,4	510	511	85,4	77,4	8,71	8,75	13	13,5	108	104	21,01	20		
	14.00	173	173	92,5	86,6	511	514	86,9	80,5	8,77	8,58	13,1	14,9	108	106	22	21		
	15.00	174	174	94,4	92	510	508	83,5	81,3	8,67	8,75	13	15,8	107	106	22,01	21,02		
	16.00	175	176	94,1	99	510	507	86,6	88,8	8,75	8,8	13,3	16,2	107	107	23,02	23,01		



PERHITUNGAN BTG Unit I

A. Efisiensi Boiler Metode Tidak Langsung

Tabel . Data-data boiler

No.	Parameter uji	Simbol	Nilai	Satuan
1	Unburn Carbon in fly Ash	Fc	0,68	%
2	Unburn in bottom Ash	Bc	27,99	%
3	Air Boiler Inlet temperatur	Ta	34	<sup>o</sup> C
4	Air heater outlet temperatur	Tg	140,37	<sup>o</sup> C

sumber : data operasi BTG Power Plant tanggal 18 Mei 2015 pada flow steam 90,82

1. Menghitung kebutuhan udara teoritis ( $W_{ud\ teoritis}$ )

$$W_{ud\ teoritis} = \left[ \frac{(11,34 \times C) + \left(34,5 \times \left(H - \frac{O}{8}\right)\right) + (4,32 \times S)}{100} \right] \text{kg/kg bb}$$

$$= \left[ \frac{(11,34 \times 60,46) + \left(34,5 \times \left(4,43 - \frac{33,717}{8}\right)\right) + (4,32 \times 0,34)}{100} \right] \text{kg/kg bb}$$

$$= 6,99 \text{ kg/kg bb}$$

2. Menghitung kebutuhan udara actual ( $w_{ud\ aktual}$ )

Diasumsikan tingkat udara lebih untuk jenis batubara yang digunakan Pada PLTU PT.Semen Tonasa Indonesia sebesar 20%.

$$W_{ud\ actual} = \left[ 1 + \frac{X}{100} \right] \times W_{ud\ teoritis}$$

$$= \left[ 1 + \frac{20}{100} \right] \times 6,99 \text{ kg/kg bb}$$

$$= 8,399 \text{ kg/kg bb}$$

3. Menghitung komposisi gas asap

a.karbon dioksida ( $CO_2$ )

Berat molekul  $CO_2 = \frac{\text{Berat molekul C} + \text{Berat molekul O}}{12 \text{ kg/mol}}$

$$= \frac{(12+32) \text{ kg/mol}}{12 \text{ kg/mol}}$$

$$= \frac{44}{12}$$

$$CO_2 = \left(\frac{44}{12}\right) \times C = \left(\frac{44}{12}\right) \times 60,64 \% \text{ diubah ke kg} = 0,6064 \text{ kg/kg bb}$$

=2,22 kg/kg bb

b. Sulphurdioksida (SO<sub>2</sub>)

$$\text{Berat Molekul SO}_2 = \frac{\text{Berat molekul S} + \text{berat molekul O}_2}{\text{Berat molekul C}}$$

$$= \frac{(32+32) \text{ kg/mol}}{32 \text{ kg/mol}}$$

$$= 2$$

$$\text{SO}_2 = 2 \times S = 2 \times 0,34 \text{ kg/kg bb} \\ = 0,68 \text{ kg/kg bb}$$

c. Oksigen (O<sub>2</sub>)

$$\text{O}_2 = (W_{\text{ud actual}} - W_{\text{ud teoritis}}) \cdot 0,232 \text{ kg/kg bb} \\ = (8,399 \text{ kg/kg bb} - 6,99 \text{ kg/kg bb}) \times 0,232 \text{ kg/kg bb} \\ = 0,324 \text{ kg/kg bb}$$

d. Nitrogen (N<sub>2</sub>)

$$\text{N}_2 = N + (0,768 \times W_{\text{ud actual}}) \\ = 0,106 \text{ kg} + (0,768 \text{ kg} \times 8,39 \text{ kg/kg bb}) \\ = 6,549 \text{ kg/kg bb}$$

e. Uap air (H<sub>2</sub>O)

$$\text{H}_2\text{O} = \text{MF} + (9\text{H}) + (0,013 \cdot W_{\text{ud teoritis}}) \\ = 0,2719 \text{ kg/kg bb} + (9 \times 0,0443 \text{ kg/kg bb}) + (0,013 \times 6,99 \text{ kg/kg bb}) \\ = 0,76 \text{ kg/kg bb}$$

