



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PERBANDINGAN EFISIENSI TERMAL STEAM  
BOILER DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS  
ALAM DAN RESIDU**

**SKRIPSI**

**ESA YANG ANDREA GAMMA**

**04 04 02 0274**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PERBANDINGAN EFISIENSI TERMAL STEAM  
BOILER DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS  
ALAM DAN RESIDU**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**ESA YANG ANDREA GAMMA**

**04 04 02 0274**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
KEKHUSUSAN MESIN KONVERSI ENERGI  
DEPOK  
JULI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

**ANALISIS PERBANDINGAN EFISIENSI TERMAL STEAM BOILER  
DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS ALAM DAN RESIDU**

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Sejauh yang saya ketahui bukan tiruan atau duplikasi dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Nama : Esa Yang Andrea Gamma

NPM : 04 04 02 0274

Tanda Tangan :

Tanggal : 6 Juli 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Esa Yang Andrea Gamma  
NPM : 04 04 02 0274  
Program studi : Teknik Mesin  
Judul skripsi : Analisis Perbandingan Efisiensi Termal Steam  
Boiler Dengan Bahan Bakar Gas Alam dan Residu  
**Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl.-Ing. ( )  
Penguji : Dr. Ir. Muhammad Idrus Alhamid ( )  
Penguji : Dr. Ing. Nasruddin, M.Eng ( )  
Penguji : Ir. Rusdy Malin, MME ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2009

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Budihardjo, Dipl.-Ing selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Papa dan Mama saya yang telah memberikan dukungan moril dan materiil agar penulis tetap semangat menyelesaikan skripsi ini.
3. Pak Sopiadi, Pak Teddy, Pak Panji, Pak Dadi, Pak Budi dan Pak Yansen selaku pemberi arahan, masukan dan izin pemakaian peralatan.
4. Rizki Dyah Krisnawati yang sabar dan setia memberikan suntikan moril kepada penulis untuk tetap tersenyum dan semangat dalam mengerjakan skripsi.
5. Bajai Mesin Former Member, Nidhom Asy'ari untuk waktunya, laptopnya, juga tumpangannya.
6. Anak-anak Mesin 2004 yang telah membantu dan memberikan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan akhir ini masih banyak kekurangan, baik dalam cara penulisan maupun pengumpulan dan pengolahan data. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dari para pembaca agar menjadi masukan untuk penulisan-penulisan selanjutnya. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi para pembaca. Terima kasih.

Depok, 6 Juli 2009

Esa Yang Andrea Gamma



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Esa Yang Andrea Gamma  
NPM : 04 04 02 0274  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISIS PERBANDINGAN EFISIENSI TERMAL STEAM BOILER  
DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS ALAM DAN RESIDU

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 6 Juli 2009

Yang menyatakan

( Esa Yang Andrea Gamma )

## **ABSTRAK**

Nama : Esa Yang Andrea Gamma

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Analisis Perbandingan Efisiensi Steam Boiler Dengan Bahan Bakar Gas Alam dan Residu

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan performa optimal dari boiler dengan cara mengatur jenis bahan bakar, temperature, tekanan, dan daya. Obyek dari penelitian ini adalah steam boiler dari sebuah pabrik yang berlokasi di wilayah Bukit Indah Karawang. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan efisiensi dari beberapa macam kondisi pada saat boiler bekerja.

Analisis yang dilakukan adalah dengan membandingkan antara efisiensi yang dihasilkan oleh bahan bakar natural gas saat kondisi normal dan kondisi mulai nyala dengan efisiensi yang dihasilkan oleh bahan bakar residu. Perubahan bahan bakar ini membawa hasil yang lebih positif: efisiensi boiler cenderung stabil, nilai efisiensi bahan bakar gas lebih tinggi, dan performa boiler meningkat. Dari hasil analisa data dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan bakar gas merupakan pemilihan yang tepat untuk efisiensi penggunaan energi pada boiler.

Kata kunci: boiler, bahan bakar, efisiensi

## ABSTRACT

Nama : Esa Yang Andrea Gamma

Study Program: Mechanical Engineering

Title : Analytical Comparison of Efficiency of the Steam Boiler Using  
Natural Gas and Residu

The aim of the research is to determine the optimum performance of the steam boiler by adjusting the fuel, temperature, pressure, and power. The object of the research is the steam boiler of the factory located in Bukit Indah, Karawang. The research is carried out by comparing the efficiency of the boiler at different conditions.

Experimental data is analyzed by comparing the efficiency of the boiler when is fueled by natural gas and when is fueled by liquid one. The use of natural gas in the steam boiler leads to a positive result: the efficiency increases and tends to stabile and the performance of the boiler is improved. It can be concluded that the use of natural gas is a proper choice to save energy of the steam boiler.

Keywords : boiler, fuel, efficiency

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENULISAN	2
1.3 PEMBATASAN MASALAH	3
1.4 METODOLOGI PENELITIAN	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 PENGERTIAN <i>BOILER</i>	5
2.2 PROSES PADA <i>BOILER</i>	6
2.3 KLASIFIKASI <i>BOILER</i>	6
2.3.1 <i>Fire Tube Boiler</i>	7
2.3.2 <i>Water Tube Boiler</i>	8
2.3.3 <i>Paket Boiler</i>	9
2.4 KOMPONEN <i>BOILER</i>	10
2.4.1 Komponen Utama	10
2.4.1.1 <i>Burner</i>	10

2.4.1.2 <i>Furnace</i>	11
2.4.1.3 <i>Drum</i>	11
2.4.1.4 <i>Boiler Tubes</i>	12
2.4.1.5 <i>Superheater Header</i>	13
2.4.1.6 <i>Economizer</i>	14
2.4.1.7 <i>Cerobong</i>	13
2.4.1.8 <i>Forced Draft Fan</i>	13
2.4.1.9 <i>Induced Draft Fan</i>	13
2.4.2 <b>Komponen Penunjang</b>	13
2.4.2.1 <i>Sweer Water Condenser</i>	13
2.4.2.2 <i>Chemical Injection System</i>	14
2.4.2.3 <i>Feed Water Pump</i>	14
2.4.2.4 <i>Instrument</i>	14
2.5 <b>KINERJA BOILER</b>	14
2.6 <b>BAHAN BAKAR</b>	16
2.6.1 Gas Alam	16
2.6.2 Residu	17
2.7 <b>PRINSIP KERJA BOILER</b>	18
2.8 <b>PROSES PEMBAKARAN</b>	19
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	22
3.1 <b>PERALATAN PENELITIAN</b>	22
3.1.1 <i>Steam Boiler</i>	22
3.1.2 <i>Burner</i>	25
3.1.3 <i>Fuel</i>	25
3.1.4 Peralatan Pendukung	26
3.2 <b>LANGKAH LANGKAH PERSIAPAN</b>	27
3.2.1 Pengaturan Debit <i>water</i> dan <i>Fuel</i>	27
3.2.2 Pengetesan fase operasi	28
3.2.3 Pengukuran	28
3.2.4 Pengoperasian Temperatur dan Tekanan	28
3.3 <b>METODE PENGAMBILAN DATA</b>	28
<b>BAB IV HASIL PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN DATA</b>	30

4.1 HASIL PENGUKURAN	30
4.2 PERHITUNGAN DATA	40
BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	46
5.1 DATA ALAT	46
5.2 GRAFIK TEMPERATUR DAN TEKANAN <i>FEEDWATER</i> DAN <i>STEAM</i> PADA SAAT <i>STARTUP</i>	47
5.3 GRAFIK TEMPERATUR DAN TEKANAN <i>INLET</i> DAN <i>OUTLET</i> PADA PADA SAAT <i>STARTUP</i>	48
5.4 GRAFIK TEMPERATUR DAN TEKANAN <i>FEEDWATER</i> DAN <i>STEAM</i> KONDISI NORMAL OPERATION	50
5.5 GRAFIK TEMPERATUR DAN TEKANAN <i>INLET</i> DAN <i>OUTLET</i> PADA KONDISI NORMAL OPERATION	52
5.6 KUALITAS UAP KELUAR <i>BOILER</i>	54
5.7 GRAFIK EFISIENSI <i>BOILER</i>	55
BAB VI KESIMPULAN	57
DAFTAR REFERENSI	58
LAMPIRAN	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel karakteristik bahan bakar	17
Tabel 4.1 Temperatur pada Saat <i>Startup</i>	31
Tabel 4.2 Tekanan pada Saat <i>Startup</i>	32
Tabel 4.3 Arus dan Daya <i>Burner</i> pada Saat <i>Startup</i>	33
Tabel 4.4 Arus dan Daya <i>Boiler</i> pada Saat <i>Startup</i>	34
Tabel 4.5 Temperatur pada Saat Normal	35
Tabel 4.6 Tekanan pada Saat Normal	36
Tabel 4.7 Arus dan Daya <i>Burner</i> pada Saat Normal	37
Tabel 4.8 Arus dan Daya <i>Boiler</i> pada Saat Normal	38
Tabel 4.9 Efisiensi <i>Boiler</i> dengan Gas <i>Fuel</i> pada Saat Normal	39
Tabel 4.9 Efisiensi <i>Boiler</i> dengan Oil <i>Fuel</i> pada Saat Normal	39

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar2.1</b> <i>Fire Tube Boiler</i>	7
<b>Gambar2.2</b> <i>Water Tube Boiler</i>	8
<b>Gambar 2.3</b> <i>Oil, Gas, Coal Burner</i>	10
<b>Gambar 2.4</b> <i>Gas Burner</i>	11
<b>Gambar 2.5.</b> <i>Diagram Neraca Energi Boiler</i>	15
<b>Gambar 2.6.</b> <i>Heat Loss pada Boiler</i>	15
<b>Gambar 3.1</b> <i>Temperature Gauge</i>	26
<b>Gambar 3.2</b> <i>Pressure Gauge</i>	26
<b>Gambar 3.3</b> <i>Infra Red Thermal</i>	27
<b>Gambar 3.4</b> <i>Clamp Tester</i>	27
<b>Gambar 5.1</b> <i>Grafik Temperatur dan Tekanan Feedwater dan Steam saat Startup</i>	47
<b>Gambar 5.2</b> <i>Grafik Temperatur dan Tekanan Boiler dan Burner saat Startup</i>	49
<b>Gambar 5.3</b> <i>Grafik Temperatur dan Tekanan Feedwater dan Steam saat Normal Operation</i>	50
<b>Gambar 5.4</b> <i>Grafik Temperatur dan Tekanan Boiler dan Burner saat Normal Operation</i>	52
<b>Gambar 5.5</b> <i>T-s diagram untuk air pada boiler</i>	54
<b>Gambar 5.6</b> <i>Perbandingan Grafik Efisiensi Mean Pada Kedua Jenis Fuel</i>	55

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Di Indonesia pengembangan teknologi masih terus diupayakan dalam rangka pengoptimalan sumber daya potensial yang ada di lingkungan sekitar, juga termasuk penggunaan energi di pabrik. Berbagai macam variasi bahan bakar digunakan oleh pabrik menuntut minimalisasi pembuangan energi. Bahan bakar untuk kebutuhan industri semakin hari semakin menipis karena bumi tidak memproduksi minyak dalam waktu singkat. Harga bahan bakar yang meningkat menjadi poin tersendiri agar penggunaannya lebih efisien. Juga masalah polusi yang dihasilkan oleh sisa pabrik jika terlampau banyak akan mengakibatkan dampak lingkungan.

Penelitian mengenai *steam boiler* telah banyak dilakukan demi mencapai efisiensi *steam* yang tinggi dan mengurangi *heat loss*. Kalor memegang peranan yang sangat vital dalam kehidupan makhluk hidup terutama manusia. Sangat banyak industri yang bergantung pada energi ini, sebut saja Industri Logam, Industri Kimia, Industri Pertambangan dan Industri Pembangkit Energi / Listrik. Dengan mengetahui pentingnya peranan tersebut maka penelitian pun banyak dilakukan terkait penggunaan energi terutama dengan semakin meningkatnya isu global mengenai kenaikan harga minyak dunia salah satu penyebabnya adalah semakin langkanya bahan bakar fosil di dunia ini yang tersedia.

Proses yang ada pada *boiler* berupa proses pengumpulan *steam* dalam jumlah tertentu dan menghasilkan tekanan yang dipergunakan untuk membangkitkan daya, cara yang umum dipakai dalam menjalankan *boiler* adalah dengan cara memanaskan air dengan pembakaran menggunakan udara dan bahan bakar dengan komposisi tertentu. Dalam durasi waktu operasinya *boiler* sering dilakukan maintenance pada beberapa saluran dan ketel akibat dari *fouling* yang berasal dari air umpan. Tentu saja ini merupakan salah satu yang dihindari pada proses terutama di pabrik-pabrik yang melakukan proses non stop atau memiliki jadwal padat sehingga kadang kadang diperlukan lebih dari satu buah *boiler* untuk menjaga kestabilan jam operasi. Material yang sangat perlu diperhatikan adalah

menjaga *boiler* dari korosi dan pengendapan yang berlebihan yang bisa mengganggu kinerja *boiler*. Alat inilah yang secara terus-menerus berkontak dengan aliran fluida air umpan.

Nilai efisiensi dari *boiler* yang ada sekitar 60-90% dapat terus ditingkatkan dengan menggunakan cara yang tepat. Performa *boiler* dapat ditingkatkan dengan efisiensi equipmentnya sehingga heat loss dapat ditekan seminimal mungkin. Sudah cukup banyak cara yang dilakukan untuk menaikkan efisiensi *boiler* salah satunya dengan penambahan *economizer* dan *reheater*, tetapi kali ini penambahan tersebut tidak dilakukan karena *boiler* yang dibahas bukan *boiler* ukuran besar sehingga penambahan *economizer* dan *reheater* tidak optimal disamping biaya pemasangan dan penggunaan yang mahal yang diperlukan investasi lebih. *Fuel* pada *boiler* sebagai komponen utama pembakaran di ruang bakar harus sesuai dengan spesifikasi *burner* nya.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja *boiler* dari dua jenis *fuel* oil dan gas dengan spesifikasi lain yang sama. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai efisiensi yang dimiliki suatu pabrik dengan melihat sistem bahan bakar serta dapat menilai apakah penggunaan energi tersebut sudah memenuhi standar. Selain itu, penelitian ini dilakukan untuk melihat adanya peluang menambah efisiensi untuk menekan biaya konsumsi bahan bakar pabrik. Hal yang hendak dicapai adalah perbandingan nilai energi dan efisiensi dalam hubungannya dengan:

1. Perbandingan efisiensi energi yang dihasilkan oleh oil dan gas *fuel*.
2. Daya primer yang digunakan untuk mengoperasikan *burner* serta sistem *boiler*.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Adapun pembatasan masalah yang penulis tentukan agar penelitian ini bersifat terarah dan fokus pada bahasannya adalah:

1. Pembahasan dibatasi pada sistem *boiler* dan *burner*.

2. Parameter-parameter yang diamati saat penelitian hanya mencakup konsumsi energi dan energi yang terbuang.
3. Penelitian dilakukan terhadap *Hoken Steam Boiler Cap 6 T/H*.
4. Pengukuran temperatur dilakukan dengan *Infra Red Thermal*.
5. Pengukuran arus listrik diperoleh dengan *Clamp Tester*.
6. Bahan bakar (*fuel*) yang digunakan adalah natural gas, serta oksidator yang digunakan adalah udara sekitar.
7. Tidak dilakukan pengukuran laju reaksi thermal serta persentasenya, komposisi gas hasil proses, dan perambatan panas pada dinding *boiler*.
8. Penelitian hanya terbatas pada deskripsi hasil uji dan kejadian tertentu

#### **1.4 Metodologi Penelitian**

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan rangkaian urutan kegiatan sebagai berikut:

1. Memilih subjek penelitian.
2. Melakukan studi literatur.
3. Melakukan pengukuran parameter parameter pada sistem distribusi bahan bakar.
4. Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh dalam bentuk grafik dan menganalisanya.
5. Membuat kesimpulan.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Skripsi ini disusun dalam urutan sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan

Terdiri dari latar belakang masalah, tujuan dilakukannya penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : Dasar Teori

Pada bab ini dijelaskan tentang dasar pemilihan *boiler*, jenis jenis *boiler* dan tipe pembakaran

### BAB III : Metoda Penelitian

Bagian ini memaparkan urutan proses, persiapan pengukuran, tahap pengukuran, serta prosedur pengambilan data.

