

**ANALISA MESIN BOILLER PADA PABRIK PENGOLAHAN
KELAPA SAWIT DI PT. JEBSINDO SARANA TEKNOLOGI**

LAPORAN KERJA PRAKTEK LAPANGAN

MAHASISWA KERJA PRAKTEK:

RICKY RONALDO SIANIPAR / 178130108

DANIEL O S HUTABARAT / 178130058



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**MEDAN
2020**

**ANALISA MESIN BOILLER PADA PABRIK PENGOLAHAN
KELAPA SAWIT DI PT. JEBSINDO SARANA TEKNOLOGI**

LAPORAN KERJA PRAKTEK LAPANGAN

MAHASISWA KERJA PRAKTEK:

RICKY RONALDO SIANIPAR / 178130108

DANIEL O S HUTABARAT / 178130058



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**MEDAN
2020**

**S ANALISA MESIN BOILLER PADA PABRIK PENGOLAHAN
KELAPA SAWIT DI PT. JEBSINDO SARANA TEKNOLOGI**

LAPORAN KERJA PRAKTEK LAPANGAN

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Pengajuan Tugas Akhir di
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan
Area

MAHASISWA KERJA PRAKTEK:

RICKY RONALDO SIANIPAR / 178130108

DANIEL O S HUTABARAT / 178130058

Dosen Pembimbing Kerja Praktek :

Ir. Amru Siregar, MT

NIDN. 0022065901

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN KERJA PRAKTEK (KP)

Judul Kerja Praktek: Analisa Mesin Boiller Pada Pabrik Pengolahan Kelapa
Sawit Di PT. Jebsindo Sarana Teknologi

Tempat Kerja Praktek: PT. Jebsindo Sarana Teknologi

Waktu Kerja Praktek : Mulai : 28 Oktober 2020 Selesai: 5 Desember 2020

Nama Mahasiswa Peserta KP:	NIM:
1.Ricky Ronaldo Sianipar	1.178130108
2.Daniel O S Hutabarat	2.178130058

Telah mengikuti kegiatan Kerja Praktek sebagai salah satu syarat untuk mengajukan **Tugas Akhir/Skripsi** di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area.

Nama Dosen Pembimbing Kerja Praktek : Ir. Amru Siregar, MT
NIDN : 0022065901

Diketahui oleh,
Dosen Pembimbing KP,

(Ir. Amru Siregar, MT.)
NIDN. 0022065901

Medan, 5 Desember 2020
Wakil Mahasiswa Peserta KP

(Ricky Ronaldo Sianipar)
NPM. 178130108

Disetujui Oleh:
Ketua Program Studi Teknik



(Muhammad Idris, ST, MT)
NIDN. 013301301

70 (B)

HALAMAN PENGESAHAN KERJA PRAKTEK (KP)

Judul Kerja Praktek : Analisa Mesin Boiller Pada Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit
Di PT. Jebsindo Sarana Teknologi

Waktu Kerja Praktek : Mulai : 28 Oktober Selesai: 5 Desember 2020

Nama Mahasiswa PesertaKP :	NIM :
1. Ricky Ronaldo Sianipar	1. 178130108
2. Daniel O S Hutabarat	2. 178130058

Telah mengikuti kegiatan Kerja Praktek sebagai salah satu syarat untuk mengajukan **Tugas Akhir/Skripsi** di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area.

Medan, 5 Desember 2020

Diketahui oleh:
Pembimbing Lapangan,



(Daniel Pasaribu)
SPV Power Plant

Disetujui Oleh:
Pimpinan Perusahaan



(Sahala Napitupulu)
Mill Manager

KATA PENGANTAR

Dengan rasa syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, akhirnya Penulis dapat menyelesaikan kegiatan Kerja Praktek dan membuat laporan kegiatan Kerja Praktek yang berjudul **“Analisa Mesin Boiller Pada Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit Di PT. Jepsindo Sarana Teknologi.”**

Penulis menyadari bahwa teriaksananya kegiatan Kerja Praktek dan penulisan Laporan ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc. selaku Rektor Universitas MedanArea
2. Ibu Dr. Grace Yuswita Harahap, ST, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas MedanArea.
3. Bapak Muhammad Idris, ST, MT., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Rolan Arifin, selaku Kordinator Dapertemen Produksi.
5. Bapak Sahala Napitupulu, selaku Mill Manager PT. Jepsindo Sarana Teknologi.
6. Bapak Daniel Pasaribu selaku SPV Power Plant PT. Jepsindo Sarana Teknologi serta Pembimbing Kerja Praktek Lapangan.
7. Bapak Josua Silalahi, selaku KTU PT. Jepsindo Sarana Teknologi.

8. Bapak Robinson Pardede, Humas PT. Jepsindo Sarana Teknologi
9. dan seluruh Staf serta Karyawan yang bertugas di PT. Jepsindo Sarana Teknologi, yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.

Penulis menyadari sepenuhnya Laporan Kerja Praktek ini masih jauh dari kesempurnaan dan banyak kekurangannya. Untuk itu penulis sangat mengharapkan adanya saran dari para pembaca untuk memperbaiki dan melengkapi penulisan ini ke depannya, penulis berharap semoga tulisan ini dapat berguna dan memperkaya ilmu pengetahuan bagi para pembaca. akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Medan, 5 Desember 2020



Penulis.