4. Menghitung seluruh kehilangan panas (heat loss)

Kehilangan panas yang dimaksud adalah pembakaran bahan bakar yang menyisakan beberapa kandungan bahan bakar yang tidak terbakar. Seluruh kehilangan panas yang terjadi antara lain melalui:

a. kehilangan panas karena gas buang kering/heat loss due to dry gas (L<sub>dg</sub>)

$$L_{\text{dg}} = \frac{W_{\text{dg}} \times C_{\text{pg}} (T_{\text{g}} - T_{\text{a}})}{CV} \times 100\%$$

Dimana :

W<sub>dg</sub> = berat gas asap kering yang terbentuk dari hasil pembakaran

$$W_{\text{dg}} = (\text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{N}_2 + \text{O}_2)$$

$$= (2,22 \text{ kg/kg bb} + 0,68 \text{ kg/kg bb} + 0,324 \text{ kg/kg bb} + 7,503 \text{ kg/kg bb}) \\ = 10,727 \text{ kg/kg bb}$$

Sehingga:

$$L_{\text{dg}} = \left[ \frac{10,727 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \text{ bb} \times 0,24 \text{ kkal/kgOc} (140,37 \text{ oc} - 34 \text{ oc})}{5500,89 \text{ kkal/kg}} \right] \times 100\%$$

$$= 5,95\%$$

b.kehilangan panas karena adanya kandungan air dalam bahan bakar /heat loss due to moisture in full( $L_{mf}$ )

$$L_{mf} = \left[ \frac{MF/100(hg-ha)}{CV} \times 100\% \right]$$

Hg= dari tabel uap jenuh, untuk  $T_g=100,3^{\circ}C$  dan kemudian diinterpolasi, diperoleh

$$Hg=2676,1 \text{ kJ/kg}$$

Hg=dari tabel uap ,untuk temperature udara sekitar  $34^{\circ}C$  dan kemudian diinterpolasi,diperoleh  $ha=142,5 \text{ kJ/kg}$

CV= 5371,86 kkal/kg=22490,9 KJ/Kg, jadi:

$$\begin{aligned} L_{mf} &= \left[ \frac{MF/100(hg-ha)}{CV} \times 100\% \right] \\ &= \left[ \frac{27,19 \frac{kg}{kg} bb / 100 (2676,1 \frac{kJ}{kg} - 142,5 \frac{kJ}{kg})}{23031,13} \times 100\% \right] \\ &= 2,540\% \end{aligned}$$

c.kehilangan panas karena kadar air untuk pembakaran hydrogen dalam bahan bakar/heat loss due to moisture from burning hydrogen( $L_H$ )

$$L_H = \left[ \frac{9H/100(hg-ha)}{CV} \times 100\% \right]$$

$$\begin{aligned} &9 \left( \frac{4,43 \frac{KJ}{KG}}{100} \right) (2733,9 \frac{kJ}{kg} - 142,5 \frac{kJ}{kg}) \\ &= \left[ \frac{23031,13 \text{ kJ/kg}}{23031,13 \text{ kJ/kg}} \times 100\% \right] \\ &= 4,486\% \end{aligned}$$

a. Kehilangan panas karena kandungan air didalam udara pembakaran/heat loss due to moisture in air( $L_{ma}$ )

$$L_{ma} = \left[ \frac{AAS \times \text{humudity factor} \times cp \times (Tg-Ta)}{CV} \times 100 \right]$$