### BAB IV : Hasil Pengukuran Dan Perhitungan Data

Ditampilkan hasil dari pengukuran berbentuk data dan dilanjutkan dengan perhitungan yang dilakukan pada data tersebut.

### BAB IV : Analisis Data Dan Pembahasan

Pada bab ini dijelaskan mengenai data hasil dari pengukuran, perhitungan dan pengolahan dari data yang telah diambil. Analisa hasil pengujian yang disajikan adalah dalam grafik.

### BAB VI : Kesimpulan

Bab ini berisikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil perhitungan *boiler* beserta *burnernya*.

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 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 mesiu yang mudah meledak, sehingga *boiler* merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat teliti.

Suatu *boiler* dipengaruhi banyak faktor seperti kapasitas, bahan bakar yang tersedia, tekanan dan suhu yang diinginkan, lokasi penempatan *boiler* dan sebagainya. Secara ideal disain suatu *boiler* harus memiliki karakteristik sebagai berikut : Konstruksinya sederhana dengan biaya perawatan yang rendah, material konstruksi yang memadai sehingga dapat “menampung” kontraksi maupun ekspansi akibat perubahan suhu, menghasilkan *steam* yang bersih dan berkualitas tinggi, melaksanakan pembakaran dengan efisien dan kapasitas *heat transfer* yang maksimum, dan cepat menyesuaikan terhadap perubahan/fluktuasi produksi *steam*. *Boiler* uap modern merupakan salah satu komponen dari unit pembangkit uap (*Steam Generating Units*) yang terintegrasi, yang didefinisikan sebagai sebuah unit dimana air, bahan bakar dan udara sebagai penyuplai (*input*) dan uap sebagai hasil (*output*). Unit pembangkit uap terdiri dari sebuah *boiler* dengan alat pembakar bahan bakarnya, *superheater*, *reheater*, *economizer*, dan *air heater* atau kombinasinya.

## 2.2 Proses Pada Boiler

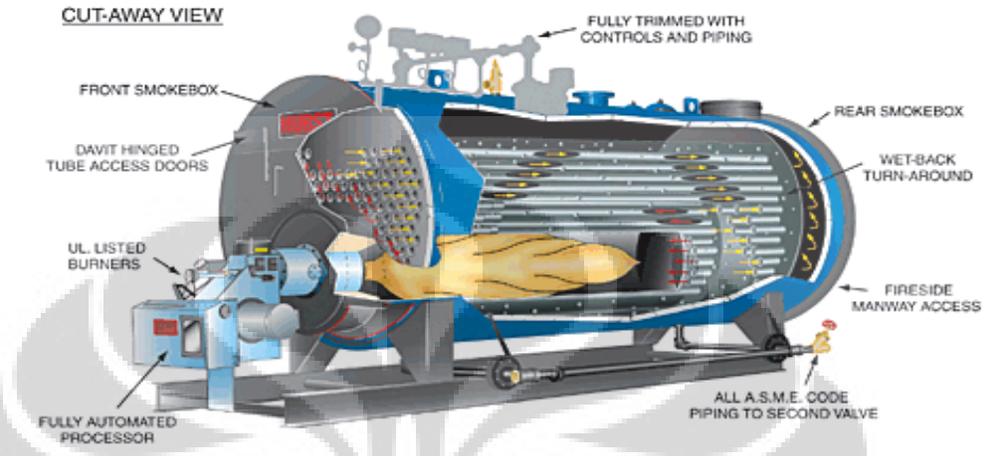
Sistem *boiler* terdiri dari: sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam *boiler*. *Steam* dialirkan melalui system pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

Air yang disuplai ke *boiler* untuk dirubah menjadi *steam* disebut air umpan. Dua sumber air umpan adalah: (1) Kondensat atau *steam* yang mengembun yang kembali dari proses dan (2) Air *makeup* (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpankan dari luar ruang *boiler* dan *plant* proses. Untuk mendapatkan efisiensi *boiler* yang lebih tinggi, digunakan *economizer* untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang.

## 2.3 Klasifikasi Boiler

Berdasarkan bentuk konstruksi dan kemampuan dalam memproduksi uap, *boiler* terdiri dari dua jenis yaitu :

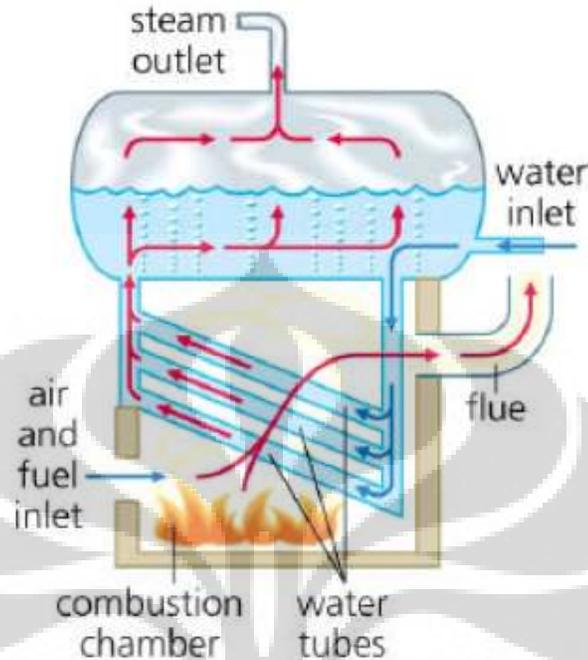
### 2.3.1 Pesawat Uap Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)



**Gambar2.1** *Fire Tube Boiler* [7]

Pada *boiler* ini proses pembakaran berada di dalam tube-tube yang dikelilingi air dalam suatu *drum*. *Boiler* ini memiliki bentuk yang relatif sederhana, akan tetapi mempunyai kapasitas dan kemampuan yang terbatas sehingga banyak digunakan pada industri-industri kecil. Pada *fire tube boiler*, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan *boiler* ada didalam *shell* untuk dirubah menjadi *steam*. *Fire tube boilers* biasanya digunakan untuk kapasitas *steam* yang relative kecil dengan tekanan *steam* rendah sampai sedang. Sebagai pedoman, *fire tube boilers* kompetitif untuk kecepatan *steam* sampai 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm<sup>2</sup>. *Fire tube boilers* dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar *fire tube boilers* dikonstruksi sebagai “paket” *boiler* (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar.

### 2.3.2 Pesawat Uap Pipa Air (*Water Tube Boiler*)



Gambar2.2 *Water Tube Boiler* [6]

Pada *water tube boiler*, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakar membentuk *steam* pada daerah uap dalam drum. Boiler ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan *steam* sangat tinggi seperti pada kasus boiler untuk pembangkit tenaga. *Water tube boiler* yang sangat modern dirancang dengan kapasitas *steam* antara 4.500 – 12.000 kg/jam, dengan tekanan uap di atas 150 *psig* dan kapasitas 15.000 *lb/hr*. Banyak *water tube boilers* yang dikonstruksi secara paket jika digunakan bahan bakar minyak bakar dan gas. Untuk *water tube* yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket. Karakteristik *water tube boilers* sebagai berikut:

1. *Forced, induced* dan *balanced draft* membantu untuk meningkatkan efisiensi pembakaran
2. Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari *plant* pengolahan air.
3. Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi.

*Boiler* pipa air dibagi atas dua macam, yaitu :

1. *Horizontal Straight Tube Design*
2. *Bent Tube Design*

### 2.3.3 Paket *Boiler*

Disebut *boiler* paket sebab sudah tersedia sebagai paket yang lengkap. Pada saat dikirim ke pabrik, hanya memerlukan pipa *steam*, pipa air, suplai bahan bakar dan sambungan listrik untuk dapat beroperasi. Paket *boiler* biasanya merupakan tipe shell and tube dengan rancangan *fire tube* dengan transfer panas baik radiasi maupun konveksi yang tinggi. Ciri-ciri dari *packaged boilers* adalah:

1. Kecilnya ruang pembakaran dan tingginya panas yang dilepas menghasilkan
2. penguapan yang lebih cepat.
3. Banyaknya jumlah pipa yang berdiameter kecil membuatnya memiliki perpindahan
4. panas konvektif yang baik
5. Sistem *forced* atau *induced draft* menghasilkan efisiensi pembakaran yang baik.
6. Sejumlah lintasan/*pass* menghasilkan perpindahan panas keseluruhan yang lebih baik.
7. Tingkat efisiensi termisnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan *boiler* lainnya.

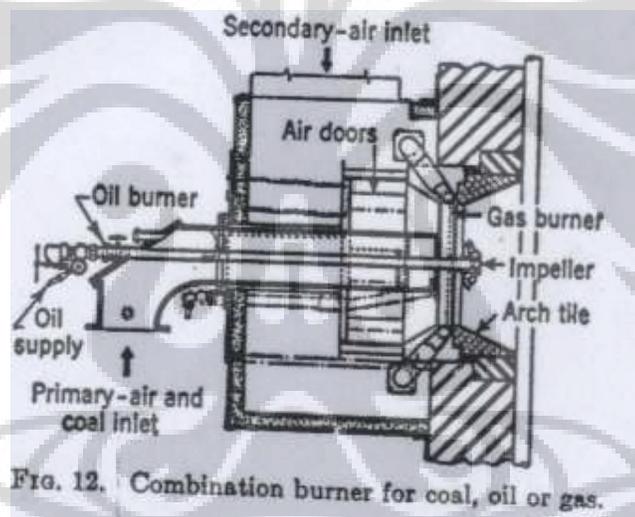
*Boiler* tersebut dikelompokkan berdasarkan jumlah *pass* nya – yaitu berapa kali gas pembakaran melintasi *boiler*. Ruang pembakaran ditempatkan sebagai lintasan pertama setelah itu kemudian satu, dua, atau tiga set pipa api. *Boiler* yang paling umum dalam kelas ini adalah unit tiga *pass*/lintasan dengan dua set *fire-tube*/pipa api dan gas buangnya keluar dari belakang *boiler*.

## 2.4 Komponen *Boiler*

### 2.4.1 Komponen Utama

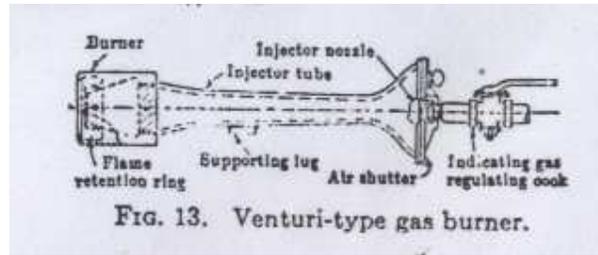
#### 2.4.1.1 *Burner*

Merupakan alat dimana bahan bakar dan udara bercampur sehingga pembakaran terjadi. Bentuk dan macamnya tergantung dari bahan bakar yang digunakan. Gas *burner* yang digunakan pada tungku pembakaran *boiler* dapat dibedakan berdasarkan derajat/tingkat campuran antara bahan bakar dan udara yang terdapat di dalam *burner*. Pada percampuran yang sedikit, nyala api yang dihasilkan *burner* adalah panjang dan *luminous*. Sedangkan nyala api yang pendek dan *nonluminous* berasal dari *burner* dimana gas dan seluruh udara pembakaran bercampur.



**Gambar 2.3** Oil, Gas, Coal *Burner* [1]

*Ventury-type burner*, dengan central nozzle untuk menginjeksikan gas, digunakan untuk proses pencampuran yang berlangsung dengan cepat. Udara pokok diinduksikan dengan cara penurunan tekanan pada *ventury throat*. Gambar *ventury-type burner* yang telah dimodifikasi dimana proses pencampuran dapat diselesaikan dalam 2 tahap dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 2.4 Gas Burner [1]

#### 2.4.1.2 Dapur (Furnace)

Merupakan tempat berlangsungnya proses pembakaran bahan bakar untuk menghasilkan panas yang diperlukan dalam pembentukan *steam*.

#### 2.4.1.3 Drum

a. *Steam Drum*, adalah suatu silinder yang terbuat dari baja yang ditempatkan dibagian belakang atas adari *fire box*. *Steam drum* menampung sirkulasi air *boiler* dan memisahkan *saturated steam* yang telah terbentuk sebelum masuk ke *superheater*. *Steam drum* ini adalah tempat bermuaranya *tube-tube boiler* yang dilengkapi dengan *cyclone separator*, *screen dryer*, pipa sirkulasi air umpan *boiler*, pipa buangan kontinu serta pipa injeksi bahan kimia.

Bagian dari *steam drum* adalah:

1. *Cyclone separator* berfungsi untuk memisahkan air dan uap secara paksa. Air akan masuk kembali ke *steam drum* dan terjadi penambahan bahan-bahan kimia untuk pemurnian air.
2. *Screen dryer* yang terletak di *Cyclone separators*, selama kecepatan air relatif rendah, air tidak akan tersedot keatas dari permukaan yang basah dan akan mengalir kebawah. berfungsi untuk mengeringkan partikel air yang masih terikut di dalam *steam* sebelum masuk ke *superheater*.
3. *Baffle plate* adalah saringan pengering yang memisahkan air yang masih tinggal didalam uap sehingga uap yang dihasilkan akan memenuhi spesifikasi, dimana pembatas antara air umpan *boiler* dengan campuran uap dan air yang berasal dari *riser tube*.

b. *Mud Drum (Water Drum)*, tempat menampung kotoran atau deposit yang terbentuk selama proses pembentukan *steam*. Alat ini berhubungan erat dengan *steam drum* dalam proses sirkulasi air *boiler*. Kotoran yang terbawa kedalam

*water drum* akan diendapkan dan pada setiap saat endapan ini dibuang keluar dengan membuka suatu *valve* melalui saluran *intermittent blow down*.

#### 2.4.1.4 Boiler Tubes

*Tubes* dari *boiler* menghubungkan *steam drum* dan *water drum*, pipa ini menyerap panas dari hasil pembakaran yang selanjutnya panas ini diteruskan ke dalam air yang mengalir dalam pipa. Uap ini selanjutnya akan mengalir ke *superheater* yang terdiri dari rangkaian pipa yang diletakkan dibagian terpanas dari *boiler* ini. Pemanasan ini menghindarkan uap basah, sehingga uap yang dihasilkan adalah benar-benar uap kering. Pada *boiler* terdapat bermacam-macam *tubes* yaitu:

a. *Down Comer (Generating Tube)*

*Tube* yang menghubungkan antara *steam drum* dengan *water drum*.

b. *Riser tube*

*Tube* yang menghubungkan dari *header side wall tube* ke *steam drum*.

c. *Wall tube*

*Tube* yang menjadi dinding ruang pembakaran (*fire box*). Di dalam *tube* ini air akan mengalami pemanasan hingga menjadi uap.

d. *Superheater tube*

*Tube* yang berfungsi menaikkan suhu uap jenuh (*saturated steam*) yang keluar dari *boiler* tanpa diikuti kenaikan tekanan. Alat ini dipasang secara integral dalam *boiler* dan pemanasannya menggunakan aliran gas panas yang mengalir di bagian luar pipa. Diameter *tube superheater* biasanya berukuran 1 – 2 inch. Namun ada juga *superheater* yang mempunyai *tube* lebih besar tetapi ditambah dengan *external fin* (sirip luar) untuk memperbesar pemanasan pada permukaan.

e. *Feeder tube*

*Tube* yang mengalirkan *boiler feed water* ke dalam *economizer*.

#### 2.4.1.5 Superheater Header

Berfungsi untuk menampung *superheated steam* hasil pemanasan *saturated steam* di *superheater*.

#### **2.4.1.6 Economizer**

Berfungsi memanaskan air umpan *boiler* dengan menggunakan panas dari gas sisa hasil pembakaran sebelum keluar dari cerobong asap, hal ini akan meningkatkan efisiensi *boiler*. Keuntungan yang diperoleh dengan adanya *economizer* antara lain menghemat bahan bakar sekitar 15 – 20 %, memperpendek waktu perubahan air menjadi *steam*, mencegah terjadinya akumulasi kerak di dalam *boiler* sebab sebagian besar kerak telah terbentuk di *economizer* dimana pembersihannya relatif lebih mudah, mencegah terbentuknya karat di dalam *boiler* dan pipa saluran *steam* karena konsentrasi udara telah berkurang dengan adanya pemanasan awal.