DAFTAR ISI

<i>ANALISA MESIN BOILLER PADA PABRIK PENGOLAHAN KELAPA SAWIT DI PT. JEBSINDO SARANA TEKNOLOGI</i>	<i>i</i>
<i>KATA PENGANTAR</i>	<i>v</i>
<i>DAFTAR ISI</i>	<i>vii</i>
<i>DAFTAR GAMBAR</i>	<i>xi</i>
<i>DAFTAR TABEL</i>	<i>xiii</i>
<i>DAFTAR SIMBOL</i>	<i>xiv</i>
<i>BAB I PENDAHULUAN</i>	<i>1</i>
1.1. Latar Belakang Pelaksanaan Kerja Praktek	1
1.2. Batasan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	2
1.5. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Kerja Praktek	3
1.6. Metode Pengumpulan Data	3
1.7. Sistematika Penulisan.....	3
<i>BAB II TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN</i>	<i>5</i>
2.1. SEJARAH UMUM PERUSAHAAN.....	5
2.2. PROFIL PERUSAHAAN	5
2.3. TUJUAN PERUSAHAAN	7
2.4. LOKASI USAHA DANKEGIATAN	7
2.5. STRUKTUR ORGANISASI PERUSAHAAN.....	7
2.6. LAYOUT POWER PLANT.....	7
<i>BAB III LANDASAN TEORI</i>	<i>8</i>
3.1. PENGERTIAN BOILER	8

3.2.	STASIUN BOILER PALM OIL MILL.....	9
3.2.1.	SPESIFIKASI KETEL UAP.....	10
3.2.2.	Cara kerja:.....	11
3.3.	BAGIAN-BAGIAN BOILER.....	11
3.3.1.	Ruang Bakar(Furnace).....	11
3.3.2.	Forced Draft Fan (Fd Fan).....	12
3.3.3.	Drum Atas (SteamDrum).....	12
3.3.4.	Pipa Uap Pemanas Lanjut (SuperheaterPipe).....	12
3.3.5.	Drum Bawah (MudDrum).....	13
3.3.6.	Pipa-Pipa Air(Header).....	13
3.3.7.	Pembuangan Abu (AshHopper).....	14
3.3.8.	Pembuangan GasBekas.....	14
3.3.9.	Pressure Furnace DraftController.....	15
3.3.10.	Induced DraftFan.....	15
3.3.11.	DustCollector.....	16
3.3.12.	Alat-AlatPengaman.....	16
3.3.13.	Pipa Waterwall.....	20
3.3.14.	Superheater.....	21
3.4.	PENGOPERASIAN BOILER.....	21
3.5.	Bahan BakarBoiler.....	25
3.5.1.	Komposisi Bahan Bakar Cangkang dan Fiber.....	27
3.6.	Siklus Rankine.....	28
3.7.	Proses Pembentukan Uap.....	32
3.8.	Metode Pengkajian Efisiensi Boiler.....	33
3.9.	Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler :.....	34
3.9.1.	Metode Langsung.....	34
3.9.2.	Metode TidakLangsung.....	35
3.10.	Neraca Panas.....	36
3.11.	Nilai kalor (HeatingValue).....	37

3.13.	Gas Asap.....	39
3.14.	Volume Gas Asap.....	40
<i>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</i>		<i>41</i>
4.1.	Pendahuluan.....	41
4.2.	Perhitungan Efisiensi Boiler.....	42
4.3.	Data Spesifikasi Boiler.....	43
4.4.	Data Dari Stasiun Boiler	43
4.5.	Data Hasil Percobaan Bom Kalorimeter	51
4.6.	Kalor Bahan Bakar	52
4.6.1.	Analisa Nilai Kalor Bahan Bakar Serabut Kelapa Sawit Murni.....	52
4.6.2.	Analisa Nilai Kalor Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit Murni	55
4.6.3.	Analisa Nilai Kalor Bahan Bakar Serabut 75% + Cangkang 25% Kelapa Sawit.....	59
4.7.	Kebutuhan Udara Bahan Bakar.....	62
4.8.	Perhitungan GasAsap.....	62
4.9.	Analisa gas asap basah	63
4.10.	Volume GasAsap.....	64
4.11.	Perhitungan efisiensi boiler	64
4.12.	Analisa efisiensi boiler saat kPau	66
4.12.1	Analisa berdasarkan data 1	68
4.12.2.	Analisa berdasarkan data 2	70
4.12.3.	Analisa berdasarkan data 3	72
4.12.4.	Analisa berdasarkan data 4	74
4.12.5.	Analisa berdasarkan data 5	76
4.12.6.	Analisa berdasarkan data 6	77
<i>BABV.....</i>		<i>88</i>
5.1.	Kesimpulan.....	88

5.2. Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN.....	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram sederhana <i>firetubeboiler</i>	7
Gambar 2.2 Watertube boiler.....	7
Gambar 2.3 Ketel stasioner(<i>stationaryboiler</i>).....	9
Gambar 2.4 Ketel mobil(<i>mobileboiler</i>).....	9
Gambar 2.5 Ketel pembakarandidalam.....	10
Gambar 2.6 Ketelpembakarandiluar.....	10
Gambar 2.7 <i>Single tubesteamboiler</i>	11
Gambar 2.8 <i>Multi firetube boiler</i>	11
Gambar 2.9 Ketel tegak (<i>verticalsteamboiler</i>).....	12
Gambar 2.10 Ketel mendatar (<i>horizontalsteamboiler</i>).....	12
Gambar 2.11 Ketel dengan pipa lurus, bengkok, danberlekak-lekuk.....	13
Gambar 2.12 Ketel dengan pipa miring-datar danmiringtegak.....	13
Gambar 2.13Fd fan.....	15
Gambar 2.14Steamdrum.....	15
Gambar 2.15Muddrum.....	16
Gambar 2.16 Pembuangan abu(<i>Ashhopper</i>).....	17
Gambar2.17Chimney.....	17
Gambar 2.18 <i>Pressure furnacedraftcontroller</i>	18
Gambar 2.19 <i>Induceddraftfan</i>	18
Gambar 2.20 <i>Dustcollector</i>	19
Gambar 2.21 <i>Savetyvalve</i>	19

Gambar 2.22 Gelas Penduga	20
Gambar 2.23 Keran <i>blowdown</i>	21
Gambar 2.24 <i>Manometer</i>	21
Gambar 2.25 Keran uap induk	22
Gambar 2.26 <i>Water level controller</i>	22
Gambar 2.27 <i>Soot blower</i>	