Dari tabel phsycometric, untuk temperature  $34^{\circ}C$  dan kemudian diinterpolasi, diperoleh humidity factor =0,018

$$= \left[ \frac{8,39 \frac{kg}{kg} bb \times 0,018 \times \frac{0,46 \text{ kkal}}{kg^{\circ}C} \times (140,37^{\circ}C - 34^{\circ}C)}{5500,89 \text{ kkal/kg}} \times 100 \right]$$

$$= 0,1344\%$$

b. Kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang(fly ash) dan abu bawah(bottom ash/slag ash)( $L_c$ )

$$L_c = \left[ \frac{A}{100} \cdot (0,8 C \text{ in fly ash} + 0,2 C \text{ in slag}) \cdot 8076 \right. \\ \left. \times 100\% \right]$$

$$= \left[ \frac{\frac{5,89}{100} \frac{kg}{kgbb} \cdot \left( 0,8.0,681 \frac{kg}{kg} bb + \frac{0,2.27,99kg}{kgbb} \right) \cdot 8076}{100 - \left( \frac{0,8.0,681kg}{kgbb} + \frac{0,2.27,99kg}{kgbb} \right) \cdot 5500,89 kkal/kg} \right] \times 100$$

$$= 0,71804\%$$

- c. Kehilangan panas karena radiasi/heat loss due radiation ( $L_g$ )  
 Besarnya kalor yang hilang melalui radiasi didapatkan berdasarkan grafik ABMA (American Boiler Manufactures Asociation). Berdasarkan data boiler di PLTU PT. Semen Tonasa, uap yang dihasilkan boiler sebanyak 90,82 ton/jam (222225 lb/jam) dan beban boiler sebesar 32 MW (69,86%).  
 Besarnya kehilangan panas karena radiasi ( $L_g$ ) = 0,51% dapat dilihat pada lampiran grafik ABMA (American Boiler Manufactures Asociation).
- d. Kehilangan panas yang tak terukur/uncounted loss ( $L_{uc}$ )  
 Ada beberapa sumber yang dapat menyebabkan kerugian kalor pembakaran, dimana besarnya terlalu rumit untuk dihitung secara pasti. Untuk mengatasi hal tersebut, sebagai standar, kalor hilang tersebut dinamakan sebagai kalor hilang yang tak terukur dan besarnya untuk boiler yang digunakan sebagai power plant sekitar 1%.

Kehilangan panas total:

$$\begin{aligned} L_{tot} &= L_{dg} + L_{mf} + L_h + L_{ma} + L_c + L_R + L_{uc} \\ &= 5,021 + 3,059 + 4,486 + 0,1344 + 0,1784 + 0,51 + 1,00 \\ &= 14,92917\% \end{aligned}$$

Jadi efisiensi boiler:

$$\begin{aligned} \text{Eff boiler} &= 100 - L_{tot} \\ &= (100 - 14,92917)\% \\ &= 85,07083\% \end{aligned}$$

#### B. Efisiensi Boiler Metode Langsung

Tabel data-data input-output boiler tanggal 18 Januari 2016

NO.	Parameter uji	Nilai	Satuan
1	Jumlah steam yang dihasilkan (Q)	90820	Kg/jam
2	Tekanan steam (p)	3,51	Mpa
3	Jumlah pemakaian batubara (q)	16293,6	Kg/jam
4	Suhu air umpan ( $T_f$ )	131,88	$^{\circ}\text{C}$
5	Nilai kalor batubara (CV)	23031,13	Kj/kg
6	Entalpi steam ( $h_g$ )	3303,7	Kj/kg
7	Entalpi air umpan ( $h_f$ )	554,4	Kj/kg

Sumber : data operasi BTG Power Plant tanggal 18 Januari 2016 pada beban 15,91 MW

$$\text{Efisiensi boiler} = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times CV}$$

$$= \frac{90820 \frac{kg}{jam} \times (3303,7 - 554,4) kJ/kg}{16293,6 kg/jam \times 23031,13 kJ/kg} \times 100\%$$

$$= 66,5382\%$$

## PERHITUNGAN BTG UNIT II

### C. Efisiensi Boiler Metode Tidak Langsung

Tabel . data-data boiler

No.	Parameter uji	Simbol	Nilai	Satuan
1	Unburn carbon in Fly Ash	Fc	0,17	%
2	Unburn in Bottom ash	Bc	5,22	%
3	Air boiler inlet temperatur	Ta	34	<sup>0</sup> C
4	Air heater outlet temperatur	Tg	106	<sup>0</sup> C

Sumber : data operasi BTG Power Plant tanggal 19 januari 2016 pada beban 20 MW.