#### **2.4.1.7 Cerobong (Stack)**

Berfungsi untuk mengeluarkan gas sisa pemanasan (*flue gas*) dari dalam *boiler*.

#### **2.4.1.8 Forced Draft Fan**

Berfungsi memasok udara pembakaran melalui suatu lorong (*air duct*) sebelum bercampur dengan bahan bakar.

#### **2.4.1.9 Induced Draft Fan**

Berfungsi menarik udara hasil pembakaran sebelum keluar melalui cerobong (*stack*) yang selanjutnya digunakan sebagai pemanas *economizer*.

### **2.4.2 Komponen Penunjang**

#### **2.4.2.1 Sweer Water Condenser**

Suatu alat penukar panas yang digunakan untuk mendinginkan uap jenuh (*saturated steam*) dari *steam drum* agar menjadi kondensat yang akan digunakan sebagai pengatur temperatur *superheated steam* di *attemperator*. Sebagai media pendinginnya adalah air umpan *boiler* yang keluar dari *economizer*, sehingga terjadi peningkatan suhu pada air umpan *boiler* sebelum masuk ke *steam drum*.

#### 2.4.2.2 Chemical Injection System

Untuk menjaga agar kualitas air di *boiler* memenuhi persyaratan yang diinginkan maka diperlukan sistem untuk dapat memasukkan larutan kimia ke dalam *boiler*. Biasanya larutan kimia tersebut seperti *Tripoly Phosphate* (TPP) dan *Trisodium Phosphate* (TSP) dimasukan ke dalam *steam drum*.

#### 2.4.2.3 Feed Water Pump

Berfungsi untuk memompakan air umpan *boiler* dari *deaerator* ke dalam *boiler*.

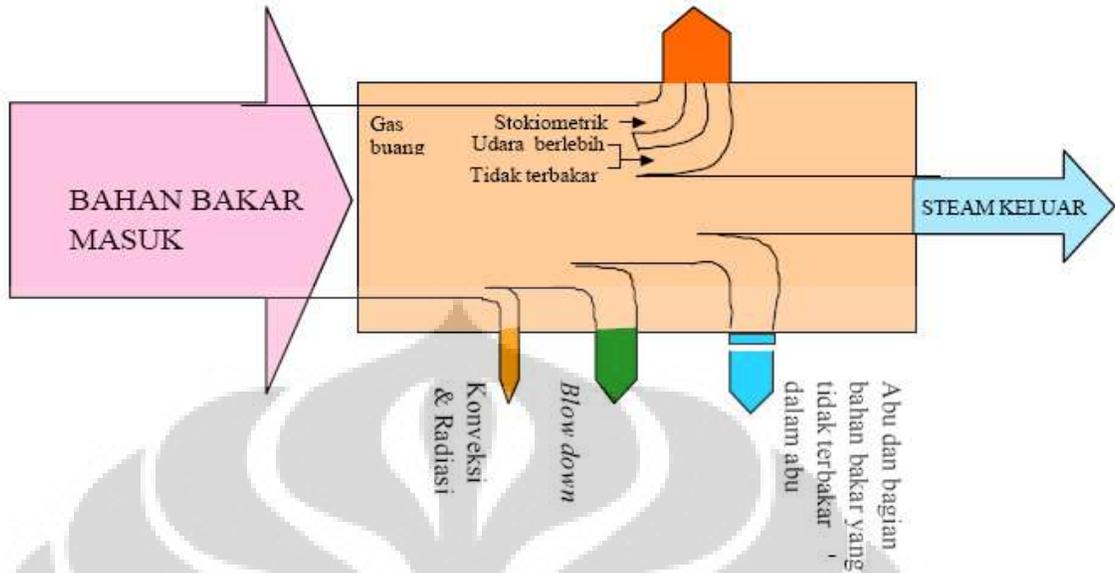
#### 2.4.2.4 Instrument

Berfungsi mengukur, mengatur dan mengamankan operasi sebagai pengontrol kestabilan proses *boiler*.

### 2.5 Kinerja Boiler

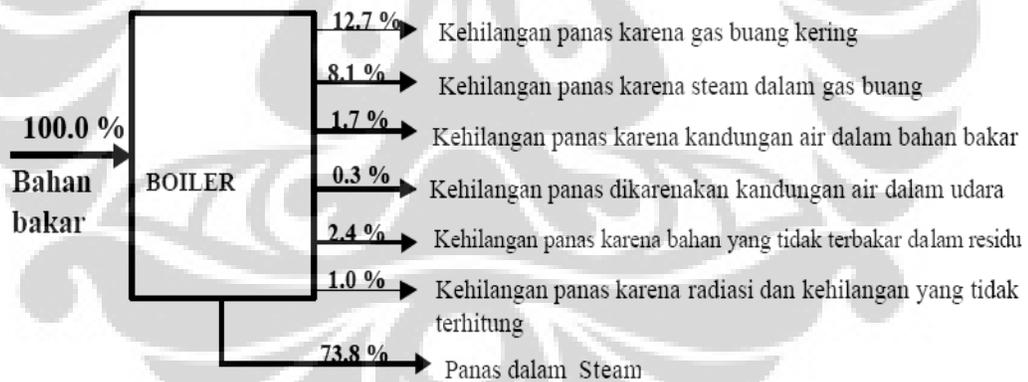
Parameter kinerja *boiler*, seperti efisiensi dan rasio penguapan, berkurang terhadap waktu disebabkan buruknya pembakaran, kotornya permukaan penukar panas dan buruknya operasi dan pemeliharaan. Bahkan untuk *boiler* yang baru sekalipun, alasan seperti buruknya kualitas bahan bakar dan kualitas air dapat mengakibatkan buruknya kinerja *boiler*. Neraca panas dapat membantu dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari. Uji efisiensi *boiler* dapat membantu dalam menemukan penyimpangan efisiensi *boiler* dari efisiensi terbaik dan target area permasalahan untuk tindakan perbaikan.

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



Gambar 2.5. Diagram Neraca Energy Boiler [6]

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 pembangkitan steam.



Gambar 2.6. Heat Loss pada Boiler [6]

## 2.6 Bahan Bakar

Bahan bakar merupakan sumber energi pada proses pembakaran. Wujud bahan bakar terdiri dari gas, cair, dan udara dalam kaca mata keadaan atau

wujudnya, namun jika ditinjau dari aspek lain seperti proses pembentukannya bahan bakar terbentuk secara alamiah dan buatan.

Bahan bakar alami adalah bahan bakar yang telah tersedia di alam dan tanpa ada campur tangan manusia dalam meningkatkan nilai kalor dari bahan bakar tersebut. Bahan bakar padat alami seperti :kayu, batubara, lignit, antrasit, dedaunan, dan sebagainya, bahan bakar cair umumnya merupakan bahan bakar nonalamiah walaupun saat ini sedang hangat-hangatnya isu bahan bakar dari air (H<sub>2</sub>O) namun masih dalam penelitian, sedangkan bahan bakar gas alami seperti gas alam. Bahan bakar buatan adalah bahan bakar yang telah melalui berbagai macam proses kimia maupun fisika untuk menambah nilai kalornya. Bahan bakar padat buatan seperti: kokas, briket batubara, arang dan bris. Bahan bakar cair buatan seperti olahan dari minyak bumi berupa kerosene, pertamax, premium, solar dan lain sebagainya. Bahan bakar gas buatan seperti *cracking* gas.

Penggunaan bahan bakar tergantung pada kebutuhan akan efisiensi dan keekonomisannya, dulu hampir seluruh perumahan di Indonesia menggunakan bahan bakar cair berupa kerosin namun dengan kebijakan menggunakan bahan bakar gas dari pemerintah penggunaan bahan bakar kerosin menjadi berkurang. Hal ini perlu diterapkan guna menyelamatkan keadaan ekonomi negara dari isu Internasional kenaikan harga bahan bakar minyak dunia. Bahan bakar gas memang sedikit lebih mahal dari bahan bakar cair namun dalam penanganannya mudah dan lebih sederhana serta kebutuhan akan udara lebih rendah dari bahan bakar lain.

### **2.6.1 Gas Alam (*Natural Gas*)**

Bahan bakar gas dapat diklasifikasikan atas gas alam (*natural gas*) maupun gas buatan (*manufactured gas*). Biasanya gas alam dijumpai pada deposit minyak dan batubara. Gas alam sebagian besar merupakan campuran dari senyawa hidrokarbon dengan sedikit jumlah materi nonhidrokarbon yang berfase gas. Sebagai bahan bakar, gas alam sangat ideal karena umumnya bebas dari kandungan gas tidak terbakar atau residu padat. Pada saat dibakar umumnya menghasilkan nyala berwarna biru dan sangat mudah terbakar jika tercampur udara pada komposisi yang tepat.

Komposisi kimia gas alam sebagian besar terdiri dari metana ( $\text{CH}_4$ ) dan sejumlah yang lebih sedikit etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), serta pentana ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ). Kadang-kadang terkandung pula sulfur, namun jumlahnya dapat diabaikan. Karbondioksida dan nitrogen merupakan komponen tak terbakar yang sering terdapat dalam gas alam dalam jumlah sangat kecil.

## 2.6.2 Residu (MFO)

*Fuel oil* merupakan fraksi yang diperoleh dari petroleum destilasi yang berupa residu. Secara penggunaan, *fuel oil* adalah minyak cair yang dibakar dalam *boiler* sebagai pemanas untuk pembangkitan daya. Residu tersusun dari rantai hidrokarbon yang panjang yaitu alkana, cycloalkana dan senyawa aromatik. Pada tingkat viskositasnya, residu merupakan yang paling kental yang diperoleh dari minyak mentah, lebih kental dibandingkan bensin dan nafta.

Tabel 2.1 Tabel karakteristik bahan bakar [8]

Name of matter, chemical formula	Molecular mass $M$ , kg/mol	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Gas constant $R$ , J/(kg·°C)	Heat of combustion			
				$Q_h^{vol}$	$Q_l^{vol}$	$Q_h^m$	$Q_l^m$
				kJ/m <sup>3</sup>		kJ/kg	
Carbon on combustion to CO (C)	12.01	—	—	—	—	9295	9295
Carbon on combustion to CO <sub>2</sub> (C)	12.01	—	—	—	—	32908	32908
Carbon monoxide (CO)	28.01	1.25	297	12644	12644	10132	10132
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	2.016	0.09	412	12770	10760	141974	119617
Methane (CH <sub>4</sub> )	16.04	0.717	518	39853	35797	56103	49404
Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	30.07	1.34	276	70422	64351	51958	47436
Propane (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	44.09	1.96	187	101823	93573	50409	46348
Butane (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	58.12	2.59	143	134019	123552	49572	45720
Pentane (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	70.13	3.13	—	150723	140928	48575	45025
Pentane (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	72.14	3.22	115	148213	137143	48358	44661
Benzol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	78.11	3.48	—	146287	140383	42035	40340
Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	28.05	1.25	296	64016	14320	50786	47562
Propylene (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )	42.08	1.88	198	94370	88216	49279	46055
Butylene (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )	56.10	2.50	148	114509	107015	48692	45469
Acetylene (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	26.03	1.16	320	58992	56940	50367	48651
Hydrogen sulfide (H <sub>2</sub> S)	34.07	1.52	242	25707	23697	16705	15407
Sulfur (S)	32.06	—	—	—	—	9261	9261

## 2.7 Prinsip Kerja Boiler

Dalam *boiler*, *steam* dihasilkan melalui proses perpindahan panas dari gas panas ke air umpan *boiler* hingga melampaui titik didihnya. Proses perpindahan panas tersebut terdiri dari:

- a. Radiasi

Proses radiasi terjadi di *furnace* dimana api hasil pembakaran dipancarkan ke *tube-tube* yang mengelilingi *fire box*. Laju perpindahan panasnya adalah sesuai dengan hukum *Stefan Boltzman*.  $T_1^4 - T_2^4$

Dimana,  $T_1$  : temperatur dari api

$T_2$  : temperatur dari permukaan *furnace tube*

Hal ini terjadi karena selain api, permukaan *furnace tube* juga memancarkan panas dan besarnya panas yang dipindahkan tergantung dari emisi api maupun absorpsivitas *tube*.

b. Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas yang terjadi karena adanya pergerakan molekul. Oleh karena itu konveksi terjadi di dalam tube dimana panas ditransfer dari permukaan dalam *tube* ke air atau uap yang mengalir di dalamnya.

c. Konduksi

Panas ditransfer dari permukaan luar ke permukaan dalam. Perpindahan panas secara konduksi bisa terjadi di *tube-tube boiler*.

Proses pembuatan uap di dalam *boiler* diawali dengan masuknya air umpan *boiler* ke dalam *economizer* dimana air tersebut dipanaskan dengan menggunakan gas panas sisa pembakaran yang akan keluar melalui cerobong.

Berikut ini merupakan aliran udara yang terjadi di dalam *boiler* :

- ♦ Udara diambil dari *air intake* dan dihembuskan dengan menggunakan *force draft fan* menuju *fire box* melalui saluran yang disebut *air duct*.
- ♦ Kemudian udara masuk ke dalam air register sebelum dibakar oleh geram-geram bahan bakar di dalam *burner*.
- ♦ Selanjutnya udara tersebut dipakai untuk proses pembakaran di dalam *fire box*.
- ♦ Kemudian udara panas tersebut mengalir menuju *economizer* untuk memanaskan air di *economizer* sebelum keluar melalui cerobong.

Pemanasan air pada *economizer* berlangsung secara konveksi. Air masuk ke *economizer* pada temperatur 225° F dan meninggalkan *economizer* pada

temperatur 380° F. Air tersebut masuk ke dalam *steam drum* yang kemudian mengalir menuju *mud drum* melalui *generating tube* dan *down comer*. Kemudian dari *mud drum* air menuju *wall tube* di dalam *fire box* dimana air tersebut dipanaskan dengan *burner* hingga menjadi uap basah. Karena berat jenis uap lebih ringan daripada air maka uap akan mengalir ke atas menuju *steam drum* melalui *riser tube*.

Di dalam *steam drum*, uap jenuh (*saturated steam*) disaring dengan *screen dryer* sebelum mengalir ke *superheater tube* untuk dipanaskan lebih lanjut menjadi *superheated steam*. Kemudian uap menuju *superheater header* menjadi *high* tekanan *steam* dengan tekanan 865 psig dan temperatur 450°C. Uap ini akan digunakan untuk menggerakkan generator turbin uap, menggerakkan turbin kompresor (4KT-1, 4KT-2, 4KT-3, 2KT-1, dan 2KT-2) di proses *train*, dan sebagian digunakan untuk pemanas pada *reboiler*.

## 2.8 Proses Pembakaran

Reaksi pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dimana akan melepas energi. Unsur kima utama yang mempunyai kemampuan untk reaksi ini adalah *carbon* dan *hydrogen*. Atau didefinisikan sebagai koombinasi kimia antara oksigen dengan bahan bakar yang mudah dibakar, diantaranya adalah *carbon*, *hydrogen* dan sulfur. Ketiganya adalah bahan dasar yang paling banyak ditemui di bahan bakar fosil (*fossil fuel*). Biasanya sulfur jarang digunakan sebagai bahan bakar, tetapi malah bisa menjadi salah satu yang mendukung terjadinya korosi pada saat pembakaran dan menyebabkan polusi yang berlebihan.

Untuk mendapatkan proses pembakaran yang diinginkan, semua energi yang didapat dari bahan bakar fosil harus dilepas semua, dan mengurangi kehilangan dari pemnakaran yang tidak sempurna dan udara yang keluar saat prosesnya. Salah satunya adalah mengurangi *nitrogen oxyde* ( $\text{NO}_x$ ), *carbon monoxyde* (CO) dan mengurangi *carbon* uang tidak dapat terbakar dan terjadinya korosi pada tempat terjadinya pembakaran. Proses penyatuan membutuhkan temperatur yang cukup tinggi sehingga dapat menyalakan unsur-unsur dasar dari bahan bakar tadi. Penggabungan untk mendapatkan *oxigen-fuel* secara bagus dan

waktu yang dibutuhkan untuk proses penggabungan sering dinamakan '*three Ts of combustion*'.