DAFTAR TABEL

Table 4. 1 Spesifikasi boiler.....	43
Table 4. 2Data 1. Senin, 7 Desember 2020.....	44
Table 4. 3Data 2. Selasa, 8 Desember 2020	45
Table 4. 4Data 3. Rabu, 9 Desember 2020	46
Table 4. 5 Data 4. Kamis, 10 Desember 2020	47
Table 4. 6Data 5. Jumat, 11 Desember 2020	48
Table 4. 7Data 6. Sabtu, 12 Desember 2020.....	49
Table 4. 8Data 7. Senin, 7 Desember 2020s/d Sabtu, 12 Desember 2020.....	50
Table 4. 9. Serabut kelapa sawit murni.....	51
Table 4. 10. Cangkang kelapa sawit murni.....	51
Table 4. 11. Serabut 75% + Cangkang 25% kelapa sawit	51
Table 4. 12. Hasil analisa nilai kalor bahan bakar serabut kelapa sawit murni	55
Table 4. 13. Hasil analisa nilai kalor bahan bakar cangkang kelapa sawit murni	58
Table 4. 14. Hasil analisa nilai kalor bahan bakar serabut 75% + cangkang 25% kelapa sawit.....	61
Table 4. 15. Hubungan tekanan superheater dengan steam flow.....	79
Table 4. 16. Hubungan entalphy uap dengan efisiensi boiler	81
Table 4. 17. Hubungan tekanan superheater dengan efisiensi boiler.....	82
Table 4. 18. Hubungan Suhu Air Umpan dengan Efisiensi Boiler.....	83
Table 4. 19. Hubungan produksi uap dengan efisiensi boiler.....	84
Table 4. 20. Hubungan enthalpy uap, tekanan superheater, temperatur air umpan, dan produksi uap dengan efisiensi boiler.....	85

DAFTAR SIMBOL

Notasi	Arti	Satuan
η	Efisiensi	(%)
t	Temperatur	(°C)
HHV	High heating value	(kJ/kg)
LHV	Low heating value	(kJ/kg)
h	Entalpi	(kJ/kg)
W_f	Banyaknya bahan bakar	(Kg/s)
W_s	Kapasitas uap	(kg uap /jam)
V_g	Volume gas asap	(m ³ /kgBB)
P	Tekanan	(kPa)
α	Faktor kelebihan udara	(%)
G_t	Berat gas asap teoritis	(kg/kgBB)
G_s	Berat gas asap sebenarnya	(kg/kgBB)
U_t	Kebutuhan udara teoritis	(kg/kgBB)
U_s	Kebutuhan udara sebenarnya	(kg/kgBB)
h_3	Entalpi uap	(kJ/kg)
h_1	Entalpi air umpan/pengisi ketel	(kJ/kg)
P_3	Tekanan superheater	(kPa)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Pelaksanaan Kerja Praktek

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi akan semakin pesat jika diimbangi dengan berbagai penemuan dan inovasi dibidang teknologi yang kemudian diterapkan dalam dunia industri. Kegiatan riset teknologi mandiri merupakan tuntutan ditengah ketatnya persaingan global. Negara dengan inovasi rendah akan semakin bergantung pada negara yang memiliki inovasi tinggi dalam bidang Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) seiring dengan terus meningkatnya kesadaran terhadap Hak Atas Kekayaan Intelektual (HAKI). Oleh karena itu, pengembangan teknologi akhirnya meningkatkan kualitas dan daya saing suatu negara. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan mempersiapkan sumber daya manusia (SDM) yang siap pakai dan terampil sehingga dapat bersaing dengan SDM dari negara asing.

Boiler mempunyai peranan yang sangat penting dalam kelangsungan kinerja dari sebuah pabrik kelapa sawit dengan kata lain bisa dikatakan sebagai jantung dari pabrik kelapa sawit. Fungsi dari boiler adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik, dan membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik maupun perumahan karyawan di sekitar pabrik.

Peralatan pabrik yang berupa sistem boiler merupakan aset yang sangat penting bagi perusahaan. Boiler disini mempunyai peranan penting dalam proses produksi uap, dimana uap ini nantinya akan digunakan untuk memutar turbin uap sebagai penghasil energi listrik untuk kebutuhan pabrik dan uap keluaran turbin digunakan untuk proses pengolahan, di *Palm Oil Mill* uap menjadi kebutuhan utama, dimana uap dibutuhkan untuk stasiun perebusan (sterilizer), stasiun press (digester), stasiun klarifikasi, stasiun pengolahan inti sawit, dan stasiun tangki timbun.

Berdasarkan uraian diatas, penulis merasa tertarik untuk membahas dan mengetahui lebih banyak lagi tentang hal-hal yang berkaitan dengan boiler di

Palm Oil Mill, dimana data-data yang penulis gunakan untuk laporan Kerja Praktek (KP) diambil dari pengamatan langsung di PT. Jepsindo Sarana Teknologi tertanggal 28 Oktober 2020 – 5 Desember 2020.

1.2. Batasan Masalah

Penulis membatasi masalah-masalah yang akan dibahas dalam penyusunan laporan ini. Adapun batasan masalah yang akan dibahas dalam laporan ini adalah:

- a. Menghitung efisiensi *Water Tube Boiler* dari data yang ada di lapangan.
- b. Berdasarkan dari komposisi bahan bakar yang digunakan maka nilai kalor pembakaran rendah (LHV) tidak berubah.
- c. Metode analisa *Water Tube Boiler* yang digunakan adalah metode secara langsung.
- d. Mencari nilai *enthalpy* menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*.

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menganalisa efisiensi *Water Tube Boiler* di PT. Jepsindo Sarana Teknologi
- b. Membandingkan efisiensi boiler saat kPau dengan keadaan sekarang.
- c. Mendapatkan hubungan variasi tekanan superheater dengan efisiensi boiler.
- d. Mendapatkan hubungan variasi suhu air umpan dengan efisiensi boiler.
- e. Mendapatkan hubungan variasi jumlah uap yang dihasilkan dengan efisiensi boiler.

1.4. Manfaat

- a. Bagi penulis sendiri menambah wawasan dan pengetahuan tentang *Water Tube Boiler*.
- b. Sebagai bahan perbandingan bagi mahasiswa lain yang akan membahas hal yang sama.