1. Menghitung kebutuhan udara teoritis ( $W_{ud\ teoritis}$ )

$$W_{ud\ teoritis} = \left[ \frac{(11,34 \times C) + \left( 34,5 \times \left( H - \frac{O}{8} \right) \right) + 4,32 \times S}{100} \right]$$

$$= \left[ \frac{(11,34 \times 46,99) + \left( 34,5 \times \left( 4,84 - \frac{46,47}{8} \right) \right) + (4,32 \times 0,11)}{100} \right] \frac{kg}{kg} bb$$

$$= 5 \text{ kg/kg bb}$$

2. Menghitung kebutuhan udara actual ( $W_{ud\ actual}$ )

Diasumsikan tingkat udara lebih untuk jenis batubara yang digunakan pada PLTU PT.Semen Tonasa sebesar 20%.

$$W_{ud\ actual} = \left[ 1 + \frac{x}{100} \right] \times W_{ud\ teoritis}$$

$$= \left[ 1 + \frac{20}{100} \right] \times \frac{5kg}{kg} bb$$

$$= 6 \text{ kg/kg bb}$$

3. Menghitung komposisi gas asap

- a. Karbon dioksida ( $CO_2$ )

$$\text{Berat molekul CO}_2 = \frac{\text{Berat molekul C} + \text{Berat molekul O}_2}{\text{Berat molekul C}}$$

$$= \frac{12 + 32 \text{ kg/mol}}{12 \text{ kg/mol}}$$

$$= 44/12$$

$$\text{CO}_2 = \frac{44}{12} \times c = \frac{44}{12} \times 0,4699 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \text{ bb}$$

$$= 1,72 \text{ kg/kg bb}$$

b. Sulphurdioksida (SO<sub>2</sub>)

Berat molekul SO<sub>2</sub> = Berat molekul S + Berat molekul O<sub>2</sub> / Berat molekul C

$$= \frac{32 + 32 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{32 \text{ kg/mol}}$$

$$= 2$$

$$\text{SO}_2 = 2 \times S = 2 \times 0,0011 \text{ kg/kg bb}$$

$$= 0,002 \text{ kg/kg bb}$$

c. Oksigen (O<sub>2</sub>)

$$\text{O}_2 = (W_{\text{ud actual}} - W_{\text{ud teoritis}}) \cdot 0,232$$

$$= (6 \text{ kg/kg bb} - 5 \text{ kg/kg bb}) \times 0,232 \text{ kg}$$

$$= 0,232 \text{ kg/kg bb}$$

d. Nitrogen (N<sub>2</sub>)

$$\text{N}_2 = N + (0,768 \times W_{\text{ud actual}})$$

$$= 0,87 \text{ kg} + (0,768 \text{ kg} \times 6 \text{ kg/kg bb})$$

$$= 5,48 \text{ kg/kg bb}$$

e. Uap air (H<sub>2</sub>O)

$$\text{H}_2\text{O} = \text{MF} + (9\text{H}) + (0,013 \cdot W_{\text{ud teoritis}})$$

$$= 0,2221 \text{ kg/kg bb} + (9 \times 0,0484 \text{ kg/kg bb}) + (0,013 \times 5 \text{ kg/kg bb})$$

$$= 0,72 \text{ kg/kg bb}$$

4. Menghitung seluruh kehilangan panas (heat loss)

Kehilangan panas yang dimaksud adalah pembakaran bahan bakar yang menyisakan beberapa kandungan bahan bakar yang tidak terbakar. Seluruh kehilangan panas yang terjadi antara lain melalui :

- a. Kehilangan panas karena gas buang kering /heat loss due to dry gas ( $L_{dg}$ )

$$L_{dg} = W_{dg} \times C_{pg}(T_g - T_a) / CV \times 100$$

Dimana :

