

TUGAS AKHIR

ANALISA WATER TUBE BOILER MENGGUNAKAN THERMOCOUPLE TIPE K PT 100 SEBAGAI SENSOR TEMPERATURE DAN DIFFERENTIAL PRESSURE DALAM PROSES EFESIENSI BAHAN BAKAR DI PT SARI INCOFOOD CORPORATION

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

YOGIE ANDRIAN SYAHPUTRA

NPM : 1207220071



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

ANALISA WATER TUBE BOILER MENGGUNAKAN THERMOCOUPLE
TIPE K PT 100 SEBAGAI SENSOR TEMPERATURE DAN
DIFFERENTIAL PRESSURE DALAM PROSES EFESIENSI BAHAN
BAKAR DI PT SARI INCOFOOD CORPORATION

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas Dan Sebagai Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

YOGIE ANDRIAN SYAHPUTRA

NPM : 1207220071

Telah Diuji dan Disahkan Pada Tanggal
20 Maret 2018

Pembimbing I



(Ir.Abdul Azis Hutasuhut, M.M.)

Pembimbing II



(Solly Ariza, S.T, M.Eng.)

Pembanding I



(Rimbawati,S.T, M.T.)

Pembanding II



(Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,S.pd.,M.T.)

Diketahui dan Disahkan
Program Studi Teknik Elektro
Ketua



(Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,S.pd.,M.T)

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MYHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama Lengkap : Yogie Andrian Syahputra
NPM : 1207220071
Tempat / Tgl Lahir : Tanjung Gading / 17 Mei 1994
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul :

**“ ANALISA WATER TUBE BOILER MENGGUNAKAN
THERMOCOUPLE TIPE K PT 100 SEBAGAI SENSOR TEMPERATURE
DAN DIFFERENTIAL PRESSURE DALAM PROSES EFESIENSI BAHAN
BAKAR DI PT SARI INCOFOOD CORPORATION “**

Bukan merupakan plagiarisme ataupun pencurian hasil karya milik orang lain, namun benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak di izinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.



Medan, 20 Maret 2018

(Signature)
Yogie Andrian Syahputra

ABSTRAK

Boiler adalah bejana tertutup yang menyediakan sarana untuk panas pembakaran ditransfer ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau uap di bawah tekanan kemudian dapat digunakan untuk mentransfer panas ke suatu proses. Dalam Proses konversi energi, boiler memiliki fungsi untuk mengkonversi bahan kimia yang tersimpan energi bahan bakar menjadi energi panas yang ditransfer ke fluida kerja. Salah satu boiler yang digunakan di Mill Site PT.Sari Incofood Corporation adalah boiler tabung air yang didorong dengan 50% serat kelapa, 20% cangkang sawit, dan 30% menyalak. boiler adalah beroperasi pada tekanan 61,71 bar dengan produksi uap 135,2 ton uap per jam dan suhu 474,48 ° C. Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap 592.248.965,6 kJ / jam. efisiensi termal boiler adalah 63,6%. Steam ini didapat dari mesin boiler. Yang setiap jamnya, untuk produksi steam harus dikontrol secara otomatis atau pun manual. Oleh karena itu guna pengontrolan pada mesin boiler, dibutuhkan beberapa sistem kontrol. Salah satunya Thermocouple PT100 yang memanfaatkan Differential Pressure Transmitter, serta Pengontrolan Temperature ruang bakar yang menggunakan sensor termocouple, dalam hal ini digunakan termocouple tipe K yang sangat baik dalam pemanasan sebagai sensor membaca temperature .

Kata Kunci : *Boiler, Stem, Efisiensi, Thermocouple Type K PT 100, Axe Temperature*

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan sebatas ilmu dan kemampuan yang penulis miliki, sebagai tahap akhir dalam menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dengan perjuangan yang berat dan perilaku akhirnya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul“ **ANALISA WATER TUBE BOILER MENGGUNAKAN THERMOCOUPLE TIPE K PT 100 SEBAGAI SENSOR TEMPERATURE DAN DIFFERENTIAL PRESSURE DALAM PROSES EFESIENSI BAHAN BAKAR DI PT SARI INCOFOOD CORPORATION** ”

Dalam penyusunan Skripsi penulis telah banyak menerima bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulisan dengan setulus hati mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah menjaga jiwa dan raga kepada saya sehingga dapat menyelesaikan Skripsi.
2. Teristimewa buat Ayahanda Sarkum Sadino dan Ibunda Misniaty yang telah banyak memberikan pengorbanan demi cita-cita bagi kehidupan penulis, serta Adik – Adik yang telah banyak memberikan doa dan dorongan moril sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi.
3. Bapak Munawar Alfansury, S.T, MT, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4. Bapak Faisal Irsan, S.T, M.T, sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Partaonan S.T, M.T, sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Ir.Abdul Azis,H.M.M, sebagai Dosen Pembimbing 1
7. Bapak Solly Aryza ST.M.Eng, sebagai Dosen Pembimbing 2
8. Seluruh staf pengajar dan pegawai Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Rekan-rekan Ikatan Mahasiswa Elektro yang tulus membantu dalam Skripsi ini.
10. Annisa Dian Islamiaty atas segala masukan dan saran yang berguna bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Skripsi ini dimasa yang akan datang.

Akhirnya kepada Allah SWT penulis berserah diri semoga kita selalu dalam lindungan serta limpahan rahmat-Nya dengan kerendahan hati penulis berharap mudah-mudahan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis khususnya.

Medan, 20 Maret 2018
Penulis

Yogie Andrian Syahputra
1207220071

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
a. Latar Belakang	1
b. Rumusan Masalah	3
c. Manfaat Penelitian	3
d. Tujuan Penulisan	3
e. Batasan Masalah	4
f. Sistematika penulisan	4
BAB I PENDAHULUAN	4
BAB II STUDI PUSTAKA	4
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	4
BAB IV PEMELIHARAAN BOILER PIPA AIR BATAS MAKSIMAL TEMPERATUR DAN EFESIENSI BAHAN BAKAR	5
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2 Prinsip Kerja PLTU	7
2.3 Komponen Utama PLTU	10
a. Boiler (ketel Uap)	10
b. Economizer	11
c. Ruang Bakar (Furnace)	11
A. Teori Dasar Pembentukan Uap	12
B. Analisa Efisiensi Ketel Uap	13
C. Nilai Kalor Bahan Bakar	17
D. Kebutuhan Bahan Bakar	18
E. Suplai energy	18
F. Energi Evaporasi	19
G. Efisiensi Ketel Uap	19
2.3.1 Berdasarkan Fluida Yang Mengalir Dalam Pipa	20
2.3.2 Berdasarkan Pada Poros Tutup Drum(Shell)	21
2.3.3 Boiler Limbah Panas	23
2.3.4 Pemanas Fluida Termis	24

2.3.4.1 Keuntungan Pemanas Fluida Termis	25
2.4 Pressure Transmitter	25
2.4.1 Dua jenis alat ukur tekanan digital tersebut	25
A. Pressure Transmitter (Cerabar)	25
2.4.2 Pressure Transmitter Deltabar	26
2.4.3 Memahami Fungsi Differential Pressure Transmitter	27
2.4.4 Untuk Mengukur Tekanan Positif	30
2.4.5 Untuk Mengukur Tekanan Vakum	30
2.4.6 Untuk Mengukur Tekanan Absolute	31
2.4.7 Untuk Mengukur Level	32
2.4.8 Untuk Mengukur Flow	32
2.4.9 Differential Transmitter Sebagai Indicator Filter	33
2.5.0 Differential Transmitter Sebagai Indicator Filter	34
2.6 Termokopel (Thermocouple)	41
2.6.1 Prinsip Kerja Termokopel (Thermocouple)	41
2.6.2 Peran Sensor Termocouple Tipe K Pada Control Suhu Dalam Ruang Pembakaran	44
2.6.3 Prinsip Kerja Thermocouple PT100	46
A. Spesifikasi Alat	48
B. PT 100 Temperature Sensor	48
C. PR 5333 Programmable Temperature Transmitter	49
D. Poses kinerja Sensor PT 100	49
E. Sistem Keseluruhan	52
F. Keluaran Terhadap Temperatur	52
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	54
3.1 Lokasi Penelitian	54
3.2 Bahan Penelitian	54
3.3 Data Penelitian	54
3.4 Jalanya Penelitian	55
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	61
4.1 Analisa Bahan Bakar dan Efisiensi	61
A. Analisa Bahan Bakar Ketel Uap	61
B. Kebutuhan Udara Pembakaran	65
C. Analisa Gas Asap	67
D. Efisiensi Ketel Uap	69
4.2 Analisa Kinerja Thermocouple	72
A. Tabel Hasil Pengamatan	73
B. Perhitungan	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	78

5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses konversi energi pada PLTU	6
Gambar 2.2 Siklus fluida kerja sederhana pada PLTU	8
Gambar 2.3 Diagram T – s, Siklus PLTU (Siklus Rankine)	8
Gambar 2.4 PLTU	9
Gambar 2.5 Boiler	10
Gambar 2.6 Letak Economizer	11
Gambar 2.7 Ruang Bakar	11
Gambar 2.8 Fire Tube Boiler	20
Gambar 2.9 Water Tube Boiler	21
Gambar 2.10 Ketel Tegas (UNEP)	22
Gambar 2.11 Boiler Cross Section	22
Gambar 2.12 Boiler Limbah Panas	23
Gambar 2.13 Cerabar	25
Gambar 2.14 Deltabar	26
Gambar 2.15 Instrument Loop Drawing	28
Gambar 2.16 Transmitter	29
Gambar 2.17 Kalibrasi Transmitter	30
Gambar 2.18 mengukur tekanan absolute	31
Gambar 2.19 Orifice Plate	33
Gambar 2.20 kondisi filter	34
Gambar 2.21 Prinsip Kerja Differential	34
Gambar 2.22 Grafik Karakteristik Differential Preassure	35
Gambar 2.23 Sensor Differential Preassure	36
Gambar 2.24 Flow sheet Stock Preparation PM 7	38
Gambar 2.25 Plant Produksi	39
Gambar 2.26 Water tube Boiler	40
Gambar 2.27 Mimic Diagram	40
Gambar : 2.28 Macam-Macam Thermocouple	43
Gambar : 2.29 Pemasangan Thermocouple pada Ruang Bakar	45
Gambar 2.30 Diagram Blog Proses Pengendalian pada Mesin	45
Gambar 2.31 Pengukuran emf pada Keluaran Thermocouple	47
Gambar 2.32 Grafik kenaikan dan fungsi	49
Gambar 2.33 Grafik kenaikan Temperatur	51
Gambar 2.34 Grafik Hubungan Waktu terhadap Kenaikan	

Temperatur pada tinggi	51
Gambar 2.35 Grafik Keluaran Temperatur	52
Gambar 2.36 Sistem Wiring Control	53
Gambar 3.1 Diagram Blog Boiler	58
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	59
Gambar 3.3 Flowchart Penelitian	60
Gambar 4.1 kapasitas boiler	72

GAMBAR TABEL

Tabel 4.1 Komposisi Bahan Bakar Serabut dan Cangkang	62
Tabel 4.2 Nilai Kalor Berdasarkan Perbandingan Cangkang dan Serabut	64
Tabel 4.3 Komposisi udara	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, energi listrik telah menjadi kebutuhan dasar bagi umat manusia. Hampir semua aktivitas kehidupan sangat bergantung pada energi listrik. Oleh karena itu sangat di butuhkan pasokan energi listrik yang selalu dapat diandalkan. Pembangkit listrik merupakan garda terdepan dari sistem energi listrik yang harus berperan untuk menjamin ketersediaan dan keandalan energi listrik. Dalam merencanakan suatu sistem penyediaan tenaga listrik. Lokasi fisik tenaga pusat tenaga listrik saluran transmisi dan gardu induk perlu di tentukan dengan tepat, agar dapat diperoleh sistem yang baik, ekonomis dan dapat diterima masyarakat. Performance suatu unit Pembangkit Listrik tidak lepas dari adanya pemeliharaan unit pembangkit yang baik pula, sehingga sedapat mungkin selama masa *shut down* maupun kondisi operasi.

Faktor pemeliharaan alat dan fasilitas-fasilitas produksi merupakan bagian yang sama pentingnya dengan bagian lainnya yang terdapat dalam manajemen produksi. Kegiatan pemeliharaan ini tidak dapat diabaikan begitu saja karena sebagian besar pengolahan yang dilakukan pada proses produksi sebuah perusahaan pembangkit tenaga listrik juga menggunakan mesin.

Pada siklus tertutup PLTU, dimana air laut yang telah diolah dan dimurnikan melalui proses pemurnian, kemudian dilakukan pemanasan hingga terbentuk uap yang pada dasarnya berfungsi sebagai penggerak turbin yang diteruskan ke generator sehingga menghasilkan arus listrik. Air yang dimurnikan itu akan

diteruskan ke boiler, di dalam boiler ini perubahan air menjadi uap terjadi di dalam *Boiler Pipa Air (Water Tube Boiler)* yang terukur oleh *thermocouple tipe K* di dalam ruang bakar dalam *differential pressure*nya dan proses ini terjadi kembali secara berulang-ulang.

Melalui pelaksanaan pemeliharaan yang baik dan berkesinambungan peralatan perusahaan dapat dipergunakan sesuai dengan rencana, sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lancar, dan kemungkinan kerusakan yang terjadi dapat dikurangi bahkan dihindari sama sekali. Perusahaan yang melakukan proses produksi tanpa memperhatikan kegiatan pemeliharaan berarti telah menghilangkan masa depan perusahaan itu sendiri, dalam jangka pendek memang seakan-akan perusahaan dapat menekan biaya produksi karena tidak perlu melakukan biaya perawatan yang cukup besar, akan tetapi, dalam jangka panjang perusahaan akan mengalami kesulitan dalam kegiatan proses produksinya karena alat dan mesin yang tidak terpelihara dengan baik akan mengalami banyak masalah seperti kerusakan, kemacetan, kebocoran, bahkan alat/mesin tidak dapat beroperasi sama sekali.

Mengingat pentingnya kegiatan pemeliharaan dalam suatu perusahaan untuk menunjang kelancaran produksi, maka penulis tertarik untuk mengadakan penulisan yang akan dituangkan kedalam tugas akhir dengan judul “*(Analisa Water tube boiler menggunakan thermocouple tipe k pt 100 sebagai sensor temperature dan differential pressure dalam proses efisiensi bahan bakar)*”.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk mencapai tujuan dan manfaat penulisan penelitian ini maka muncul pertanyaan yaitu:

1. Bagaimanakah kinerja thermocouple per jam dalam proses efisiensi bahan bakar pada saat operasi ?
2. Bagaimana menganalisa tingkat kinerja thermocouple dalam membaca suhu?
3. Seberapa besar efisiensi bahan bakar pada boiler?

2.3 Manfaat Penulisan

Dengan adanya penyusunan skripsi dengan judul "*Analisis Water tube boiler menggunakan thermocouple tipe k sebagai sensor temperature dan defferential pressure pada boiler*".

Diharapkan penulis dan para pendengar dapat memahami bagaimana cara menghitung efisiensi dan kinerja thermocouple "*Analisa Water tube boiler menggunakan thermocouple tipe k pt 100 sebagai sensor temperature dan defferential pressure dalam proses efisiensi bahan bakar*".

1.4 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan dari Skripsi ini adalah sebagai berikut:

- A. Menjelaskan komponen – komponen dan perlengkapan Water Tube Boiler
- B. Membahas pengoperasian tingkat kinerja thermocouple dalam membaca suhu.
- C. Menghitung efisiensi ketel uap.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah yang dibahas dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tingkat kinerja thermocouple dalam membaca suhu
2. Seberapa besar efisiensi bahan bakar pada boiler

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan seminar ini dibagi adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan tentang latar belakang masalah, tujuan penulisan, manfaat penelitian, rumusan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI PUSTAKA

Bab ini membahas tentang dasar-dasar teori yang mencakup tentang PLTU diantaranya: pengertian PLTU secara umum, komponen-komponen utama PLTU, cara kerja PLTU secara umum serta Pemeliharaan *Boiler Pipa Air, batas maksimal temperature, dan efesiensi bahan bakar*. Yang akan dibahas dalam penulisan tugas akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang cara-cara, metode-metode, teknik pengumpulan data, serta langkah-langkah yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB IV PEMELIHARAAN BOILER PIPA AIR BATAS MAKSIMAL TEMPERATUR, DAN EFESIENSI BAHAN BAKAR

Bab ini membahas mengenai pengolahan data serta analisa data yang telah ada.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dari masalah yang dibahas pada bab-bab sebelumnya

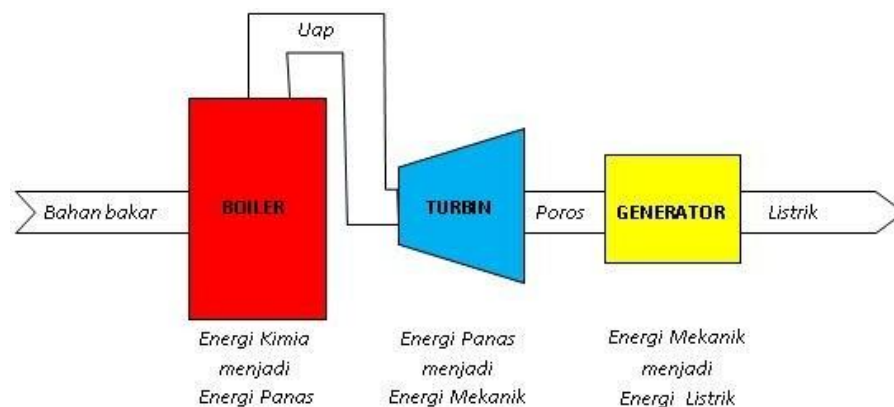
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Jenis pembangkit listrik tenaga termal yang banyak digunakan, karena efisiensinya tinggi sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. PLTU merupakan mesin konversi energy yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu :

- A. Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperature tinggi.
- B. Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi enegi mekanik dalam bentuk putaran.
- C. Ketiga, energi mekanik diubah menjadi energi listrik.

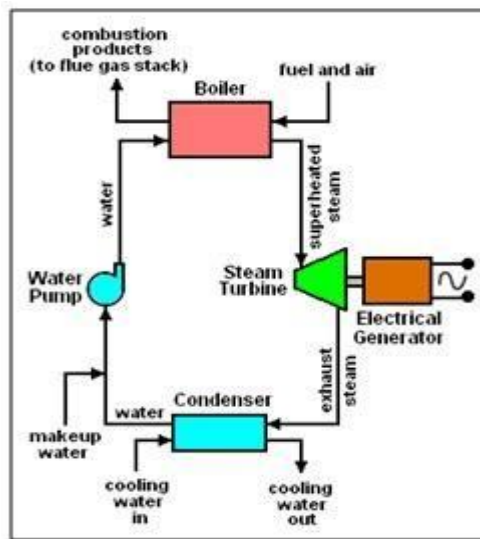


Gambar 2.1 Proses konversi energi pada PLTU

2.2 PRINSIP KERJAPLTU

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

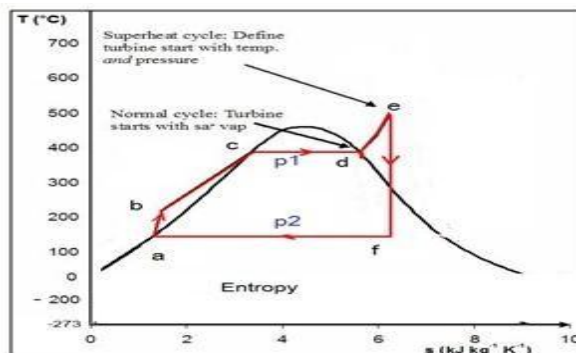
1. Pertama air diisi ke **Boiler** hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dipanaskan dengan gas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
2. Kedua, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk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



Gambar 2.2 Siklus fluida kerja sederhana pada PLTU

(Sumber :www.matadunia.id › geothermal)

Siklus kerja PLTU yang merupakan siklus tertutup (*Closed Cycle*) dapat digambarkan dengan diagram T - s (Temperatur - entropi). Siklus ini adalah penerapan siklus rankine ideal. Adapun urutan langkahnya adalah sebagai berikut:



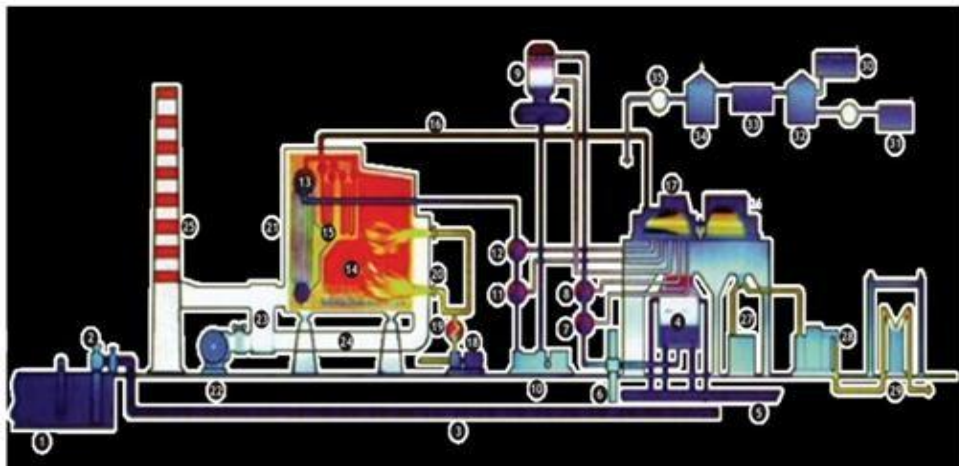
Gambar 2.3 Diagram T - s, Siklus PLTU (Siklus Rankine)

(Sumber :www.matadunia.id › geothermal)

Penjelasan Siklus :

1. a - b : Air dipompa dari tekanan p_2 menjadi p_1 . Langkah ini adalah langkah *kompresi isentropis*, dan proses ini terjadi pada pompa air pengisi.

2. b – c : Air bertekanan ini dinaikkan temperaturnya hingga mencapai titik didih. Terjadi di *LP heater*, *HP heater* dan *Economizer*.
3. c – d : Air berubah wujud menjadi uap jenuh. Langkah ini disebut *vapourising* (penguapan) dengan proses *isobar isothermis*, terjadi di boiler yaitu di *wall tube (riser)* dan *steamdrum*.
4. d – e : Uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*). Langkah ini terjadi di *superheater* boiler dengan proses *isobar*.
5. e – f : Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Langkah ini adalah langkah *ekspansi isentropis*, dan terjadi didalam turbin.
6. f – a : Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah *isobar isothermis*, dan terjadi didalam kondensor.



Gambar 2.4 PLTU

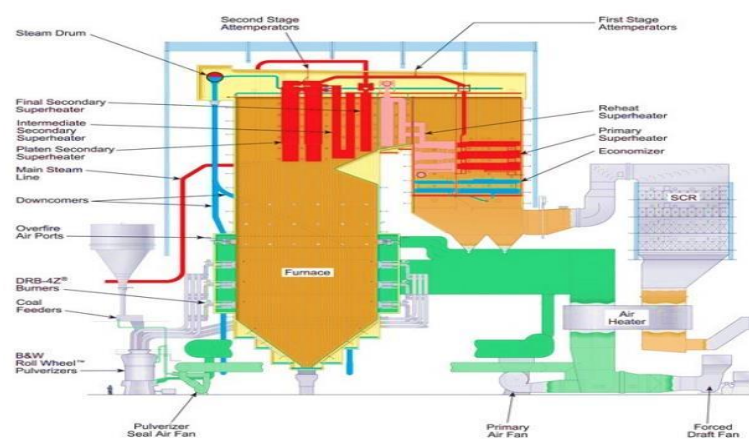
2.3 KOMPONEN UTAMA PLTU

PLTU merupakan mesin pembangkit thermal yang terdiri dari komponen utama bantu (sistem penunjang) serta sistem-sistem lainnya. Komponen utama terdiri dari Lima komponen yaitu:

a. Boiler (KetelUap)

Boiler adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk merubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap dilakukan dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan panas hasil pembakaran bahan bakar. Proses pembakaran dilakukan secara continue didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar.

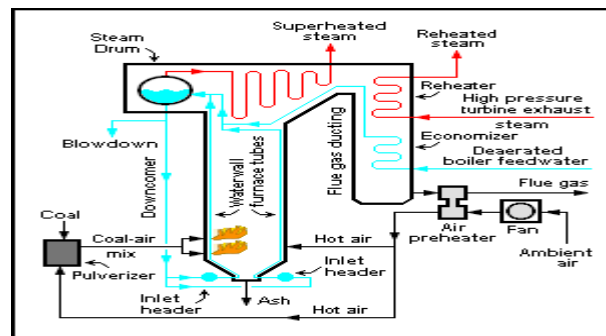
Uap yang dihasilkan adalah uap superheat dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. Boiler yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut water tube boiler (boiler pipa air).