- c. Membandingkan antara teori yang diperoleh dari bangku perkuliahan dengan yang ada di lapangan.

1.5. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Kerja Praktek

Pelaksanaan Kerja Praktek ini dilakukan di PT. Jepsindo Sarana Teknologi yang berlokasi di Huta Lombang, Lubuk KPaumun, Kabupaten Padang Lawas, Sumatera Utara.

Waktu pelaksanaan kerja praktek ini dimulai dari 28 Oktober 2020 sampai dengan 5 Desember 2020.

1.6. Metode Pengumpulan Data

Dalam menyusun laporan ini, penulis melakukan beberapa metode dalam pengumpulan data diantaranya:

1. Tinjau lapangan yakni dengan melakukan pengambilan data terhadap objek yang diteliti secara langsung kelapangan.
2. Konsultasi dengan pembimbing lapangan dan pembimbing di perkuliahan.
3. Studi literatur yaitu mempelajari buku-buku referensi dalam melengkapi teori-teori yang berhubungan dengan water tube boiler.

1.7. Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan dibuat dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bagian awal yang berisi tentang halaman judul, halaman pengesahan, kata pengantar, daftar isi dan daftar lampiran.

Bagian kedua adalah merupakan bagian utama atau isi dari penulisan laporan ini, yang terdiri dari lima bab:

1. Bab I :Pendahuluan, meliputi Latar Belakang Pelaksanaan Kerja Praktek, Batasan Masalah, Tujuan Pelaksanaan Kerja Praktek, Manfaat Pelaksanaan Kerja Praktek, Tempat dan Waktu Pelaksanaan Kerja Praktek, Metode Pengumpulan Data, Sistematika Penulisan.

2. Bab II : Tinjauan Umum Perusahaan, berisikan sejarah singkat perusahaan, struktur organisasi perusahaan, manajemen perusahaan.
3. Bab III : Landasan Teori
Pada bab ini akan membahas mengenai konsep dasar boiler, serta teori-teori umum.
4. Bab IV : Analisa data dan Pembahasan
Pada bab ini akan diuraikan tentang proses perhitungan dari data-data yang sudah didapatkan perhitungan dilakukan berdasarkan landasan teori dimana rumus-rumus tersebut akan digunakan untuk mendapatkan data- data hasil yang diinginkan proses perhitungan dan pembahasan akan disajikan secara teratur dan terangkai dengan baik .
5. Bab V : Kesimpulan Dan Saran
Pada bab ini berisikan tentang intisari ataupun kesimpulan yang didapatkan dalam pelaksanaan kerja praktek dan hasil yang didapatkan. Bab ini akan menguraikan secara singkat hal-hal yang sangat penting tentang hasil yang diperoleh.
6. Daftar Pustaka
berisikan literatur yang digunakan dalam penelitian dan penyusunan laporan ini.

BAB II

TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN

2.1. SEJARAH UMUM PERUSAHAAN

PT. Jepsindo Sarana Teknologi adalah salah satu perusahaan yang ikut andil dalam usaha di bidang pengolahan kelapa sawit yang berasal dari bahan baku Tandan Buah Segar (TBS) menjadi *Crude Palm Oil* (CPO), dan sekarang sudah mempunyai 1 (satu) unit PKS dengan kapasitas 45 Ton TBS/jam. Pelaksanaan kegiatan pengelolaan dan pemantauan lingkungan, serta pelaporan dilaksanakan per semester yaitu:

- Semester I (Januari – Juni)
- Semester II (Juli – Desember)

Secara garis besar kegiatan di PKS PT. Jepsindo Sarana Teknologi, meliputi proses pengolahan TBS menjadi minyak kelapa sawit (CPO) dan inti sawit (Palm Kernel), pengolahan limbah cair dan pengelolaan limbah padat yang dihasilkan dari proses produksi.

2.2. PROFIL PERUSAHAAN

Nama Perusahaan/Pemrakarsa	: PT. Jepsindo Sarana Teknologi
Jenis Badan Hukum	: Perseroan Terbatas
Alamat Perusahaan/Pemrakarsa	: Jl. Denai no.141, Tegal Sari Mandala 2, Medan Denai 20226
Nomor Telepon	: 061-42903388
Status Permodalan	: PMDN
Bidang Usaha dan atau Kegiatan	: Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit
SK AMDAL yang Disetujui	: Tidak ada Amdal
Penanggung Jawab	: H. Erianto
Jabatan	: Mill Manager

2.3. TUJUAN PERUSAHAAN

PT. Jepsindo Sarana Teknologi memiliki tujuan, yaitu :

1. Memperluas lapangan pekerjaan, untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat pada umumnya dan meningkatkan taraf hidup karyawan.
2. Memelihara kekayaan alam serta menjaga kelestarian lingkungan sehingga terciptanya kesuburan tanah, mata air dan mengurangi polusi udara maka terbentuklah keseimbangan lingkungan yang nyaman.
3. Menghasilkan produk yang bermutu, halal dan berkualitas tinggi bagi konsumen.
4. Melestarikan kelapa sawit sebagai sumber daya local dan alternatif peningkatan ekonomi berbasis kelapa sawit.

2.4. LOKASI USAHA DAN KEGIATAN

Kegiatan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. Jepsindo Sarana Teknologi secara administratif berlokasi di Desa Huta Lombang Kabupaten Padang Lawas. Secara lebih jelas lokasi usaha dan atau kegiatan Pengolahan Kelapa Sawit PT. Jepsindo Sarana Teknologi dapat di lihat pada Gambar 1.

2.5. STRUKTUR ORGANISASI PERUSAHAAN

PT. Jepsindo Sarana Teknologi memiliki beberapa sumber daya manusia dalam melaksanakan pekerjaannya, yang tertera dalam susunan struktur organisasi perusahaan yang akan dilampirkan :

2.6. LAYOUT POWER PLANT

Terlampir pada Lampiran (1-5).