$W_{dg}$  = berat gas asap kering yang terbentuk dari hasil pembakaran

$$W_{dg} = (CO_2 + SO_2 + O_2 + N_2)$$

$$= (1,72 \text{ kg/kg bb} + 0,002 \text{ kg/kg bb} + 0,232 \text{ kg/kg bb} + 5,48 \text{ kg/kg bb})$$

$$= 7,43 \text{ kg/kg bb}$$

Sehingga :

$$L_{dg} = \left[ \frac{7,43 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \text{bb} \times 0,24 \text{ kkal/kg} \times (1060C - 340C)}{5208,53 \text{ kkal/kg}} \right] \times 100\%$$

$$= 2,4665\%$$

- b. Kehilangan panas karena adanya kandungan air dalam bahan bakar / Heat loss due to moisture in full ( $L_{mf}$ )

$$L_{mf} = \left[ \frac{MF/100(hg - ha)}{CV} \times 100\% \right]$$

$H_g$  = dari tabel uap jenuh , untuk  $T_g = 106^\circ\text{C}$  dan kemudian diinterpolasi diperoleh  $h_g = 2648,9 \text{ kJ/kg}$

$H_a$  = dari tabel uap , untuk temperature udara sekitar  $34^\circ\text{C}$  dan kemudian diinterpolasi, diperoleh  $h_a = 142,5 \text{ kJ/kg}$

$CV = 5208,53 \text{ kkal/kg} = 21807,07 \text{ kJ/kg}$ , jadi

$$L_{mf} = \left[ \frac{MF/100(hg - ha)}{CV} \times 100\% \right]$$

$$= \left[ \frac{22,21 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \text{bb} / 100 (2684,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 142,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})}{21807,07 \text{ kJ/kg}} \times 100\% \right]$$

$$= 2,8983\%$$

- c. Kehilangan panas karena kadar air untuk pembakaran hydrogen dalam bahan bakar/Heat loss due to moisture from burning hydrogen ( $L_H$ )

$$L_H = \left[ \frac{9H/100(hg - ha)}{CV} \times 100\% \right]$$

$$= \left[ \frac{9 \left( \frac{4,84 \frac{kJ}{kg}}{100} \right) (2684,9 \frac{kJ}{kg} - 142,5 \frac{kJ}{kg})}{21807,07 \text{ kJ/kg}} \right] \times 100\%$$

$$= 5,0785\%$$

- d. Kehilangan panas karena kandungan air didalam udara pembakaran/Heat loss due to moisture in air ( $L_{ma}$ )

$$L_{ma} = [AAS \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_g - T_a) / CV \times 100\%]$$

Dari tabel psychrometric udara, untuk temperature  $34^\circ\text{C}$  dan kemudian diinterpolasi, diperoleh humidity factor = 0,018

$$= \left[ \frac{6 \frac{kg}{kg} \text{bb} \times 0,018 \times \frac{0,46 \text{ kkal}}{kg} \times (106^\circ\text{C} - 34^\circ\text{C})}{5208,53 \text{ kkal/kg}} \right] 100\%$$

$$= 0,0687\%$$

- e. Kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang (fly ash) dan abu bawah (bottom ash/slag ash) ( $L_c$ )

$$L_c = \left[ \frac{\frac{A}{100} (0,8C \text{ in fly ash} + 0,2C \text{ in slag}) \cdot 8076}{100 - (0,8 \text{ in fly ash} + 0,2C \text{ in slag}) \cdot CV} \right] \times 100\%$$

$$= \left[ \frac{\frac{5,89 \frac{kg}{kg} \text{bb}}{100} \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 0,125 \frac{kg}{kg} \text{bb} + 0,2 \cdot 1,975 \frac{kg}{kg} \text{bb}}{kg} \right) \cdot 8076}{100 - \left( \frac{0,8 \cdot 0,125 \frac{kg}{kg} \text{bb} + 0,2 \cdot 1,975 \frac{kg}{kg} \text{bb}}{kg} \right) \cdot 5208,53 \text{ kkal/kg}} \right] \times 100\%$$

$$= 0,121\%$$

- f. Kehilangan panas karena radiasi/Heat loss due radiation ( $L_R$ )

Besarnya kalor yang hilang melalui radiasi didapatkan berdasarkan grafik ABMA (American Boiler Manufactures Asociation). Berdasarkan data boiler di PLTU PT.Semen Tonasa, uap yang dihasilkan boiler sebanyak 75 ton/jam (186511 lb/jam) dan beban boiler sebesar 20 MW (57,14%).