Gambar 2.5 Boiler
(Sumber : <https://Boiler,production/steam>)

b. Economizer

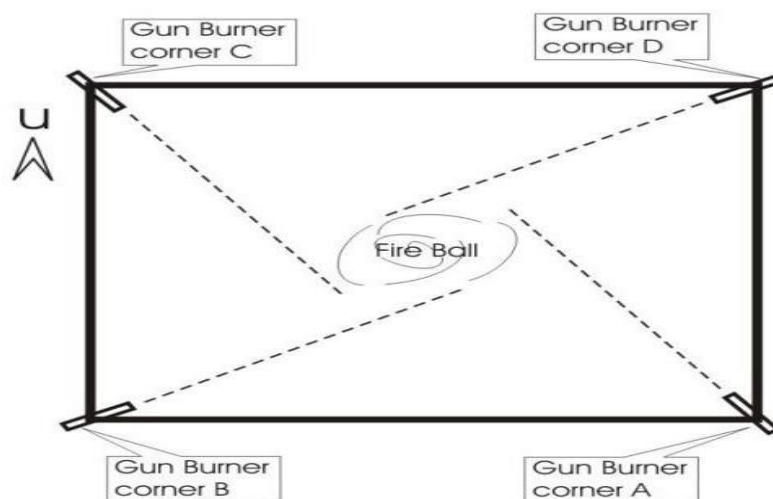
Economizer atau pemanas awal berfungsi untuk memanaskan air pengisi ketel sebelum masuk ke boiler. Pemanasan awal ini perlu yaitu untuk meningkatkan efisiensi ketel dan juga agar tidak terjadi perbedaan temperatur yang besar di dalam boiler yang dapat mengakibatkan keretakan dinding boiler.



Gambar 2.6 Letak Economizer

c. Ruang Bakar (Furnace)

Ruang bakar adalah bagian dari boiler yang dindingnya terdiri dari pipa-pipa air. Pada sisi bagian depan terdapat sembilan burner yang letaknya terdiri atas tingkat tersusun secaramen datar.



Gambar 2.7 Ruang Bakar

1. Teori Dasar Pembentukan Uap

Uap air adalah sejenis fluida yang merupakan fase gas dari air, bila mengalami pemanasan sampai temperatur didih di bawah tekanan tertentu. Uap air tidak berwarna, bahkan tidak terlihat bila dalam keadaan murni kering. Uap air pertama sekali dipakai sebagai fluida kerja oleh James Watt yang terkenal sebagai penemu Mesin Uap Torak. Uap air tidak mengikuti hukum-hukum gas sempurna, sampai dia benar-benar kering (kadar uap 100%). Bila uap kering dipanaskan lebih lanjut maka dia menjadi uap adipanas (panas lanjut) dan selanjutnya dapat dianggap sebagai gas sempurna.

Proses pembentukan uap air bila di atas sekeping logam terdapat beberapa tetes air dan kita perhatikan molekul-molekul air tersebut, temperatur air pada saat itu adalah T_0 Kelvin atau T_0 °Celsius. Molekul-molekul air tersebut bergerak bebas kesana kemari dalam lingkungan (dalam lingkungan air) dengan kecepatan gerak V_0 meter/detik. Molekul-molekul tersebut dalam gerakannya kesana kemari tidak akan dapat meninggalkan lingkungannya, yaitu lingkungan air karena adanya gaya tarik menarik antara molekul-molekul air itu sendiri.

Apabila dibawah kepingan logam tersebut dipasang api (api dari sebatang lilin, korek api dan sebagainya), sedemikian sehingga api tersebut memanaskan kepingan logam yang diatasnya terdapat beberapa tetes air, maka temperatur air tersebut akan naik menjadi T_1 Kelvin, dan ternyata kecepatan gerak dari molekul-molekul air tersebut akan bertambah menjadi V_1 meter/detik, namun belum mampu untuk melepaskan diri dari lingkungannya. Apabila kemudian api yang dipasang dibawah kepingan logam tersebut ditambah besarnya (menjadi api dari dua batang lilin, dan sebagainya) maka temperatur air diatas kepingan logam tadi

akan naik lagi menjadi T_2 Kelvin sedangkan ternyata pula bahwa kecepatan gerak dari molekul-molekul air akan bertambah menjadi V_2 m/detik, namun masih tidak mampu untuk melepaskan diri dari lingkungannya.

Dan bila api yang dipasang dibawah kepingan logam tersebut senantiasa ditambah besarnya, sehingga temperatur air diatas kepingan logam tersebut mencapai T_d K, sedangkan kecepatan gerak molekul-molekul air tersebut telah mencapai V_d m/detik, sehingga molekul-molekul air tersebut mampu untuk melepaskan diri dari lingkungannya dan mampu untuk melepaskan diri dari gaya tarik menarik antara molekul-molekul air tersebut. Molekul-molekul air yang melepaskan diri dari lingkungannya tersebut akan berubah menjadi molekul-molekul uap yang kecepatan gerakannya melebihi kecepatan gerak molekul-molekul air semula.

Proses yang demikian tadi disebut “Proses Penguapan”. Molekul-molekul air berubah menjadi molekul uap, atau disebut juga bahwa air tersebut sedang “mendidih”, karena permukaan air menjadi bergolak. Temperatur air pada saat itu mencapai “temperatur mendidih” yaitu T_d Kelvin dan bila api masih saja ditambah besarnya, ternyata bahwa temperatur mendidih T_d Kelvin tidak akan berubah atau tetap saja besarnya, selama tekanan yang ada diatasnya dipertahankan tetap saja besarnya.

2. Analisa Efisiensi Ketel uap

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada laporan tugas akhir ini adalah metode langsung. Secara umum laporan tugas akhir ini akan membahas analisa nilai kalor bahan bakar dan perhitungan efisiensi ketel uap.

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuannya kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada ketel uap atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar.

1. Perhitungan Efisiensi ketel uap dengan Metode langsung

Energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar ketel uap. Metodologi ini 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 (Ir. Syamsir A. Muin, "Pesawat-Pesawat Konversi Energi 1. Ketel Uap", CV. Rajawali, 1998:223)

Efisiensi Boiler η_{boiler}

$$= \frac{\text{Panas pembentukan uap}}{\text{Panas uap}} \times 100\% \text{Efisiensi Boiler } \eta_{boiler}$$

$$= \frac{W_s \times h_u - h_a}{W_f \times LHV} \times 100\%$$

Keterangan:

$$W_s = \text{kapasitas produksi uap (kg uap jam)}$$

$$W_f = \text{konsumsi bahan bakar (kgBB jam)}$$

$$h_u = \text{entalpi uap (kJ kg)}$$

$$h_a = \text{entalpi air umpan pengisi ketel (kg uap jam)}$$

$$LHV = \text{nilai kalor pembakaran rendah (kJ kg)}$$

Untuk penyusunan laporan tugas akhir ini penulis menganalisa dengan metode langsung, dimana penulis mengambil data secara langsung di lapangan meliputi:

- 1 Tekanan uap dari *superheater* (bar);
- 2 Temperatur *feed water daerator tank* ($^{\circ}\text{C}$);
- 3 Temperatur *steam outlet* ($^{\circ}\text{C}$);
- 4 Jumlah uap yang dihasilkan (ton uap/jam);
- 5 Konsumsi bahan bakar (tonBB/jam);

2. Proses Pembentukan Uap

Sebagai fluida kerja di ketel uap, umumnya digunakan air H_2O karena bersifat ekonomis, mudah diperoleh, tersedia dalam jumlah yang banyak, serta mempunyai kandungan entalpi yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan fluida kerja yang lain.

Penguapan adalah proses terjadinya perubahan fasa dari cairan menjadi uap. Apabila panas diberikan pada air, maka suhu air akan naik. Naiknya suhu air akan meningkatkan kecepatan gerak molekul air. Jika panas terus bertambah secara perlahan-lahan, maka kecepatan gerak air akan semakin meningkat pula, hingga sampai pada suatu titik dimana molekul-molekul air akan mampu melepaskan diri dari lingkungannya (100°C) pada tekanan 1 [kg/cm^2], maka air secara berangsur-angsur akan berubah fasa menjadi uap dan hal inilah yang disebut sebagai penguapan.

3. Kebutuhan Udara Pembakaran

Kebutuhan udara pembakaran didefinisikan sebagai kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara sempurna yang meliputi (Ir. M. J. Djokosetyoardjo, "Ketel Uap", PT. Pradnya Paramita 1989:74):

a. Kebutuhan udara teoritis (U_{teo})

$$U_{teo} = \frac{100}{23,1} \times 2,67C + 8H - O + S \text{ kg kgBB}$$

Kebutuhan udara pembakaran sebenarnya / aktual (U_{act}):

$$U_{act} = U_{teo} + EA \text{ kg kgBB}$$

4. Gas Asap

Reaksi pembakaran akan menghasilkan gas baru, udara lebih dari sejumlah energi. Senyawa-senyawa yang merupakan hasil dari reaksi pembakaran disebut gas asap. (Ir. M. J. Djokosetyoardjo, "Ketel Uap", PT. Pradnya Paramita 1989:74).

a. Berat Gas asap teoritis (G_{teo})

$$G_{teo} = U_{teo} + 1 - A \text{ kg kgBB}$$

Dimana A = Kandungan abu dalam bahan bakar (Ash)

Gas asap yang terjadi terdiri dari:

Hasil reaksi atas pembakaran unsur-unsur bahan bakar dengan O_2 dari udara seperti CO_2 , H_2O , SO_2 ;

Unsur N_2 dari udara yang tidak ikut bereaksi;

Sisa kelebihan udara.

Dari reaksi pembakaran sebelumnya diketahui:

Berat $\text{CO}_2 = 3,67C \text{ kg/kgBB}$

Berat $\text{SO}_2 = 2S \text{ kg/kgBB}$

Berat $\text{H}_2\text{O} = 9\text{H}_2 \text{ kg/kgBB}$

Berat $\text{N}_2 = (77\% \times U_{act}) + N_2 \text{ kg kgBB}$

Berat $\text{O}_2 = (23\% \times EA)U_{teo} \text{ kg kgBB}$

Maka untuk menghitung berat gas asap pembakaran perlu dihitung dulu masing-masing komponen gas asap tersebut (*Ir. Syamsir A. Muin, "Pesawat-Pesawat Konversi Energi 1 (Ketel Uap)", CV. Rajawali, 1988:196*).

Dari perhitungan diatas maka akan didapatkan jumlah gas asap:

$$G_{act} = W\text{CO}_2 + W\text{SO}_2 + W\text{H}_2\text{O} + W\text{N}_2 + W\text{O}_2$$

C. Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor (*Heating Value*) adalah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut.

Nilai kalor bahan bakar ada 2 jenis, yaitu :

A. Nilai Kalor Atas (HHV)

$$\text{HHV} = 33950 C + 144200 \text{ H}_2 - \frac{\text{O}_2}{8} + 9400 S \dots\dots\dots 1$$

Dimana :

C = % karbon dalam bahan bakar

H_2 = % hidrogen dalam bahan bakar

O_2 = % oksigen dalam bahan bakar

S = % sulfur dalam bahan bakar

B. Nilai Kalor Bawah

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400 \cdot 9\text{H}_2 \dots\dots\dots 2$$

H_2 = % hidrogen dalam bahan bakar

D. Kebutuhan Bahan Bakar

Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap dapat diperoleh dengan persamaan

$$m_{\text{bb}} = \frac{m_{\text{u}} \cdot h_{\text{u}} - h_{\text{a}}}{\eta_{\text{b}} \cdot \text{LHV}} \dots\dots\dots 3$$

Dimana :

m_{bb} = konsumsi bahan bakar [kg/jam]

m_{u} = laju kapasitas produksi uap [kJ/jam]

η_{b} = efisiensi ketel uap (70-90) %

h_{u} = entalphi spesifik uap [kJ/kg]

h_{a} = entalphi spesifik air [kJ/kg]

LHV = nilai kalor bawah

E. Suplai Energi

Suplai energi terhadap ketel uap diperoleh dari bahan bakar. Kandungan energi (E) bahan bakar [kJ/kg] dapat diperoleh melalui percobaan “*Bomb Calorimeter*”, atau bisa dihitung dengan rumus Dulong jika bahan diketahui.

Dalam pengujian ini, kandungan energi bahan bakar dapat diperoleh dari PKS Merbaujaya Indahraya. Besarnya energi panas pembakaran adalah suplai panas terhadap ketel uap :

$$Q_s = m_{bb} \cdot E \dots\dots\dots 4$$

Dimana :

m_{bb} = laju aliran massa bahan bakar [kg/jam]

E = kandungan energi bahan bakar [kJ/kg]

F. Energi Evaporasi

Energi untuk perubahan air pengisian (*feed water*) menjadi uap (*steam*) dalam proses evaporasi adalah besarnya kandungan entalphi uap kurang kandungan entalphi air pengisian

$$Q = m_u \cdot h_u - h_a \dots\dots\dots 5$$

Dimana :

m_u = Laju kapasitas produksi uap kJ jam

h_u = Entalphi spesifik uap kJ kg

h_a = Entalphi spesifik air kJ kg

G. Efisiensi Ketel Uap

Performansi ketel uap dapat diukur dengan menghitung efisiensinya. Semakin besar efisiensi dari suatu ketel uap, maka dapat dipastikan ketel tersebut memiliki performansi yang baik. Untuk menghitung nilai efisensi dari ketel uap dapat dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta_B = \frac{Q_{uap}}{Q_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots 6$$

Dimana :

η_B = Efisiensi ketel uap %

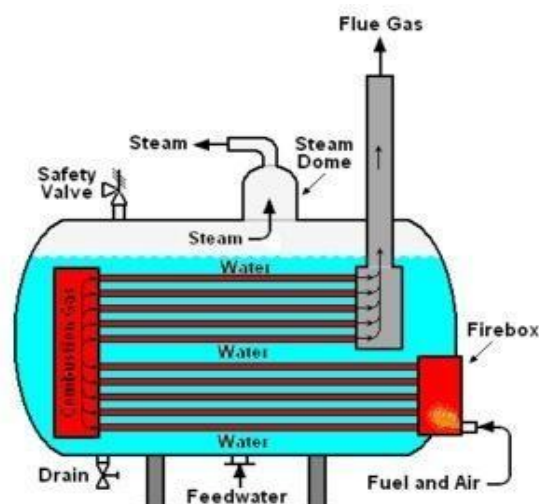
Q_{uap} = Jumlah panas penguapan kg jam

Q_{in} = Jumlah panas masuk/panas yang dihasilkan bahan bakar kg jam

2.3.1 Berdasarkan Fluida Yang Mengalir Dalam Pipa

1. Ketel pipa api (fire tube boiler)

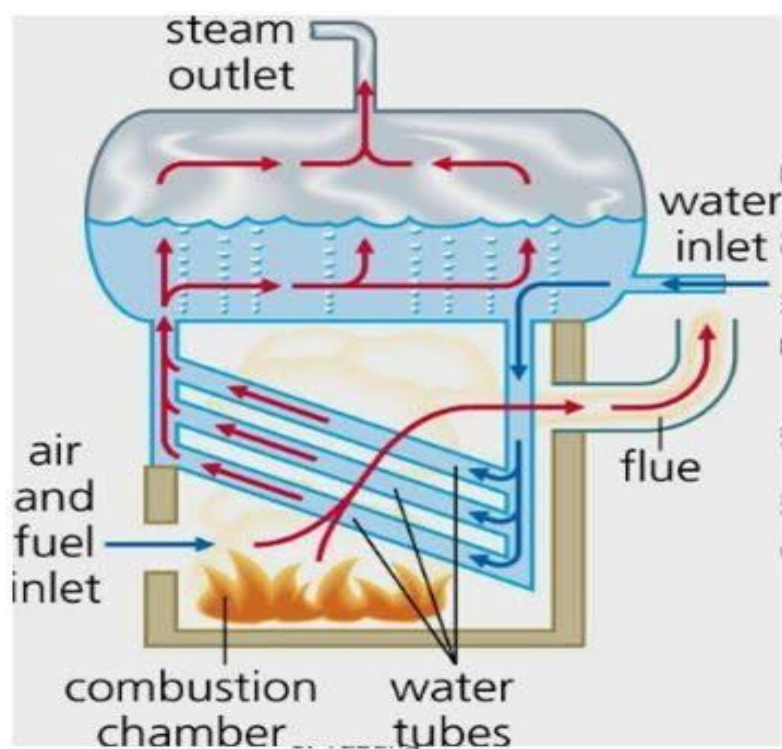
pada ketel pipa api seperti tampak pada gambar 1.28, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan ketel ada didalam shell untuk dirubah menjadi steam. Ketel pipa api biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relative kecil dengan tekanan steam rendah dan sedang. Sebagai pedoman, ketel pipa api kompetitif untuk kecepatan steam sampai 14.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg.cm². ketel pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas atau bahan bakar padat dalam operasi. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar ketel pipa api dikonstruksi sebagai “paket” boiler (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar.



Gambar 2.8 Fire Tube Boiler

2. Ketel pipa air (water tube boiler)

pada ketel pipa air seperti tampak pada Gambar 2.9, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga listrik.



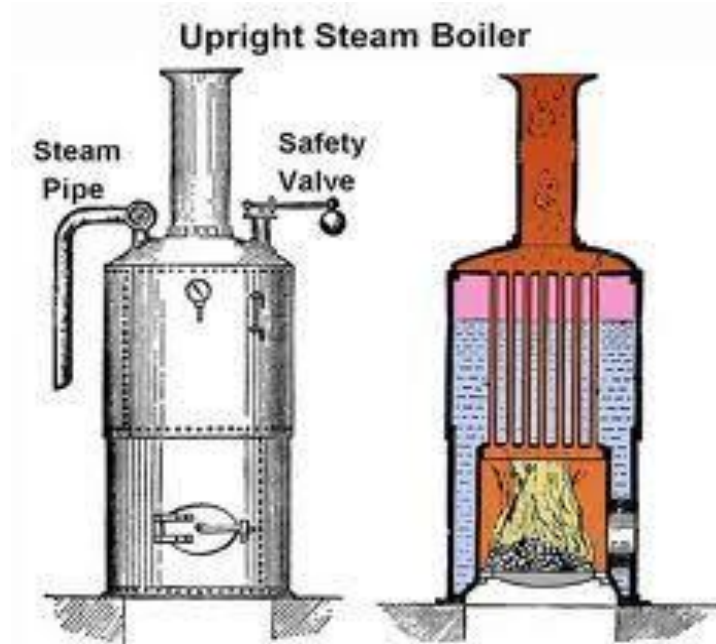
Gambar 2.9 Water Tube Boiler

(Sumber : <https://rakhman.net> › Blog › Power Plants 2.3.2 Berdasarkan Pada Poros Tutup Drum (Shell)

2.3.2 Berdasarkan Pada Poros Tutup Drum (Shell)

a. Ketel tegak

Ketel tegak seperti tampak pada Gambar 2.10 (vertical steam boiler) adapun contoh ketel tegak adalah ketel Cochran, Ketel Clarkson dan lain-lainnya.

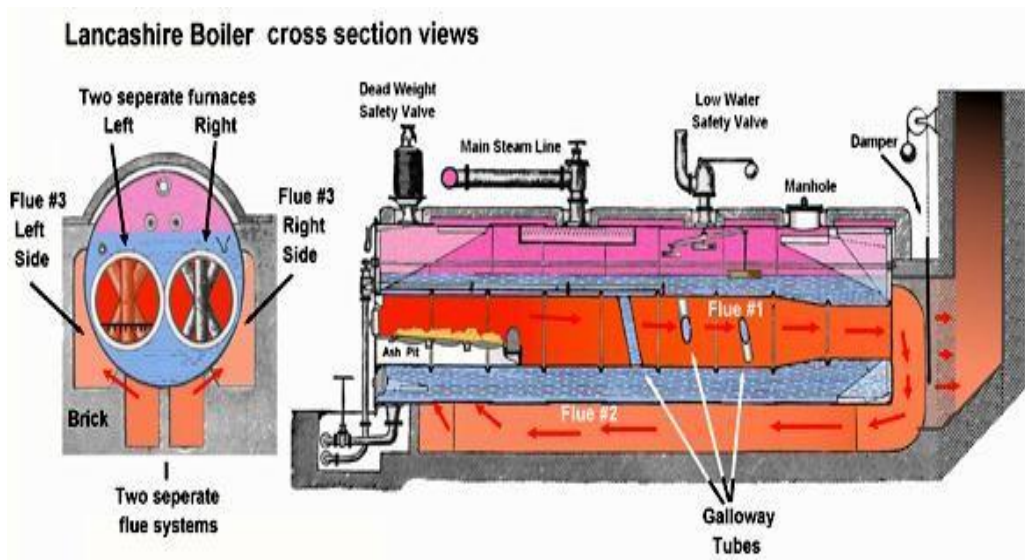


Gambar 2.10 Ketel Tegak (UNEP)

(Sumber: www.academia.edu/23939135/Pemeliharaan_Water_Tube_Boiler)

3. Ketel mendatar (horizontal steam Boiler)

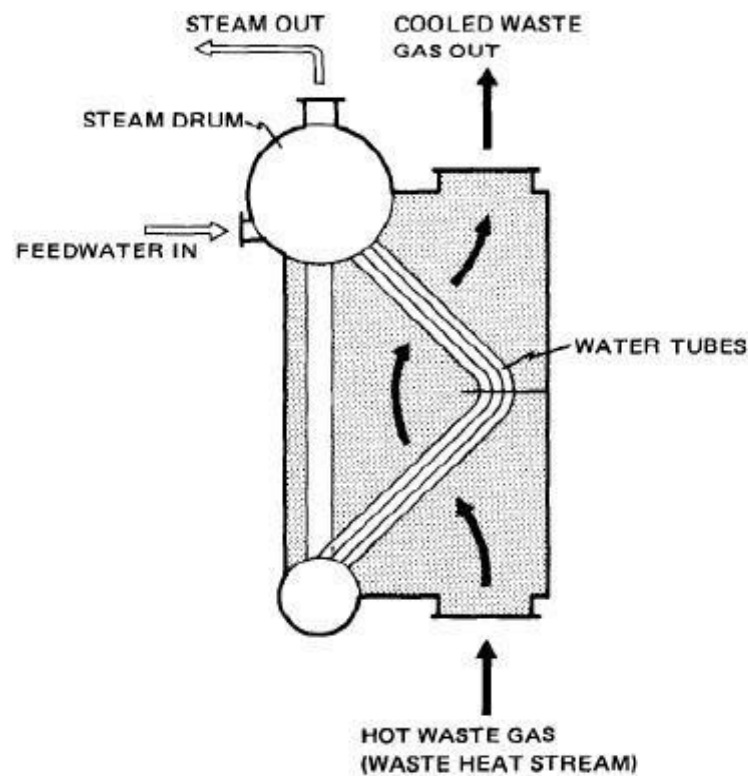
Adapun yang termasuk jenis ketel ini adalah ketel Cornish, Lancashire (tampak pada Gambar 2.11), Scotch dan lain-lain.



Gambar 2.11 Boiler Cross Section

2.3.3 Boiler Limbah Panas

Dimanapun tersedia limbah panas pada suhu sedang atau tinggi, boiler limbah panas dapat dipasang secara ekonomis. Jika kebutuhan steam lebih dari steam yang dihasilkan menggunakan gas buang panas, dapat digunakan burner tambahan yang menggunakan bahan bakar. Jika steam tidak langsung dapat digunakan, steam dapat dipakai untuk memproduksi daya listrik menggunakan generator turbin uap. Hal ini banyak digunakan dalam pemanfaatan kembali panas dari gas buang dari turbin gas dan mesin diesel.



Gambar 9: Skema sederhana *Boiler* Limbah Panas
(Agriculture and Agri-Food Canada, 2001)

Gambar 2.12 Boiler Limbah Panas

2.3.4 Pemanas Fluida Termis

Saat ini, pemanas fluida termis telah digunakan secara luas dalam berbagai penerapan untuk pemanasan proses tidak langsung. Dengan menggunakan fluida petroleum sebagai media perpindahan panas, pemanas tersebut memberikan suhu yang konstan. Sistem pembakaran terdiri dari sebuah fixed grate dengan susunan draft mekanis.

Pemanas fluida termis modern berbahan bakar minyak terdiri dari sebuah kumparan ganda, konstruksi tiga pass dan dipasang dengan sistem jet tekanan. Fluida termis, yang bertindak sebagai pembawa panas, dipanaskan dalam pemanas dan disirkulasikan melalui peralatan pengguna. Disini fluida memindahkan panas untuk proses melalui penukar panas, kemudian fluidanya memindahkan panas untuk proses melalui penukar panas, kemudian fluidanya dikembalikan ke pemanas. Aliran fluida termis pada ujung pemakai dikendalikan oleh katup pengendali yang dioperasikan secara pneumatis, berdasarkan suhu operasi. Pemanas operasi pada api yang tinggi atau rendah tergantung pada suhu minyak yang kembali yang bervariasi tergantung beban sistem.

Faktor ekonomi keseluruhan dari pemanas fluida termis berbahan bakar batubara dengan kisaran efisiensi panas 55-65% merupakan yang paling nyaman digunakan dibandingkan dengan hampir kebanyakan boiler. Penggabungan peralatan pemanfaatan kembali panas dalam gabungan akan mempertinggi tingkat efisiensi termis selanjutnya.

2.3.4.1 Keuntungan Pemanas Fluida Termis.

1. Operasi sistim tertutup dengan kehilangan minimum dibandingdengan boiler steam.
 2. Operasi sistim tidak bertekanan bahkan untuk suhu sekitar 250⁰C dibanding kebutuhan tekanan steam 40kg/cm² dalam sistim steam yang sejenis.
- 2.4 Pressure Transmitter

2.4 Pressure Transmitter

2.4.1 Dua jenis alat ukur tekanan digital tersebut, yaitu :

1. Pressure transmitter (Cerabar)
2. Differential pressure transmitter (Deltabar)

Berikut penjelasan mengenai dua jenis alat ukur tekanan digital atau Pressure Transmitter tersebut.