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. PENGERTIAN BOILER

Boiler/ketel uap merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam berupa energi kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air panas atau steam pada tekanan dan suhu tertentu mempunyai nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, maka volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga sistem boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan steam yang akan digunakan.

Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-temperatur rendah (low pressure/LP), dan tekanan-temperatur tinggi (high pressure/HP), dengan perbedaan itu pemanfaatan steam yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (commercial and industrial boilers), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik (power boilers). Namun, ada juga yang menggabungkan kedua sistem boiler tersebut, yang memanfaatkan tekanan-temperatur tinggi untuk membangkitkan energi listrik, kemudian sisa steam dari turbin dengan keadaan tekanan-temperatur rendah dapat dimanfaatkan ke dalam proses industri.

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem steam, dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan

dan perbaikan dari sistem air umpan, penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem steam.

Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.

Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

3.2. STASIUN BOILER PALM OIL MILL

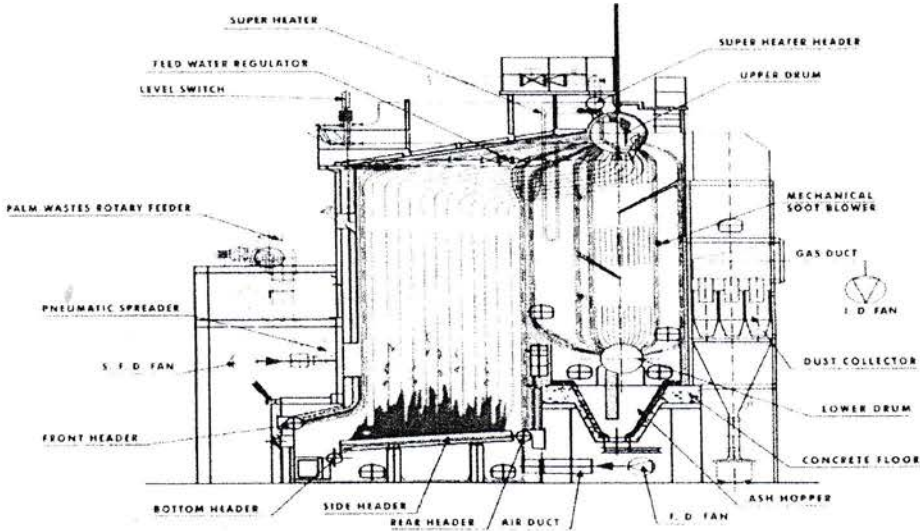
Sistem boiler pada Palm Oil Mill terdiri dari sistem air umpan, sistem steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai valve disediakan untuk keperluan pada pipa. Air yang diperlukan untuk pengisi boiler sumber utamanya adalah daerator dari feed tank. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna.

Tekanan steam pada keseluruhan sistem diatur menggunakan valve dan dipantau dengan alat indikator tekanan. Sistem bahan bakar adalah peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem, air yang disuplai ke boiler untuk dirubah menjadi steam (uap) disebut air umpan.

Boiler/ketel uap pada dasarnya terdiri dari bumbung (drum) yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing-masing.

Ketel uap yang akan dibahas dalam laporan ini sesuai dengan yang dipakai di *Palm Oil Mill* yaitu: Ketel pipa air (*water tube boiler*). Pada ketel pipa air,

fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, energi panas ditransfer dari luar pipa (yaitu ruang dapur) ke air ketel yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1. Water Tube Boiler

3.2.1. SPESIFIKASI KETEL UAP

Adapun data ketel uap pada PALM OIL MILL adalah sebagai berikut :

JenisKetel	: Ketel PipaAIR
Model	: MACKENZIE BOILER
NegaraPembuat	: Malaysia
Type	: MKZ 918076
KapasitasProduksiUap	: 45 Ton/Jam
TekananKerja Maksimal	: $0.000003 \text{ N/m}^2 = 0.3 \times 10^{-9} \text{ kPa}$
TekananDesain	: $0.000003 \text{ N/m}^2 = 0.3 \times 10^{-9} \text{ kPa}$
TekananKerja Normal	: $2,9 \text{ N/mm}^2 = 29 \text{ KPa}$
TekananHidrostatikTest	: $4,35 \text{ N/mm}^2 = 43,5 \text{ KPa}$
Temperatur airmasukketel	: 103°C
TemperaturUapSuperheater	: 350°C
LuasDapur	: 7.6 m^2

3.2.2. Cara kerja:

Proses pengapian terjadi diluar pipa. Panas yang dihasilkan digunakan untuk memanaskan pipa yang berisi air. Air umpan itu sebelumnya dikondisikan terlebih dahulu melalui economizer. Steam yang dihasilkan kemudian dikumpulkan terlebih dahulu didalam sebuah steam drum sampai sesuai. Setelah melalui tahap secondary superheater dan primary superheater, kPau steam dilepaskan ke pipa utama distribusi.

Karakteristik:

- a. Tingkat efisiensi panas yang dihasilkan cukup tinggi.
- b. Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari plant pengolahan air. Sehingga air harus dikondisikan terhadap mineral dan kandungan lain yang larut dalam air.
- c. Boiler ini digunakan untuk kebutuhan tekanan steam yang sangat tinggi seperti pada pembangkit tenaga.
- d. Menggunakan bahan bakar minyak, dan gas untuk water tube boiler yang dirakit di pabrik.
- e. Menggunakan bahan bakar padat untuk water tube boiler yang tidak dirakit di pabrik.