Besarnya kehilangan panas karena radiasi ( $L_R$ ) = 0,78% dapat dilihat pada lampiran grafik ABMA (American Boiler Manufactures Asociation).

- g. Kehilangan panas yang tak terukur /uncounted loss ( $L_{UC}$ )

Ada beberapa sumber yang dapat menyebabkan kerugian kalor pembakaran, dimana besarnya terlalu rumit untuk dihitung secara pasti. Untuk mengatasi hal tersebut, sebagai standar, kalor hilang tersebut dinamakan sebagai kalor hilang



yang tak terukur dan besarnya untuk boiler yang digunakan sebagai power plant sekitar 1%

Kehilangan panas total :

$$L_{tot} = L_{dg} + L_{mf} + L_h + L_{ma} + L_c + L_R + L_{uc}$$

$$= 2,4665 + 2,8983 + 5,0781 + 0,0687 + 0,121 + 0,78 + 1,00\%$$

$$= 12,4129\%$$

Jadi efisiensi boiler :

$$\text{Eff boiler} = 100 - L_{tot}$$

$$= (100 - 12,4129)\%$$

$$= 87,5871\%$$

D. Efisiensi Boiler Metode tidak langsung

Tabel . data-data input-output boiler tanggal 20 januari 2016

No.	Parameter uji	Nilai	Satuan
1	Jumlah steam yang dihasilkan(Q)	75000	Kg/jam
2	Tekanan steam(P)	8,67	Mpa
3	Jumlah pemakaian batubara(q)	12400	Kg/jam
4	Suhu air umpan(Tf)	170	°C
5	Nilai kalor batubara(CV)	21807,07	Kj/kg
6	Entalpi steam(hg)	3411,3	Kj/kg
7	Entalpi air umpan(hf)	719,2	Kj/kg

Sumber : data operasi BTG Power Plant tanggal 19 januari 2016 pada beban 20 MW

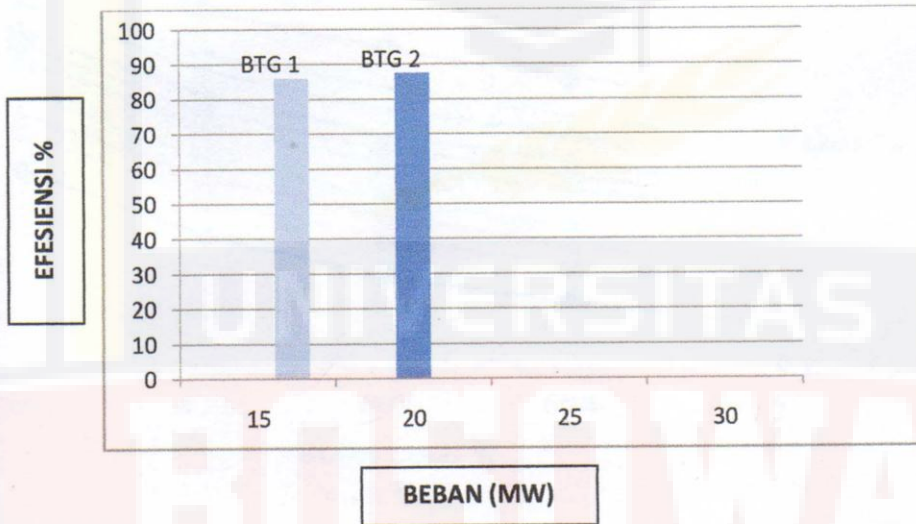
$$\text{Efisiensi boiler} = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times CV}$$

$$= \frac{75000 \frac{kg}{jam} \times (3411,3 - 719,2) \text{kj/kg}}{12400 \text{kg/jam} \times 21807,07 \text{kj/kg}} \times 100\%$$