1. Pressure Transmitter (Cerabar)



E+H

Gambar 2.13 Cerabar

(Sumber : pandurog.club/09-12/ball-mill-untuk-pltu-bekerja/)

Pressure Transmitter biasa juga disebut dengan Cerabar Adalah suatu alat sensor untuk mengetahui nilai Tekanan dengan prinsip kerja menerima tekanan dari benda cair atau Gas yang akan diukur. Lalu hasil pengukuran tekanan tersebut dikonversikan menjadi nilai Analog dalam bentuk arus listrik, dengan nilai arus yang sangat kecil yaitu mili Ampere. Perubahan tekanan yang diukur Pressure Transmitter, akan diubah sebagai perubahan nilai arus yang dihasilkan, dan biasanya range antara 4 mA s/d 20 mA. Hasil dari perubahan arus mA ini kemudian dikirimkan ke alat penerima sinyal yang biasa disebut Temperature controller. Temperature Controller akan mengkonversikan nilai arus 4mA s/d 20mA yang diterimanya dari sensor Cerabar untuk kemudian diubah menjadi tampilan nilai aktual tekanan terukur dalam berbagai satuan, seperti mmH₂O, Bar, Psi, kg/cm², dan lainnya. Dan menampilkan hasil pengukuran tersebut pada display controller dalam bentuk angka digital. Namun, pada beberapa Pressure Transmitter saat ini, sudah dilengkapi dengan display controller yang terpasang pada pressure transmitter tersebut, sehingga tidak lagi memerlukan Temperature Controller eksternal tambahan.

2.4.2 Pressure Transmitter Deltabar



Gambar 2.14 Deltabar

(Sumber: <https://www.endress.com/.../Differential-Pressure-Deltabar-P>)

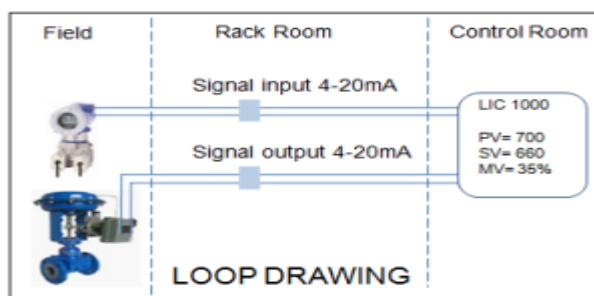
Deltabar terdiri dari dua kata yaitu Delta yang berarti selisih dan Bar yang berarti Tekanan (Bar). Jadi dapat kita artikan bahwa pressure transmitter Deltabar mengukur nilai tekanan dengan membandingkan selisih dari dua nilai yang diukur. Dari namanya yakni Deltabar, mengambil selisih (Delta) tekanan (Bar). Deltabar mempunyai prinsip kerja hampir sama dengan Pressure transmitter, jika pada pressure transmitter hanya memiliki satu titik sensor namun pada alat Deltabar memiliki dua titik sensor diaphragm. Dengan prinsip kerja yaitu mengukur selisih (Delta) dari nilai tekanan tertinggi (High level) & nilai tekanan terendah (Low Level). Lalu alat ukur tekanan Deltabar mengambil nilai selisih tekanan yang ada, dan mengubah nilai tersebut menjadi nilai Analog dalam bentuk arus listrik (mA). Dan selanjutnya mengirimkan perubahan dari nilai sinyal analog tersebut ke alat Controller. Kedua alat ukur tekanan digital yakni Cerabar dan Deltabar sudah memiliki berbagai keunggulan dan fungsi-fungsi untuk digunakan dalam sistem otomatis atau automatic process. Dan alat ukur ini juga dapat digunakan untuk melakukan pengukuran tekanan pada benda cair, gas seperti steam (Uap) bertekanan tinggi (High pressure) dan juga dapat digunakan untuk mengukur pada kondisi kerja dengan suhu yang sangat tinggi.

2.4.3 Memahami Fungsi Differential Pressure Transmitter

Differential Pressure transmitter adalah salah satu jenis peralatan instrument yang paling banyak digunakan sebagai alat ukur dalam industri, karena transmitter model ini bisa difungsikan dalam banyak aplikasi seperti untuk mengukur tekanan positif, untuk mengukur tekanan vakum, untuk mengukur

perbedaan tekanan, untuk mengukur ketinggian permukaan isi tangki (Level) dan untuk pengukuran laju alir (Flow).

Sesuai dengan namanya, prinsip kerja differential pressure transmitter (transmitter perbedaan tekanan) yaitu mengukur tekanan pada dua titik, membandingkan besarnya kedua tekanan tersebut lalu menghasilkan output, teknik pengukuran yang banyak digunakan differential pressure transmitter adalah technology strain gauge, kapasitansi dan vibrating wire atau mechanical resonansi. Output dari sensor secara elektronik dikonversi ke sinyal standar 4-20 mA untuk kemudian dikirimkan ke perangkat monitor atau alat kontrol yang terletak di lokasi aman seperti di ruang kontrol (control room). Lihat gambar dibawah ini menunjukkan interkoneksi dari differential pressure transmitter ke peranti monitor di ruang control, gambar hubungan signal seperti inilah yang disebut Instrument Loop Drawing atau disingkat ILD.



Gambar 2.15 Instrument Loop Drawing

Differential pressure transmitter secara umum terbagi atas dua bagian yaitu bagian sensor atau diaphragma dan bagian elektronik yaitu bagian yang memproses signal dan mengeluarkan output. Bagian sensor adalah bagian yang kontak langsung dengan proses yang di ukur, koneksi antara transmitter dengan proses yang diukur kebanyakan menggunakan tubing yaitu pipa dengan ukuran

tertentu yang dapat di bengkokkan sesuai dengan kebutuhan. Selain dengan menggunakan tubing ada juga differential pressure transmitter yang desainnya menggunakan pipa kapiler dan diaprahma pada ujungnya, pipa kapiler ini sudah dipasang dari pabriknya dan diisi dengan cairan tertentu agar tekanan bisa sampai ke sensor, cairan yang dipakai untuk mengisi pipa kapiler biasanya silikon, glycol, atau glycerine.

Karena pengisian cairan kedalam pipa kapiler itu dilakukan dipabrik berdasarkan perhitungan teknis, maka antara transmitter dan pipa kapiler tidak bisa dipisahkan, demikian pula kebocoran yang mungkin terjadi pada diapragma harus dihindari, kalau tidak maka transmitter tidak akan bisa digunakan. Gambar dibawah ini memperlihatkan contoh transmitter yang menggunakan pipa kapiler (B) dengan transmitter yang harus dipasang dengan menggunakan tubing (A).

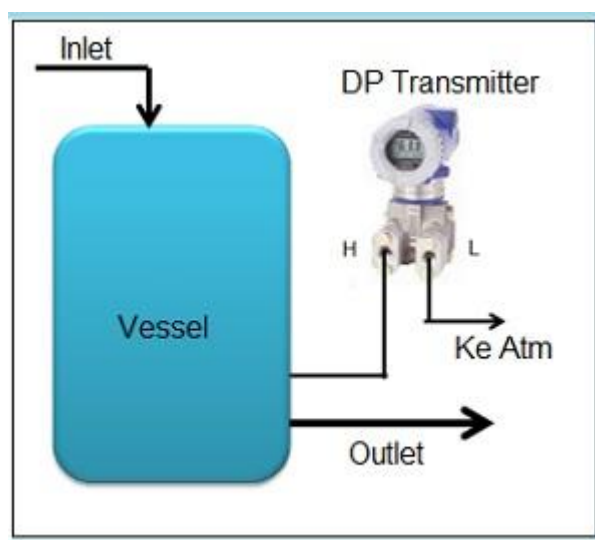


Gambar 2.16 Transmitter

Bagian sensor selalu memiliki dua sisi yang berlawanan yang disebut sisi tekanan tinggi yang ditandai dengan label H (High) dan sisi tekanan rendah yang ditandai dengan label L (Low), dalam pemakaiannya tidak berarti sisi H harus dihubungkan ke bagian proses yang memiliki tekanan tinggi. Berikut ini adalah contoh contoh cara pemasangan differential pressure transmitter pada pengukuran besaran proses yang berbeda-beda:

2.4.4 Untuk Mengukur Tekanan Positif

Differential pressure transmitter dapat digunakan sebagai pengukur tekanan positif (gauge pressure). Caranya yaitu dengan menghubungkan bagian sensor berlabel H ke bagian proses yang akan diukur misalnya ke tangki, ke pipa, ke reaktor, ke bak penampungan, ke boiler, ke storage, dan media proses lainnya, sementara bagian yang berlabel L dibiarkan terbuka ke atmosphere. Besarnya tekanan yang diukur oleh sensor akan di konversikan ke dalam signal standard sesuai dengan hasil kalibrasi transmitter.



Gambar 2.17 Kalibrasi Transmitter

(Sumber :news.tridynamika.com/5193/pengertian-dan-fungsi-transmitter)

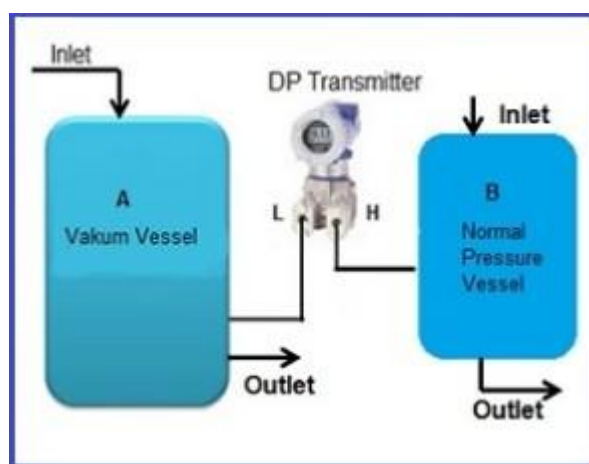
2.4.5 Untuk Mengukur Tekanan Vakum.

Kita dapat menggunakan cara yang sama yaitu menghubungkan satu port daripada transmitter ke bagian proses yang akan diukur, hanya kali ini koneksinya di balik, jadi sisi yang berlabel L dari transmitter adalah sisi yang terhubung ke equipment proses, sedang sisi H dibiarkan terbuka ke atmosphere, bila terjadi penurunan tekanan maka nilainya akan terdeteksi oleh transmitter, output

transmitter yang telah dikonfigurasi untuk keperluan pengukuran vakum akan menunjukkan perubahan nilai ke arah negatif.

2.4.6 Untuk Mengukur Tekanan Absolute

Differential Pressure Transmitter juga bisa diaplikasikan untuk mengukur tekanan absolut. Tekanan absolute didefinisikan sebagai tekanan dibawah atmosphere yang dimulai dari skala 0 mmHg, dimana 1 Atmosphere setara dengan 760mmHg, cara pemasangan transmitter nya port berlabel L dihubungkan ke sisi vakum sedang port berlabel H dihubungkan ke proses bertekanan normal, dengan cara ini perubahan tekanan disisi vakum baik semakin vakum ataupun sebaliknya akan menunjukkan nilai positif, karena range transmitter diseting untuk unit pressure absolute yaitu mmHg, misalnya range transmitter 360mmHg sampai dengan 760mmHg ekuivalen dengan output 4-20mA.



Gambar 2.18 mengukur tekanan absolute
(Sumber :news.tridynamika.com/5193/pengertian-dan-fungsi-transmitter)

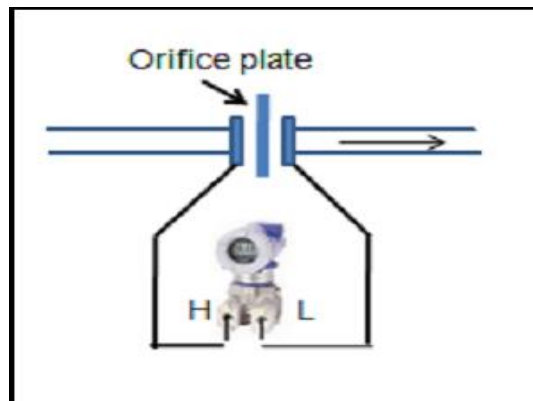
2.4.7 Untuk Mengukur Level

Kegunaan lain dari differential pressure transmitter adalah sebagai perangkat untuk mengukur ketinggian isi tangki (Level) caranya dengan menggunakan perhitungan matematik, yaitu konversi besaran tekanan ke besaran Level, dibawah ini adalah formula yang digunakan untuk perhitungan level tersebut. $P = \rho gh$ $P = \text{tekanan}$ $\rho = \text{density zat cair}$ $h = \text{ketinggian cairan dalam tangki}$ dari formula tersebut diketahui bahwa dengan mengetahui parameter tekanan dan density cairan maka ketinggian cairan dalam tangki (Level) dapat diketahui. Ada beberapa metode pemasangan differential pressure transmitter untuk pengukuran level, salah satu contohnya yaitu yang dipakai untuk mengukur tangki terbuka seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ini, port H dari transmitter adalah port yang terhubung ke tapping point dari tangki sedang port berlabel L dibiarkan terbuka ke atmosphere, penjelasan tentang cara-cara pemasangan differential pressure transmitter untuk mengukur Level akan diterangkan lebih detail pada artikel lain.

2.4.8 Untuk Mengukur Flow

Fungsi lain daripada differential pressure transmitter adalah sebagai peranti untuk pengukuran laju alir (Flow), untuk keperluan pengukuran laju alir ini dibutuhkan peranti lain yang gunanya untuk menciptakan adanya perbedaan tekanan pada pipa yang akan diukur, jenis alat yang dapat menimbulkan perbedaan tekanan ini disebut sensor adapun jenisnya yaitu berupa plat orifice, pipa pitot, dan pipa ventury, konversi dari besaran tekanan ke besaran flow yaitu dengan memenuhi formula berikut $F = C \times \sqrt{PC}$ adalah konstanta tetap hasil

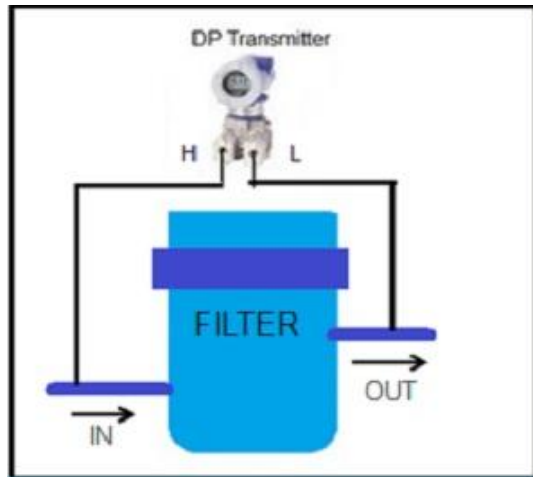
perhitungan ketika sensor dibikin. C adalah hasil perbandingan antara besarnya perbedaan tekanan maksimum versus besarnya flow maksimum yang dapat terukur oleh sensor, hasil kali konstanta C dengan perbedaan tekanan yang diukur oleh transmitter kemudian diinterpretasikan sebagai Flow, Berikut ini adalah contoh pemasangan differential pressure transmitter untuk pengukuran Flow.



Gambar 2.19 Orifice Plate

2.4.9 Differential Transmitter Sebagai Indikator Filter

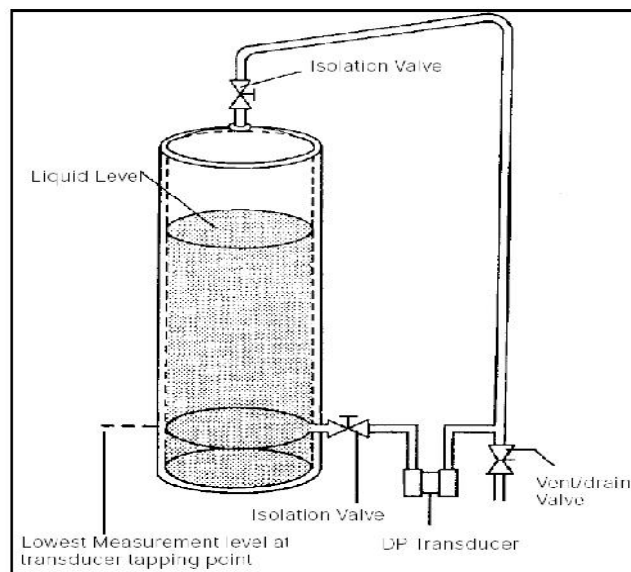
Pemakaian differential pressure transmitter sebagai alat untuk mengetahui kondisi filter yang dipasang pada bagian suction pompa adalah salah satu fungsi lain dari transmitter ini, aplikasinya sangat sederhana dimana transmitter dipasang diantara filter, port H pada bagian upstream filter dan port L pada bagian downstream filter, jika terjadi penyumbatan pada filter maka pada bagian L akan terjadi efek vakum sehingga output transmitter akan naik, dan kenaikan ini menunjukkan tanda-tanda bahwa telah terjadi penyumbatan pada filter tersebut. Lihat cara pemasangan differential pressure transmitter untuk memonitor kebersihan filter seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.20 kondisi filter
(Sumber :news.tridynamika.com/5193/pengertian-dan-fungsi-transmitter)

2.5.0 Differential Pressure Transmitter pada Boiler Hitachi

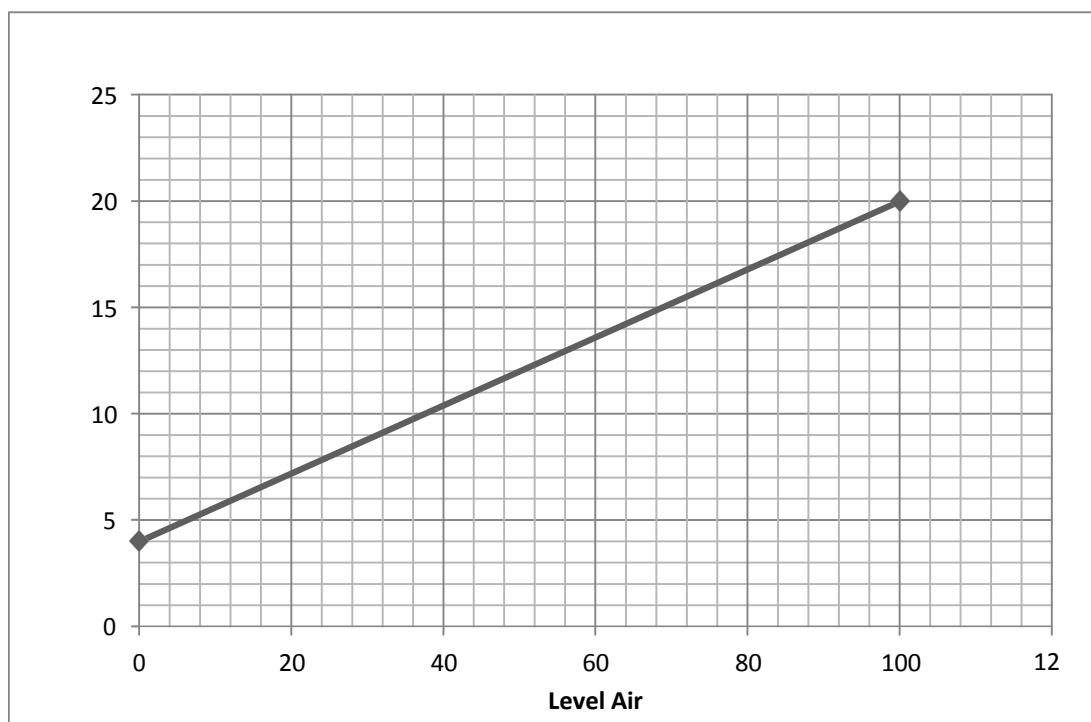
Prinsip Kerja Differential Pressure Transmitter



Gambar 2.21 Prinsip Kerja Differential

Satu pengembangan sensor tekanan yang cukup penting adalah digunakan untuk mengukur ketinggian atau level suatu fluida yang berada di dalam sebuah bejana baik tertutup maupun terbuka.

Pada prakteknya tidak semua bejana adalah terbuka. Pada aplikasi mesin boiler misalnya, digunakan bejana yang tertutup untuk menampung air dengan uap air dengan tekanan tinggi. Dalam hal ini digunakan Differential Pressure Transmitter antara sisi bawah bejana dan sisi atas bejana. Differential Pressure transmitter bertekanan tinggi dihubungkan dengan sisi bejana bagian bawah yang terhubung dengan sisi air. Tekanan referensi yang digunakan adalah tekanan uap air, yang harus dijaga agar tidak boleh terisi tekanan air bejana. Sehingga tekanan air yang masuk ke Differential Pressure Transmitter sisi bawah adalah tekanan hidrostatik



Gambar 2.22 Grafik Karakteristik Differential Pressure

Bentuk fisik dari alat differential pressure transmitter tersebut :



Gambar 2.23 Sensor Differential Pressure

Peran Differential Pressure Transmitter dalam Kendali Level Air Hal yang terenting dalam proses penghasilan steam pada boiler, level air dalam Shell Water harus terjaga. Kestabilan level air harus di perhatikan pada pengoprasian boiler. Shell water merupakan ruang hampa tertutup, hal ini bertujuan untuk menghasilkan uap air yang memiliki tekanan tinggi serta sifat Steamnya bersifat kering tidak lembab. Untuk itu kestabilan level air sangat berpengaruh, sehingga untuk menjaga kestabilan sangat diperlukan sensor khusus yaitu Differential Pressure Transmitter. Proses pengendalian level air tersebut dinamakan *Water Level Control*.

Pada pengendalian level air, atau *water level control* terdapat 3 buah komponen wajib yaitu, input / masukan, proses, output.

A . Input : berupa Differential Pressure Transmitter.

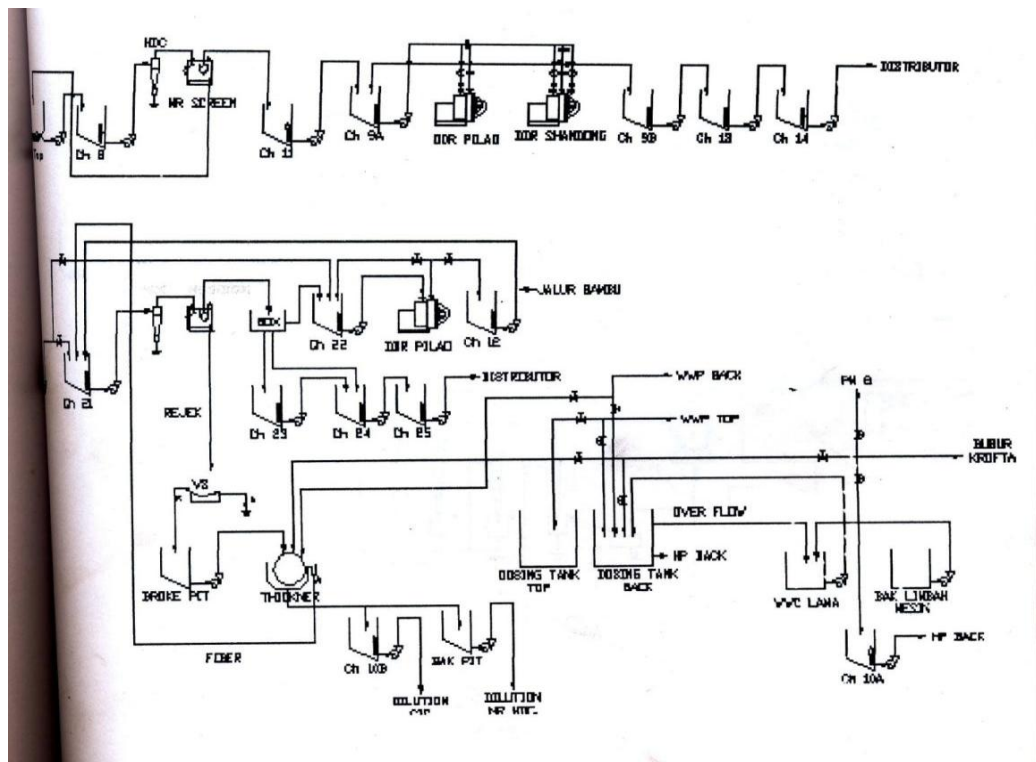
(berupa presentasi level air yang sebanding dengan nilai 4-20mA)

B. Proses : PIDcontrol.

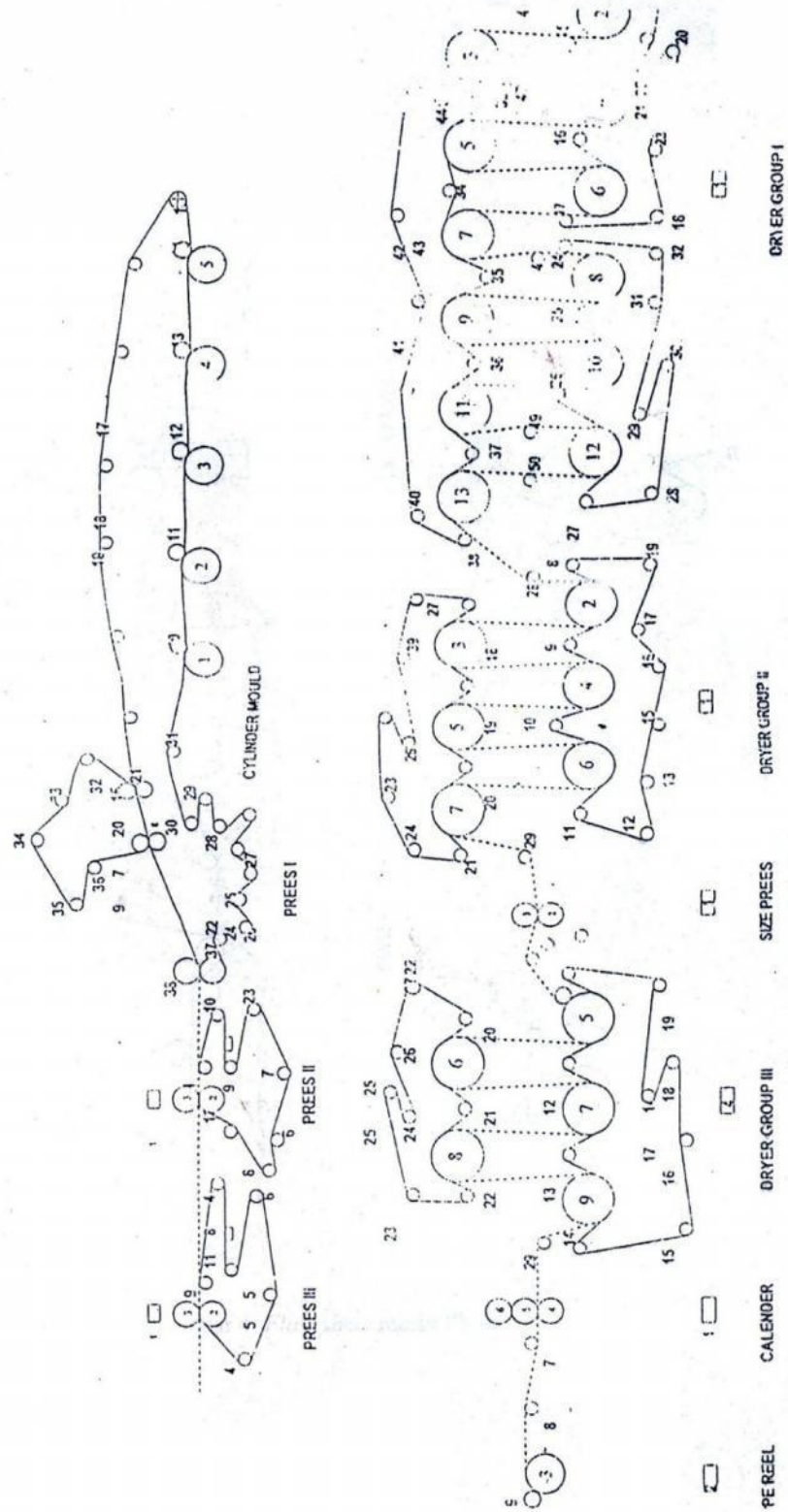
C. Ouput : Tampilan SevenSegment sebagai presentasi level air, dan Aktuator sebagai penggerak Valve, Speed IDF dan FDF.