### **Pembakaran Tiga T**

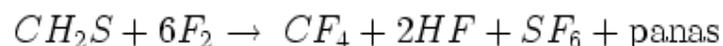
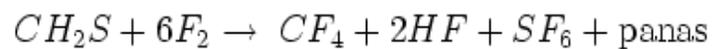
Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan "tiga T" pembakaran yaitu :

- (1) *Temperature*, suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan dan menjaga penyalaan bahan bakar.
- (2) *Turbulence*, Turbulensi atau pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik.
- (3) *Time*, Waktu yang cukup untuk pembakaran yang sempurna.

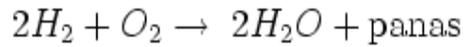
Bahan bakar yang umum digunakan seperti gas alam dan propan biasanya terdiri dari karbon dan hidrogen. Uap air merupakan produk samping pembakaran hidrogen, yang dapat mengambil panas dari gas buang, yang mungkin dapat digunakan untuk transfer panas lebih lanjut. Gas alam mengandung lebih banyak hidrogen dan lebih sedikit karbon per kg daripada bahan bakar minyak, sehingga akan memproduksi lebih banyak uap air. Sebagai akibatnya, akan lebih banyak panas yang terbawa pada pembuangan saat membakar gas alam. Terlalu banyak, atau terlalu sedikitnya bahan bakar pada jumlah udara pembakaran tertentu, dapat mengakibatkan tidak terbakarnya bahan bakar dan terbentuknya karbon monoksida.

Tantangan utama dalam efisiensi pembakaran adalah mengarah ke karbon yang tidak terbakar (dalam abu atau gas yang tidak terbakar sempurna), yang masih menghasilkan CO selain CO<sub>2</sub> dalam suatu reaksi pembakaran lengkap, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi, dan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi.

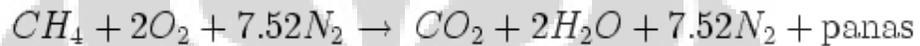
Contoh:



Contoh yang lebih sederhana dapat diamati pada pembakaran hidrogen dan oksigen, yang merupakan reaksi umum yang digunakan dalam mesin roket, yang hanya menghasilkan uap air.



Pada mayoritas penggunaan pembakaran sehari-hari, oksidan oksigen ( $O_2$ ) diperoleh dari udara *ambient* dan gas resultan (gas cerobong, *flue gas*) dari pembakaran akan mengandung nitrogen:



Seperti dapat dilihat, jika udara adalah sumber oksigen, nitrogen meliputi bagian yang sangat besar dari gas cerobong yang dihasilkan. Dalam kenyataannya, proses pembakaran tidak pernah sempurna. Dalam gas cerobong dari pembakaran karbon (seperti dalam pembakaran batubara) atau senyawa karbon (seperti dalam pembakaran hidrokarbon, kayu, dan lain-lain) akan ditemukan baik karbon yang tak terbakar maupun senyawa karbon (CO dan lainnya). Jika udara digunakan sebagai oksidan, beberapa nitrogen akan teroksidasi menjadi berbagai jenis *nitrogen oksida* ( $NO_x$ ) yang kebanyakan berbahaya.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Peralatan Penelitian

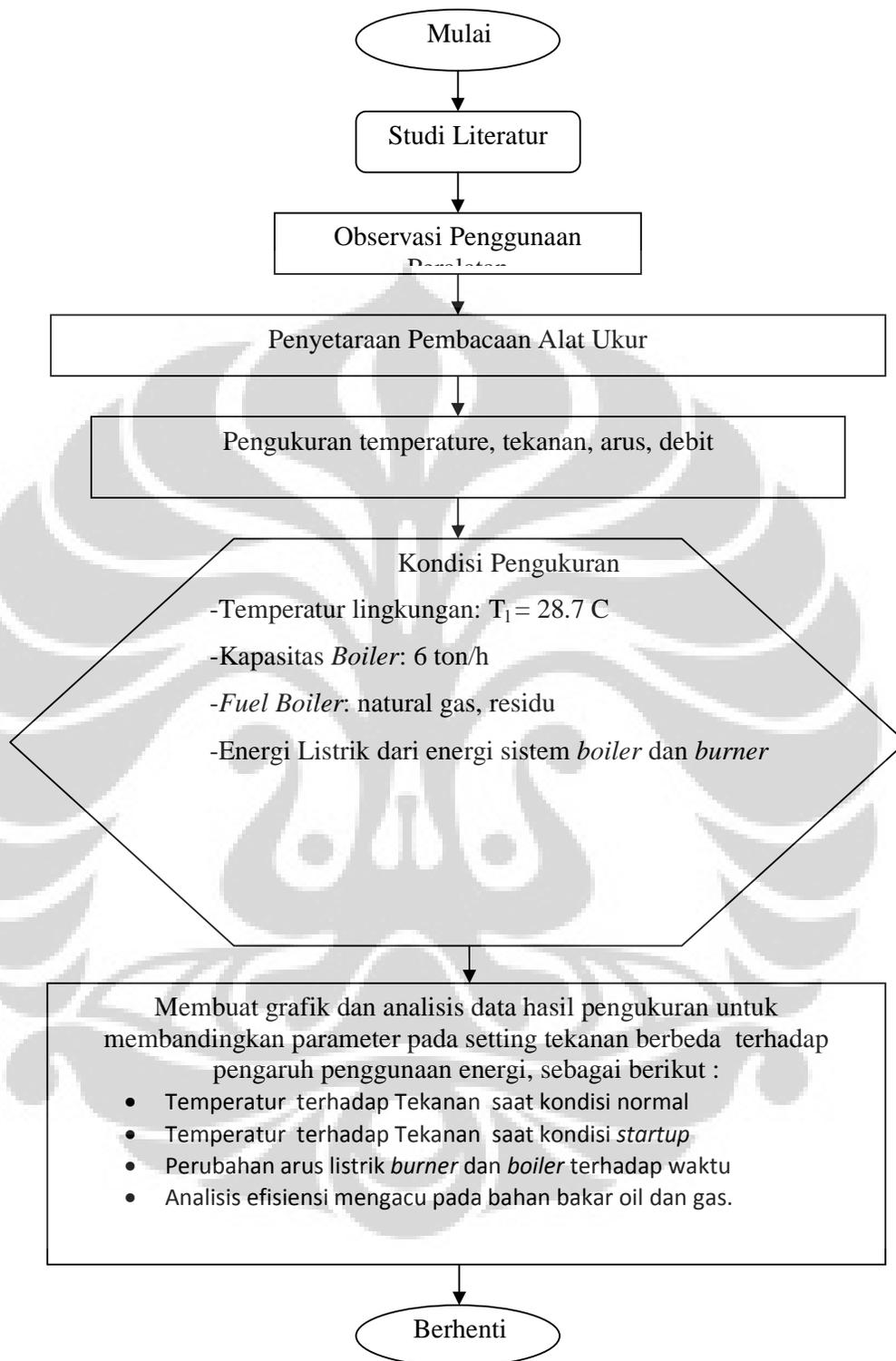
##### 3.1.1 *Steam Boiler*

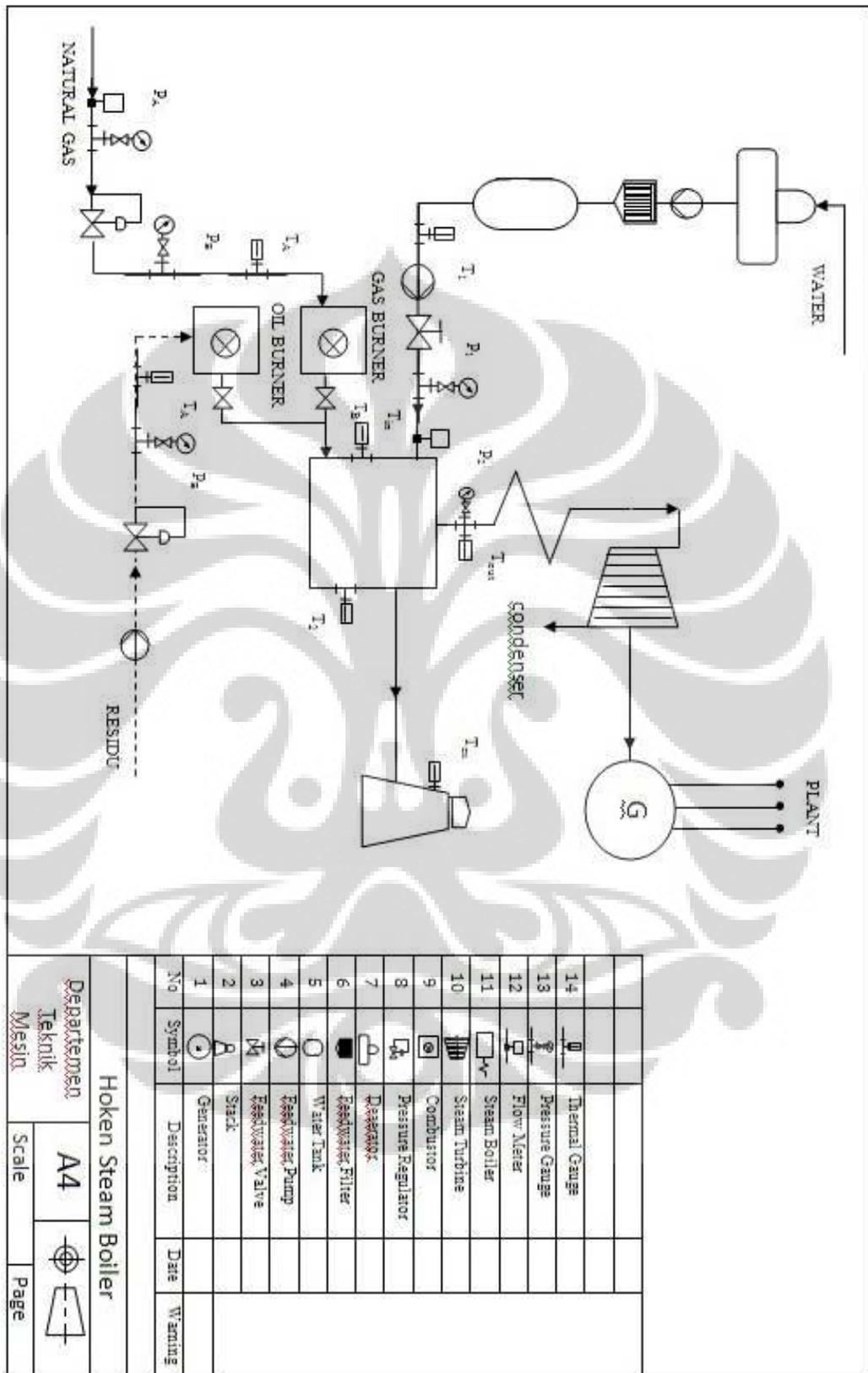
Alat utama yang diukur yaitu *Hoken Steam Boiler Cap 6 T/H*, yang dilengkapi dengan *control panel*, pengukur temperature dalam satuan celcius dan tekanan dalam satuan bar dan dapat dibaca langsung untuk pengambilan data. Alat ini dilengkapi dengan *gas burner*, sensor tekanan dan *water level*.

Dalam proses penelitian, metode yang digunakan selama penelitian adalah pengukuran dan penentuan nilai yang menitikberatkan pada proses pengukuran dan analisa hasil dengan rangkaian urutan kegiatan sebagai berikut:

1. pemilihan subjek penelitian.
2. studi literatur.
3. instalasi alat uji.
4. pengukuran.
5. pengumpulan dan pengolahan data-data yang diperoleh serta evaluasi.

Pada *boiler*, parameter yang dicari berfokus pada efisiensi dan penggunaan energi. Parameter yang ditentukan lewat pengukuran antara lain temperatur, tekanan dan debit.





Keterangan:

$T_1$	= Temperatur <i>Feedwater</i>	$P_1$	= Tekanan <i>Feedwater</i>
$T_2$	= Temperatur <i>Steam</i>	$P_2$	= Tekanan <i>Steam</i>
$T_{in}$	= Temperatur <i>Inlet Boiler</i>	$P_A$	= Tekanan <i>Raw Fuel</i>
$T_{out}$	= Temperatur <i>Outlet Boiler</i>	$P_B$	= Tekanan <i>Ready Fuel</i>
$T_{ex}$	= Temperatur <i>Exhaust</i>		
$T_A$	= Temperatur <i>Inlet Burner</i>		
$T_B$	= Temperatur <i>Outlet Burner</i>		

### 3.1.2 Pembakar (*Burner*)

Pembakar (*Burner*) pada alat yaitu *Hoken Steam Boiler Cap 6 T/H* ada 2 jenis yaitu:

1. *Oil Burner* dengan dimensi:
  - i. Diameter dalam 296 mm, diameter luar 330 mm, dan panjang 482 mm
2. *Gas and Oil Burner* dengan dimensi:
  - ii. Diameter dalam 290 mm, diameter luar 330 mm, dan panjang 512 mm

Adapun yang dipakai pada penelitian ini yaitu *Gas and Oil Burner* yang menggunakan *fan* untuk media penyaluran campuran udara dan bahan bakar yang terbakar ke dalam *boiler*.

### 3.1.3 Fuel

Alat *Burner Hoken Steam Boiler Cap 6 T/H* didesain untuk pemakaian gas sebagai berikut:

1. LNG (*Liquidified Natural Gas*)
2. LPG (*Liquidified Petroleum Gas*)
3. Gas Propana
4. Gas Industri

Gas yang digunakan pada penelitian ini yaitu gas LNG (*Liquidified Natural Gas*)

### 3.1.4 Peralatan Pendukung

1. *Control Panel*, alat pengatur tekanan *steam* yang berlangsung didalam *boiler* dan dibatasi sebesar 6 atau 8 bar dari kapasitas maksimum 14 bar.
2. Pengukur tekanan, temperature dan debit.
3. *Infra Red Thermal* untuk mengetahui temperature paa titik titik tertentu yang dilengkapi dengan persentase akurasi.
4. *Clamp Tester*, alat pengukur nilai arus pada kabel aliran listrik yang masuk pada *boiler* dan *burner*.
5. Kamera untuk pengambilan gambar *boiler*.



**Gambar 3.1** *Temperature Gauge*



**Gambar 3.2** *Pressure Gauge*



**Gambar 3.3** *Infra Red Thermal*



**Gambar 3.4** *Clamp Tester*

### **3.2 Langkah-langkah Persiapan**

#### **3.2.1 Pengaturan Debit Water dan Fuel**

1. Pengisian Water Tank

*Valve* pada *liquid inlet* diputar saat water level mencapai nilai yang memenuhi. Air masuk water tank pada aliran debit sesuai setelan dan dihentikan saat berada di kurang lebih 3 mm di atas garis penunjuk *level gauge* atau *setting needle point*.

2. Setelan aliran Gas

Aliran gas sudah tersetel otomatis dengan standar supplier *burner*, debit gas yang memasuki *burner* naik jika tekanan masih dibawah nilai tekanan yang di setting berjalan dan debit turun jika tekanan melebihi nilai yang di setting.

### 3.2.2 Pengetesan Fase Operasi

*Boiler* dapat bekerja secara normal jika kondisi tekanan sudah terpenuhi untuk membangkitkan daya pada *plant*. Sebelumnya dipastikan lewat *control panel* parameter parameter sudah sesuai.

### 3.2.3 Pengukuran

Tentukan point dimana temperatur hendak diukur dan pastikan tidak ada materi yang menghalangi. Udara yang mengalir dalam *burner* akan bercampur gas dalam komposisi yang berubah ubah dan tekanan akan selalu berubah ubah sesuai kondisinya.

### 3.2.4 Pengoperasian Tekanan dan Temperatur

Temperatur dan tekanan harus dioperasikan pada tekanan kisaran panel, meskipun *boiler* dibuat untuk dapat menahan tekanan sampai 14 bar, jika temperature tidak sesuai maka proses tidak stabil dan dapat mempengaruhi umur *spare part boiler*

Temperatur *feedwater* berkisar  $100^{\circ}\text{C}$  dan *steam* pada operasi sebesar  $153^{\circ}\text{C}$  atau di atasnya. Ketika *feedwater* yang terukur tidak lebih dari  $100^{\circ}\text{C}$  maka penggunaan zat kimia ditambahkan.