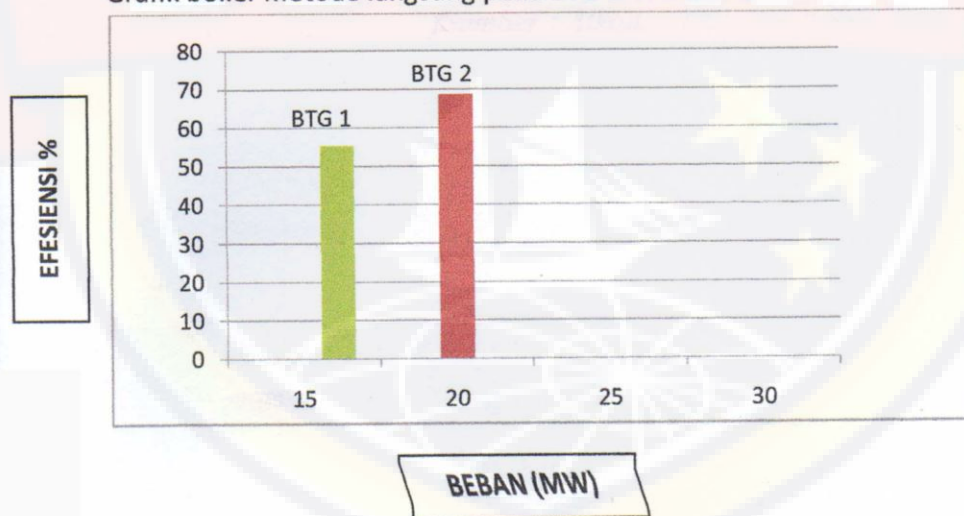
$$= 74,6678\%$$

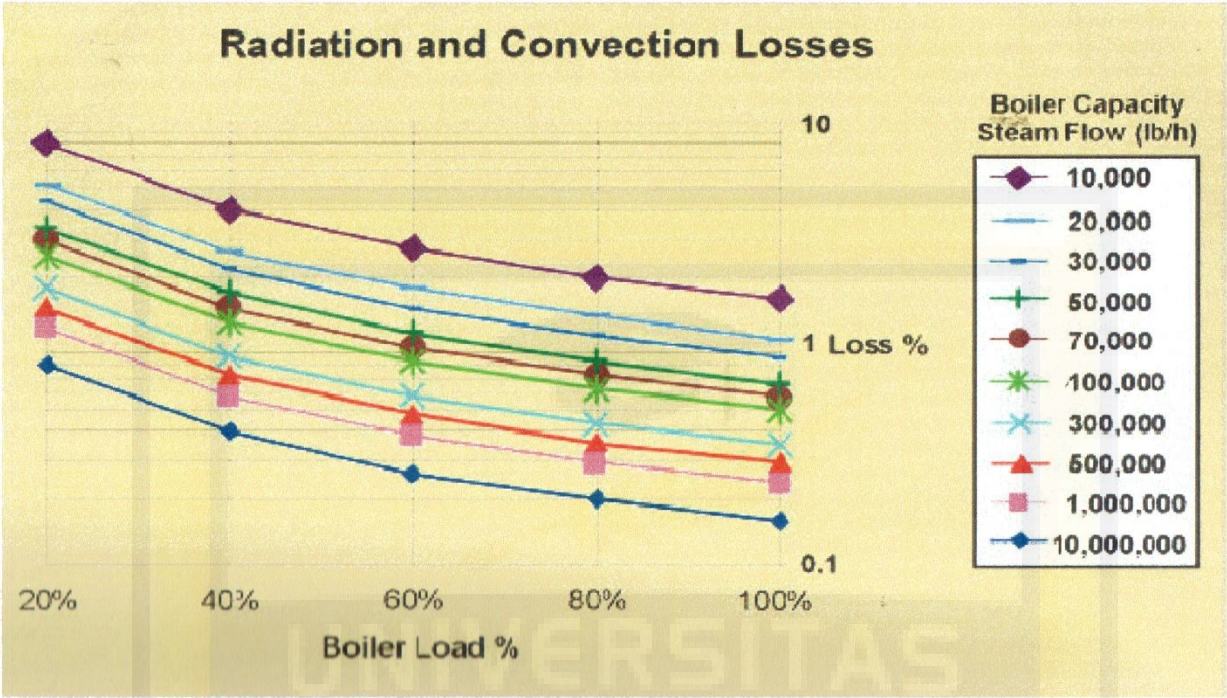
## Grafik Efisiensi Boiler Terhadap Beban Boiler dengan metode tidak langsung dan langsung pada unit BTG 1 Dan BTG 2