Differential preassure transmitter yang terpasang pada Shell water berfungsi sebagai sensor deteksi level air. Karena dapat mengubah perubahan besaran Fisik (*Diff.Preassure*) kebesaran Listrik (*Current*) yang sebanding. Tinggi level air dalam Shell Water akan selalu berubah-ubah, karena Steam akan selalu dihasilkan oleh pipa-pipa dalam ruang bakar. Steam yang dihasilkan akan naik kepermukaan Shell Water sehingga besarnya level air pun menurun, perubahan ini akan menghasilkan perubahan tekanan pada kedua buah titik pengukuran dan selisih tekanan inilah yang akan dijadikan pengukuran. Apabila level air menurun dari *Set Point* (level yang dikendaki), maka Valve akan terbuka untuk menyuplai air dari *Feed Water Tank* (FWT) ke Shell water. Apabila air dalam Shell water sudah melebihi *Set Point* maka Valve akan menutup. Valve ini bekerja seperti On/Off biasa, tidak membuka secara presisi. Pengaruh yang kedua dari water level control adalah, speed blower IDF dan FDF akan diturunkan. Di dalam shell water juga terdapat alat yang berfungsi sebagai pengaman, untuk menjaga bahwa didalam shell water harus berisi air tidak boleh kosong. Alat pengaman tersebut hanya akan bekerja apabila air dalam shell water kurang dari batas minimum yang ditentukan, sehingga akan mematikan seluruh kerja dari mesin boiler. Seteah level air melebihi batas minimum, maka alat tersebut tidak aktif, dan boiler akan aktif kembali.

Dalam prakteknya air kondensasi yang mengalir ke FWT / feed water tank, umumnya memiliki suhu yang cukup tinggi. Sekitar $85^{\circ}\text{C} \sim 87^{\circ}\text{C}$, agar lebih efisien maka digunakanlah sebagian dari Steam tadi di alirkan ke FWT untuk menaikkan suhu air kondensasi. Sehingga apabila air kondensasi telah tercampur dalam Shell Water maka suhu yang didapat tidak terlalu jauh dari titik didih air. Dan itu berdampak pada konsumsi bahan bakar boiler menjadi lebih ekonomis. Terkadang apabila steam sudah dihasilkan, maka blower FDF dan IDF akan diturunkan speednya, namun kenyataanya dimatikan. Ini tidak akan berpengaruh besar pada ruang pembakaran, karena pasir silica sudah dapat terbakar dengan baik batu bara yang masuk.



Gambar 2.24 Flow sheet Stock Preparation PM 7



Gambar 2.25 Plant Produksi

2.6 Termokopel (Thermocouple)

Pengertian Termokopel (Thermocouple) adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermo-electric*”. Efek *Thermo-electric* pada Termokopel ini ditemukan oleh seorang fisikawan Estonia bernama *Thomas Johann Seebeck* pada Tahun 1821, dimana sebuah logam konduktor yang diberi perbedaan panas secara gradient akan menghasilkan tegangan listrik. Perbedaan Tegangan listrik diantara dua persimpangan (junction) ini dinamakan dengan Efek “*Seebeck*”

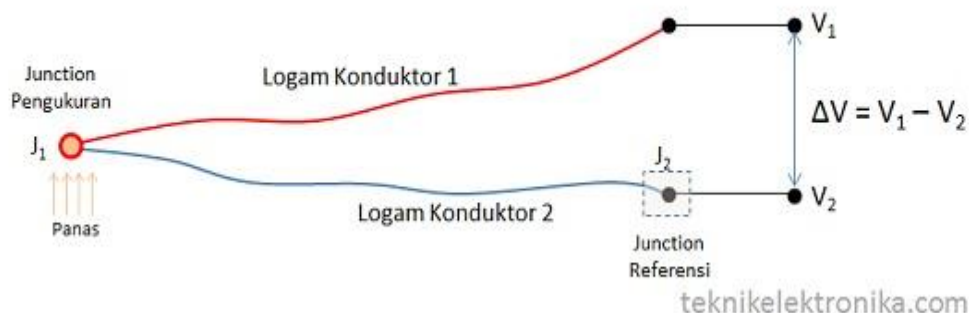
Termokopel merupakan salah satu jenis sensor suhu yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan Elektronika yang berkaitan dengan Suhu (Temperature). Beberapa kelebihan Termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 2000°C . Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, Termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan.

2.6.1 Prinsip Kerja Termokopel (Thermocouple)

Prinsip kerja Termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya Termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada Termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu

panas. Untuk lebih jelas mengenai Prinsip Kerja Termokopel, mari kita melihat gambar dibawah ini :

Termokopel (Thermocouple)



Berdasarkan Gambar diatas, ketika kedua persimpangan atau Junction memiliki suhu yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah “NOL” atau $V_1 = V_2$. Akan tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau $V_1 - V_2$. Tegangan Listrik yang ditimbulkan ini pada umumnya sekitar $1 \mu\text{V} - 70 \mu\text{V}$ pada tiap derajat Celcius. Tegangan tersebut kemudian dikonversikan sesuai dengan Tabel referensi yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran yang dapat dimengerti oleh kita.



Gambar : 2.28 Macam-Macam Thermocouple

<http://teknikelektronika.com/pengertian-termokopel-thermocouple-dan-prinsip-kerjanya/>

Dari pada konduktor lainnya sehingga ada diferensial temperatur, maka akan timbul efek termoelektris yang menghasilkan tegangan listrik. Besar tegangan listrik yang terbentuk tergantung dari jenis material konduktor yang digunakan, serta besar perbedaan temperatur antara dua konduktor tersebut. Dan berikut kurva kerja termocouple:

Sensor yang digunakan pada ruang bakar untuk mengukur besarnya temperatur adalah termokopel tipe K Chromel - Alumel. Sensor thermocouple ini mempunyai peranan penting yaitu sebagai control kendali batu bara yang masuk ke ruang pembakaran dan sebagai proteksi apabila temperature pada ruang pembakaran lebih dari setpoint atau *overtemperature* dan pengaturan speed dari FDF, IDF. Termocouple tipe K ini mempunyai rentang pengukuran suhu dari 0 sampai dengan 1250 Celcius. Sensor thermocouple juga melakukan pengukuran

secara Real Time. Dan akan menampilkannya pada display suhu pada bagian operator.

2.6.2 Peran Sensor Termocouple Tipe K Pada Control Suhu Dalam Ruang Pembakaran

Salah satu hal yang penting dalam proses penghasilan steam pada boiler, adalah pemantuan suhu dalam ruang pembakaran boiler. Karena pada pemaikannya, boiler selalu beroperasi pada suhu yang relatif tinggi maka pada penggunaan sensor suhu yang tepat menggunakan sensor termocouple tipe K. Karena mampu bekerja pada suhu yang relatif tinggi.

Pada pengendalian suhu ruang pembakaran boiler terdapat 3 buah komponen wajib yaitu, input / masukan, proses, output

Input : Sensor Termocouple tipe K.

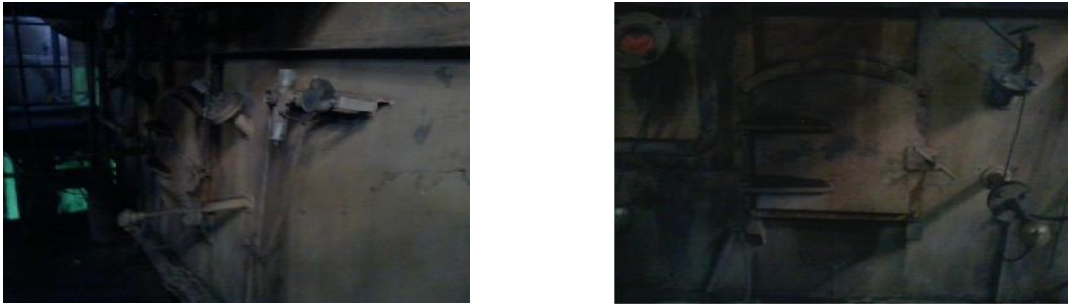
Proses : PIDcontrol.

Ouput : Tampilan SevenSegment sebagai indikator suhu.

Pada keadaan awal, suhu pada tungku pembakaran boiler masih belum mencapai harga Set point. Maka PID control akan meresponya dengan menggerakkan Screw, FDF dan IDF. Screw bergerak yang berfungsi untuk memasukan batubara, FDF berfungsi menambah suplai oksigen pada ruang pembakaran, sedangkan IDF berfungsi sebagai pengshisap gas hasil pembakaran, sehingga akan berpengaruh pada meningkatnya suhu. Apabila suhu yang diukur melebihi dari Set Point, maka PID control juga akan meresponnya dengan mematikan Screw, IDF, FDF, sehingga akan berpengaruh pada penurunan suhu. Sehingga Semakin lama proses ini akan melakukan penyesuaian pada harga set

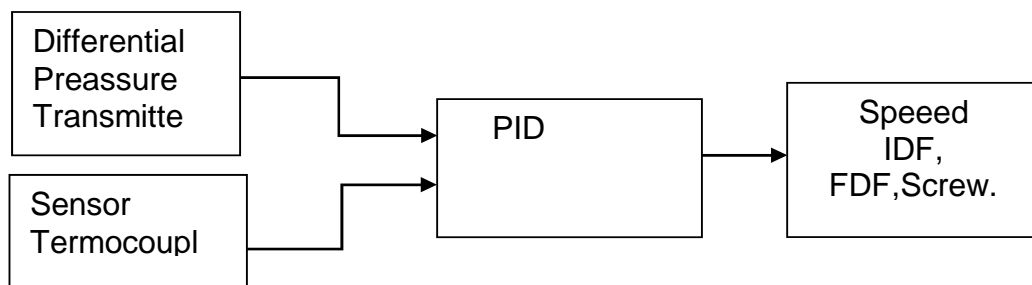
point. Namun pada prakteknya setelah suhu tercapai Screw, IDF, FDF akan dimatikan untuk penghematan, api pada tungku pembakaran masih tetap menyala dan memanaskan air dalam Shell Water.

Pemasangan Sensor Termocouple pada tungku pembakaran boiler :



Gambar : 2.29 Pemasangan Thermocouple pada Ruang Bakar

Untuk itu pada operasional boiler Hitachi, terdapat 2 parameter yang harus terjaga, yaitu suhu pada ruang bakar, dan level air pada tangki shell water. Dalam prakteknya kedua pengendalian tersebut akan masuk pada satu control yaitu PID control yang akan memberikan respon keluaran yaitu mengatur kecepatan Screw, IDF, FDF, serta Valve masukan pada Tangki Shell water. Maka dapat kita ketahui dengan diagram blok proses pengendalian pada mesin boiler.



Gambar 2.30 Diagram Blok Proses Pengendalian pada Mesin

Keterangan :

FDF = Force Drag Fan.

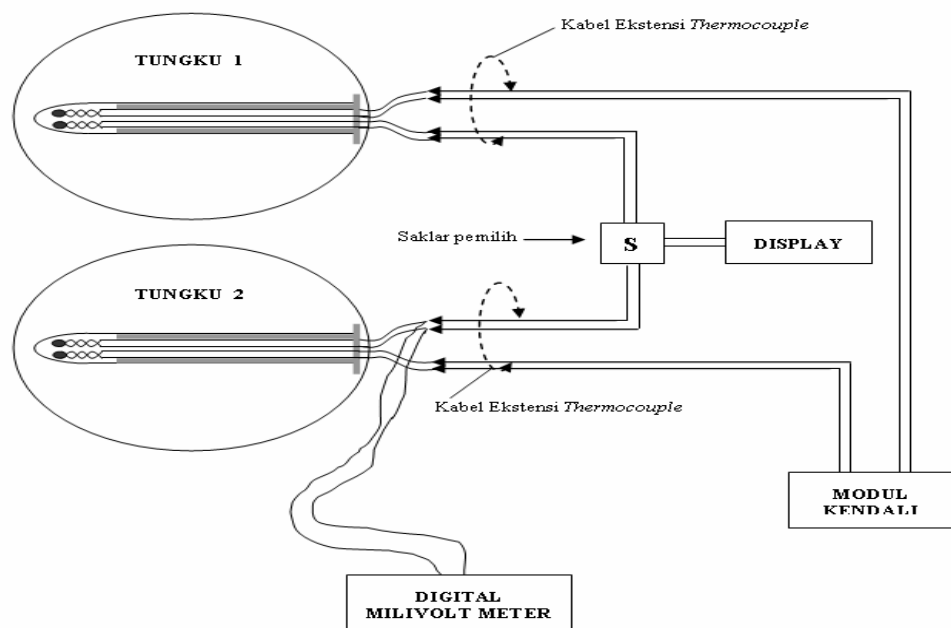
IDF = Induce Drag Fan

2.6.3 Prinsip Kerja Thermocouple PT100

Ketika akurasi tinggi dibutuhkan, kawat *thermocouple* harus dibuat lebih panjang hingga ke instrumen display temperatur, hal ini akan mengeliminasi kesalahan yang mungkin ada akibat penggunaan kawat ekstensi yang tidak memiliki karakteristik temperature-emf identik dengan *thermocouple*-nya. Jika koneksi langsung tidak dimungkinkan kawat ekstensi dapat digunakan. Kabel ekstensi harus mempunyai temperature-emf yang ekuivalen dengan range temperature yang akan diukur. Untuk kabel ekstensi *thermocouple* W3Re25 padatungku sinter dapat digunakan paduan logam dengan grade temperatur 0 – 260 oC (32 – 500oF).

Semua saklar yang digunakan dengan *thermocouple* harus memiliki kontruksikuat (dalam hal koneksi) dan di disain untuk menghubungkan dua kawat *thermocouple* ke rangkaian berikutnya. Saklar harus ditempatkan pada lokasi yang tidak dimungkinkan terjadinya fluktuasi temperatur yang disebabkan oleh udara atau radiasisumber panas. Analisa unjuk kerja *thermocouple* dilakukan dengan mengukur emf (mV) yang dibangkitkan dan membandingkannya dengan temperatur yang ditunjukkan oleh rekorder. Rekorder diasumsikan sudah memiliki factor konversi yang standar (oleh pabrik pembuat) yang diperuntukan untuk *thermocouple* jenis W3Re25. Pengukuran emf dilakukan pada *lead thermocouple*

(titik sambung antara kawat *thermocouple* dengan kabel ekstensi yang menghubungkannya dengan *switching*) Tungku 2 dengan menggunakan pengukur milivolt digital, pada setiap kenaikan temperatur 100oC emf yang dibangkitkan dicatat beserta parameter arus dan tegangan auto trafo selanjutnya data tersebut di tabelkan. Rangkaian pengukuran emf pada *lead thermocouple* tungku 2 diperlihatkan pada Gambar. Pengukuran dilakukan pada dua kali proses penyinteran dengan suhu puncak yang sama yaitu 1500oC saat penaikan temperatur (*increasing*) dan pada saat penurunan temperatur (*decreasing*). Hal ini dilakukan untuk mengetahui pola keduanya dan mencari lonjakan-lonjakan atau anomali yang terjadi pada pembangkitan emf



Gambar 2.31 Pengukuran emf pada Keluaran *Thermocouple*

A. Spesifikasi Alat

Spesifikasi sistem temperature *Range* 0 – 12 cm dikonversikan menjadi sinyal arus 4 – 20 mA. sensor PT100. Sensor ini tidak dapat langsung dihubungkan dengan DCS, tetapi hubungan dengan perangkat pengubah sinyal. Keluaran Sensor PT100 berupa resistansi dihubungkan dengan *temperature transmitter* melalui koneksi *3-wire*. Sebelumnya *transmitter* diprogram terlebih dahulu dengan *range* suhu 50° – 150° celcius. Proses rangkaian dalam *transmitter* ini akan membuat pembacaan sensor PT100 linear. Dengan ini keluaran *transmitter* akan memberikan nilai suhu linear pada *range* -50° – 150° celcius. Keluaran *transmitter* dihubungkan dengan *input* analog DCS dengan koneksi *2-wire*. *Range* -50° – 150° celcius dikonversikan menjadi sinyal arus 4 – 20 mA. Sinyal kontrol dieksekusi oleh *solenoid valve* yang bersifat *on – off* dengan *supply* 12 Vdc, melalui koneksi *2-wire*. Setelah ditentukan spesifikasi alat sesuai dengan konsep sistem yang dikendalikan, lalu dihubungkan melalui I/O DCS untuk dikontrol. Setelah I/O alat terhubung dengan media pengontrol, kemudian dilakukan pemrogram pada *function block, trend* dan *graphic* DCS.

B. Pt00 Temperature Sensor

Sensor Pt100 merupakan sensor jenis RTD. Kelompok sensor RTD (*Resistance Temperature Detector*) mendeteksi suhu berdasarkan nilai tahanan pada metal pembentuknya. RTD digunakan pada Pt100 terbuat dari platinum, ditunjukkan dalam Gambar 5. Sensor Pt100 memiliki jangkauan pengukuran dari -

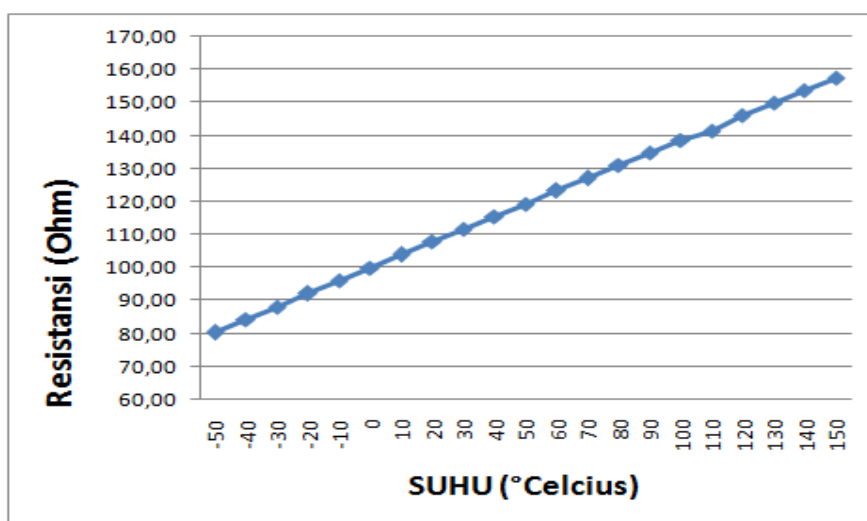
200° celcius sampaidengan 850° celcius. Perubahan resistansi rata – rata sebesar $0.3729\Omega/^{\circ}C$.

C. PR 5333 Programmable Temperature Transmitter

PR 5333 bekerja untuk mengkonversi keluaran sensor PT100 atau Ni100 menjadi nilai resistansi yang linear. Lalu, nilai tersebut diproses dalam rangkaian *transmitter* menjadi keluar standart industri 4 – 20 mA.

D. Poses kinerja Sensor Pt100

Tingkat kelinieran temperature terhadap sensor Pt100 dalam pembacaan temperatur air dalam ruang bakar, dan mengetahui waktu yang diperlukan *heater* untuk memanaskan air melalui pengukuran sensor Pt100. Melalui hasil pengukuran dengan multimeter didapatkan resistansi Pt100 saat suhu 100° celcius sama dengan 138,5 Ω . Nilai tersebut jika dibandingkan dengan datasheet, maka sensor Pt100 yang digunakan merupakan Pt100 kelas A (memiliki akurasi $\pm 0,06$ Ω) dengan grafik karakteristik.



Gambar 2.32 Grafik kenakan dan fungsi

Perhitungan dalam persamaan 1 menunjukkan fungsi persamaan resistansi Pt100 terhadap perubahan suhu.

$$R_{Pt100} - 100 = 138.5 - 100 = \text{suhu} - 0 - 0$$

$$R_{Pt100} - 100 = 0.385 \times \text{suhu}$$

$$R_{Pt100} - 100 = 0.385 \times \text{suhu}$$

$$R_{Pt100} = 100 + (0.385 \times \text{suhu})$$

Pt100 yang digunakan pada sistem ini dihubungkan dengan *temperature differential transmitter* yang telah diprogram dengan range pengukuran suhu -50° celcius sampai dengan 150° celcius. Pengukuran melalui Pt100 dan *transmitter* dibatasi pada range tersebut. Berdasarkan datasheet Pt100 kelas A, didapatkan nilai kenaikan resistansi dengan range pengukuran diberikan dalam Tabel.

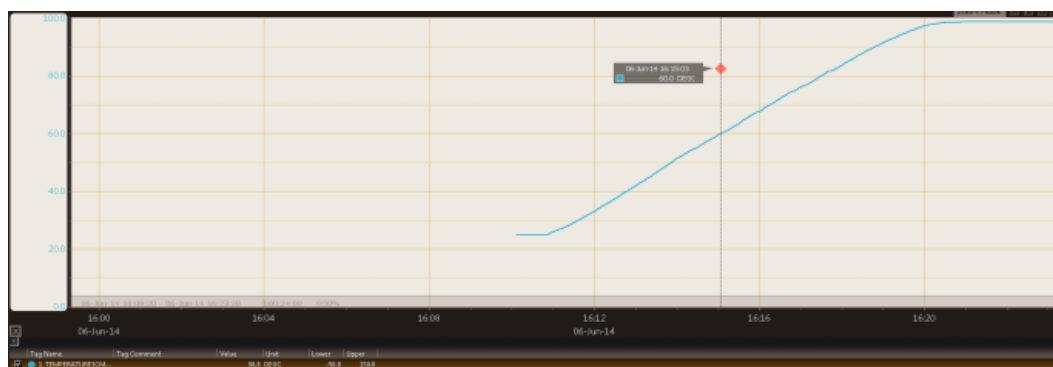
Tabel 1. Nilai Resistansi range -50° sampai dengan 150° celcius

SUHU (°Celcius)	Resistansi (Ohm)	SUHU (°Celcius)	Resistansi (Ohm)
-50	80,31	60	123,24
-40	84,27	70	127,08
-30	88,22	80	130,90
-20	92,16	90	134,71
-10	96,09	100	138,51
0	100,00	110	141,29
10	103,90	120	146,07
20	107,79	130	149,83
30	111,67	140	153,58
40	115,54	150	157,33
50	119,40		

Untuk mengetahui lamanya ruang bakar memanaskan air diberikan grafik hubungan waktu terhadap kenaikan temperatur.