### 3.3 Metode Pengambilan Data

Penelitian ini dilakukan pada dua kondisi yaitu *boiler* saat *plant* berjalan dan saat *startup* serta kondisi *boiler* saat menggunakan *oil fuel*. Dalam penelitian ini ada dua nilai yang diambil atau menjadi parameter yang dicari (variabel bebas) yaitu temperatur dan tekanan dari berbagai bagian. Tekanan *boiler* langsung dicatat dalam satuan bar yang terbaca pada meteran, suhu diukur dalam satuan celcius baik yang menggunakan *infra red* ataupun yang terbaca pada meteran.

Data-data hasil penelitian kemudian dimasukkan ke dalam tabel dengan format sebagai berikut:

waktu	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>
0						
10						
20						
30						
40						

Menit	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>
0				
10				
20				
30				
40				

## **BAB IV**

### **HASIL PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN DATA**

Penelitian dilakukan untuk meninjau *boiler* yang menggunakan bahan bakar berupa natural gas. Bahan bakar ini akan diteliti apakah penggunaannya pada mesin *boiler* dapat potensial dan optimal dilihat dari berbagai parameter. Pengukuran dari hasil penggunaan gas diperbandingkan dengan hasil pengukuran yang menggunakan oil *fuel*.

#### **4.1. HASIL PENGUKURAN**

Percobaan untuk mengetahui temperatur dilakukan dengan melihat temperatur gauge yang sudah terpasang pada *boiler*. Dengan alat bantu lain berupa *infra red thermal* merek SKF dan *stopwatch*, diukur nilai temperatur *feedwater*, *steam*, *inlet* dan *outlet*. Selain itu dilakukan pengukuran pada temperatur dan arus yang ada pada *boiler*. Tabel dibawah ini adalah data hasil pengukuran temperature *feedwater*, *steam*, *inlet* dan *outlet*

Tabel 4.1 Temperatur pada Saat *Startup*

waktu (min)	water (°C)		boiler (°C)		burner (°C)	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>
0	24.6		25.5	25.5	25.5	24.8
10	25.3	130.2	26.1	46.3	25.7	48.5
20	26.2	136.4	27.6	52.2	26.3	51.4
30	28.5	160.7	28.3	104.8	28.1	53.8
40	29.7	187.5	28.2	127.2	27.6	60.8
50	30.1	172.3	29.9	159.1	28.3	68.2
60	30.5	176.9	30.7	153.4	28.8	70.2
70	31	174.5	30.8	162.3	29.2	71.8
80	31.2	177.1	31.2	147.7	29.8	73.6
90	32	180.7	31.8	153.1	29.9	74.8
100	32.7	188.2	32.1	167.4	30.6	76.8
110	33.1	185.3	32.8	168.4	31.4	78.2
120	34.3	179.8	32.9	165.4	32.1	82.1
130	35	175.9	33.8	155.6	32.7	76.1
140	35.5	179.4	34.2	160.9	33.4	79.4
150	36.1	175.1	34.6	153.9	34.2	82.3
160	36.9	173.9	35.4	125.1	33.9	84.2
170	80.2	172.4	35.1	132.4	34.5	86.9
180	96.4	172.6	35.4	136.2	35.3	86.4
190	98.3	180.2	35.6	131.7	35.5	85.1
200	97.9	176.1	35.9	139.1	35.7	88.8
210	98.4	174.5	38.8	141.7	37.6	97.4
220	99.1	172.8	38.5	149.1	37.6	100.4
230	99.7	176.3	37.8	155.4	38	103.7
240	99.8	175.9	37.3	157.8	38.5	104.2

Tabel 4.2 Tekanan pada Saat *Startup*

menit (min)	<i>water system</i> (bar)		<i>fuel system</i> (bar)	
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>
0				
10	0.14	0.8	1.74	0.1095
20	0.2	0.4	1.71	0.1123
30	0.22	0.9	1.72	0.1109
40	0.39	2.7	1.75	0.1109
50	0.85	6.8	1.71	0.1174
60	0.95	7.7	1.73	0.1157
70	1	8.5	1.71	0.1124
80	1.24	9.1	1.7	0.1118
90	1.27	9.7	1.75	0.1153
100	1.3	10.2	1.75	0.114
110	1.31	10.6	1.69	0.1142
120	1.35	10.9	1.74	0.1116
130	0.94	8.3	1.72	0.1081
140	1.02	8.6	1.75	0.1146
150	0.93	7.8	1.76	0.1119
160	0.92	6.8	1.7	0.1104
170	0.85	5.8	1.72	0.1128
180	0.78	5.2	1.75	0.1087
190	0.74	5.6	1.68	0.1061
200	0.9	7.3	1.72	0.1169
210	0.75	6.4	1.72	0.1124
220	0.78	6.4	1.74	0.1016
230	0.84	5.6	1.71	0.1089
240	0.88	5.4	1.72	0.1104

Tabel 4.3 Arus dan Daya Burner pada Saat Startup

waktu (min)	arus burner (Ampere)			daya burner (kW)		
	kabel 1	kabel 2	kabel 3	kabel 1	kabel 2	kabel 3
0						
10	8.5	8.8	8.6	5.5879	5.78512	5.65364
20	8.5	8.7	8.6	5.5879	5.71938	5.65364
30	8.5	8.8	8.7	5.5879	5.78512	5.71938
40	7.6	7.7	7.3	4.99624	5.06198	4.79902
50	5	5.2	4.9	3.287	3.41848	3.22126
60	5	5.2	4.8	3.287	3.41848	3.15552
70	5	5.1	4.8	3.287	3.35274	3.15552
80	5	5.2	4.9	3.287	3.41848	3.22126
90	5.1	5.2	4.8	3.35274	3.41848	3.15552
100	5	5.1	4.8	3.287	3.35274	3.15552
110	5	5.2	4.9	3.287	3.41848	3.22126
120	8.8	9.1	8.4	5.78512	5.98234	5.52216
130	4.8	5.1	4.8	3.15552	3.35274	3.15552
140	4.9	5	4.8	3.22126	3.287	3.15552
150	4.9	5.1	4.9	3.22126	3.35274	3.22126
160	4.8	5	4.8	3.15552	3.287	3.15552
170	4.9	5	4.8	3.22126	3.287	3.15552
180	5.2	5.4	5.2	3.41848	3.54996	3.41848
190	6.1	6.4	6.2	4.01014	4.20736	4.07588
200	4.9	5.1	4.9	3.22126	3.35274	3.22126
210	4.8	5	4.8	3.15552	3.287	3.15552
220	4.8	5	4.8	3.15552	3.287	3.15552
230	4.8	5.1	4.8	3.15552	3.35274	3.15552
240	4.9	5.1	4.9	3.22126	3.35274	3.22126

Tabel 4.4 Arus dan Daya Boiler pada Saat *Startup*

waktu (min)	arus menyeluruh (Ampere)			daya menyeluruh (kW)		
	kuning	hitam	biru	kuning	hitam	biru
0						
10	15.7	16.4	15.5	10.32118	10.78136	10.1897
20	15.2	16.1	15.4	9.99248	10.58414	10.12396
30	15	15.8	15.3	9.861	10.38692	10.05822
40	12.8	13.3	12.6	8.41472	8.74342	8.28324
50	9	9.4	9.1	5.9166	6.17956	5.98234
60	8.9	9.3	8.9	5.85086	6.11382	5.85086
70	8.9	9.2	8.8	5.85086	6.04808	5.78512
80	9	9.3	8.9	5.9166	6.11382	5.85086
90	8.9	9.1	8.8	5.85086	5.98234	5.78512
100	9	9.4	9.7	5.9166	6.17956	6.37678
110	9	9.2	8.8	5.9166	6.04808	5.78512
120	19	18.8	18.6	12.4906	12.35912	12.22764
130	8.9	9.2	8.8	5.85086	6.04808	5.78512
140	8.8	9.1	8.7	5.78512	5.98234	5.71938
150	8.8	9.1	8.8	5.78512	5.98234	5.78512
160	8.7	9.1	8.8	5.71938	5.98234	5.78512
170	8.9	9.3	8.9	5.85086	6.11382	5.85086
180	9.3	9.5	9.2	6.11382	6.2453	6.04808
190	11	11.2	11	7.2314	7.36288	7.2314
200	9	9.2	8.9	5.9166	6.04808	5.85086
210	17.7	17.5	17.3	11.63598	11.5045	11.37302
220	8.8	9.1	8.8	5.78512	5.98234	5.78512
230	9	9.3	9.1	5.9166	6.11382	5.98234
240	8.9	9.2	9	5.85086	6.04808	5.9166

Tabel 4.5 Temperatur pada Saat Normal

waktu (min)	water (°C)		boiler (°C)		burner (°C)	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>
0	100.1	190.2	31.6	150.1	30.6	103.4
10	100.1	178.5	32.2	148.6	30.5	107.8
20	100	182.4	33.2	149.3	31.2	104.3
30	99.9	179	34.6	158.5	31.2	105.3
40	100.1	178.3	34.4	152.7	31.8	99.9
50	100.1	180.9	34.5	150.9	33.1	102.9
60	100.2	187.5	35.7	157.4	33.9	102.7
70	100	188.1	35.6	162.2	34	103.3
80	100.1	190.3	36.3	151.7	35.1	101.9
90	100	189.9	36.1	158	35.2	104.7
100	100	188.5	36.6	160.6	35.4	105.1
110	100.1	205.3	36.3	155.7	35.7	102.3
120	100.1	198.8	36.6	156.5	35.9	104.1
130	100.2	195.4	36.9	152.9	36.6	106.6
140	100	201.1	37.4	162.3	36.7	103.1
150	100.1	189.7	37.5	160.3	37.4	105.6
160	100	178.3	38.5	157.1	37.8	105.4
170	100	178.9	38.2	157	38.1	101.9
180	100.2	181.4	38.8	160.6	38.3	105.8
190	100	179.8	39.7	151.4	38.5	104.2
200	100.1	180.1	39.7	152.8	38.3	100.3
210	100.2	179.3	40.2	159.3	38.9	106.7
220	100.1	188.2	40.5	153.2	39.2	102.5
230	100	200.5	41	161.5	39.7	104.8
240	100	195.9	40.8	156.3	40.1	101.4

Tabel 4.6 Tekanan pada Saat Normal

menit (min)	water system (bar)		fuel system (bar)	
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>
0	0.88	8.2	1.89	0.1123
10	0.86	8.6	1.91	0.1151
20	0.81	8	1.89	0.1136
30	0.8	8	1.91	0.1121
40	0.85	7.4	1.91	0.1154
50	0.88	7.6	1.92	0.1109
60	0.88	8.2	1.92	0.1047
70	0.9	8.3	1.94	0.0999
80	0.93	8.2	1.93	0.0998
90	0.9	7.7	1.93	0.0999
100	0.91	8.1	1.94	0.1002
110	0.95	8.3	1.96	0.1005
120	0.91	8.2	1.99	0.1112
130	0.89	6.9	1.98	0.1093
140	0.82	7.8	1.99	0.1087
150	0.85	8.1	1.97	0.1124
160	0.9	7.2	1.98	0.1101
170	0.87	8.2	1.98	0.1103
180	0.93	8.7	1.97	0.1138
190	0.85	8.3	1.98	0.1124
200	0.84	8.4	1.98	0.1078
210	0.81	7.6	1.97	0.1101
220	0.88	6.7	1.97	0.1104
230	0.91	8.2	1.96	0.1092
240	0.89	8.2	1.96	0.1125

Tabel 4.7 Arus dan Daya *Burner* pada Saat Normal

waktu (min)	arus <i>burner</i> (Ampere)			daya <i>burner</i> (KW)		
	kabel 1	kabel 2	kabel 3	kabel 1	kabel 2	kabel 3
0	5.4	5.5	5.2	3.54996	3.6157	3.41848
10	5	5.1	4.9	3.287	3.35274	3.22126
20	5	5.1	4.9	3.287	3.35274	3.22126
30	7.5	7.7	7.6	4.9305	5.06198	4.99624
40	4.9	5	4.8	3.22126	3.287	3.15552
50	5.2	5.4	5.2	3.41848	3.54996	3.41848
60	7.5	7.7	7.6	4.9305	5.06198	4.99624
70	4.8	5	4.8	3.15552	3.287	3.15552
80	5.1	5.3	5	3.35274	3.48422	3.287
90	5	5.3	5.1	3.287	3.48422	3.35274
100	4.8	5.1	4.8	3.15552	3.35274	3.15552
110	4.9	5.2	4.8	3.22126	3.41848	3.15552
120	5	5.2	4.8	3.287	3.41848	3.15552
130	5.2	5.2	4.8	3.41848	3.41848	3.15552
140	5.3	5.7	5.4	3.48422	3.74718	3.54996
150	6.4	6.8	6.4	4.20736	4.47032	4.20736
160	5.3	5.5	5.3	3.48422	3.6157	3.48422
170	5.4	5.5	5.4	3.54996	3.6157	3.54996
180	5.3	5.6	5.4	3.48422	3.68144	3.54996
190	5.2	5.4	5.2	3.41848	3.54996	3.41848
200	5.3	5.6	5.5	3.48422	3.68144	3.6157
210	5.3	5.5	5.3	3.48422	3.6157	3.48422
220	5.5	5.7	5.4	3.6157	3.74718	3.54996
240	5.3	5.6	5.4	3.48422	3.68144	3.54996

Tabel 4.8 Arus dan Daya *Boiler* pada Saat Normal

waktu (min)	arus menyeluruh (Ampere)			daya menyeluruh (KW)		
	kuning	hitam	biru	kuning	hitam	biru
0	9.6	10.2	9.4	6.31104	6.70548	6.17956
10	8.8	9.1	8.6	5.78512	5.98234	5.65364
20	8.9	9.1	9.2	5.85086	5.98234	6.04808
30	12.7	13.4	12.6	8.34898	8.80916	8.28324
40	8.6	9	8.6	5.65364	5.9166	5.65364
50	9.4	9.7	9.4	6.17956	6.37678	6.17956
60	13.6	14	13.7	8.94064	9.2036	9.00638
70	8.7	8.9	8.6	5.71938	5.85086	5.65364
80	9.2	9.4	9.1	6.04808	6.17956	5.98234
90	9.1	9.4	9	5.98234	6.17956	5.9166
100	8.8	9.1	8.7	5.78512	5.98234	5.71938
110	8.9	9	8.8	5.85086	5.9166	5.78512
120	9	9.2	8.9	5.9166	6.04808	5.85086
130	9	9.2	8.8	5.9166	6.04808	5.78512
140	19.3	19.4	19.2	12.68782	12.75356	12.62208
150	11.3	11.5	11.2	7.42862	7.5601	7.36288
160	9.5	9.9	9.3	6.2453	6.50826	6.11382
170	9.6	9.9	9.5	6.31104	6.50826	6.2453
180	19.5	19.6	19.4	12.8193	12.88504	12.75356
190	9.4	9.8	9.2	6.17956	6.44252	6.04808
200	9.8	10.3	9.7	6.44252	6.77122	6.37678
210	9.4	9.8	9.2	6.17956	6.44252	6.04808
220	9.7	10.2	9.6	6.37678	6.70548	6.31104
240	9.6	9.9	9.6	6.31104	6.50826	6.31104

Tabel 4.9 Effisiensi *Boiler* dengan Gas *Fuel* pada Saat Normal

waktu (min)	<i>boiler</i> (°C)		water	water syst (bar)		$\Delta h$	qout	qin	eficiency GCV	eficiency NCV
	<i>inlet</i>	<i>outlet</i>		Feed water	<i>boiler steam</i>					
0	31.6	150.1	2.58	0.88	8.2	2431.34	1742.46	2262.424	77.01742	85.25339
30	34.6	153.5	2.57	0.8	8	2417.74	1725.998	2094.837	82.39295	91.20376
60	35.7	157.4	2.65	0.88	8.2	2388.74	1758.378	2262.424	77.72099	86.0322
90	36.1	158	2.45	0.84	7.7	2398.54	1632.34	2292.997	71.18805	78.80064
120	36.6	156.5	2.59	0.91	8.2	2328.64	1675.327	2356.691	71.0881	78.69001
150	37.5	160.3	2.66	0.85	8.1	2399.44	1772.92	2203.659	80.45343	89.05683
180	38.8	160.6	2.78	0.93	8.7	2398.74	1852.36	2262.424	81.87505	90.63047
210	40.2	159.3	2.63	0.81	7.6	2402.24	1754.97	2232.655	78.60462	87.01031
240	40.8	156.3	2.66	0.86	8.2	2418.54	1787.032	2203.659	81.09386	89.76574