Grafik boiler metode tidak langsung pada BTG unit 1 dan 2



Grafik boiler metode langsung pada BTG unit 1 dan 2



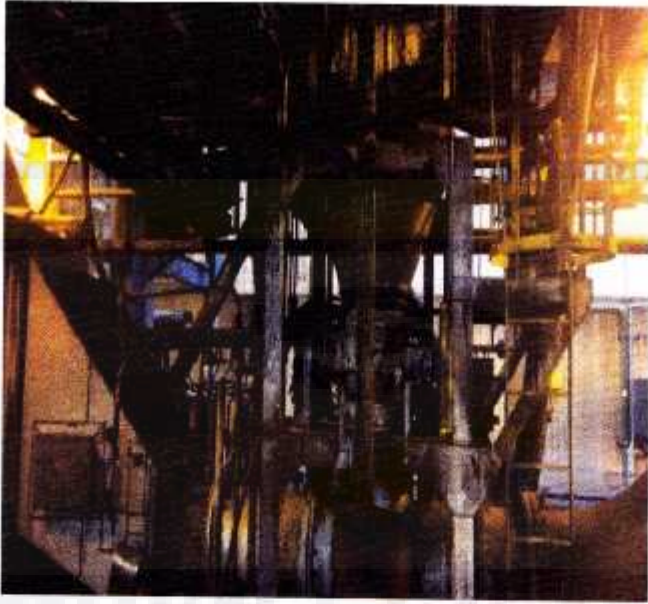




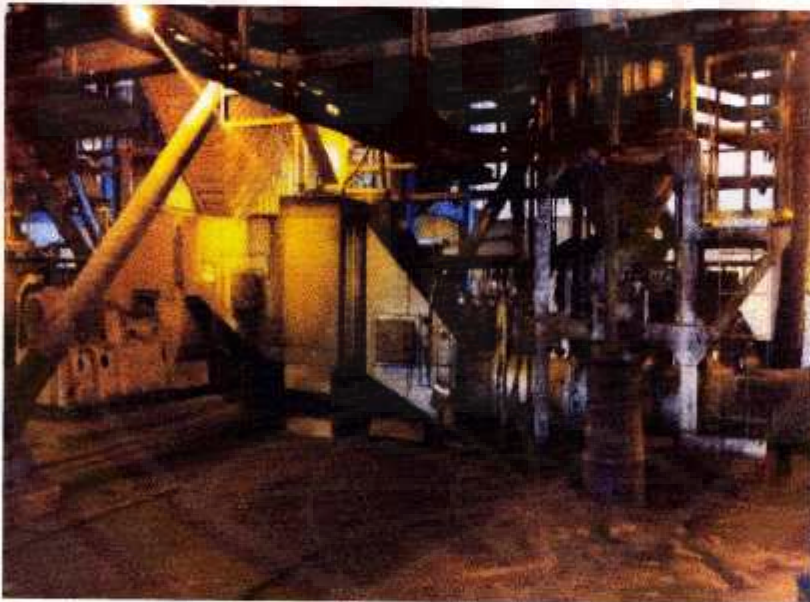
*Gambar penyimpanan batubara dalam gudang batubara*



*Gambar penampungan batubara ditampung di bin (pc bin)*



*Gambar penampungan batubara di plant control bin menuju ke blower lalu ke boiler*



*Gambar penggilingan batubara dari blower ke boiler*



*gambar boiler pipa air*



*Gambar blower batubara*



*Gambar boiler pipa air*

UNIVERSITAS

**BOSOWA**