Gambar 2.33 Grafik kenaikan Temperatur



Gambar 2.34 Grafik Hubungan Waktu terhadap Kenaikan Temperatur pada tinggi

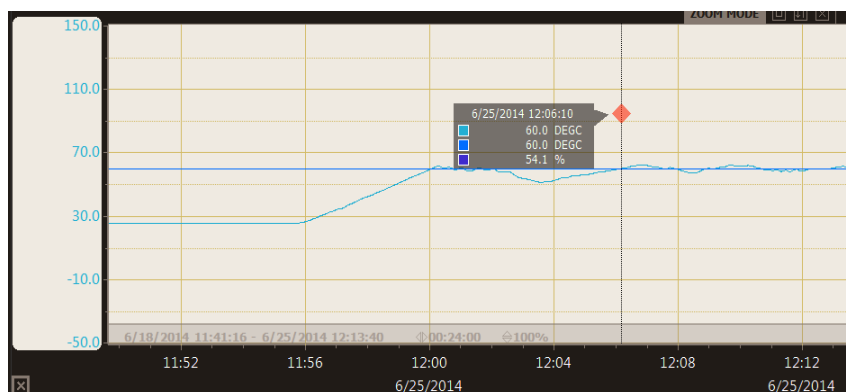
Terlihat waktu yang digunakan untuk memanaskan air diruang bakar pada ketinggian 3 M hingga suhu maksimum 98,8° celcius selama 10 menit, sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 60° celcius selama 4 menit 1 jam. Test pada tinggi air 3 cm dan suhu 60° celcius diperlukan untuk mngetahui waktu refrensi dalam pengendalian, karena suhu dalam pengendalian dikontrol pada 60° celcius meskipun suhu ruang bakar terus naik hingga maksimum. menunjukkan bahwa sensor Pt100 berkerja dengan baik dan mampu membaca kenaikan suhu, temperature transmitter mampu membaca keluaran Pt100 dan mentransmisikan sinyal 4 – 20 mA kedalam input DCS. Penunjukkan suhu melalui Pt100 dan transmitter ialah linier, hal ini terlihat melalui penunjukkan keluaran temperatur dengan transmitter dan pengukuran termometer ialah sama. Selain itu program DCS mampu memberikan tampilan hasil pengukuran melalui faceplate dan trend.

E. Sistem Keseluruhan

Sistem keseluruhan bertujuan mengetahui respon sistem ketinggian 3 cm hingga suhu maksimum $98,8^{\circ}$ celcius selama 10 menit, sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 60° celcius selama 4 menit 13 detik. Pengujian pada tinggi air 3 cm dan suhu 60° celcius diperlukan untuk mengetahui waktu refrensi dalam pengendalian, karena suhu dalam pengendalian dikontrol pada 60° celcius meskipun suhu *heater* terus naik hingga maksimum. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sensor Pt100 berkerja dengan baik dan mampu membaca kenaikan suhu, *temperature transmitter* mampu membaca keluaran Pt100 dan mentransmisikan sinyal 4 – 20 mA kedalam *input* DCS. Penunjukkan suhu melalui Pt100 dan *transmitter* ialah linier, hal ini terlihat melalui penunjukkan keluaran temperatur dengan *transmitter* dan pengukuran termometer ialah sama. Selain itu program DCS mampu memberikan tampilan hasil pengukuran melalui *faceplate* dan *trend*.

F. Keluaran Terhadap Temperatur

pengendalian terhadap temperatur Ruang Bakar diberikan



Gambar 2.35 Grafik Keluaran Temperatur

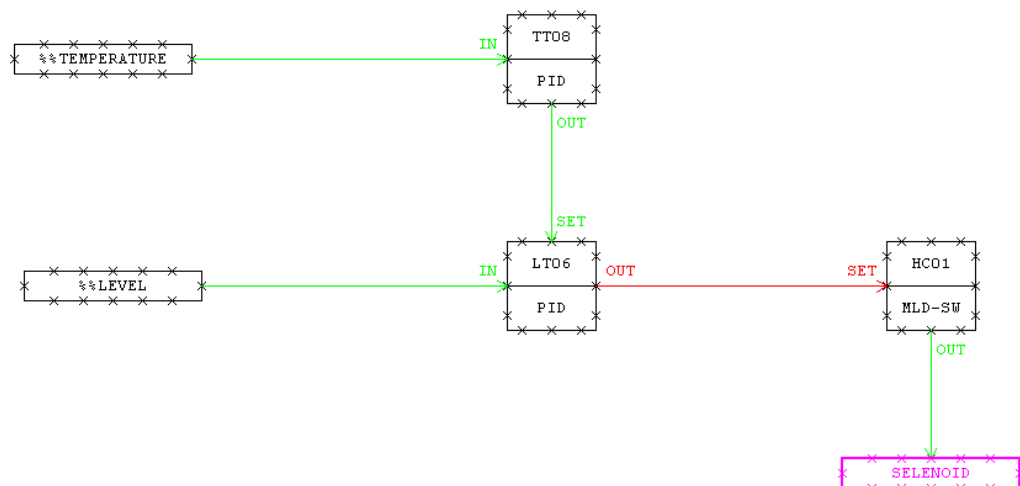
Menampilkan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai *steady state* (*settling time*) ialah 1 Jam, 24 detik dari suhu awal air 25,3° celcius hingga suhu yang dikendalikan 60° celcius, dan terdapat *error* yang disebabkan kenaikan pemanasan *heater* yang terus - menerus hingga membuat suhu air naik. Perhitungan persentase besarnya *error* diberikan dalam Persamaan 2: $\% Error = \frac{BesarError - (nilai\ steady\ state)}{nilai\ steady\ state} \times 100\%$ Untuk perhitungan persentase *error* pada data *error* ke - 1, sebagai berikut:

- Kenaikan temperatur = 62,5° celcius

$$\% Error = \frac{62,5 - (60)}{60} \times 100\% = 2,560 \times 100\% \quad \% Error = 4,17 \%$$

- Penurunan temperatur = 57,2° celcius

$\% Error = \frac{57,2 - (60)}{60} \times 100\% = - 2,860 \times 100\% \quad \% Error = - 4,67 \%$. Tanda negatif (-) pada - 4,67 % menunjukkan bahwa besarnya *error* 4,67 % mengakibatkan penurunan suhu akibat pendinginan yang diberikan oleh air yang



Gambar 2.36 Sistem Wiring Control

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Adapun lokasi penelitian berada di PT. Sari Incofood Corporation, JL. Raya Medan Lubuk Pakam, Km 18, 5 No. 33, Tanjung Morawa, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20362

3.2 Bahan Penelitian

1. Multi Tester
2. Thermo couple TipeK PT 100
3. Axe Display
4. Alat Tulis
5. Cangking
6. Peralatan Dokumenter

3.3 Data Penelitian

Jenis : Ketel Uap Pipa Air (Water Tube)

Type : N – 2200

Merk : Takuma Boiler

Kapasitas Uap : 46 Ton / Jam

Temperatur Air Umpan : 105⁰C

Temperatur Superheated : 259⁰C

Tekanan Kerja Maximum : 24 Bar

Konsumsi Bahan Bakar : 7500 Kg/Jam

Persentase campuran bahan bakar

1.Cangkang : 25 %

2.Serabut : 75 %

Dapur pembakaran

1.Panjang : 4 m

2.Lebar : 3 m

3.Tinggi : 6 m

4.Kemiringan atap : 25°

3.4 Jalanya Penelitian

Pada proses penelitian ini pertama air yang dimasukkan kedalam daerator yang di suplai oleh water pump dimasukkan kedalam water tube lalu pemanasan dilakukan dalam penuangan bahan bakar.Setelah itu bagian dari alat-alat yang dibutuhkan di hubungkan kesatu sama lain. Setelah itu diukur berapa tingkat kenaikan panas dengan menggunakan termokopel dan dilihat dari termometer dan juga hitunglah juga berapa penurunannya dengan menggunakan termokopel.

Tentunya termokopel memiliki kelebihan dan kekurangan sehingga dalam pemakaiannya perlu ditempatkan sesuai dengan penggunaannya sehingga bisa mendapatkan hasil yang lebih baik.

Sebelum kegiatan semua alat dan bahan harus tersedia semuanya. Kita mulai dengan Ujung termokopel chormel-alumel dimasukkan ke air dingin dan ujung satunya dimasukkan ke air yang sedang dipanaskan, lalu kita hitung perubahan suhu yang terjadi. Pencatatan besarnya tegangan yang terjadi dimulai

dari suhu 40°C hingga 80 °C dengan pencatatan setiap kenaikan atau penurunan suhu sebesar 5 °C. Tegangan yang tercatat berubah sangat lambat dan perubahannya sangat kecil, pada saat kenaikan suhu, suhu 222 °C volmeternya 1,6 volt, suhu 232°C sebesar 1,8 volt, suhu 261°C sebesar 2,0 volt, suhu 290°C sebesar 2,2 volt, suhu 321°C sebesar 2,4 volt, suhu 350°C sebesar 2,6 volt, suhu 410°C sebesar 2,8 volt, suhu 430°C sebesar 3,0 volt, dan pada suhu terakhir suhu 460°C sebesar 3,2 volt. Jadi hal ini menunjukkan kenaikan tegangan tidak terlalu besar.

Sedangkan dalam pengamatan penurunan suhu, didapat data yang tidak jauh berbeda dengan data awal, yaitu suhu 80°C sebesar 3,2 volt, suhu 75°C sebesar 3,0 volt, suhu 70°C sebesar 2,8 volt, suhu 65°C sebesar 2,6 volt, suhu 60°C sebesar 2,4 volt, suhu 55°C sebesar 2,2 volt, suhu 50°C sebesar 2,0 volt, suhu 45°C sebesar 1,8 volt, dan yang terakhir dengan suhu 40°C volmeternya 1,6 volt.

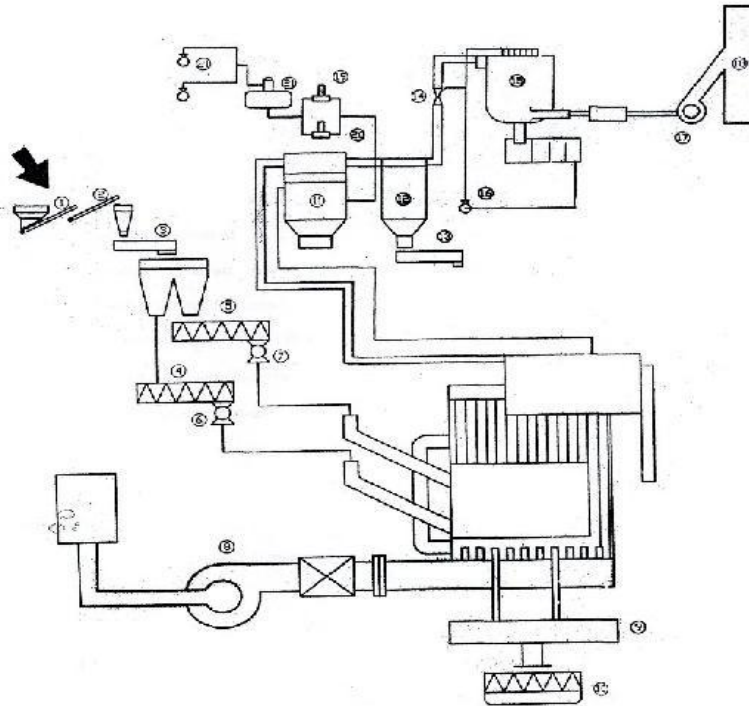
Dengan hasil pengamatan yang telah dilakukan, didapat perhitungan ralat kenaikan suhu sebagai berikut, Didapat nilai ralat perhitungan panas lebur dengan harga rata-rata sebesar $2,4 \times 10^{-3}$ deviasi rata-rata (a) sebesar $0,5 \times 10^{-3}$, deviasi standar (s) sebesar $0,54 \times 10^{-3}$, deviasi standar relatif (S) sebesar 22,5%, deviasi standar rata-rata (A) sebesar 20%, hasil pengukuran ($x + a$) sebesar $2,9 \times 10^{-3}$, hasil pengukuran ($x - a$) sebesar $-1,9 \times 10^{-3}$ dengan tingkat ketelitian sebesar 80%. Sedangkan pada ralat perhitungan penurunan suhu, didapat kan hasil yang sama dengan ralat kenaikan suhu yaitu dengan harga rata-rata sebesar $2,4 \times 10^{-3}$ deviasi rata-rata (a) sebesar $0,5 \times 10^{-3}$, deviasi standar (s) sebesar $0,54 \times 10^{-3}$, deviasi standar relatif (S) sebesar 22,5%, deviasi standar rata-rata (A) sebesar 20%, hasil

pengukuran $(x + a)$ sebesar $2,9 \times 10^{-3}$, hasil pengukuran $(x - a)$ sebesar $-1,9 \times 10^{-3}$ dengan tingkat ketelitian sebesar 80%.

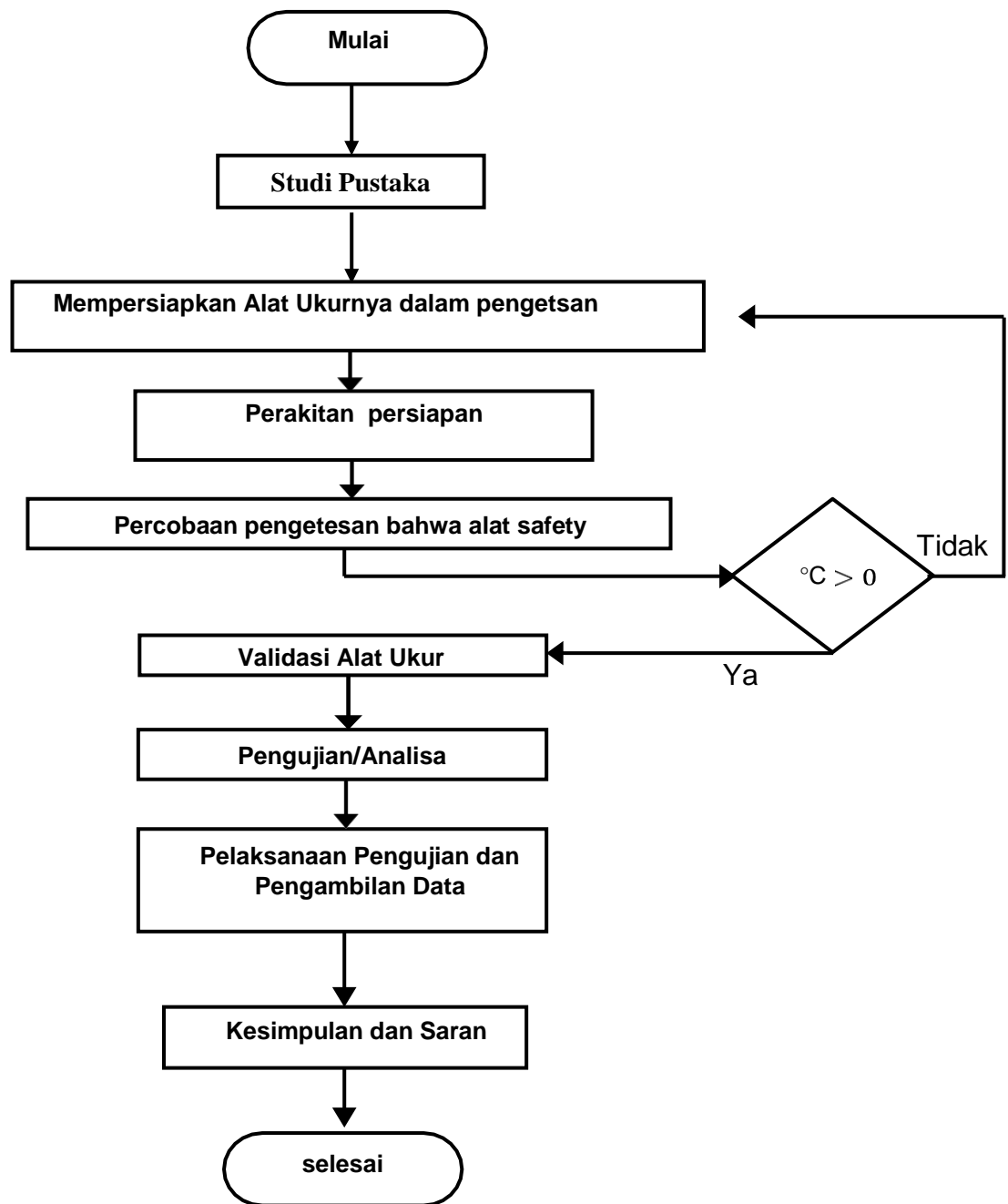
Kesamaan data, perhitungan dan besarnya tingkat ketelitian yang hanya sebesar 80% yang didapatkan terjadi karena pada praktikum kurang adanya ketelitian praktikan. Namun dari data yang didapat, dapat disimpulkan bahwa kenaikan suhu yang stabil berbanding lurus dengan kenaikan besarnya tegangan (v).

Air dipompa oleh feed pump dari sumber mata air lalu ditampung di dalam feed water tank lalu diteruskan ke dalam economizer yang berfungsi untuk memanasi air, agar sewaktu masuk kedalam pembakaran, airnya sudah panas dengan suhu tertentu sehingga cepat mendidih dan menjadi steam, setelah dari economizer kemudian masuk ke dalam Shell Boiler. Dalam Shell boiler tersambung ke pipa-pipa besi yang mengalirkan air ke dalam tungku pembakaran / Furnace maka proses pembakaran siap dimulai. Pasir silica dimasukkan ke dalam Furnace dengan level tertentu, juga arang dimasukkan dengan level tertentu. Arang ini berfungsi sebagai pemicu api agar mudah timbul, kemudian diberi minyak setelah itu dibakar. Setelah itu blower FDF dihidupkan untuk menghasilkan angin yang kaya akan oksigen untuk sempurnanya proses pembakaran. Angin tadi dialirkan ke nozel dengan hembusan ringan agar api tidak mudah padam, sehingga pasir silica bergejolak karena hembusan angin dari nozel. Pada suhu sudah tercapai 800°C batubara sudah siap dimasukkan. Selanjutnya batubara dari hooper dialirkan ke conveyor menuju cool bunker, selanjutnya dialirkan oleh cool screw conveyor menuju cool bunker sebelum masuk ke dalam ruang pembakaran. Selanjutnya dari cool bunker dialirkan oleh feeding screw menuju spreader yang berfungsi untuk melemparkan batubara agar merata di dalam furnace dan dibantu blower FDF

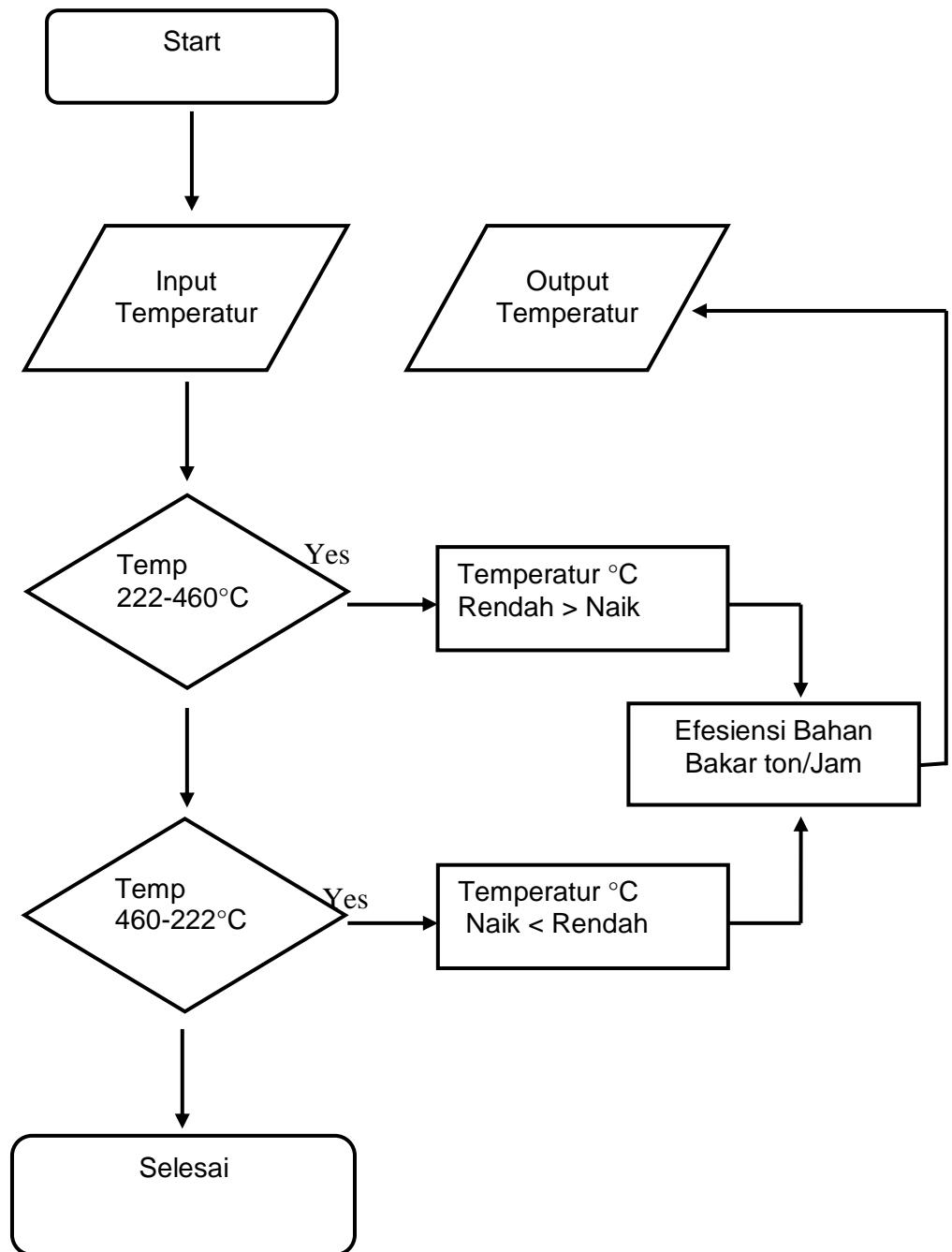
supaya proses pembakaran lebih maksimal. Asap dari sisa pembakaran akan di hisap oleh blower IDF menuju economizer. Di dalam economizer uap panas yang terkandung dalam asap diserap lagi dan dialirkan menuju multicyclone yang berfungsi menyaring debu dengan berat jenis yang lebih besar, setelah itu asap diteruskan menuju vnetury scrubber yang berfungsi sebagai penyaring debu dengan berat yang lebih kecil lalu asap menuju wet scrubber dan disemburi air oleh shower yang berfungsi mengikat debu yang berat jenisnya lebih bahkan sangat kecil supaya jatuh dalam bak.



Gambar 3.1 Diagram Blog Boiler



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian



Gambar 3.3 Flowchart Penelitian

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Bahan Bakar dan Efisiensi

A. Analisa Bahan Bakar Ketel Uap

Bahan bakar adalah suatu zat dimana energi diperoleh dengan reaksi kimia atau reaksi nuklir. Reaksi kimia pembakaran terjadi apabila unsur-unsur dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen. Komponen yang paling utama dalam bahan bakar adalah karbon dan hidrogen.

A. Bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat mengandung unsur antara lain C (karbon), H (hidrogen), zat asam, oksigen (O₂), nitrogen (N₂), belerang (S), abu dan air. Bahan bakar padat terdiri dari :

- a. Bahan bakar padat alamiah, misalnya : kayu, batubara, antrasit.
- b. Bahan bakar padat buatan, misalnya : arang kayu, briket, cangkang dan serabut kelapa sawit, tempurung kelapa dan lain-lain.

2. Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair berasal dari minyak bumi. Bahan bakar cair pada umumnya adalah campuran hidrokarbon (HC). Bahan bakar cair terdiri atas bahan bakar cair alamiah, misalnya : *crude oil*, minyak mentah (*natural poetrileum*), bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*), minyak bakar (*fuel oils*).

3. Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas merupakan bahan bakar yang paling mudah terbakar karena gas mudah bereaksi dengan udara dan oksigen. Bahan bakar gas terdiri dari gas alam, misalnya : CH_4 , CH_6 , *Carbon monoksida* (CO), LNG, LPG, sedangkan bahan bakar gas buatan, misalnya : gas kota (*coal gas*), gas cair (*water gas*), dan gas cair yaitu campuran hidrogen (H) dan *Carbon monoksida* (CO), dan lain-lain.

4. Bahan Bakar Nuklir

Bahan bakar nuklir, misalnya : uranium, protonium, dan lain-lain. Pada Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) ini digunakan ketel uap yang berbahan bakar padat yaitu campuran dari serabut dan cangkang, disamping bahan bakar ini mudah didapat di wilayah pabrik, nilai kalor yang ditimbulkan juga memenuhi persyaratan untuk nilai bahan bakar yang digunakan.

Adapun komposisi dari unsur-unsur kimia bahan bakar serabut dan cangkang kelapa sawit adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Komposisi Bahan Bakar Serabut dan Cangkang

No.	Unsur	Cangkang %	Serabut %
1	Karbon (C)	50,70	53,30
2	Hidrogen (H_2)	6,15	6,39
3	Nitrogen (N_2)	1,76	0,82
4	Oksigen (O_2)	34,70	35,60
5	Sulfur	0,19	0,08
6	Abu	6,50	3,81
TOTAL		100 %	100 %

B. Nilai Kalor Bahan Bakar (*Heating Value*)

Dari rumus Dulong dan Petit diperoleh Nilai Kalor Atas (HHV) dan Nilai Kalor Bawah (LHV) dari bahan bakar cangkang dan serabut.

Nilai kalor (*Heating Value*) diartikan sebagai energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Nilai kalor bahan bakar terdiri atas dua bagian yaitu :

1) Nilai Kalor Atas (HHV)

Nilai kalor atas (*High Heating Value*) yaitu banyaknya panas yang diperoleh dari pembakaran sempurna satu kilogram (1 kg) bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap air pada bahan bakar tersebut, dimana HHV ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus “Dulong dan Petit”.

2) Nilai Kalor Bawah (LHV)

Nilai kalor bawah (*Low Heating Value*) adalah banyaknya panas yang diperoleh pada pembakaran sempurna dari satu kilogram (1 kg) bahan bakar tanpa memperhitungkan panas kondensasi uap air pada bahan bakar tersebut.