Tabel 4.10 Effisiensi *Boiler* dengan Oil *Fuel* pada Saat Normal

waktu (min)	<i>boiler</i> (°C)		water	water syst(bar)		$\Delta h$	qout	qin	eficiency GCV	eficiency NCV
	<i>inlet</i>	<i>outlet</i>		Feed water	<i>boiler steam</i>					
0	28.9	170.2	2.34	0.93	6.5	2366.04	1537.926	2011.248	76.46624	84.20389
30	29.1	172.7	2.41	0.95	6.1	2358.24	1578.711	2226.739	70.89787	78.07206
60	28.8	173.1	2.42	0.95	6.6	2356.54	1584.119	2044.22	77.49258	85.33409
90	29.9	172.3	2.39	0.95	8.4	2357.64	1565.211	1948.397	80.33327	88.46224
120	30.6	176.8	2.38	0.93	6.2	2344.54	1550.001	2044.22	75.82362	83.49625
150	31.7	176.2	2.38	0.95	8.2	2342.24	1548.481	1918.422	80.7164	88.88414
180	35.4	168.4	2.45	0.92	8.3	2370.94	1613.556	2044.22	78.93263	86.91986
210	36.3	174.9	2.31	0.92	6.8	2349.34	1507.493	1889.355	79.78879	87.86266
240	36.2	177.3	2.36	0.9	5.9	2340.74	1534.485	2113.515	72.60346	79.95023

## 4.2. PERHITUNGAN DATA

### 4.2.1 PERHITUNGAN NATURAL GAS

Gas yang digunakan terdiri dari Metana (95.2%), Etana (2.5%), Propana (0.2%), Butana (0.06%), dan gas lain diasumsikan (2.04%) Massa jenis gas yang digunakan sebesar:

$$\begin{aligned}\rho_{LPG} &= (95.2\% \cdot \rho_{metana}) + (2.5\% \cdot \rho_{etana}) + (0.02\% \cdot \rho_{propana}) + (0.06\% \cdot \rho_{butana}) + (2.04\% \cdot \rho_{pentana}) \\ &= (95.2\% \cdot 0.717) + (2.5\% \cdot 0.572) + (0.02\% \cdot 0.585) + (0.06\% \cdot 0.601) + (2.04\% \cdot 0.626) \\ &= 710.132 \text{ gr/L}\end{aligned}$$

### 4.2.2 PERHITUNGAN DAYA PENGGUNAAN PADA *BURNER* DAN *BOILER*

Daya merupakan parameter yang biasa digunakan pada untuk menunjukkan pemakaian energi listrik. Dapat dikatakan bahwa daya juga menyatakan seberapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin untuk dijadikan daya output. Satuan dalam Sistem Internasional (SI) adalah kW. Nilai yang rendah mengindikasikan pemakaian energi listrik yang irit. Konsumsi daya sekaligus berhubungan langsung dengan sistem listrik yang terpisah primer dengan bahan bakar.

$$\begin{aligned}Daya &= I^2 \cdot R \cdot t \\ &= V \cdot I \cdot t \\ Daya &= \frac{1,73 \cdot I \cdot 380}{1000}\end{aligned}\tag{4.1}$$

Contoh Perhitungan Daya:

Pada *Burner*

Untuk  $I = 5.4 \text{ A}$

$$\begin{aligned}Daya &= \frac{1,73 \cdot I \cdot 380}{1000} \\ &= \frac{1,73 \cdot 5,4 \cdot 380}{1000} \\ &= 3.54996 \text{ KW}\end{aligned}$$

Untuk I = 5.5 A

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \frac{1,73.I.380}{1000} \\ &= \frac{1,73.5,5.380}{1000} \\ &= 3.6157 \text{ KW} \end{aligned}$$

Untuk I = 5.2 A

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \frac{1,73.I.380}{1000} \\ &= \frac{1,73.5,2.380}{1000} \\ &= 3.41848 \text{ KW} \end{aligned}$$

Pada Boiler

Untuk I = 9.6 A

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \frac{1,73.I.380}{1000} \\ &= \frac{1,73.9,6.380}{1000} \\ &= 6.31104 \text{ KW} \end{aligned}$$

Untuk I = 10.2 A

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \frac{1,73.I.380}{1000} \\ &= \frac{1,73.10,2.380}{1000} \\ &= 6.70548 \text{ KW} \end{aligned}$$

Untuk I = 9.4 A

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \frac{1,73.I.380}{1000} \\ &= \frac{1,73.9,4.380}{1000} \\ &= 6.17956 \text{ KW} \end{aligned}$$

### 4.2.3 PERHITUNGAN EFISIENSI

Dalam combustion, energi chemical dikonversikan ke energi panas tetapi tak ada yang hilang. Permisalan, jika salah satu bentuk energi pada *steam*, energi pada flue gas, energi yang teradiasi dari *boiler* dan seluruh bentuk energi lainnya yang meninggalkan *boiler*, sama dengan jumlah energi yang tersimpan dalam *fuel* yang terbakar. Formula sederhananya seperti berikut:

Energi in *Fuel* = Energi in *Steam* + Energi in Heat Losses

Efisiensi *boiler* merupakan persentase dari energi *fuel* yang terkonversi menjadi energi *steam*. Untuk melakukan hal ini ditentukan individual heat losses (*percent of heat input*) dan dikurangkan dari nilai 100% (menggambarkan energi yang tak pernah hilang). Formulasnya yaitu:

$$\text{Boiler efficiency (\%)} = \text{Heat exported by fluid} / \text{Heat provided by fuel} \times 100$$

Setelah *boiler* ditentukan parameternya, diketahui debit, berat feed water yang digunakan, temperatur feed water, tekanan *steam* dapat kita lakukan perhitungan dari pengukuran. Jika air sebagai fluida yang menyerap panas dari *boiler* dapat dibuat persamaan:

$$q = (m/t) c_p dT \quad (4.2)$$

dimana:

$q$  = panas yang diserap (kJ/s, kW)

$m/t$  = mass flow (kg/s)

$c_p$  = specific heat capacity (kJ/kg °C)

$dT$  = temperature difference between inlet and outlet of the boiler (°C)

Panas yang dihasilkan dari *fuel* dapat dijelaskan dengan dua cara yaitu: *Gross Calorific Value* (GCV) dan *Net calorific value* (NCV). *Gross Calorific Value* merupakan total energi teoretis pada *fuel*. GCV *fuel* mencakup energi yang digunakan untuk menguapkan air pada proses pembakaran. *Net Calorific Value*, pada cara ini nilai kalori *fuel* tidak termasuk energi penguapan air pada proses pembakaran. Proses pembakaran mencakup:



Perhitungan saat *boiler* berjalan normal:

Kalor keluar

$$q.out = (m/t) c_p dT \quad (4.3)$$

Kalor masuk

$$q.in = GCV / NCV \text{ fuel}$$

$$GCV = 38.3 \text{ MJ/m}^3$$

$$q.gcv = 38.3 \text{ MJ/m}^3 \times m/t$$

$$NCV = 34.6 \text{ MJ/m}^3$$

$$q.ncv = 34.6 \text{ MJ/m}^3 \times m/t$$

Contoh Perhitungan Efisiensi:

Saat pengukuran ke 1

*efficiency jika dihitung berdasarkan GCV*

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(m/t)_{\text{water}} \cdot c_p \cdot dT}{GCV \cdot (m/t)_{\text{fuel}}} \\
 &= \frac{(m/t)_{\text{water}} \Delta h}{GCV \cdot (m/t)_{\text{fuel}}} \\
 &= \frac{2,58 \text{ m}^3/\text{hr} \times 2431,34 \text{ kJ/kg} \times 1000 \text{ kg/m}^3}{38300 \text{ KJ/m}^3 \times 174,5 \text{ m}^3/\text{hr}} \times 100\% \\
 &= 77,01\%
 \end{aligned}$$

*efficiency jika dihitung berdasarkan NCV*

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(m/t)_{\text{water}} \cdot c_p \cdot dT}{NCV \cdot (m/t)_{\text{fuel}}} \\
 &= \frac{(m/t)_{\text{water}} \Delta h}{NCV \cdot (m/t)_{\text{fuel}}} \\
 &= \frac{2,58 \text{ m}^3/\text{hr} \times 2431,34 \text{ kJ/kg} \times 1000 \text{ kg/m}^3}{34600 \text{ KJ/m}^3 \times 174,5 \text{ m}^3/\text{hr}} \times 100\% \\
 &= 85,25\%
 \end{aligned}$$

Efisiensi Mean berdasarkan GCV Gas Fuel: 77.937%

Efisiensi Mean berdasarkan NCV Gas Fuel: 86.271%

Efisiensi Mean berdasarkan GCV Oil Fuel: 77.006%

Efisiensi Mean berdasarkan NCV Oil Fuel: 84.798%

### 4.2.3 PERHITUNGAN KONSUMSI FUEL

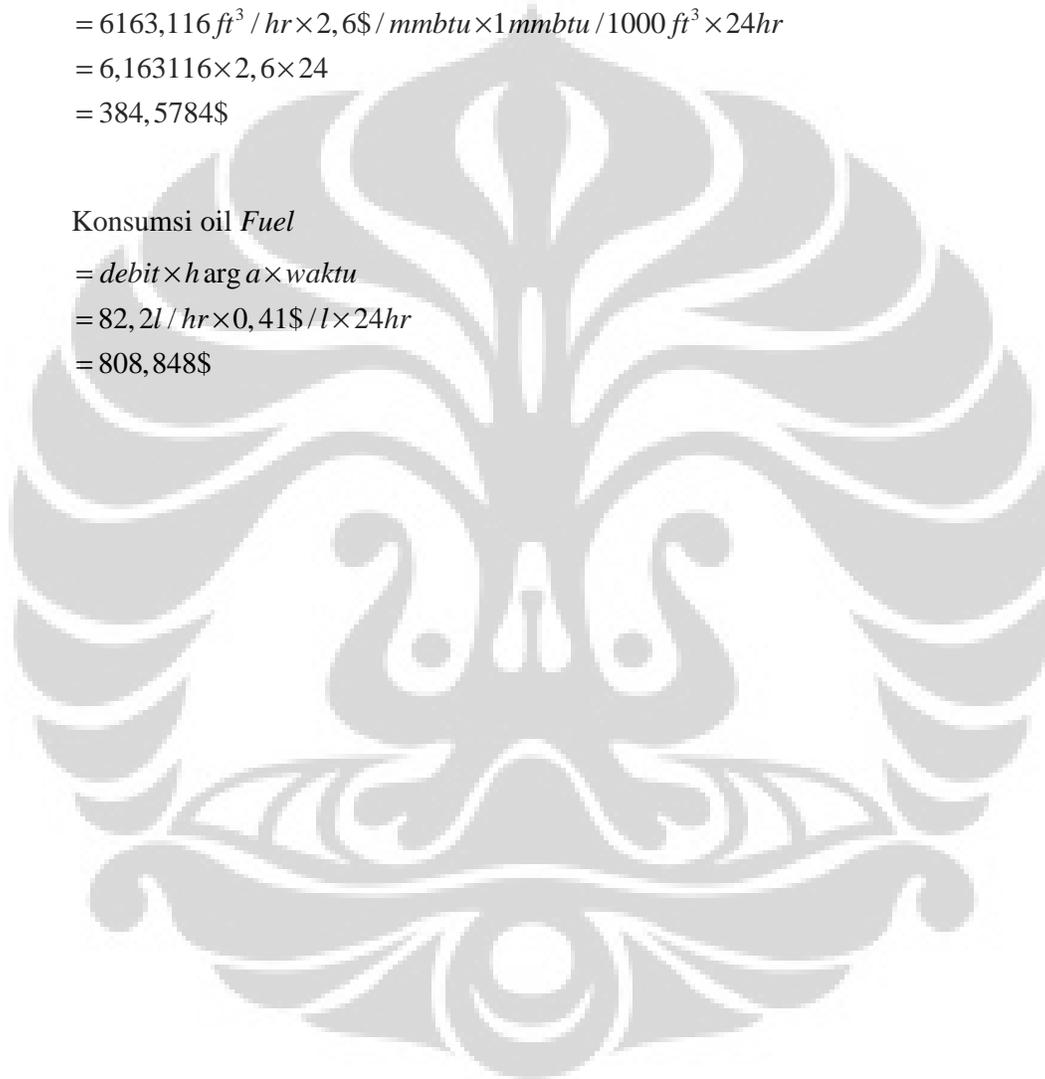
Perbandingan harga bahan bakar yang digunakan pada setiap satu hari/24 jam.

Konsumsi Gas *Fuel*

$$\begin{aligned}
 &= \text{debit} \times \text{harga} \times \text{waktu} \\
 &= 174,52 \text{ m}^3 / \text{hr} \times 2,6 \$ / \text{mmbtu} \times 24 \text{ hr} \\
 &= 6163,116 \text{ ft}^3 / \text{hr} \times 2,6 \$ / \text{mmbtu} \times 1 \text{ mmbtu} / 1000 \text{ ft}^3 \times 24 \text{ hr} \\
 &= 6,163116 \times 2,6 \times 24 \\
 &= 384,5784 \$
 \end{aligned}$$

Konsumsi oil *Fuel*

$$\begin{aligned}
 &= \text{debit} \times \text{harga} \times \text{waktu} \\
 &= 82,2 \text{ l} / \text{hr} \times 0,41 \$ / \text{l} \times 24 \text{ hr} \\
 &= 808,848 \$
 \end{aligned}$$



## BAB V

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 DATA ALAT

*Boiler* dapat disetting pada beberapa tekanan antara 0 sampai 10 bar, untuk *boiler* yang digunakan oleh pabrik ini ditetapkan 6 atau 8 bar. Peninjauan parameter pada *boiler* yang mengalami pergantian bahan bakar dari residu menjadi gas perlu dilakukan untuk mendapatkan pengaruh penggunaan *fuel* pada sistem tersebut. *Boiler* yang digunakan adalah jenis *fire tube boiler* dan *boiler* ini berjalan dalam waktu yang lama karena operasionalnya mencapai lebih dari dua minggu dan nonstop 24 jam.

Line dalam pabrik ini ada dua buah, cationic dan nylgum. Penggunaan setting 6 bar yaitu pada saat line yang run adalah satu *line*, kebutuhan suplai energi yang tidak terlalu besar. Percobaan untuk mengetahui suhu dan tekanan yang ada pada beberapa bagian *boiler* dengan bahan bakar gas dilakukan dengan memantau alat pengukur termal yang terinstal pada komponen *boiler*. Penggunaan *infra red* digunakan di komponen atau titik *boiler* yang tidak terinstal alat atau sulit dijangkau.

Proses pengambilan data *boiler* dan *burner* dilakukan pada kondisi mesin pabrik bekerja secara kontinu dan proses normal. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai yang aktual pada *boiler* dan tidak ada faktor variabel lain yang ditambahkan.