3.3. BAGIAN-BAGIAN BOILER

Pada garis besarnya water tube boiler terdiri dari:

3.3.1. Ruang Bakar (Furnace)

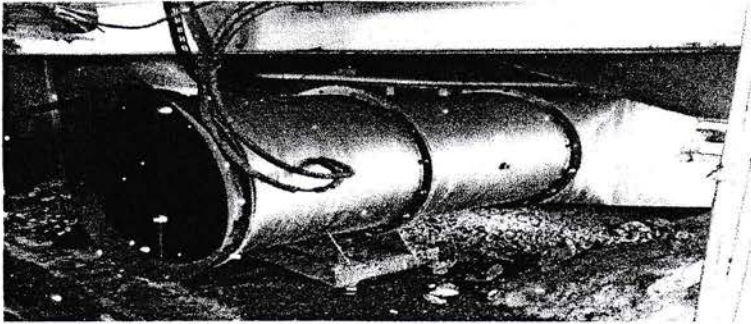
Terdiri dari 2 ruangan, yaitu:

- a. Ruang pertama, berfungsi sebagai ruang pembakaran, dimana panas yang dihasilkan diterima langsung oleh pipa-pipa air yang berada di dalam ruang dapur tersebut, yang terdiri dari pipa-pipa air dari drum ke header samping kanan-kiri.
- b. Ruang kedua, merupakan ruang gas panas yang diterima dari hasil pembakaran dalam ruang pertama. Dalam ruang ini sebagian besar

panas dari gas diterima oleh pipa-pipa air drum atas ke drumbawah.

3.3.2. Forced Draft Fan (Fd Fan)

Dalam ruang pembakaran pertama, udara pembakaran ditiupkan oleh blower penghebus udara (forced draft fan) melalui kisi-kisi bagian bawah dapur (fire grates/under roaster).



Gambar 3. 2. Fd Fan

3.3.3. Drum Atas (Steam Drum)

Drum atas berfungsi sebagai tempat pembentukan uap.



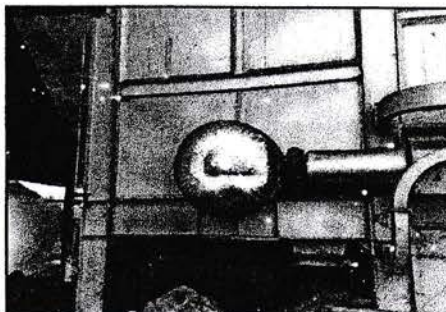
Gambar 3. 3. Steam Drum

3.3.4. Pipa Uap Pemanas Lanjut (Superheater Pipe)

Uap hasil penguapan di dalam drum atas untuk sebagian turbin belum dapat dipergunakan, untuk itu harus dilakukan pemanasan uap lebih lanjut melalui pipa superheater sehingga uap benar-benar kering dengan suhu 260-280 °C . Superheater pipe ini dipasang di dalam ruang bakar kedua.

3.3.5. Drum Bawah (MudDrum)

Drum bawah berfungsi sebagai tempat pemanasan air yang didalamnya dipasang plat-plat pengumpul endapan untuk memudahkan pembuangan keluar (blowdown).



Gambar 3. 4. MudDrum

3.3.6. Pipa-Pipa Air(Header)

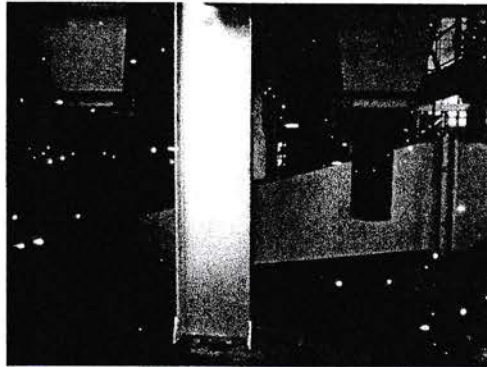
Pipa-pipa air ini berfungsi sebagai tempat pemanasan air yang dibuat sebanyak mungkin, sehingga penyerapan panas lebih merata dengan efisiensi tinggi.

Pipa-pipa air ini terbagi dalam :

- a. Pipa air yang menghubungkan drum atas dengan header muka/belakang.
- b. Pipa air yang menghubungkan drum dengan header samping kanan/sampingkiri.
- c. Pipa air yang menghubungkan drum atas dengan drum bawah.
- d. Pipa air yang menghubungkan drum bawah dengan header belakang.

3.3.7. Pembuangan Abu (AshHopper)

Abu yang terbawa gas panas dari ruang pembakaran pertama, terbang/jatuh didalam pembuangan abu yang berbentuk kerucut.

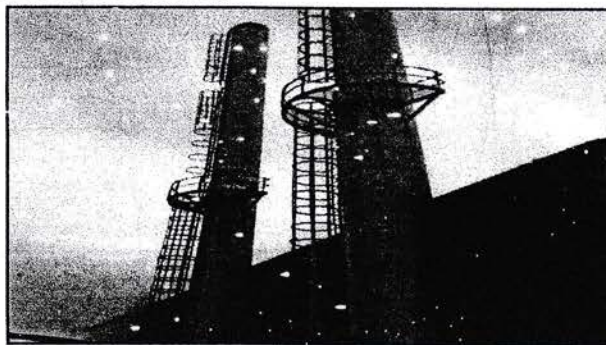


Gambar 3. 5. Pembuangan Abu (Ash Hopper)

3.3.8. Pembuangan GasBekas

Gas bekas setelah ruang pembakaran kedua dihisap oleh blower isap (induced draft fan) melalui saringan abu (dust collector) kemudian dibuang ke udara bebas melalui corong asap (chimney).

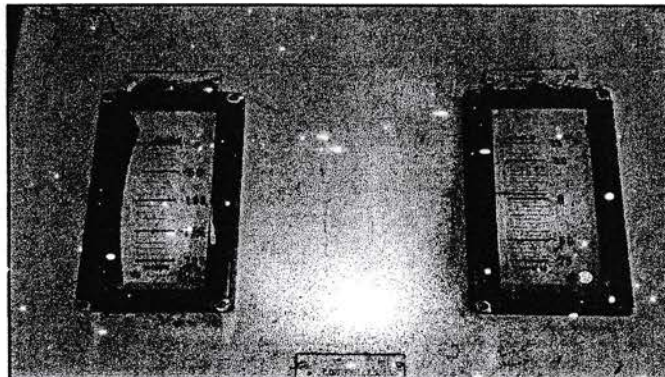
Pengaturan tekanan didalam dapur dilakukan pada corong keluar blower (exhaust) dengan klep yang diatur secara otomatis oleh alat hydrolis (furnace draftcontroller)