Perbandingan bahan bakar cangkang dan serabut 1 : 3, maka komposisi 1 kg bahan bakar campuran cangkang dan serabut adalah :

$$C = \frac{1}{4} 0,5070 + \frac{3}{4} 0,5330 = 0,5265 \text{ kg kg bahan bakar}$$

$$H_2 = \frac{1}{4} 0,0615 + \frac{3}{4} 0,0639 = 0,0633 \text{ kg kg bahan bakar}$$

$$N_2 = \frac{1}{4} 0,0176 + \frac{3}{4} 0,0082 = 0,01055 \text{ kg kg bahan bakar}$$

$$O_2 = \frac{1}{4} 0,3470 + \frac{3}{4} 0,3560 = 0,35375 \text{ kg kg bahan bakar}$$

$$S = \frac{1}{4} 0,0019 + \frac{3}{4} 0,0008 = 0,001075 \text{ kg kg bahan bakar}$$

$$\text{Abu} = \frac{1}{4} 0,0650 + \frac{3}{4} 0,0381 = 0,044825 \text{ kg kg bahan bakar}$$

Jumlah = 1 kg kg bahan bakar

Tabel 4.2 Nilai Kalor Berdasarkan Perbandingan Cangkang dan Serabut

perbandingan cangkang dan serabut	HHV [kJ/kg]	LHV [kJ/kg]
1 : 1	20372,2425	19017,9225
1 : 2	20548,1683	19185,2083
1 : 3	20636,29625	19269,01625
2 : 1	20196,3167	18850,6367
3 : 1	20108,18875	18766,82875

Dari tabel 4.2.diatas, maka perbandingan bahan bakar cangkang dan serabut yang digunakan adalah 1 : 3. Hal ini dikarenakan nilai LHV yang optimum adalah pada perbandingan 1 : 3.

Jadi dapat diperoleh Nilai Kalor Atas (HHV) dan Nilai Kalor Bawah (LHV) dari persamaan Dulong - Petit adalah :

$$\begin{aligned} \text{HHV} &= 33950 C + 144200 \left(\frac{O}{8} \right) + 9400 S \\ &= 33950 (0,5265) + 144200 \left(\frac{0,0 - 0,35375}{8} \right) \\ &\quad + 9400 (0,001075) = 20636,29625 \text{ [kJ / kg]} \end{aligned}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400 \text{ 9H}_2$$

$$= 20636,29625 - 2400 \cdot 9 \cdot 0,0633$$

$$= 19269,01625 \text{ kJ kg}$$

B. Kebutuhan Udara Pembakaran

Untuk mendapatkan proses pembakaran bahan bakar yang sempurna, maka diperlukan udara pembakaran. Dalam menentukan konsumsi udara pembakaran kita perlu mengetahui komposisi bahan bakar yang digunakan. Perbandingan cangkang dan serabut yang diambil 1 : 3 yaitu 25 % cangkang dan 75 % serabut, maka komposisi kimia dari campuran bahan bakar tersebut adalah :

$$C = 52,65 \%$$

$$H_2 = 6,33 \%$$

$$O_2 = 35,375 \%$$

$$N_2 = 1,055 \%$$

$$S = 0,1075 \%$$

$$\text{Abu} = 4,4825 \%$$

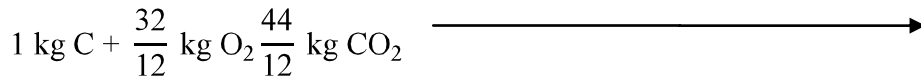
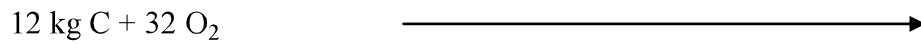
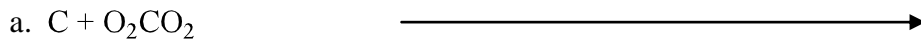
$$\text{Jumlah} = 100 \%$$

Dalam proses pembakaran tidak semua unsur bereaksi dengan oksigen (O_2) seperti nitrogen (N_2), unsur ini akan keluar bersama gas asap. Besarnya jumlah nitrogen (N_2) ini bergantung kepada jumlah udara pembakaran yang dibutuhkan dan jumlah nitrogen yang tergantung di dalam bahan bakar itu sendiri.

Tabel 4.3. Komposisi udara

Komposisi	% massa	% volume
Oksigen (O_2)	23	21
Nitrogen (N_2)	77	79

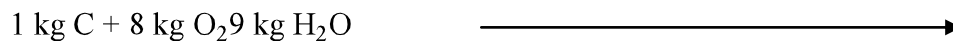
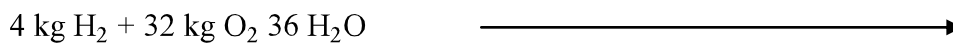
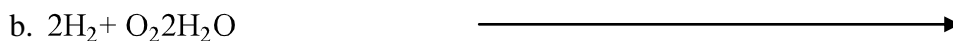
Pada bahan bakar cangkang dan serabut komposisi kimia yang bereaksi dengan O_2 pada pembakaran sempurna adalah C, H_2 dan S dengan reaksi kimia adalah:



sehingga untuk setiap pembakaran 1 kg C membutuhkan $\frac{32}{12}$ kg O_2

$$0,5265 \text{ kg C} \text{ membutuhkan} = 0,5265 \times \frac{32}{12}$$

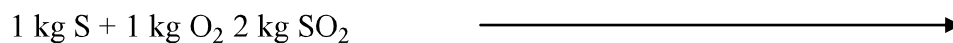
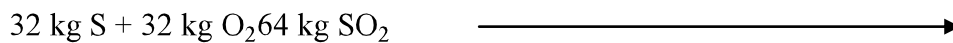
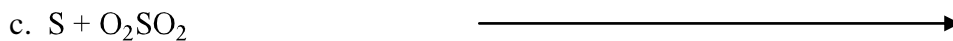
$$= 1,404 \text{ kg kg bahan bakar}$$



Sehingga untuk setiap pembakaran 1 kg H_2 membutuhkan 8 kg O_2

$$0,0633 \text{ kg } H_2 \text{ membutuhkan} = 0,0633 \times 8$$

$$= 0,5064 \text{ kg kg bahan bakar}$$



Sehingga untuk setiap pembakaran 1 kg S membutuhkan 1 kg O_2

$$0,001075 \text{ kg S} \text{ membutuhkan} = 0,001075 \times 1$$

$$= 0,001075 \text{ kg kg bahan bakar}$$

Sedangkan jumlah oksigen (O_2) yang terkandung di dalam bahan bakar cangkang dan serabut sebanyak 0,35375 kg oleh karena itu, jumlah oksigen yang dibutuhkan (teoritis atau stoikiometri) pada proses pembakaran adalah sebagai berikut :

$$m_{O_2} = 1,404 + 0,5064 + 0,001075 - 0,35375 = 1,557725 \text{ kg kg bahan bakar}$$

Maka untuk 1 kg bahan bakar cangkang dan serabut membutuhkan oksigen sebesar 1,557725 kg

Jumlah massa udara yang dibutuhkan (stoikiometri) untuk pembakaran 1 kg bahan bakar cangkang dan serabut adalah :

$$M_{ud \text{ teo}} = \frac{100}{23} \times 1,557725 \text{ kg}$$

$$= 6,772717391 \text{ kg udara kg bahan bakar}$$

Agar terjadi proses pembakaran sempurna maka ditambahkan Excess Air (EA) 50 %. Maka udara secara actual adalah :

$$M_{ud \text{ act}} = M_{ud \text{ teo}} \times (1 + EA)$$

$$= 6,772717391 \times (1 + 0,5)$$

$$= 10,15907609 \text{ kg udara kg bahan bakar}$$

Maka jumlah udara yang dimasukkan ke dalam ruang bakar adalah :

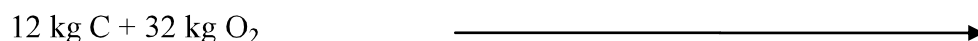
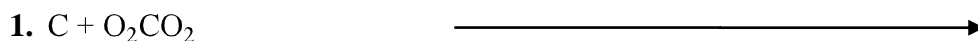
$$M_{ud \text{ act total}} = M_{ud \text{ act}} \times m_{bb}$$

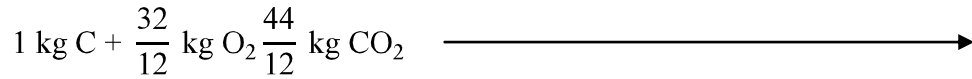
$$= 10,15907609 \times 7500$$

$$= 76193,07068 \text{ kg udara jam}$$

C. Analisa Gas Asap

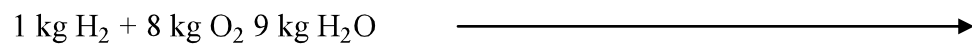
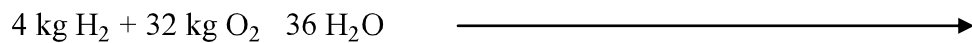
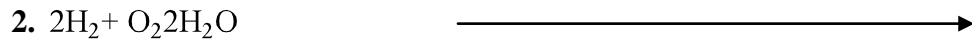
Dari reaksi proses pembakaran sebagai berikut :





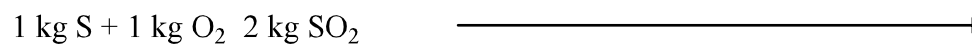
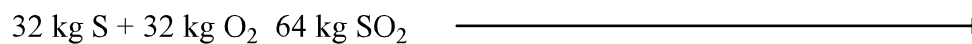
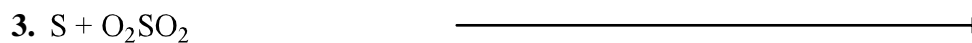
sehingga untuk 0,5265 kg C menghasilkan = $\frac{44}{12} \times 0,5265 \text{ kg CO}_2$

$$= 1,9305 \text{ kg CO}_2$$



sehingga untuk 0,0633 kg H₂ menghasilkan = $9 \times 0,0633 \text{ kg H}_2\text{O}$

$$= 0,5697 \text{ kg H}_2\text{O}$$



Sehingga untuk menghasilkan 0,001075 kg S menghasilkan

$$= 2 \times 0,001075 \text{ kg SO}_2$$

$$= 0,00215 \text{ kg SO}_2$$

Maka kelebihan udara (Excess Air) untuk pembakaran 1 kg bahan bakar adalah

$$= 1,5 \times 6,772717391$$

$$= 10,15907609 \text{ kg udara}$$

$$\text{Massa O}_2 \text{ excess} = \frac{23}{100} \times \text{Excess Air}$$

$$= \frac{23}{100} \times 10,15907609$$

$$= 2,336587501 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa N}_2 \text{ adalah} &= \frac{77}{100} \times \text{udara actual} + \text{N}_2 \text{ dalam bahan bakar} \\ &= \frac{77}{100} \times 10,15907609 + 0,01055 \\ &= 7,833038589 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jadi total massa gas asap yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar dengan basis 1 kg adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} m_g &= 1,9305 + 0,5697 + 0,00215 + 2,336587501 + 7,833038589 \\ &= 12,67197609 \text{ kg gas asap kg bahan bakar} \end{aligned}$$

Maka jumlah bahan bakar cangkang dan serabut $m_{bb} = 3400$ kg jam dihasilkan gas asap sebesar :

$$\begin{aligned} m_g &= 12,67197609 \times 7500 \\ &= 95039,82068 \text{ kg gas asap jam} \end{aligned}$$

D. Efisiensi Ketel Uap

Efisiensi ketel uap dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta_B &= \frac{Q_{\text{uap}}}{Q_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{m_u \cdot h_u - h_a}{m_{bb} \cdot \text{LHV}} \times 100\% \end{aligned}$$

1. Jumlah panas penguapan

Secara interpolasi entalphi spesifik uap (h_u) dapat diperoleh :

$$P = 20 \text{ bar}$$

$$P = 20 \text{ bar}$$

$$T = 250 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_u = 2903,3 \text{ kJ kg}$$

$$h_u = 3024,2 \text{ kJ kg}$$

$$P = 20 \text{ bar}$$

$$T = 290 \text{ °C}$$

$$\frac{290 - 250}{300 - 250} = \frac{h_u - 2903,3}{3024,2 - 2903,3}$$

$$\frac{40}{50} = \frac{h_u - 2903,3}{120,9}$$

$$0,8 = \frac{h_u - 2903,3}{120,9}$$

$$h_u - 2903,3 = 96,72$$

$$h_u = 3000,02 \text{ kJ kg}$$

$$P = 30 \text{ bar}$$

$$T = 250 \text{ °C}$$

$$h_u = 2856,5 \text{ kJ kg}$$

$$P = 30 \text{ bar}$$

$$T = 290 \text{ °C}$$

$$\frac{290 - 250}{300 - 250} = \frac{h_u - 2856,5}{2994,3 - 2856,5}$$

$$\frac{40}{50} = \frac{h_u - 2856,5}{137,8}$$

$$0,8 = \frac{h_u - 2856,5}{137,8}$$

$$h_u - 2856,5 = 110,24$$

$$h_u = 2966,74 \text{ kJ kg}$$

$$P = 20 \text{ bar}$$

$$T = 290 \text{ °C}$$

$$P = 30 \text{ bar}$$

$$T = 300 \text{ °C}$$

$$h_u = 2994,3 \text{ kJ kg}$$

$$P = 30 \text{ bar}$$

$$T = 290 \text{ °C}$$

$$h_u = 3000,02 \text{ kJ kg} \quad h_u = 2966,74 \text{ kJ kg}$$

$$P = 24 \text{ bar}$$

$$T = 290 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\frac{24 - 20}{30 - 20} = \frac{h_u - 3000,02}{2966,74 - 3000,02}$$

$$\frac{4}{10} = \frac{h_u - 3000,02}{-33,28}$$

$$0,4 = \frac{h_u - 3000,02}{-33,28}$$

$$h_u - 3000,02 = -33,28$$

$$h_u = 2966,74 \text{ kJ kg}$$

Entalpi spesifik air (h_a) pada $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ adalah $418,65 \text{ kJ kg}$

$$Q_{\text{uap}} = m_u \cdot h_u - h_a$$

$$= 45000 \text{ kg jam} \cdot 2966,74 - 418,65 \text{ kJ kg}$$

$$= 115562610 \text{ kJ jam}$$

Energi panas yang masuk

$$Q_{\text{in}} = m_{\text{bb}} \cdot E$$

$$= m_{\text{bb}} \cdot \text{LHV}$$

$$= 7500 \text{ kg jam} \cdot 19269,01625 \text{ kJ kg}$$

$$= 144517629,9 \text{ kJ jam}$$

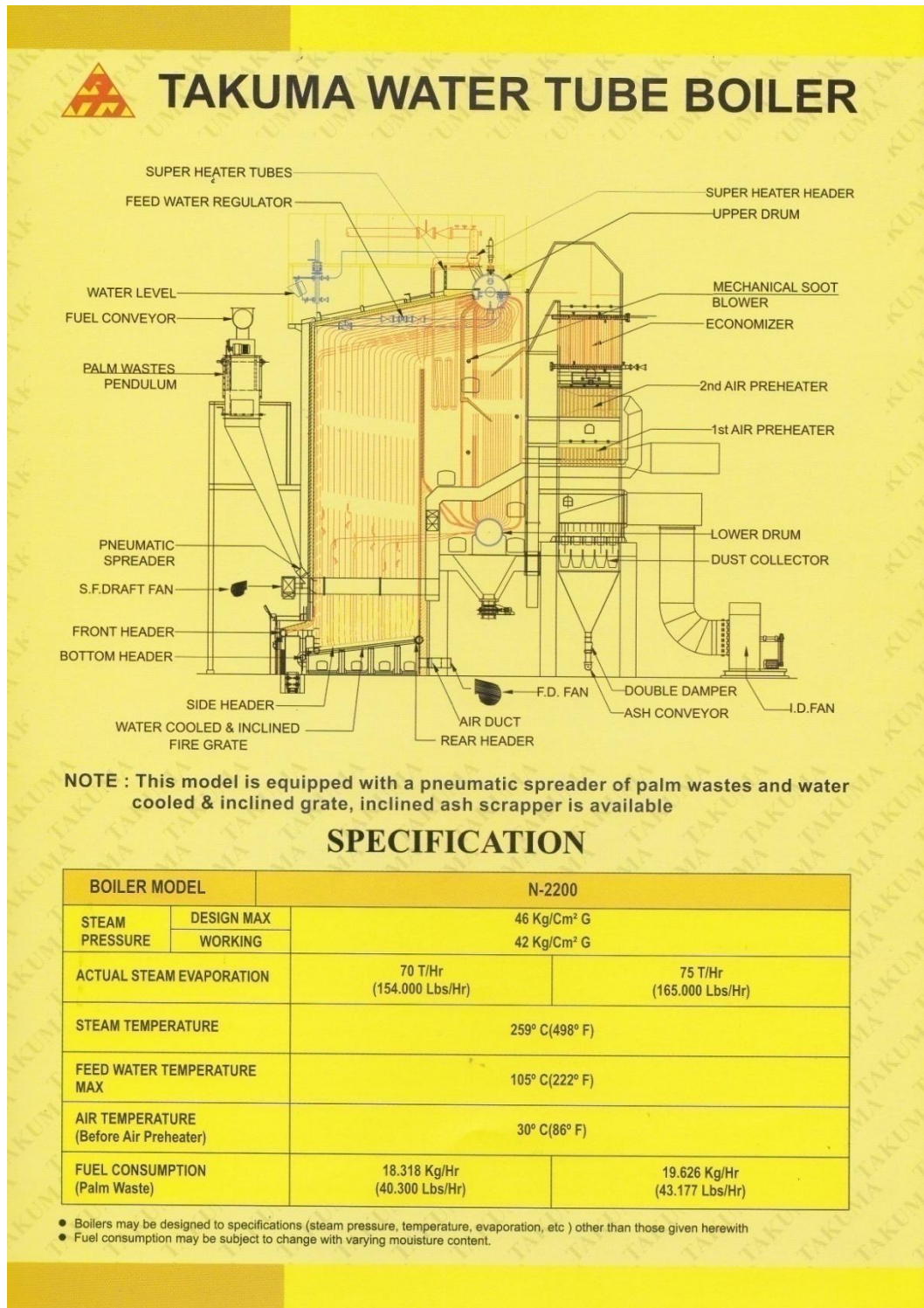
Maka efisiensi ketel uap adalah

$$\eta_B = \frac{115562610 \text{ kJ jam}}{144517629,9 \text{ kJ jam}} \times 100\%$$

$$= 0,799 \times 100\%$$

$$= 79,9 \%$$

4.2 Analisa Kinerja Thermocouple



Gambar 4.1 kapasitas boiler

1. Tabel Hasil Pengamatan

1. Tabel pengamatan kenaikan suhu

No.	Suhu(⁰ C)	Tegangan (V)	Per Jam	25 T/Hr
1	222 ⁰ C	1,6 x 10 ⁻³	08:00	42 Kg/Cm ²
2	232 ⁰ C	1,8 x 10 ⁻³	09:00	42 Kg/Cm ²
3	261 ⁰ C	2,0 x 10 ⁻³	10:00	42 Kg/Cm ²
4	290 ⁰ C	2,2 x 10 ⁻³	11:00	42 Kg/Cm ²
5	321 ⁰ C	2,4 x 10 ⁻³	12:00	42 Kg/Cm ²
6	350 ⁰ C	2,6 x 10 ⁻³	13:00	42 Kg/Cm ²
7	410 ⁰ C	2,8 x 10 ⁻³	14:00	42 Kg/Cm ²
8	430 ⁰ C	3,0 x 10 ⁻³	15:00	42 Kg/Cm ²
9	460 ⁰ C	3,2 x 10 ⁻³	16:00	42 Kg/Cm ²
Σ		21,6 x 10 ⁻³		

2. Tabel pengamatan penurunan suhu

No	Suhu(⁰ C)	Tegangan (V)	Per jam	25 T/Hr
1	460 ⁰ C	3,2 x 10 ⁻³	17:00	42 Kg/Cm ²
2	430 ⁰ C	3,0 x 10 ⁻³	18:00	42 Kg/Cm ²
3	410 ⁰ C	2,8 x 10 ⁻³	19:00	42 Kg/Cm ²
4	350 ⁰ C	2,6 x 10 ⁻³	20:00	42 Kg/Cm ²
5	321 ⁰ C	2,4 x 10 ⁻³	21:00	42 Kg/Cm ²
6	290 ⁰ C	2,2 x 10 ⁻³	22:00	42 Kg/Cm ²
7	261 ⁰ C	2,0 x 10 ⁻³	23:00	42 Kg/Cm ²
8	232 ⁰ C	1,8 x 10 ⁻³	00:00	42 Kg/Cm ²

9	222 ⁰ C	1,6 x 10 ⁻³	01:00	42 Kg/Cm ²
Σ		21,6 x 10 ⁻³		

2. Perhitungan

1. Perhitungan ralat kenaikan suhu

No	x n (10 ⁻³)	x n-x (10 ⁻³)	[x n-x](10 ⁻³)	[x n-x] ² (10 ⁻⁶)
1.	1,6 x 10 ⁻³	-0,8 x 10 ⁻³	0,8 x 10 ⁻³	0,64 x 10 ⁻⁶
2.	1,8 x 10 ⁻³	-0,6 x 10 ⁻³	0,6 x 10 ⁻³	0,36 x 10 ⁻⁶
3.	2,0 x 10 ⁻³	-0,4 x 10 ⁻³	0,4 x 10 ⁻³	0,16 x 10 ⁻⁶
4.	2,2 x 10 ⁻³	-0,2 x 10 ⁻³	0,2 x 10 ⁻³	0,04 x 10 ⁻⁶
5.	2,4 x 10 ⁻³	0 x 10 ⁻³	0 x 10 ⁻³	0 x 10 ⁻⁶
6.	2,6 x 10 ⁻³	0,2 x 10 ⁻³	0,2 x 10 ⁻³	0,04 x 10 ⁻⁶
7.	2,8 x 10 ⁻³	0,4 x 10 ⁻³	0,4 x 10 ⁻³	0,16 x 10 ⁻⁶
8.	3,0 x 10 ⁻³	0,6 x 10 ⁻³	0,6 x 10 ⁻³	0,36 x 10 ⁻⁶
9.	3,2 x 10 ⁻³	0,8 x 10 ⁻³	0,8 x 10 ⁻³	0,64 x 10 ⁻⁶
Σ	21,6 x 10 ⁻³	0 x 10 ⁻³	4 x 10 ⁻³	2,4 x 10 ⁻⁶

Perhitungan:

1. Nilai rata-rata (X)

$$x = \frac{\sum xn}{n} = \frac{21,6 \times 10^{-3}}{9} = 2,4 \times 10^{-3}$$

2. Deviasi rata-rata (a)

$$a = \frac{\sum [xn-x]}{n-1} = \frac{4 \times 10^{-3}}{9-1} = 0,5 \times 10^{-3}$$

3. Deviasi standar (s)

$$s = \sqrt{\frac{\sum [xn-x]^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{2,4 \times 10^{-6}}{9-1}} = 0,54 \times 10^{-6}$$

4. Deviasi rata-rata relatif (A)

$$A = \frac{a}{x} \times 100\% = \frac{0,5 \times 10^{-3}}{2,4 \times 10^{-3}} \times 100\% = 20\%$$

5. Deviasi standar relatif (S)

$$S = \frac{a}{x} \times 100\% = \frac{0,54 \times 10^{-3}}{2,4 \times 10^{-3}} \times 100\% = 22,5\%$$

6. Hasil pengukuran ($X \pm a$)

$$(x + a) = 2,4 \times 10^{-3} + 0,5 \times 10^{-3} = 2,9 \times 10^{-3}$$

$$(x - a) = 2,4 \times 10^{-3} - 0,5 \times 10^{-3} = 1,9 \times 10^{-3}$$

7. Ketelitian

$$100\% - A = 100\% - 20\% = 80\%$$

a. Perhitungan alat penurunan suhu

No	x n	x n-x	[x n-x]	[x n-x] ²
1	3,2 $\times 10^{-3}$	0,8 $\times 10^{-3}$	0,8 $\times 10^{-3}$	0,64 $\times 10^{-6}$
2	3,0 $\times 10^{-3}$	0,6 $\times 10^{-3}$	0,6 $\times 10^{-3}$	0,36 $\times 10^{-6}$
3	2,8 $\times 10^{-3}$	0,4 $\times 10^{-3}$	0,4 $\times 10^{-3}$	0,16 $\times 10^{-6}$
4	2,6 $\times 10^{-3}$	0,2 $\times 10^{-3}$	0,2 $\times 10^{-3}$	0,04 $\times 10^{-6}$
5	2,4 $\times 10^{-3}$	0 $\times 10^{-3}$	0 $\times 10^{-3}$	0 $\times 10^{-6}$
6	2,2 $\times 10^{-3}$	-0,2 $\times 10^{-3}$	0,2 $\times 10^{-3}$	0,04 $\times 10^{-6}$
7	2,0 $\times 10^{-3}$	-0,4 $\times 10^{-3}$	0,4 $\times 10^{-3}$	0,16 $\times 10^{-6}$
8	1,8 $\times 10^{-3}$	-0,6 $\times 10^{-3}$	0,6 $\times 10^{-3}$	0,36 $\times 10^{-6}$
9	1,6 $\times 10^{-3}$	-0,8 $\times 10^{-3}$	0,8 $\times 10^{-3}$	0,64 $\times 10^{-6}$
Σ	21,6 $\times 10^{-3}$	0	4 $\times 10^{-3}$	2,4 $\times 10^{-6}$

Perhitungan:

1. Nilai rata-rata (X)

$$x = \frac{\sum xn}{n} = \frac{21,6 \times 10^{-3}}{9} = 2,4 \times 10^{-3}$$

2. Deviasi rata-rata (a)

$$a = \frac{\sum [xn-x]}{n-1} = \frac{4 \times 10^{-3}}{9-1} = 0,5 \times 10^{-3}$$

3. Deviasi standar (s)

$$s = \frac{\frac{\sum [xn-x]^2}{n-1}}{\frac{\sum [xn-x]}{n-1}} = \frac{2,4 \times 10^{-6}}{9-1} = 0,54 \times 10^{-6}$$

4. Deviasi rata-rata relatif (A)

$$A = \frac{a}{x} \times 100\% = \frac{0,5 \times 10^{-3}}{2,4 \times 10^{-3}} \times 100\% = 20\%$$

5. Deviasi standar relatif (S)

$$S = \frac{s}{x} \times 100\% = \frac{0,54 \times 10^{-3}}{2,4 \times 10^{-3}} \times 100\% = 22,5\%$$

6. Hasil pengukuran ($X \pm a$)

$$(x + a) = 2,4 \times 10^{-3} + 0,5 \times 10^{-3} = 2,9 \times 10^{-3}$$

$$(x - a) = 2,4 \times 10^{-3} - 0,5 \times 10^{-3} = 1,9 \times 10^{-3}$$

7. Ketelitian

$$100\% - A = 100\% - 20\% = 80\%$$

Sebelum kegiatan semua alat dan bahan harus tersedia semuanya. Kita mulai dengan Ujung termokopel chormel-alumel dimasukkan ke es dan ujung satunya dimasukkan ke air yang sedang dipanaskan. Pencatatan besarnya tegangan yang terjadi dimulai dari suhu 40 °C hingga 80 °C dengan pencatatan setiap kenaikan atau penurunan suhu sebesar 5 °C. Tegangan yang tercatat berubah sangat lambat dan perubahannya sangat kecil, pada saat kenaikan suhu, suhu 222°C

volmeternya 1,6 volt, suhu 232°C sebesar 1,8 volt, suhu 261°C sebesar 2,0 volt, suhu 290°C sebesar 2,2 volt, suhu 321°C sebesar 2,4 volt, suhu 350°C sebesar 2,6 volt, suhu 410°C sebesar 2,8 volt, suhu 430°C sebesar 3,0 volt, dan pada suhu terakhir suhu 460°C sebesar 3,2 volt. Jadi hal ini menunjukkan kenaikan tegangan tidak terlalu besar. Sedangkan dalam pengamatan penurunan suhu, didapat data yang tidak jauh berbeda dengan data awal, yaitu suhu 80°C sebesar 3,2 volt, suhu 75°C sebesar 3,0 volt, suhu 70°C sebesar 2,8 volt, suhu 65°C sebesar 2,6 volt, suhu 60°C sebesar 2,4 volt, suhu 55°C sebesar 2,2 volt, suhu 50°C sebesar 2,0 volt, suhu 45°C sebesar 1,8 volt, dan yang terakhir dengan suhu 40°C volmeternya 1,6 volt. Didapat nilai ralat perhitungan panas lebur dengan harga rata-rata sebesar $2,4 \times 10^{-3}$ deviasi rata-rata (a) sebesar $0,5 \times 10^{-3}$, deviasi standar (s) sebesar $0,54 \times 10^{-3}$, deviasi standar relatif (S) sebesar 22,5%, deviasi standar rata-rata (A) sebesar 20%, hasil pengukuran sebesar $2,9 \times 10^{-3}$, hasil pengukuran sebesar $-1,9 \times 10^{-3}$ dengan tingkat ketelitian sebesar 80%. Sedangkan pada ralat perhitungan penurunan suhu, didapat kan hasil yang sama dengan ralat kenaikan suhu yaitu dengan harga rata-rata sebesar $2,4 \times 10^{-3}$ deviasi rata-rata (a) sebesar $0,5 \times 10^{-3}$, deviasi standar (s) sebesar $0,54 \times 10^{-3}$, deviasi standar relatif (S) sebesar 22,5%, deviasi standar rata-rata (A) sebesar 20%, hasil pengukuran sebesar $2,9 \times 10^{-3}$, hasil pengukuran sebesar $-1,9 \times 10^{-3}$ dengan tingkat ketelitian sebesar 80%.

Kesamaan data, perhitungan dan besarnya tingkat ketelitian yang hanya sebesar 80% yang didapatkan terjadi karena pada praktikum kurang adanya ketelitian praktikan. Namun dari data yang didapat, dapat disimpulkan bahwa kenaikan suhu yang stabil berbanding lurus dengan kenaikan besarnya tegangan (v)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pelaksanaan penelitian dan penyusunan yang berjudul “*Analisis Water tube boiler menggunakan thermocouple tipe k pt100 sebagai sensor temperature dan differential pressure pada boiler*”.

dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Mesin boiler adalah sebuah mesin yang berfungsi untuk menghasilkan Uap Air / Steam. Dengan mempunyai prinsip kerja yaitu mendidihkan air.

Komponen utama dari Mesin Boiler adalah Shellwater/Tangki penampung air, Tungku Pembakaran, Feed Water Tank/tangki penampung air kondensasi, Blower IDF dan FDF.

Tipe mesin boiler yang digunakan adalah FBC / Fluidized bed comby Hitachi, yang menggunakan Cangkang sebagai bahan bakar utama.

Faktor penting yang berpengaruh dalam produksi Steam pada boiler adalah Level air pada Shell Water dan Temperature dalam ruang bakar.

Differential Pressure Transmitter adalah sensor yang berfungsi untuk mengetahui level air dalam suatu bejana tertutup dengan prinsip dasar membandingkan tekanan air dalam wadah tertutup dengan tekanan udara dalam wadah tertutup yang sama.

Termocouple adalah sensor yang terdiri dari dua plat konduktor yang disatukan yang merespon perubahan suhu yang mengenainya menjadi perubahan

tegangan, sedangkan termocouple tipe K sangat cocok untuk mengukur temperature ruang bakar boiler karena mampu bekerja pada suhu yang tinggi.

Untuk menghasilkan steam kering dengan tekanan yang tinggi, maka diperlukan sebuah bejana tertutup, yaitu shellwater yang dirancang tertutup tidak ada kontak dengan udara luar.

Dari hasil analisa terhadap ketel uap pipa air berbahan bakar cangkang dan serabut maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kalor bawah (Low Heating Value) berdasarkan perhitungan dari rumus Dulong dan Petit diperoleh sebesar 19269,01625 kJ kg
 2. Jumlah udara yang dibutuhkan untuk pembakaran teoritis (stoikiometri) untuk 1kg bahan bakar cangkang dan serabut adalah sebesar 1,557725 [kg/kg bahan bakar]
 3. Bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap sebanyak 45 Ton jam dengan tekanan 24 bar dan temperatur 290 °C adalah sebesar 7500 kg jam
 4. Gas asap yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar cangkang dan serabut $m_{bb} = 7500$ [kg/jam] adalah sebesar 95039,82068 [kg gas asap/jam]
- Efisiensi thermal ketel uap adalah 79,9 %.

5.2 Saran

Dihadapi, maka dapat diambil saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi perusahaan agar dapat mencapai efisiensi dan efektifitas dalam melakukan kebijaksanaan pemeliharaan secara berkala dan terus – menerus sesuai dengan Standart Operasional Prosedure agar Water Tube Boiler tidak terjadi kerusakan/kebocoran.

DAFTAR PUSTAKA

1. Djokosetyardjo, M J. 1989. *“Ketel Uap (Cetakan Pertama)”*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
2. Energy Efficiency Guide for Industry in Asia (United Nation Environment Programme). 2006. *“Boilers and Thermic Fluid Heaters”*. Jurnal Ilmiah Bahasa Inggris:
[http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/Boilers_and_Thermic FluidHeaters.pdf](http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/Boilers_and_Thermic_FluidHeaters.pdf) (Diakses pada tanggal 7 Mei 2016).
3. Fadilah, Ridho. 2015. *“Makalah Ketel Uap”*. Makalah Bebas:
https://www.academia.edu/8596574/Makalah_Ketel_Uap
4. Muin, Syamsir A. 1988. *“Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)”*. Jakarta: CV. Rajawali.
5. <https://lppmunigresblo.files.wordpress.com/2013/06/jurnal-ta-pdf.pdf>
6. <http://ahmadelm/2014/01/pembangkit-listrik-tenaga-uap-pltu.html>
7. Data seminar “Muhammad Ridwan, angkatan 2011 (*Pemeliharaan Fire Tube Boiler*)”.

**ANALISA WATER TUBE BOILER MENGGUNAKAN THERMOCOUPLE
TIPE K PT 100 SEBAGAI SENSOR TEMPERATURE DAN
DIFFERENTIAL PRESSURE DALAM PROSES EFESIENSI BAHAN
BAKAR DI PT SARI INCOFOOD CORPORATION**

Yogie Andrian Syaputra

1207220071

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Jl. Kapten
Mughtar Basri No.3, Glugur Darat II, Medan 20238

Email: yogiemamen17@gmail.com

ABSTRAK

Boiler adalah bejana tertutup yang menyediakan sarana untuk panas pembakaran ditransfer ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau uap di bawah tekanan kemudian dapat digunakan untuk mentransfer panas ke suatu proses. Dalam Proses konversi energi, boiler memiliki fungsi untuk mengkonversi bahan kimia yang tersimpan energi bahan bakar menjadi energi panas yang ditransfer ke fluida kerja. Salah satu boiler yang digunakan di Mill Site PT.Sari Incofood Corporation adalah boiler tabung air yang didorong dengan 50% serat kelapa, 20% cangkang sawit, dan 30% menyalak. boiler adalah beroperasi pada tekanan 61,71 bar dengan produksi uap 135,2 ton uap per jam dan suhu 474,48 ° C. Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap 592.248.965,6 kJ / jam. efisiensi termal boiler adalah 63,6%. Steam ini didapat dari mesin boiler. Yang setiap jamnya, untuk produksi steam harus dikontrol secara otomatis atau pun manual. Oleh karena itu guna pengontrolan pada mesin boiler, dibutuhkan beberapa sistem kontrol. Salah satunya Thermocouple PT100 yang memanfaatkan Differential Pressure Transmitter, serta Pengontrolan Temperature ruang bakar yang menggunakan sensor termocouple, dalam hal ini digunakan termocouple tipe K yang sangat baik dalam pemanasan sebagai sensor membaca temperature .

Kata Kunci : *Boiler, Stem, Efisiensi, Thermocouple Type K PT 100, Axe Temperature*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, energi listrik telah menjadi kebutuhan dasar bagi umat manusia. Hampir semua aktivitas kehidupan sangat bergantung pada energi listrik. Oleh karena itu sangat di butuhkan pasokan energi listrik yang selalu dapat diandalkan. Pembangkit listrik merupakan garda terdepan dari sistem energi listrik yang harus berperan untuk menjamin ketersediaan dan keandalan energi listrik.

Dalam merencanakan suatu sistem penyediaan tenaga listrik. Lokasi fisik tenaga pusat tenaga listrik saluran transmisi dan gardu induk perlu di tentukan dengan tepat, agar dapat diperoleh sistem yang baik, ekonomis dan dapat diterima masyarakat. Performance suatu unit Pembangkit Listrik tidak lepas dari adanya pemeliharaan unit

pembangkit yang baik pula, sehingga sedapat mungkin selama masa *shut down* maupun kondisi operasi.

Faktor pemeliharaan alat dan fasilitas-fasilitas produksi merupakan bagian yang sama pentingnya dengan bagian lainnya yang terdapat dalam manajemen produksi. Kegiatan pemeliharaan ini tidak dapat diabaikan begitu saja karena sebagian besar pengolahan yang dilakukan pada proses produksi sebuah perusahaan pembangkit tenaga listrik juga menggunakan mesin.

Pada siklus tertutup PLTU, dimana air laut yang telah diolah dan dimurnikan melalui proses pemurnian, kemudian dilakukan pemanasan hingga terbentuk uap yang pada dasarnya berfungsi sebagai penggerak turbin yang diteruskan ke generator sehingga menghasilkan arus listrik. Air yang

dimurnikan itu akan diteruskan ke boiler, di dalam boiler ini perubahan air menjadi uap terjadi di dalam *Boiler Pipa Air (Water Tube Boiler)* yang terukur oleh *thermocouple type K* didalam ruang bakar dalam *deffrential pressure*nya dan proses ini terjadi kembali secara berulang-ulang.

Melalui pelaksanaan pemeliharaan yang baik dan berkesinambungan peralatan perusahaan dapat dipergunakan sesuai dengan rencana, sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lancar, dan kemungkinan kerusakan yang terjadi dapat dikurangi bahkan dihindari sama sekali. Perusahaan yang melakukan proses produksi tanpa memperhatikan kegiatan pemeliharaan berarti telah menghilangkan masa depan perusahaan itu sendiri, dalam jangka pendek memang seakan-akan

perusahaan dapat menekan biaya produksi karena tidak perlu melakukan biaya perawatan yang cukup besar, akan tetapi, dalam jangka panjang perusahaan akan mengalami kesulitan dalam kegiatan proses produksinya karena alat dan mesin yang tidak terpelihara dengan baik akan mengalami banyak masalah seperti kerusakan, kemacetan, kebocoran, bahkan alat/mesin tidak dapat beroperasi sama sekali.

Mengingat pentingnya kegiatan pemeliharaan dalam suatu perusahaan untuk menunjang kelancaran produksi, maka penulis tertarik untuk mengadakan penulisan yang akan dituangkan kedalam tugas akhir dengan judul “*(Analisa Waterg tube boiler menggunakan thermocouple tipe k pt 100 sebagai sensor temperature dan defferential*

pressure dalam proses efisiensi bahan bakar)

1.2 Rumusan Masalah

Untuk mencapai tujuan dan manfaat penulisan penelitian ini maka muncul pertanyaan yaitu:

1. Bagaimanakah kinerja thermocouple per jam dalam proses efisiensi bahan bakar pada saat operasi ?
2. Bagaimana menganalisa tingkat kinerja thermocouple dalam membaca suhu?
3. Seberapa besar efisiensi bahan bakar pada boiler?

1.3 Manfaat Penulisan

Dengan adanya penyusunan skripsi dengan judul “*Analisis Water tube boiler menggunakan thermocouple tipe k sebagai sensor temperature dan defferential pressure pada boiler*”.

Diharapkan penulis dan para pendengar dapat memahami

bagaimana cara menghitung efisiensi dan kinerja thermocouple “*Analisa Water tube boiler menggunakan thermocouple tipe k pt 100 sebagai sensor temperature dan defferential pressure dalam proses efisiensi bahan bakar*”.

1.4 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan dari Skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Menjelaskan komponen – komponen dan perlengkapan Water Tube Boiler
2. Membahas pengoperasian tingkat kinerja thermocouple dalam membaca suhu.
3. Menghitung efisiensi ketel uap.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah yang dibahas dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tingkat kinerja thermocouple dalam membaca suhu

1. Seberapa besar efisiensi bahan bakar pada boiler

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan seminar ini dibagi adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan tentang latar belakang masalah, tujuan penulisan, manfaat penelitian, rumusan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI PUSTAKA

Bab ini membahas tentang dasar-dasar teori yang mencakup tentang PLTU diantaranya: pengertian PLTU secara umum, komponen-komponen utama PLTU, cara kerja PLTU secara umum serta Pemeliharaan *Boiler Pipa Air, batas maksimal*

temperature, dan efisiensi bahan bakar. Yang akan dibahas dalam penulisan tugas akhir.

BAB III METODOLOGI

PENELITIAN

Bab ini membahas tentang cara-cara, metode-metode, teknik pengumpulan data, serta langkah-langkah yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB IV PEMELIHARAAN

BOILER PIPA AIR BATAS MAKSIMAL TEMPERATUR, DAN EFESIENSI BAHAN BAKAR

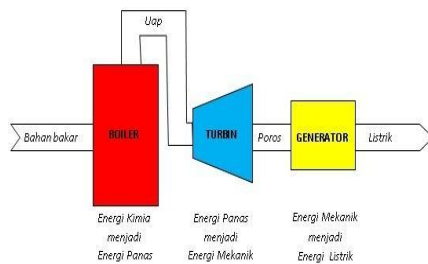
Bab ini membahas mengenai pengolahan data serta analisa data yang telah ada.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dari masalah yang dibahas pada bab-bab sebelumnya

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan



gambar 2.1 Proses konversi energi pada PLTU

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Jenis pembangkit listrik tenaga termal yang banyak digunakan, karena efisiensinya tinggi sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. PLTU merupakan mesin konversi energy yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Proses

konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu:

1. Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperature tinggi.
2. Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi enegi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Ketiga, energi mekanik diubah menjadi energi listrik.

2.2 PRINSIP KERJAPLTU

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

1. Pertama air diisikan ke **Boiler** hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dipanaskan dengan gas hasil pembakaran bahan

bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.

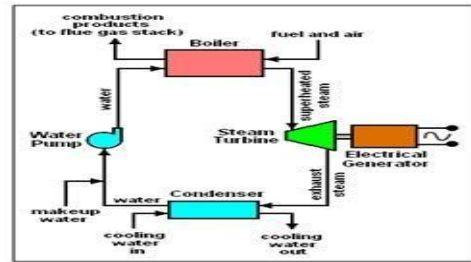
2. Kedua, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar **Turbin Uap** sehingga menghasilkan

daya mekanik berupa putaran.

3. Ketiga, **Generator** yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator.

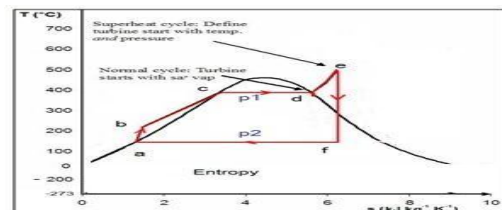
4. Keempat, uap bekas keluar turbin masuk ke **Kondensor** untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler.

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



Gambar 2.2 siklus fluida kerja sederhana pada PLTU

Siklus kerja PLTU yang merupakan siklus tertutup (*Closed Cycle*) dapat digambarkan dengan diagram T - s (Temperatur - entropi). Siklus ini adalah penerapan siklus rankine ideal. Adapun urutan langkahnya adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 Diagram T – s, Siklus PLTU (Siklus Rankine)

(Sumber :www.matadunia.id > geothermal

1. a – b : Air dipompa dari tekanan p2 menjadi p1. Langkah ini adalah langkah *kompresi isentropis*, dan

proses ini terjadi pada pompa air pengisi.

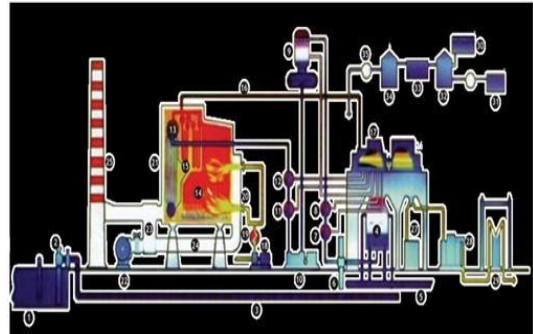
2. b – c : Air bertekanan ini dinaikkan temperaturnya hingga mencapai titik didih. Terjadi di LP *heater*, HP *heater* dan *Economizer*.

3. c – d : Air berubah wujud menjadi uap jenuh. Langkah ini disebut *vapourising* (penguapan) dengan proses *isobar isothermis*, terjadi di boiler yaitu di *wall tube (riser)* dan *steamdrum*.

4. d – e : Uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*). Langkah ini terjadi di *superheater* boiler dengan proses *isobar*.

5. e – f : Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Langkah ini adalah langkah *ekspansi isentropis*, dan terjadi didalam turbin.

6. f – a : Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah *isobar isothermis*, dan terjadi didalam kondensor.



Gambar 2.4 PLTU

2.3 KOMPONEN UTAMA PLTU

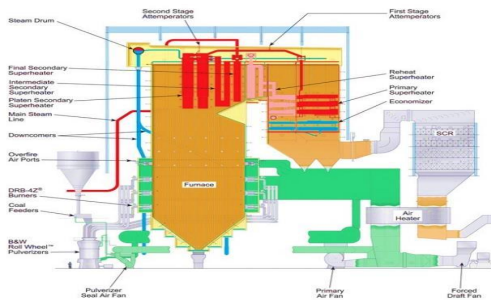
PLTU merupakan mesin pembangkit thermal yang terdiri dari komponen utama bantu (sistem penunjang) serta sistem-sistem lainnya. Komponen utama terdiri dari Lima komponen yaitu:

a. Boiler (KetelUap)

Boiler adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk merubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap dilakukan dengan

memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan panas hasil pembakaran bahan bakar. Proses pembakaran dilakukan secara continue didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar.

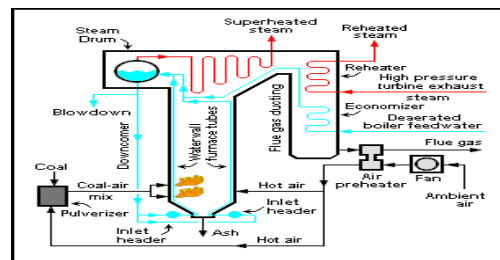
Uap yang dihasilkan adalah uap superheat dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. Boiler yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut water tube boiler (boiler pipa air).



Gambar 2.5 Boiler
(Sumber: <https://Boiler,production/steam>)

b. Economizer

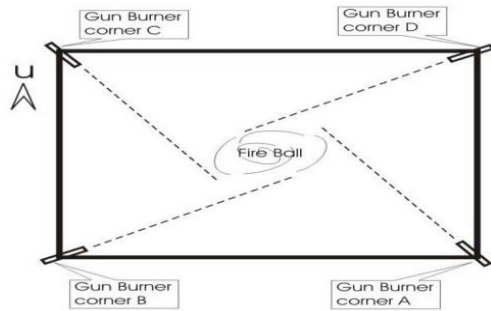
Economizer atau pemanas awal berfungsi untuk memanaskan air pengisi ketel sebelum masuk ke boiler. Pemanasan awal ini perlu yaitu untuk meningkatkan efisiensi ketel dan juga agar tidak terjadi perbedaan temperatur yang besar didalam boiler yang dapat mengakibatkan keretakan dinding boiler.



Gambar 2.6 Letak economizer

c. Ruang Bakar (Furnace)

Ruang bakar adalah bagian dari boiler yang dindingnya terdiri dari pipa-pipa air. Pada sisi bagian depan terdapat sembilan burner yang letaknya terdiri atas tingkat tersusun secaramen datar.



Gambar 2.7 Ruang Bakar

A. Teori Dasar Pembentukan Uap

Uap air adalah sejenis fluida yang merupakan fase gas dari air, bila mengalami pemanasan sampai temperatur didih di bawah tekanan tertentu. Uap air tidak berwarna, bahkan tidak terlihat bila dalam keadaan murni kering. Uap air pertama sekali dipakai sebagai fluida kerja oleh James Watt yang terkenal sebagai penemu Mesin Uap Torak. Uap air tidak mengikuti hukum-hukum gas sempurna, sampai dia benar-benar kering (kadar uap 100%). Bila uap kering dipanaskan lebih lanjut maka dia menjadi uap adipanas (panas lanjut) dan selanjutnya dapat dianggap sebagai gas sempurna.

Proses pembentukan uap air bila di atas sekeping logam terdapat beberapa tetes air dan kita perhatikan molekul-molekul air tersebut, temperatur air pada saat itu adalah T_0 Kelvin atau T_0° Celcius. Molekul-molekul air tersebut bergerak bebas kesana kemari dalam lingkungan (dalam lingkungan air) dengan kecepatan gerak V_0 meter/detik. Molekul-molekul tersebut dalam gerakannya kesana kemari tidak akan dapat meninggalkan lingkungannya, yaitu lingkungan air karena adanya gaya tarik menarik antara molekul-molekul air itu sendiri.

Apabila dibawah kepingan logam tersebut dipasang api (api dari sebatang lilin, korek api dan sebagainya), sedemikian sehingga api tersebut memanaskan kepingan logam yang di atasnya terdapat beberapa tetes air, maka temperatur air tersebut akan naik menjadi T_1

Kelvin, dan ternyata kecepatan gerak dari molekul-molekul air tersebut akan bertambah menjadi V_1 meter/detik, namun belum mampu untuk melepaskan diri dari lingkungannya. Apabila kemudian api yang dipasang dibawah kepingan logam tersebut ditambah besarnya (menjadi api dari dua batang lilin, dan sebagainya) maka temperatur air diatas kepingan logam tadi akan naik lagi menjadi T_2 Kelvin sedangkan ternyata pula bahwa kecepatan gerak dari molekul-molekul air akan bertambah menjadi V_2 m/detik, namun masih tidak mampu untuk melepaskan diri dari lingkungannya.

Dan bila api yang dipasang dibawah kepingan logam tersebut senantiasa ditambah besarnya, sehingga temperatur air diatas kepingan logam tersebut mencapai T_d K, sedangkan kecepatan gerak molekul-molekul air tersebut telah

mencapai V_d m/detik, sehingga molekul-molekul air tersebut mampu untuk melepaskan diri dari lingkungannya dan mampu untuk melepaskan diri dari gaya tarik menarik antara molekul-molekul air tersebut. Molekul-molekul air yang melepaskan diri dari lingkungannya tersebut akan berubah menjadi molekul-molekul uap yang kecepatan geraknya melebihi kecepatan gerak molekul-molekul air semula.