Kondisi *boiler* adalah:

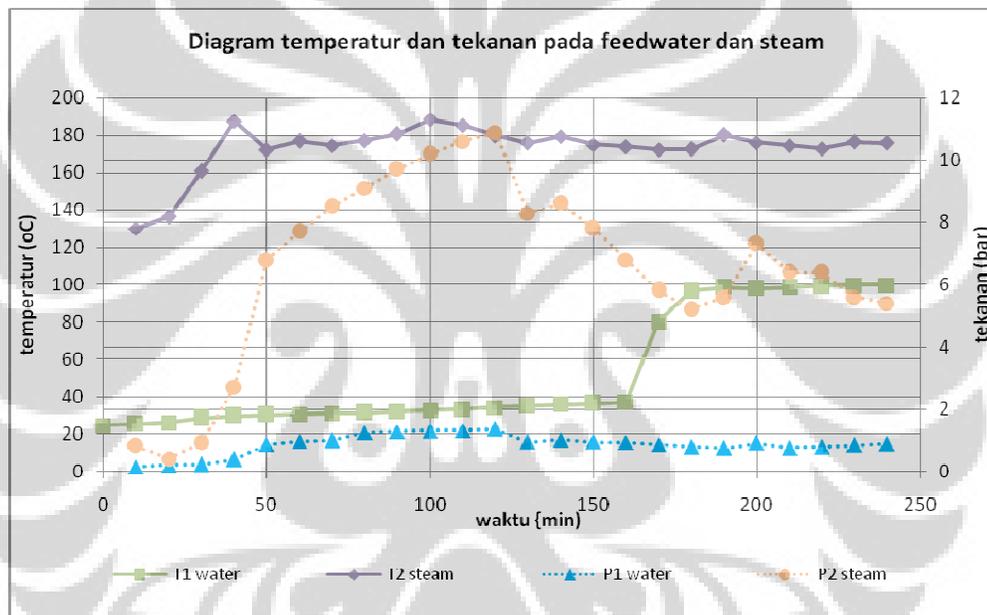
**Kapasitas Boiler**

Heating surface	: 150 m <sup>2</sup>
Tekanan Max	: 14 kg/cm <sup>2</sup>
Tekanan Max Test	: 21 kg/cm <sup>2</sup>
Capacity	: 6000 kg/h

### Dimensi Boiler

Panjang boiler	: 5062 mm
Panjang total	: 9190 mm
Diameter	: 2200 mm
Tinggi	: 3972 mm
Jarak ke cerobong	: 2353 mm

## 5.2 GRAFIK TEMPERATUR DAN TEKANAN *FEEDWATER* DAN *STEAM* PADA SAAT *STARTUP*



**Gambar 5.1** Grafik Temperatur dan Tekanan *Feedwater* dan *Steam* saat *Startup*

Pada *startup* dapat dilihat temperatur di *feedwater*, dan temperatur di *steam*. Temperatur pada *feedwater* pada awalnya merupakan temperatur air pada kondisi normal sekitar 23 °C. Suhu dalam tangki dinaikkan secara perlahan untuk mencapai kondisi kritis yaitu 100 °C. Konsentrasi air yang sudah diberikan treatment bisa digunakan sebagai *feedwater* terkumpul pada *water tank* yang akan dialirkan ke *boiler*. Sejak pertama kali *start* kenaikan stabil sekitar 0.8 °C tiap sepuluh menit, ini karena pemanasan tidak berlangsung terkonsentrasi pada *feedwater*, tetapi pada keseluruhan *boiler*. Dari sejak mulai *start* hingga menit ke

160 masih menunjukkan temperatur 36.9 °C, begitu ke menit 170 suhu meningkat menjadi 80.2 °C. Menuju ke menit 180 suhu naik menjadi 96.4 °C, selanjutnya temperatur stabil kembali pada temperatur naik mendekati 100 °C.

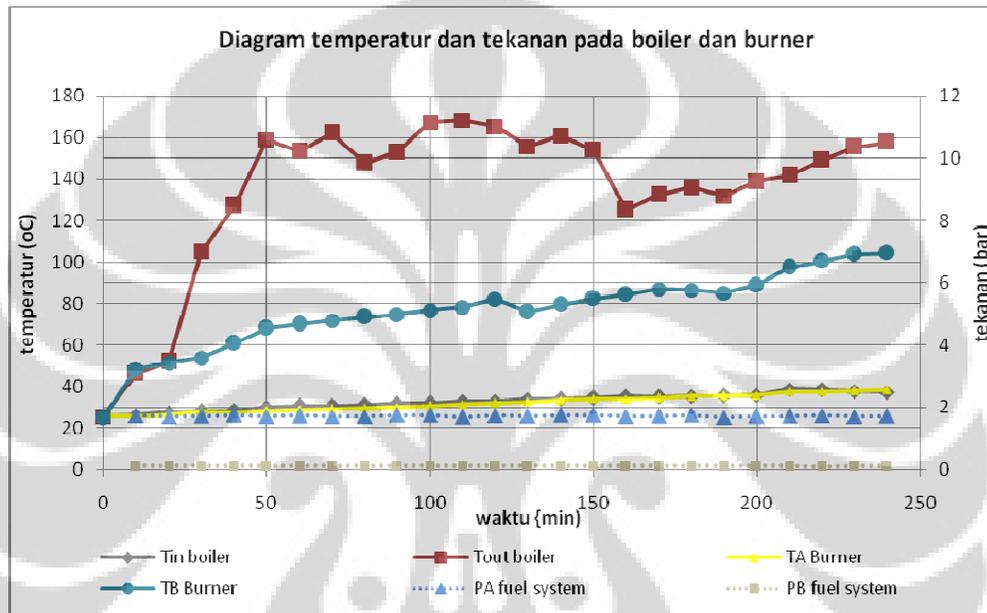
Temperatur *steam* saat awal pengukuran sudah menunjukkan 130.2 °C, di dalam *boiler*, uap masih dalam jumlah yang kecil sebab *feedwater* dalam tank belum terisi penuh. Menit ke 20 kenaikan hanya sekitar 6 °C dari 10 menit sebelumnya. Kenaikan signifikan terjadi pada pengukuran berikutnya tepatnya pada menit ke 30 menjadi 160.7 °C dengan kenaikan sebesar 24.3 °C. Temperatur *steam* cepat dalam hal kenaikan, berbeda dengan *feedwater*, penyebabnya karena densitas uap lebih kecil sehingga kenaikan secara instan sangat mungkin terjadi. Tidak hanya di menit tersebut kenaikan signifikan terjadi, menit berikutnya temperatur naik kembali menjadi 187.5 °C, kenaikan sebesar 26.8 °C dari temperatur sebelumnya.

Tekanan yang dianalisa pada bagian *feedwater* dan *steam* menunjukkan grafik naik turun. *Feedwater* saat pengukuran pertama dari 0.14 bar naik menjadi 0.2 dan naik lagi menjadi 0.22 bar, tekanan saat awal tidak terlalu berpengaruh karena tangki air belum maksimal. Kenaikan grafik mulai terlihat pada menit berikutnya tepatnya dari menit 40 ke 50 kenaikan sebesar 0.42 bar dari 0.39 ke 0.81 bar. Grafik naik secara konstan sampai ke menit 120 dan mengalami penurunan yang konstan pada menit 130. Tidak banya penyimpangan tekanan pada bagian *feedwater*.

Pada *steam* grafik dimulai dari angka 0.8 menurun pada menit ke 20 menjadi 0.4 bar. Dari setting awal 8 bar yang dipersiapkan tidak mampu langsung dipenuhi oleh *boiler* maka tekanan dimulai dari angka kecil. Kenaikan tajam terjadi pada grafik karena tekanan yang diharapkan harus segera dicapai. Mulai dari menit awal tekanan secara berurutan tercatat 0.8, 0.4, 0.9, 2.7, 6.8, 7.7 bar setelah itu tekanan selalu naik dengan konstan hingga menit ke 120 yang mencapai 10.9 bar. Menit berikutnya tekanan turun secara tajam menjadi 8.3 bar dan selanjutnya turun dengan konstan setelah naik sedikit dari 8.3 menjadi 8.6 pada menit 140. Naik turunnya tekanan pada *steam* dipengaruhi level energi pada *plant* yang berjalan. Disaat *plant* bekerja full, *burner* akan menaikkan daya kerjanya hingga batas cakupan tekanan, setelah tekanan melebihi setting, *burner*

mengalami pengurangan kerja meskipun energi pada *plant* masih penuh. Sensor tekanan mengizinkan tekanan hanya bisa mencapai nilai maksimum tertentu yang kemudian turun lagi.

### 5.3 GRAFIK TEMPERATUR DAN TEKANAN *INLET* DAN *OUTLET* PADA SAAT *STARTUP*



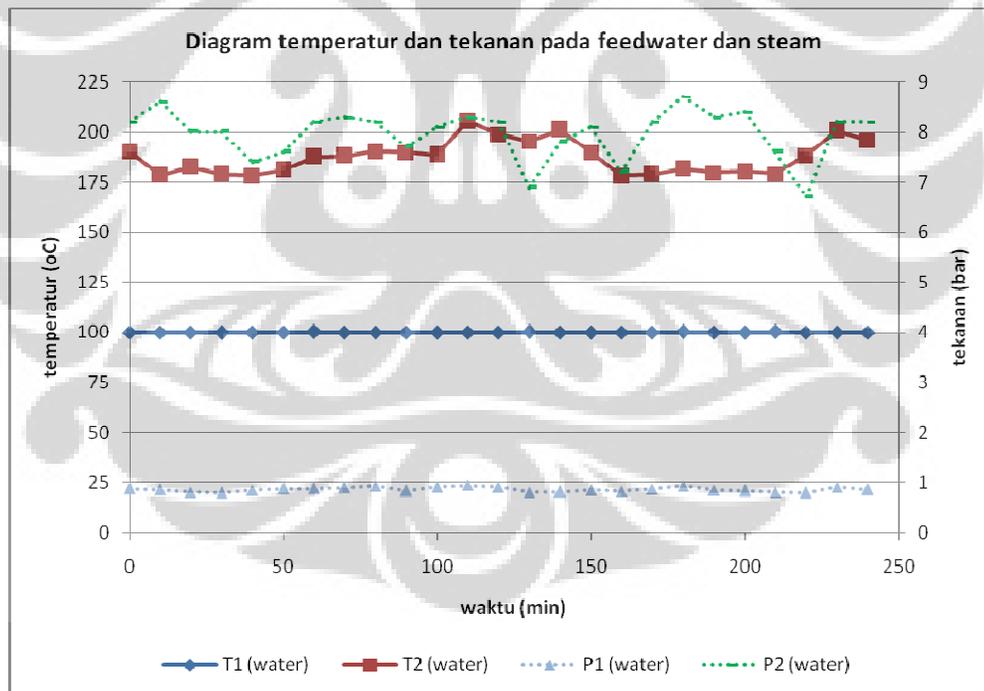
Gambar 5.2 Grafik Temperatur dan Tekanan *Boiler* dan *Burner* saat *Startup*

Pada gambar 5.2 terlihat adanya peningkatan temperatur *outlet* baik pada *boiler* maupun *burner*. Pada saat pengukuran pertama suhu masih seragam tetapi menit berikutnya perbedaan jalur grafik mulai terlihat. Temperatur uap keluar dari *boiler outlet*, dari menit saat masih pengukuran awal, temperatur langsung menjadi 46.3 °C dari temperatur awal 25.2 °C disaat *inlet boiler* yang dari temperatur 25.5 °C menjadi 26.1 °C, kenaikan hanya sebesar 0.6 °C. Memang pada *boiler*, temperatur *inlet* tidaklah begitu besar dibandingkan *outlet* karena output proses *boiler* menuju kearah *outlet*. Selisih yang semakin besar dimungkinkan dapat meningkatkan efisiensi *boiler* dan itu akan dibahas pada bahasan selanjutnya. Kenaikan di *inlet* masih normal pada menit ke 20 dan 30, pada *outlet* temperatur naik perlahan sebesar 5.9 °C di menit 20 tetapi pada menit

berikutnya ke 30, kenaikan sangat kritis yakni sebesar 52.6 °C, suatu angka yang besar, sekitar dua kali nilai temperaturnya. Grafik kenaikan *outlet* sampai pada ke menit 50 mencapai 159.1 °C, setelah itu grafik menjadi naik turun dalam range tertentu hingga menit ke 150 kemudian grafik turun lagi menjadi 125.1 °C yang grafik selanjutnya berkisar antara wilayah tersebut.

Temperatur pada *burner* terjadi hal sedemikian rupa, hanya saja grafiknya lebih teratur dibanding *boiler*. Di *burner* proses yang terjadi hanyalah pembakaran sehingga tidak ada faktor penambah deviasi. *Inlet* pada *burner* mengalami kenaikan yang berbanding lurus dengan kenaikan sekitar 0.4 – 0.6 °C hingga akhir pengukuran pada menit 240. Pada *outlet* grafik mulus sejak awal dengan kenaikan sebesar 4 - 7 °C. Dapat diperkirakan pembakaran terjadi baik di dalam *burner*.

#### 5.4 GRAFIK TEMPERATUR DAN TEKANAN *FEEDWATER* DAN *STEAM* PADA KONDISI NORMAL OPERATION



**Gambar 5.3** Grafik Temperatur dan Tekanan *Feedwater* dan *Steam* saat Normal Operation

Grafik yang akan ditampilkan berikut ini adalah hasil grafik yang bekerja menurut waktu terhadap karakter dari *boiler* yang diuji. Pada table 4.1 dapat

dilihat temperatur di *feedwater*, dan temperatur di *steam*. Temperatur pada *feedwater* idealnya untuk bisa diproses dalam *boiler* adalah titik kritis air. Pada awalnya temperatur *feedwater* sama dengan temperatur titik uap pada 1 atm. Namun karena adanya pengaruh lingkungan dan suplai air yang kontinu, maka temperatur *steam* mengalami kenaikan/penurunan dan dibuat konstan pada temperatur 100°C. *Steam* yang merupakan output dari operasi *boiler* diset agar temperatur mampu menghasilkan tekanan yang dikehendaki. Proses pemanasan bertujuan untuk menaikkan temperatur dari *feedwater* saat berubah menjadi uap bertekanan tinggi.

Pada grafik diatas kestabilan terjadi pada suhu *feedwater* yang diukur selama 100 menit. Nilai temperatur yang melebihi kondisi standar merupakan akibat dari komposisi jumlah air yang tidak konstan, tetapi kenaikan masih dalam batas toleransi suhu yang diperbolehkan sehingga tidak ada problem yang serius. Penurunan teperatur yang kecil merupakan akibat dari suplai berkala air yang memenuhi tangki penyimpanan.

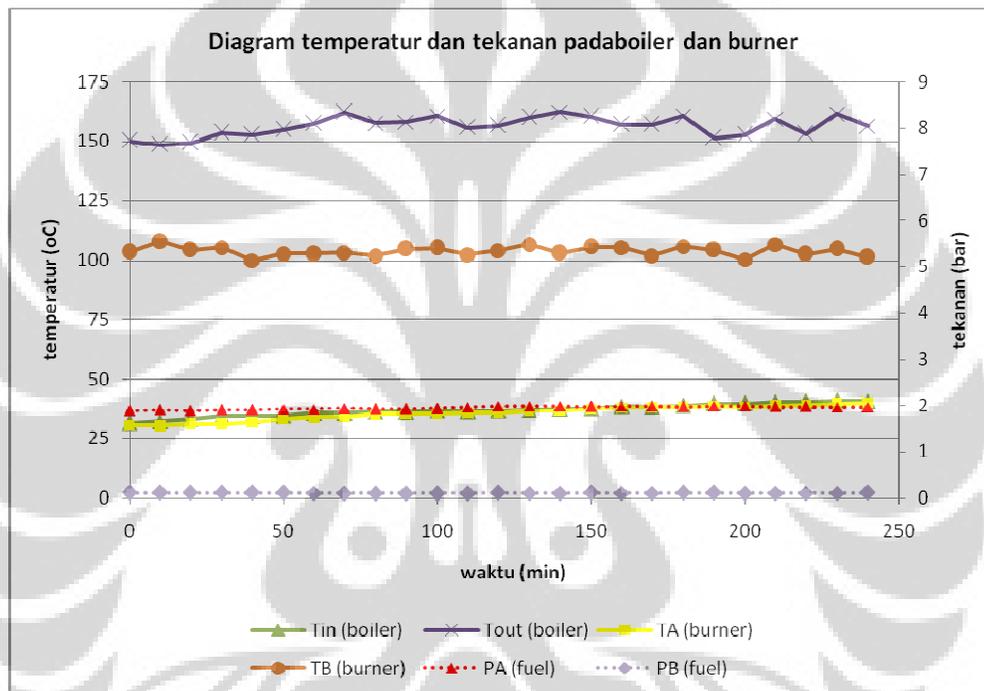
Temperatur *steam* yang terukur lebih mengalami pergeseran yang signifikan dibandingkan temperatur *feedwater*. Suhu 190.2°C mengalami penurunan cepat pada 10 menit pertama menjadi 178.5°C. Kenaikan terjadi lagi pada menit ke 20 menjadi 182.4°C, hal ini disebabkan oleh penyesuaian antara kebutuhan energi dan pembakaran dari *burnernya*

Terlihat pada keempat kolom untuk keempat posisi dari tekanan pada tabel menunjukkan perbedaan dalam hal nilai yang yang tidak ada perpotongan. Untuk tekanan yang dihasilkan dari sistem pengairan mengalami kenaikan sepuluh kali lipat dari *feedwater* untuk menjadi *steam*. Hal ini sesuai dengan penambahan kalor, semakin kecil kalor yang ada pada zat cair, semakin rendah volumenya dengan pengecualian sifat anomali air. Hal ini juga sesuai pula dengan persamaan yang mengatur temperatur dan tekanan. Dengan kata lain jika semakin menghendaki tekanan yang besar maka dibutuhkan semakin temperatur yang besar, pada akhirnya kebutuhan energi menjadi komponen pokok.