Gambar 3. 6. Chimney

3.3.9. Pressure Furnace Draft Controller

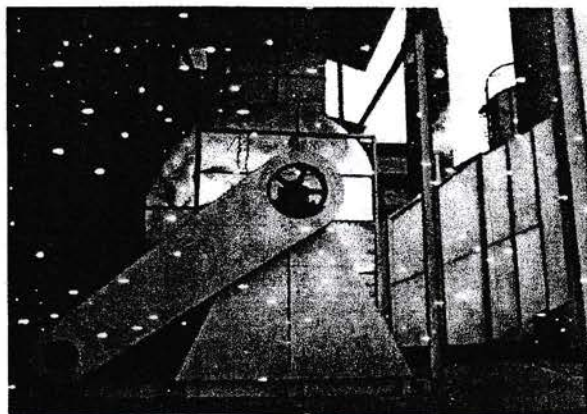
Furnace Draft Controller berfungsi untuk pengatur tekanan permukaan.



Gambar 3. 7. Pressure Furnace Draft Controller

3.3.10. Induced Draft Fan

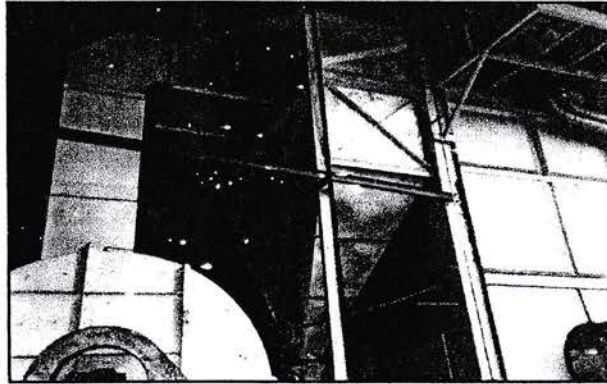
Induced Draft Fan berfungsi sebagai penghisap abu dari gas bekas.



Gambar 3. 8. Induced Draft Fan

3.3.11. DustCollector

Dust Collector berfungsi sebagai penyaring abu gas bekas.

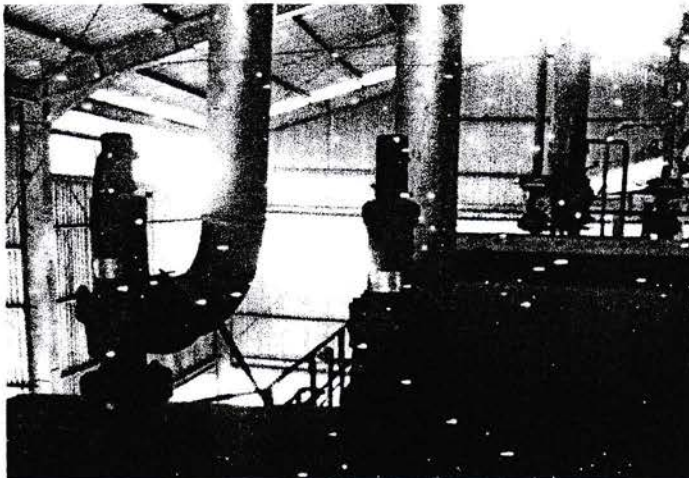


Gambar 3. 9Dust Collector

3.3.12. Alat-AlatPengaman

a. Katup Pengaman (SafetyValve)

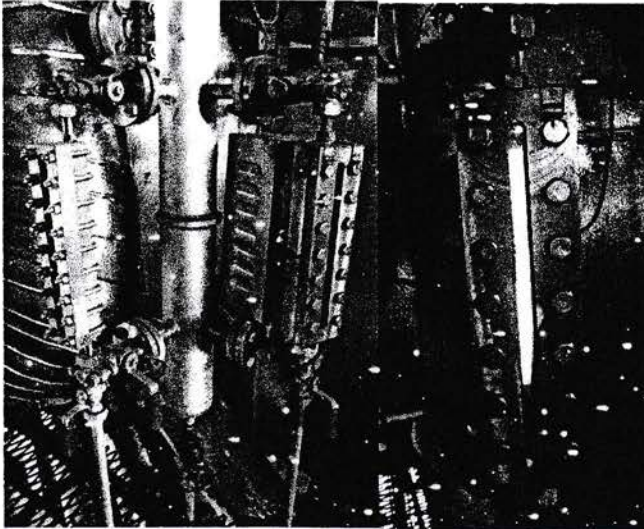
Alat ini bekerja apabila tekanan kerja melebihi dari tekanan yang telah ditentukan sesuai dengan penyetelan klep pada alat ini.



Gambar 3. 10.Savety Valve

b. GelasPenduga

Gelas penduga adalah alat untuk melihat tinggi air didalam drum atas guna memudahkan pengontrolan air dalam ketel selama operasi.

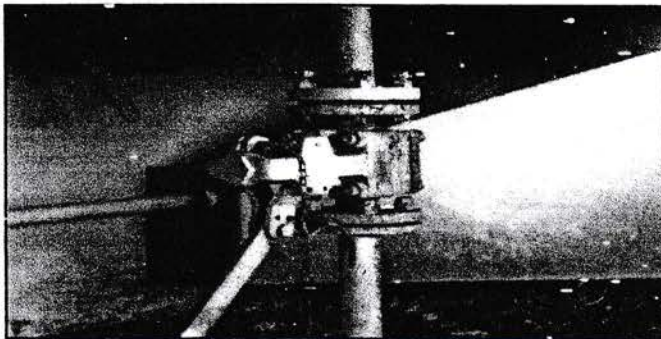


Gambar 3. 11. Gelas Penduga

c. Keran Blowdown

Keran blow down (blow down valve) berfungsi untuk membuang endapan yang tidak terlarut (total dissolved solid) pada mud drum sehingga nilai tds air boiler yang diharapkan dapat terjaga.