Proses yang demikian tadi disebut “Proses Penguapan”. Molekul-molekul air berubah menjadi molekul uap, atau disebut juga bahwa air tersebut sedang “mendidih”, karena permukaan air menjadi bergolak. Temperatur air pada saat itu mencapai “temperatur mendidih” yaitu T_d Kelvin dan bila api masih saja ditambah besarnya, ternyata bahwa temperatur mendidih T_d Kelvin tidak akan berubah atau tetap saja besarnya, selama tekanan yang ada diatasnya dipertahankan tetap saja besarnya.

B. Analisa Efisiensi Ketel uap

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada laporan tugas akhir ini adalah metode langsung. Secara umum laporan tugas akhir ini akan membahas analisa nilai kalor bahan bakar dan perhitungan efisiensi ketel uap.

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuannya kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada ketel uap atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar.

3. Perhitungan Efisiensi ketel uap dengan Metode langsung

Energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar ketel

uap. Metodologi ini 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 (Ir. Syamsir A. Muin, "Pesawat-Pesawat Konversi Energi

1. Ketel Uap)", CV. Rajawali, 1998:223)

Efisiensi Boiler η_{boiler}

$$= \frac{\text{Panas pembentukan uap}}{\text{Panas uap}}$$

$\times 100\%$ Efisiensi Boiler η_{boiler}

$$= \frac{W_s \times h_u - h_a}{W_f \times LHV} \times 100\%$$

Keterangan:

$W_s =$ kapasitas produksi uap

$kg \text{ uap jam } W_f$

$=$ konsumsi bahan bakar $kgBB \text{ jam } h_u$

$=$ entalpi uap $kJ \text{ kg } h_a$

$=$ entalpi air umpan pengisi ketel

$kg \text{ uap jam } LHV$

$=$ nilai kalor pembakaran rendah $kJ \text{ kg}$

Untuk penyusunan laporan tugas akhir ini penulis menganalisa dengan metode langsung, dimana penulis mengambil data secara langsung di lapangan meliputi:

1. Tekanan uap dari *superheater* (bar);
2. Temperatur *feed water daerator tank* (°C);
3. Temperatur *steam outlet* (°C);
4. Jumlah uap yang dihasilkan (ton uap/jam);
5. Konsumsi bahan bakar (tonBB/jam);

2. Proses Pembentukan Uap

Sebagai fluida kerja di ketel uap, umumnya digunakan air H_2O karena bersifat ekonomis, mudah diperoleh, tersedia dalam jumlah yang banyak, serta mempunyai kandungan entalpi yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan fluida kerja yang lain.

Penguapan adalah proses terjadinya perubahan fasa dari cairan menjadi uap. Apabila panas diberikan pada air, maka suhu air akan naik. Naiknya suhu air akan meningkatkan kecepatan gerak molekul air. Jika panas terus bertambah secara perlahan-lahan, maka kecepatan gerak air akan semakin meningkat pula, hingga sampai pada suatu titik dimana molekul-molekul air akan mampu melepaskan diri dari lingkungannya (100°C) pada tekanan 1 [kg/cm^2], maka air secara berangsur-angsur akan berubah fasa menjadi uap dan hal inilah yang disebut sebagai penguapan.

3. Kebutuhan Udara Pembakaran

Kebutuhan udara pembakaran didefinisikan sebagai kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara sempurna yang meliputi (*Ir. M. J.*

Djokosetyoardjo, "Ketel Uap", PT. Pradnya Paramita 1989:74):

a. Kebutuhan udara teoritis (U_{teo})

$$U_{teo} = \frac{100}{23,1} \times 2,67C + 8H - O + S \text{ kg kgBB}$$

Kebutuhan udara pembakaran sebenarnya / aktual (U_{act}):

$$U_{act} = U_{teo} (1 + EA) \text{ kg kgBB}$$

4. Gas Asap

Reaksi pembakaran akan menghasilkan gas baru, udara lebih dari sejumlah energi. Senyawa-senyawa yang merupakan hasil dari reaksi pembakaran disebut gas asap.

(Ir. M. J. Djokosetyoardjo, "Ketel Uap", PT. Pradnya Paramita 1989:74).

a. Berat Gas asap teoritis (G_{teo})

$$G_{teo} = U_{teo} + 1 - A \text{ kg kgBB}$$

Dimana A = Kandungan abu dalam bahan bakar (Ash)

Gas asap yang terjadi terdiri dari:

Hasil reaksi atas pembakaran unsur-unsur bahan bakar dengan O_2 dari udara seperti CO_2 , H_2O , SO_2 ;

Unsur N_2 dari udara yang tidak ikut bereaksi;

Sisa kelebihan udara.

Dari reaksi pembakaran sebelumnya diketahui:

$$\text{Berat } CO_2 = 3,67C \text{ kg/kgBB}$$

$$\text{Berat } SO_2 = 2S \text{ kg/kgBB}$$

$$\text{Berat } H_2O = 9H_2 \text{ kg/kgBB}$$

$$\text{Berat } N_2 = (77\% \times U_{act}) +$$

$$N_2 \text{ kg kgBB}$$

$$\text{Berat } O_2 = 23\% \times EA U_{teo} \text{ kg kgBB}$$

Maka untuk menghitung berat gas asap pembakaran perlu dihitung dulu

masing-masing komponen gas asap

tersebut *(Ir. Syamsir A. Muin,*

"Pesawat-Pesawat Konversi Energi

I (Ketel Uap)", CV. Rajawali,

1988:196).

Dari perhitungan diatas maka akan

didapatkan jumlah gas asap:

$$G_{act} = WCO_2 + WSO_2 + WH_2O + WN_2 + WO_2$$

C. Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor (*Heating Value*) adalah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut.

Nilai kalor bahan bakar ada 2 jenis, yaitu :

1. Nilai Kalor Atas (HHV)

$$HHV = 33950 C + 144200 H_2 - \frac{O_2}{8} + 9400 S \dots\dots\dots 1$$

Dimana :

C = % karbon dalam bahan bakar

H₂ = % hidrogen dalam bahan bakar

O₂ = % oksigen dalam bahan bakar

S = % sulfur dalam bahan bakar

C. Nilai Kalor Bawah

$$LHV = HHV - 2400 9H_2 \dots\dots\dots 2$$

H₂ = % hidrogen dalam bahan bakar

D. Kebutuhan Bahan Bakar

Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap dapat diperoleh dengan persamaan

$$m_{bb} = \frac{m_u \cdot h_u - h_a}{\eta_b \cdot LHV} \dots\dots\dots 3$$

Dimana :

m_{bb} = konsumsi bahan bakar [kg/jam]

m_u = laju kapasitas produksi uap [kJ/jam]

η_b = efisiensi ketel uap (70-90) %

h_u = entalpi spesifik uap [kJ/kg]

h_a = entalpi spesifik air [kJ/kg]

LHV = nilai kalor bawah

E. Suplai Energi

Suplai energi terhadap ketel uap diperoleh dari bahan bakar. Kandungan energi (E) bahan bakar [kJ/kg] dapat diperoleh melalui percobaan “*Bomb Calorimeter*”, atau bisa dihitung dengan rumus Dulong jika bahan diketahui.

Dalam pengujian ini, kandungan energi bahan bakar dapat diperoleh dari PKS Merbaujaya Indahraya. Besarnya energi panas pembakaran adalah suplai panas terhadap ketel uap :

$$Q_s = m_{bb} \cdot E \dots\dots\dots 4$$

Dimana :

m_{bb} = laju aliran massa bahan bakar [kg/jam]

E = kandungan energi bahan bakar [kJ/kg]

F. Energi Evaporasi

Energi untuk perubahan air pengisian (*feed water*) menjadi uap (*steam*) dalam proses evaporasi adalah besarnya kandungan entalphi uap kurang kandungan entalphi air pengisian

$$Q = m_u \cdot h_u - h_a \dots\dots\dots 5$$

Dimana :

m_u = Laju kapasitas produksi uap kJ jam

h_u = Entalphi spesifik uap kJ kg

h_a = Entalphi spesifik air kJ kg

G. Efisiensi Ketel Uap

Performansi ketel uap dapat diukur dengan menghitung efisiensinya. Semakin besar efisiensi dari suatu ketel uap, maka dapat dipastikan ketel tersebut memiliki performansi yang baik. Untuk menghitung nilai efisensi dari ketel uap dapat dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta_B = \frac{Q_{uap}}{Q_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots 6$$

Dimana :

η_B = Efisiensi ketel uap %

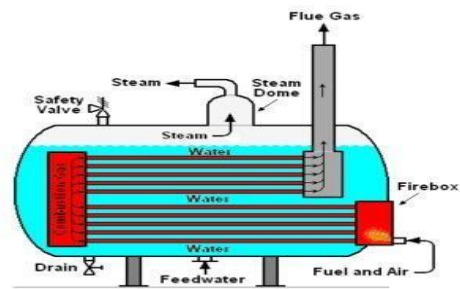
Q_{uap} = Jumlah panas penguapan kg jam

Q_{in} = Jumlah panas masuk/panas yang dihasilkan bahan bakar kg jam

2.3.1 Berdasarkan Fluida Yang Mengalir Dalam Pipa

1. Ketel pipa api (fire tube boiler)

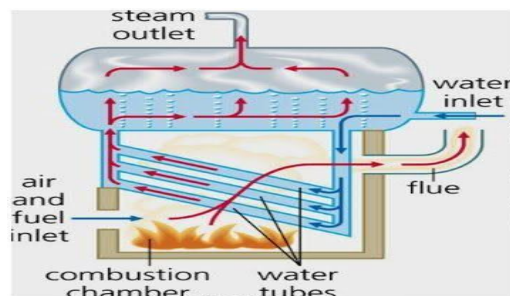
pada ketel pipa api seperti tampak pada gambar 1.28, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan ketel ada didalam shell untuk dirubah menjadi steam. Ketel pipa api biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relative kecil dengan tekanan steam rendah dan sedang. Sebagai pedoman, ketel pipa api kompetitif untuk kecepatan steam sampai 14.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg.cm². ketel pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas atau bahan bakar padat dalam operasi. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar ketel pipa api dikonstruksi sebagai “paket” boiler (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar.



Gambar 2.8 Fire tube boiler

2. Ketel pipa air (water tube boiler)

pada ketel pipa air seperti tampak pada Gambar 2.9, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga listrik.

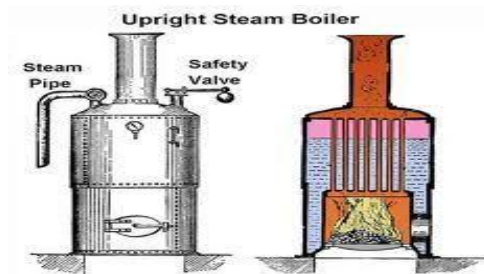


Gambar 2.9 Water Tube Boiler

2.3.2 Berdasarkan Pada Poros Tutup Drum(Shell)

a. Ketel tegak

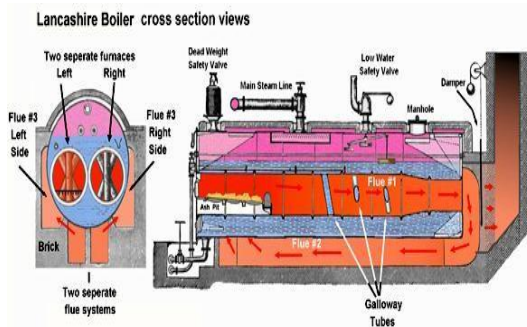
Ketel tegak seperti tampak pada Gambar 2.10 (vertical steam boiler) adapun contoh ketel tegak adalah ketel Cocharn, Ketel Clarkson dan lain-lainnya.



Gambar 2.10 Ketel Tegas (UNEP)

b. Ketel mendatar (horizontal steam Boiler)

Adapun yang termasuk jenis ketel ini adalah ketel Cornish, Lancashire (tampak pada Gambar 2.11), Scotch dan lain-lain.



Gambar 2.11 Boiler Cross Section

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Adapun lokasi penelitian berada di PT. Sari Incofood Corporation, JL. Raya Medan Lubuk Pakam, Km 18, 5 No. 33, Tanjung Morawa, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20362

3.2 Bahan Penelitian

7. Multi Tester
8. Thermo couple TipeK PT100
9. Axe Display
10. Alat Tulis
11. Cangkang
12. Peralatan Dokumenter

3.3 Data Penelitian

Jenis : Ketel Uap Pipa Air (Water Tube)

Type : N – 2200

Merk : Takuma Boiler

Kapasitas Uap : 46

Ton / Jam

Temperatur Air Umpan : 105⁰C
 Temperatur Superheated : 259⁰C
 Tekanan Kerja Maximum : 24 Bar
 Konsumsi Bahan Bakar : 7500 Kg/Jam
 Persentase campuran bahan bakar
 1.Cangkang : 25 %
 2.Serabut : 75 %
 Dapur pembakaran
 1.Panjang : 4 m
 2.Lebar : 3 m
 3.Tinggi : 6 m
 4.Kemiringan atap : 25°

3.4 Jalannya Penelitian

Pada proses penelitian ini pertama air yang dimasukkan kedalam daerator yang di suplai oleh water pump dimasukkan kedalam water tube lalu pemanasan dilakukan dalam penuangan bahan bakar.Setelah itu bagian dari alat-alat yang dibutuhkan di hubungkan

kesatu sama lain. Setelah itu diukur berapa tingkat kenaikan panas dengan menggunakan termokopel dan dilihat dari termometer dan juga hitunglah juga berapa penurunannya dengan menggunakan termokopel.

Tentunya termokopel memiliki kelebihan dan kekurangan sehingga dalam pemakaiannya perlu ditempatkan sesuai dengan penggunaannya sehingga bisa mendapatkan hasil yang lebih baik.

Sebelum kegiatan semua alat dan bahan harus tersedia semuanya.

Kita mulai dengan Ujung termokopel chormel-alumel dimasukkan ke air dingin dan ujung satunya dimasukkan ke air yang sedang dipanaskan, lalu kita hitung perubahan suhu yang terjadi. Pencatatan besarnya tegangan yang terjadi dimulai dari suhu 40°C hingga 80 °C dengan pencatatatan setiap kenaikan atau penurunan suhu

sebesar 5 °C. Tegangan yang tercatat berubah sangat lambat dan perubahannya sangat kecil, pada saat kenaikan suhu, suhu 222 °C volmeternya 1,6 volt, suhu 232°C sebesar 1,8 volt, suhu 261°C sebesar 2,0 volt, suhu 290°C sebesar 2,2 volt, suhu 321°C sebesar 2,4 volt, suhu 350°C sebesar 2,6 volt, suhu 410°C sebesar 2,8 volt, suhu 430°C sebesar 3,0 volt, dan pada suhu terakhir suhu 460°C sebesar 3,2 volt. Jadi hal ini menunjukkan kenaikan tegangan tidak terlalu besar. Sedangkan dalam pengamatan penurunan suhu, didapat data yang tidak jauh berbeda dengan data awal, yaitu suhu 80°C sebesar 3,2 volt, suhu 75°C sebesar 3,0 volt, suhu 70°C sebesar 2,8 volt, suhu 65°C sebesar 2,6 volt, suhu 60°C sebesar 2,4 volt, suhu 55°C sebesar 2,2 volt, suhu 50°C sebesar 2,0 volt, suhu 45°C sebesar 1,8 volt, dan yang

terakhir dengan suhu 40°C volmeternya 1,6 volt.

Dengan hasil pengamatan yang telah dilakukan, didapat perhitungan ralat kenaikan suhu sebagai berikut, Didapat nilai ralat perhitungan panas lebur dengan harga rata-rata sebesar $2,4 \times 10^{-3}$ deviasi rata-rata (a) sebesar $0,5 \times 10^{-3}$, deviasi standar (s) sebesar $0,54 \times 10^{-3}$, deviasi standar relatif (S) sebesar 22,5%, deviasi standar rata-rata (A) sebesar 20%, hasil pengukuran $(x + a)$ sebesar $2,9 \times 10^{-3}$, hasil pengukuran $(x - a)$ sebesar $1,9 \times 10^{-3}$ dengan tingkat ketelitian sebesar 80%. Sedangkan pada ralat perhitungan penurunan suhu, didapat kan hasil yang sama dengan ralat kenaikan suhu yaitu dengan harga rata-rata sebesar $2,4 \times 10^{-3}$ deviasi rata-rata (a) sebesar $0,5 \times 10^{-3}$, deviasi standar (s) sebesar $0,54 \times 10^{-3}$, deviasi standar relatif (S) sebesar

22,5%, deviasi standar rata-rata (A) sebesar 20%, hasil pengukuran $(x + a)$ sebesar $2,9 \times 10^{-3}$, hasil pengukuran $(x - a)$ sebesar $- 1,9 \times 10^{-3}$ dengan tingkat ketelitian sebesar 80%.

Kesamaan data, perhitungan dan besarnya tingkat ketelitian yang hanya sebesar 80% yang didapatkan terjadi karena pada praktikum kurang adanya ketelitian praktikan. Namun dari data yang didapat, dapat disimpulkan bahwa kenaikan suhu yang stabil berbanding lurus dengan kenaikan besarnya tegangan (v).

Air dipompa oleh feed pump dari sumber mata air lalu ditampung di dalam feed water tank lalu diteruskan ke dalam economizer yang berfungsi untuk memanasi air, agar sewaktu masuk kedalam pembakaran, airnya sudah panas dengan suhu tertentu sehingga cepat mendidih dan menjadi steam, setelah dari

economizer kemudian masuk ke dalam Shell Boiler. Dalam Shell boiler tersambung ke pipa-pipa besi yang mengalirkan air ke dalam tungku pembakaran / Furnace maka proses pembakaran siap dimulai. Pasir silica dimasukan ke dalam Furnace dengan level tertentu, juga arang dimasukan dengan level tertentu. Arang ini berfungsi sebagai pemicu api agar mudah timbul, kemudian diberi minyak setelah itu dibakar. Setelah itu blower FDF dihidupkan untuk menghasilkan angin yang kaya akan oksigen untuk sempurnanya proses pembakaran. Angin tadi dialirkan ke nozel dengan hembusan ringan agar api tidak mudah padam, sehingga pasir silika bergejolak kerana hembusan angin dari nozel. Pada suhu sudah tercapai 800°C batau bara sudah siap dimasukkan Selanjutnya batu bara dari hooper dialirkan ke conveyor

menuju cool bunker, selanjutnya dialirkan oleh cool screw conveyor menuju cool bunker sebelum masuk ke dalam ruang pembakaran. Selanjutnya dari cool bunker dialirkan oleh feeding screw menuju spreader yang berfungsi untuk melemparkan batu bara agar merata di dalam furnace dan dibantu blower FDF supaya proses pembakaran lebih maksimal. Asap dari sisa pembakaran akan di hisap oleh blower IDF menuju economizer. Di dalam economizer uap panas yang terkandung dalam asap diserap lagi dan dialirkan menuju multicyclone yang berfungsi menyaring debu dengan berat jenis yang lebih besar, setelah itu asap diteruskan menuju vnetury scrubber yang berfungsi sebagai penyaring debu dengan berat yang lebih kecil lalu asap menuju wet scrubber dan disemuri air olwh shower yang berfungsi mengikat

debu yang berat jenisnya lebih bahkan sangat kecil supaya jatuh dalam bak.

4. Analisa dan Pembahasan

4.1 Analisa Bahan Bakar dan Efisiensi

A. Analisa Bahan Bakar Ketel Uap

Bahan bakar adalah suatu zat dimana energi diperoleh dengan reaksi kimia atau reaksi nuklir. Reaksi kimia pembakaran terjadi apabila unsur-unsur dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen. Komponen yang paling utama dalam bahan bakar adalah karbon dan hidrogen.

1. Bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi :

a. Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat mengandung unsur antara lain C (karbon), H (hidrogen), zat asam, oksigen (O₂), nitrogen (N₂), belerang

(S), abu dan air. Bahan bakar padat terdiri dari :

1) Bahan bakar padat alamiah, misalnya : kayu, batubara, antrasit.

2) Bahan bakar padat buatan, misalnya : arang kayu, briket, cangkang dan serabut kelapa sawit, tempurung kelapa dan lain-lain.

b. Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair berasal dari minyak bumi. Bahan bakar cair pada umumnya adalah campuran hidrokarbon (HC). Bahan bakar cair terdiri atas bahan bakar cair alamiah, misalnya : *crude oil*, minyak mentah (*natural poetrileum*), bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*), minyak bakar (*fuel oils*).

c. Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas merupakan bahan bakar yang paling mudah terbakar karena gas mudah bereaksi dengan udara dan oksigen. Bahan bakar gas terdiri dari gas alam,

misalnya : CH_4 , CH_6 , *Carbon monoksida* (CO), LNG, LPG, sedangkan bahan bakar gas buatan, misalnya : gas kota (*coal gas*), gas cair (*water gas*), dan gas cair yaitu campuran hidrogen (H) dan *Carbon monoksida* (CO), dan lain-lain.

d. Bahan Bakar Nuklir

Bahan bakar nuklir, misalnya : uranium, protonium, dan lain-lain.

Pada Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) ini digunakan ketel uap yang berbahan bakar padat yaitu campuran dari serabut dan cangkang, disamping bahan bakar ini mudah didapat di wilayah pabrik, nilai kalor yang ditimbulkan juga memenuhi persyaratan untuk nilai bahan bakar yang digunakan.

B. Kebutuhan Udara Pembakaran

Untuk mendapatkan proses pembakaran bahan bakar yang sempurna, maka diperlukan udara

pembakaran. Dalam menentukan konsumsi udara pembakaran kita perlu mengetahui komposisi bahan bakar yang digunakan. Perbandingan cangkang dan serabut yang diambil 1 : 3 yaitu 25 % cangkang dan 75 % serabut.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pelaksanaan penelitian dan penyusunan yang berjudul "*Analisis Water tube boiler menggunakan thermocouple tipe k pt100 sebagai sensor temperature dan defferential pressure pada boiler*".

dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Mesin boiler adalah sebuah mesin yang berfungsi untuk menghasilkan Uap Air / Steam. Dengan mempunyai prinsip kerja yaitu mendidihkan air.

Komponen utama dari Mesin Boiler adalah Shellwater/Tangki penampung air, Tungku Pembakaran, Feed Water Tank/tangki penampung air kondensasi, Blower IDF dan FDF.

Tipe mesin boiler yang digunakan adalah FBC / Fluidized bed comby Hitachi, yang menggunakan Cangkang sebagai bahan bakar utama.

Faktor penting yang berpengaruh dalam produksi Steam pada boiler adalah Level air pada Shell Water dan Temperature dalam ruang bakar.

Deffential Preassure Transmitter adalah sensor yang berfungsi untuk mengetahui level air dalam suatu bejana tertutup dengan prinsip dasar membandingkan tekanan air dalam wadah tertutup dengan tekanan udara dalam wadah tertutup yang sama.

Termocouple adalah sensor yang terdiri dari dua plat konduktor yang disatukan yang merespon

perubahan suhu yang mengenaunya menjadi perubahan tegangan, sedangkan termocouple tipe K sangat cocok untuk mengukur temperature ruang bakar boiler karena mampu bekerja pada suhu yang tinggi.

Untuk menghasilkan steam kering dengan tekanan yang tinggi, maka diperlukan sebuah bejana tertutup, yaitu shellwater yang dirancang tertutup tidak ada kontak dengan udara luar.

Dari hasil analisa terhadap ketel uap pipa air berbahan bakar cangkang dan serabut maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kalor bawah (Low Heating Value) berdasarkan perhitungan dari rumus Dulong dan Petit diperoleh sebesar 19269,01625 kJ kg
2. Jumlah udara yang dibutuhkan untuk pembakaran teoritis (stoikiometri) untuk 1kg bahan bakar

cangkang dan serabut adalah sebesar 1,557725 [kg/kg bahan bakar]

3. Bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap sebanyak 45 Ton jam dengan tekanan 24 bar dan temperatur 290 °C adalah sebesar 7500 kg jam

4. Gas asap yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar cangkang dan serabut $m_{bb} = 7500$ [kg/jam] adalah sebesar 95039,82068 [kg gas asap/jam] Efisiensi thermal ketel uap adalah 79,9 %.

5.2 SARAN

Dihadapi, maka dapat diambil saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi perusahaan agar dapat mencapai efisiensi dan efektifitas dalam melakukan kebijaksanaan pemeliharaan secara berkala dan terus – menerus sesuai dengan Standart Operasional

Prosedure agar Water Tube Boiler tidak terjadi kerusakan/kebocoran.

I (Ketel Uap)". Jakarta: CV. Rajawali.

DAFTAR PUSTAKA

1. Djokosetyardjo, M J. 1989. "*Ketel Uap (Cetakan Pertama)*". Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

2. Energy Efficiency Guide for Industry in Asia (United Nation Environment Programme). 2006.

"Boilers and Thermic Fluid Heaters". Jurnal Ilmiah Bahasa Inggris:

http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/Boilers_and_Thermic_FluidHeaters.pdf (Diakses pada tanggal 7 Mei 2016).

3. Fadilah, Ridho. 2015. "*Makalah Ketel Uap*". Makalah Bebas:

https://www.academia.edu/8596574/Makalah_Ketel_Uap

4. Muin, Syamsir A. 1988. "*Pesawat-Pesawat Konversi Energi*

5. <https://lppmunigresblo.files.wordpress.com/2013/06/jurnal-ta-pdf.pdf>

6. <http://ahmadelm/2014/01/pembangkit-listrik-tenaga-uap-pltu.html>

7. Data seminar "Muhammad Ridwan, angkatan 2011 (*Pemeliharaan Fire Tube Boiler*)".