Proses pada *plant* yang tidak homogen diprediksi menghambat kestabilan kebutuhan energi. Kemungkinan lain luas permukaan hambatan yang dilalui campuran bahan bakar dan udara. Akibat hambatan yang dilalui laju campuran

pembakaran bahan bakar-udara akan menyebabkan munculnya zona resirkulasi aliran *steam* yang belum terbakar sempurna. Percepatan dan perlambatan atas perubahan temperatur ini semakin besar nilainya seiring dengan semakin deviasi energi yang digunakan.

### 5.5 GRAFIK TEMPERATUR DAN TEKANAN *INLET* DAN *OUTLET* STEAM PADA KONDISI NORMAL OPERATION



Gambar 5.4 Grafik Temperatur dan Tekanan *Boiler* dan *Burner* saat Normal Operation

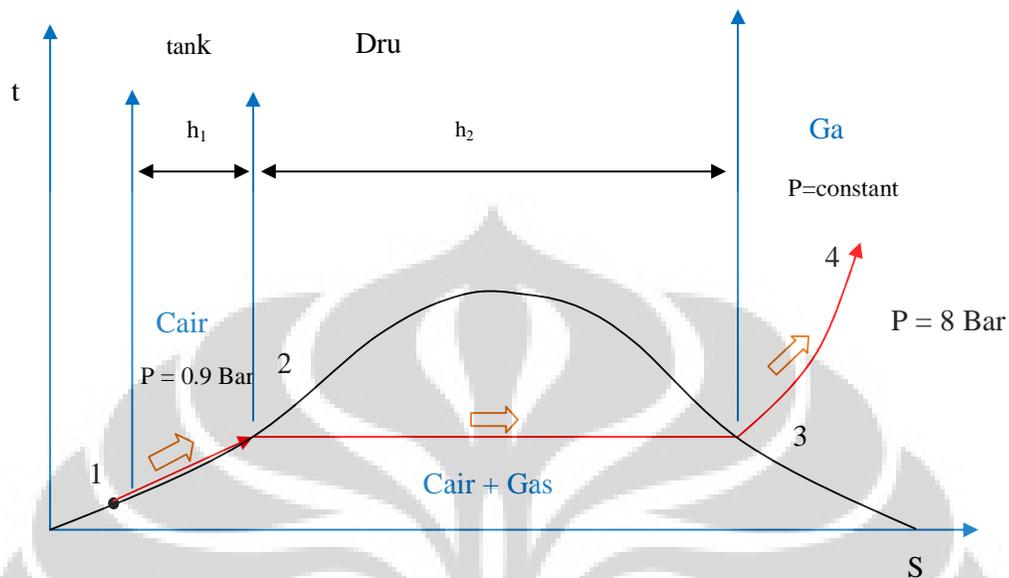
Disaat yang sama, dapat kita tentukan nilai temperatur dari *inlet* dan *outlet boiler*. *Inlet boiler* dimana tempat masuknya bahan bakar gas. Temperatur dari *inlet* sangatlah krusial karena ada kontak langsung dengan bahan bakar yang menuju *boiler*. Untuk *outlet boiler* yang merupakan titik akhir dari proses yang telah dilakukan oleh *boiler*, temperatur yang dihasilkan dapat bermacam-macam dipengaruhi oleh setting tekanan, aliran api, debit dll.

Mengacu pada grafik yang diperoleh maka menurut waktu temperatur pada *inlet* dan *outlet* memiliki perbedaan yang kentara. Grafik berwarna biru mewakili temperatur *inlet* sedangkan merah mewakili *outlet boiler*. Ditinjau dari

material *inlet* maupun *outlet* ada spesifikasi tersendiri diantara keduanya, material *inlet* menggunakan meterial jenis stainless steel dengan isolasi kalor sedangkan *outlet* menggunakan material jenis *alloy*. Dengan perbedaan itulah yang dapat menunjukkan perbedaan grafik temperatur karena adanya perbedaan kemampuan meterial dalam menyerap kalor. Jika pada *outlet* grafik berbentuk zig zag, temperatur pada tiap waktu yang berbeda dengan selisih waktu 10 menit sudah terjadi perubahan yang berarti, seperti pada menit ke 30 yang mencapai suhu  $158.5^{\circ}\text{C}$  sedangkan pada menit sebelumnya hanya mencapai suhu  $149.3^{\circ}\text{C}$ . Hal yang mempengaruhi perbedaan kenaikan suhu adalah laju aliran udara terhadap laju aliran bahan bakar, semakin tinggi laju aliran gas maka akan semakin tinggi energi jika laju aliran udaranya tetap, begitu juga sebaliknya.

Untuk *burner* dari hasil pengukuran perbedaan (error) yang terjadi pada bagian *outlet* cukup kecil rata-rata dibawah lima persen untuk setiap waktu pengukuran, dari kedua hasil data diatas dapat dilihat perbedaan pada toleransi error yang dimana bagian *inlet* membentuk kurva naik yang mulus. Dengan rata-rata temperatur pada *inlet* sebesar  $36.9606^{\circ}\text{C}$  sedangkan maksimum temperaturnya  $40.1^{\circ}\text{C}$  dan minimum temperaturnya  $30.5^{\circ}\text{C}$ . Rata-rata temperatur *outlet*nya sebesar  $103.652^{\circ}\text{C}$  dengan maksimum temperaturnya  $107.8^{\circ}\text{C}$  dan minimum temperaturnya  $99.9^{\circ}\text{C}$ .

## 5.6 KUALITAS UAP KELUAR *BOILER*



Gambar 5.5 T-s diagram untuk air pada *boiler*

Air yang digunakan pada *boiler* berasal dari air yang dialirkan oleh perusahaan penyuplai air yang berada di daerah sekitar pabrik dimana *boiler* diteliti. Sebelum masuk *boiler*, terlebih dahulu air tersebut melewati beberapa bagian bagian untuk memastikan kualitas air. Air yang dapat digunakan sebagai *feedwater* bukan sembarang air biasa, air tersebut harus memenuhi syarat kandungan mineral dan zat lain serta komposisi oksigen yang minimum.

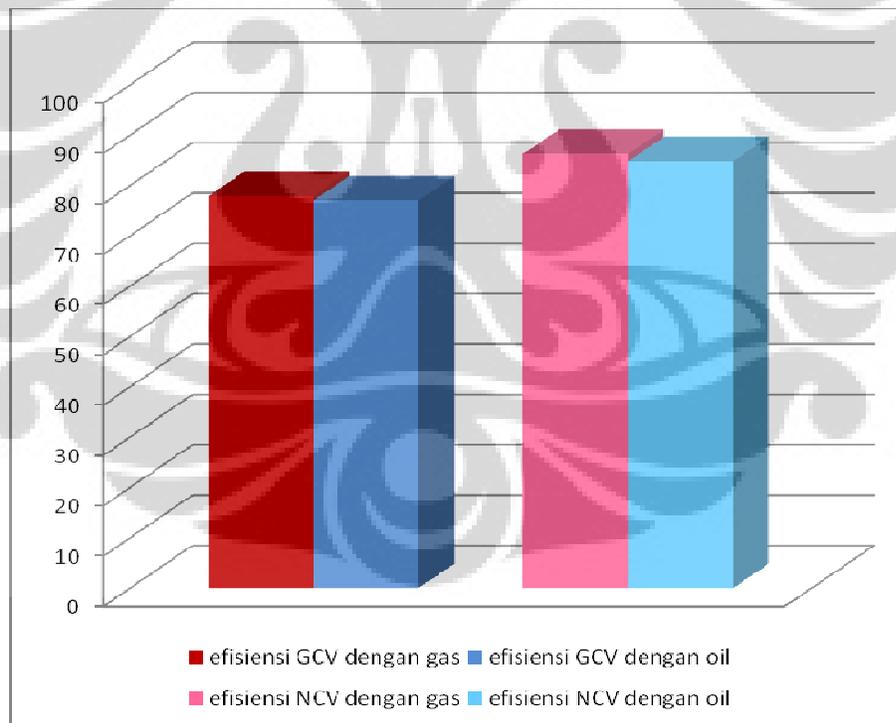
Pengolahan air pertama kali dilakukan pada deaerator, pada bagian ini temperatur air yang sekitar  $24^{\circ}\text{C}$  dihilangkan kadar  $\text{O}_2$  hingga kadarnya sekecil mungkin pada *feedwater*. Hal ini dikarenakan agar tidak terjadi korosi pada *boiler*. Korosi sangat membahayakan faktor *safety* pada *boiler* karena mampu mengurangi ketebalan dinding *boiler*. Selepas dari *deaerator* temperatur air masih sekitar  $24^{\circ}\text{C}$  dipompakan menuju *filter*. Pada *filter*, mineral mineral dan pengotor organik disaring. Penyaringan ini bertujuan untuk mengurangi tingkat pengotoran (*fouling*) yang terjadi dalam *boiler*. Faktor pengotor dapat mengurangi nilai efisiensi *boiler* hingga mencapai 5%.

Proses proses yang terjadi diatas adalah untuk memastikan komposisi air sesuai dengan spesifikasi yang pas untuk *boiler*. Setelah komposisi tercapai proses

selanjutnya adalah untuk memastikan kondisi temperatur dan tekanan. Air selepas dari filter masuk ke dalam tangki penampung air. Pada tangki air dinaikkan temperaturnya menjadi temperatur kritis  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  tetapi masih dalam bentuk *liquid*. Tekanan yang terjadi pada air diusahakan sekitar  $0.8 - 0.9\text{ bar}$ . Air dipompakan dari tangki untuk diolah dalam *boiler*.

Pada *boiler*, air yang berada pada suhu kritis akan dilakukan proses pemanasan dan kompresi. Pemanasan terjadi pada saat air masuk pada *drum* yang ada pada *boiler*. Didalam *boiler* air yang berubah fase dari *liquid* menjadi gas menyebabkan tekanan meningkat tajam dari  $0.9\text{ bar}$  menjadi  $7-9\text{ bar}$ . Kualitas uap air dari awal masuk *boiler* adalah  $0\%$  dan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur. Saat temperatur mencapai sekitar  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  air akan berubah fase secara keseluruhan hingga mencapai  $100\%$ .

### 5.7 GRAFIK EFISIENSI BOILER



Gambar 5.6 Perbandingan Grafik Efisiensi Mean Pada Kedua Jenis Fuel

Dalam menganalisa efisiensi *boiler* ada dua dasar yang umum pada *fuel* yang telah dijelaskan pada bahasan sebelumnya yaitu GCV dan NCV. Nilai efisiensi GCV selalu lebih rendah dari NCV, nilai kalor *fuel* yang dijadikan pembagi pada NCV tidak melibatkan kalor penguapan air sedangkan pada GCV diperhitungkan. Diperoleh efisiensi mean GCV gas *fuel* bernilai 77.94%, angka ini sedang untuk ukuran *boiler* umum yang berkisar antara 65 – 85 %. Sebab efisiensi *boiler* yang rendah adalah konstruksi *boiler* yang sederhana sehingga komponen komponen pendukung peningkat efisiensi thermal tidak maksimal. Dapat pula karena masih dilihat dari sudut NCV, jika kita lihat dari NCV didapat nilai efisiensi 86.27 .

Pada oil *fuel* diperoleh efisiensi mean GCV 77.01 %. Jika kita lihat dari NCV didapat nilai efisiensi 84.79 %. Perbedaan efisiensi GCV pada gas dan oil adalah sekitar 0.9%, perbedaan ini cukup kecil untuk nilai efisiensi. Sedangkan pada efisiensi NCV perbedaan antara gas dan oil *fuel* adalah 1.5%.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN**

Dari penelitian yang telah dilakukan pada steam boiler dengan gas dan oil fuel dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai efisiensi boiler tidak bergantung oleh waktu operasi, efisiensi dalam persamaannya tidak memiliki variable waktu.
2. Bahan bakar yang digunakan memperlihatkan perbedaan performa boiler. Boiler saat menggunakan gas fuel memiliki nilai efisiensi yang stabil terhadap waktu jika dibandingkan dengan oil fuel yang tidak konstan. Meskipun oil fuel pada titik tertentu memiliki efisiensi diatas gas fuel tetapi kurang stabil untuk secara menyeluruh dalam suatu operasi jangka panjang.
3. Secara keseluruhan nilai efisiensi dengan menggunakan bahan bakar gas lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar residu.
4. Efisiensi tertinggi boiler dalam grafik tercapai jika tekanan point berada pada nilai set point yaitu 8 bar atau lebih untuk kedua jenis bahan bakar. Nilai efisiensi tersebut bergerak sejajar meskipun tekanan meningkat.
5. Biaya yang dikeluarkan untuk penggunaan bahan bakar gas dan oil memiliki perbedaan yang jelas. Penggunaan gas dapat menekan biaya bahan bakar mencapai 50% daripada penggunaan residu.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] Schultz, C. Steven, *Steam, Its Generation and Use 40<sup>nd</sup> Ed.*, (Babcock and Wilcox, 1992)
- [2] Zeitts, A Ronald *Energy Efficiency Handbook 144* (CIBO,1997)
- [3] T. Strohm, Rufus. *Boiler And Furnace Testing* (Washington: GPO,1998)
- [4] Deshpande, Vishwash, S. *Performance Evaluation of An Oil Fired Boiler A Case Study in Daury Industry* (Nagpur: Nehru Engineering College, 2001).
- [5] Pronobis, Marek. *The Influence of Biomass Co-combustion on BoilerFouling and Efficiency* (Gliwice, Polland: Elsevier, 2005).
- [6] Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia.  
[www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org)
- [7] <http://www.energysolutionscenter.org/boilerburner>
- [8] Sadic, Kakac. *Boilers, Evaporators and Condenser* (Canada: John Wiley and sons, 1991)

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Schultz, C. Steven, 1992, *Steam, Its Generation and Use 40<sup>nd</sup> Ed*, Babcock and Wilcox
2. Zeitts, A Ronald, 1997, *Energy Efficiency Handbook* 144, CIBO
3. Considine, Douglas M, *Energy Technology Handbook*, 1997, McGraw-Hill, Los Angeles
4. T. Strohm, Rufus. *Boiler And Furnace Testing* ,1998 GPO, Washington
5. Deshpande, Vishwash, S. *Performance Evaluation of An Oil Fired Boiler A Case Study in Dairy Industry*, 2001, Nehru Engineering College, Nagpur
6. Pronobis, Marek. *The Influence of Biomass Co-combustion on Boiler Fouling and Efficiency* , 2005, Elsevier, Gliwice, Poland
7. Sadic, Kakac. *Boilers, Evaporators and Condenser*, 1991, John Wiley and sons, Canada
8. Holman, J.P, 1994, *Heat Transfer 7th Edition in SI units*, McGraw-Hill International, UK.
9. Munson, Bruce R. Young,; Donald F.; Okiishi, Theodore H., 2004, *Mekanika Fluida, Edisi Keempat, Jilid 1*, Erlangga, Jakarta
10. Incropera, Frank P.; DeWitt, David P, 2005, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 5th Edition*, John Wiley and Sons
11. Cengel, Yunus A.; Boles, Michael A, 1998, *Thermodynamics An Engineering Approach 3<sup>rd</sup> Edition*, McGraw-Hill

## LAMPIRAN

## T-S Diagram of Water

T-s diagram for water. [Source: Joseph H. Keenan, Frederick G. Keyes, Philip G. Hill, and Joan G. Moore, *Steam Tables* (New York: John Wiley & Sons, 1969).]