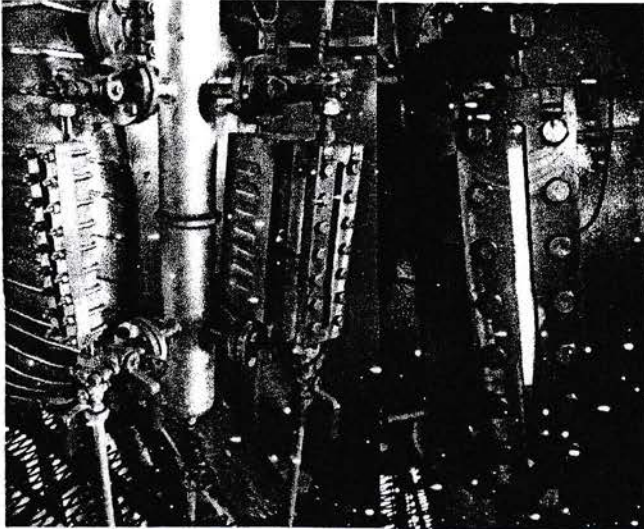
Pola perlakuan blow down lebih baik dengan frekuensi yang tinggi dari pada dilakukan dengan periode yang lama untuk sekali blow down.



Gambar 3. 12. Keran Blow Down

b. GelasPenduga

Gelas penduga adalah alat untuk melihat tinggi air didalam drum atas guna memudahkan pengontrolan air dalam ketel selama operasi.

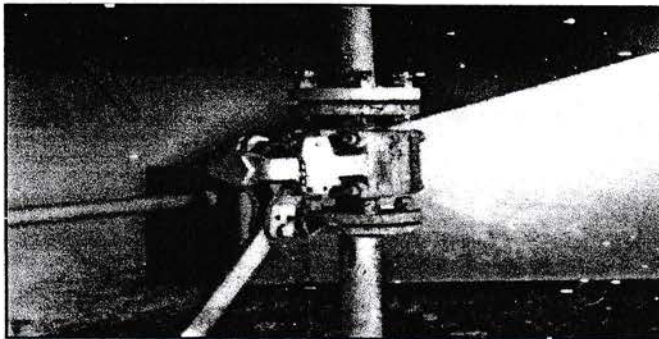


Gambar 3. 11. Gelas Penduga

c. Keran Blowdown

Keran blow down (blow down valve) berfungsi untuk membuang endapan yang tidak terlarut (total dissolved solid) pada mud drum sehingga nilai tds air boiler yang diharapkan dapat terjaga.

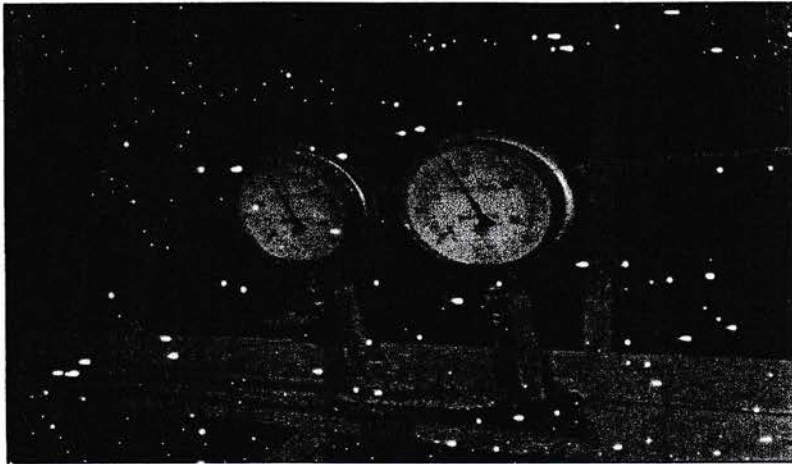
Pola perlakuan blow down lebih baik dengan frekuensi yang tinggi dari pada dilakukan dengan periode yang lama untuk sekali blow down.



Gambar 3. 12. Keran Blow Down

d. Manometer

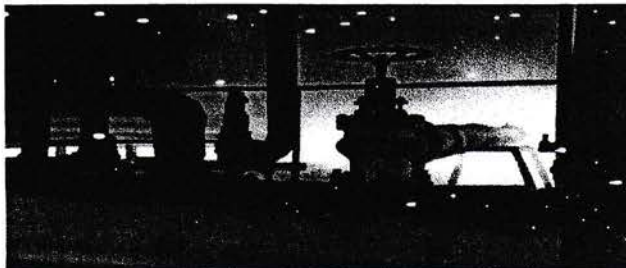
Manometer adalah alat pengukur tekanan uap didalam boiler yang dipasang satu buah untuk penunjuk tekanan uap basah (saturated) dan satu buah untuk tekanan uap kering (superheated).



Gambar 3. 13. Manometer

e. Keran UapInduk

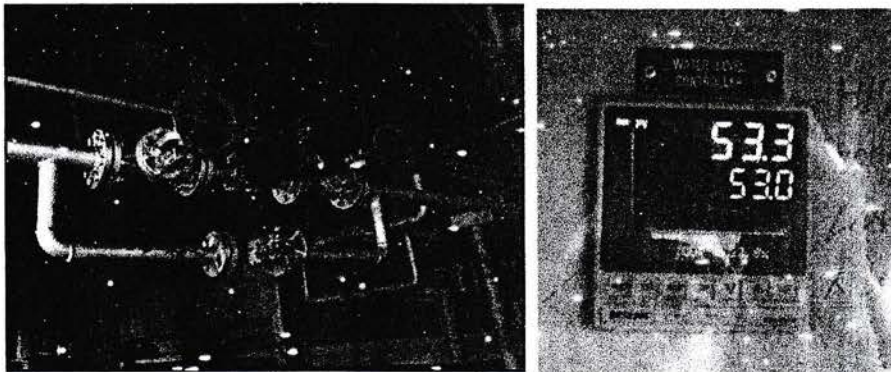
Keran uap induk (main steam valve) berfungsi sebagai alat untuk membuka dan menutup aliran uap boiler yang terpasang pada pipa uap induk.



Gambar 3. 14. Keran Uap Induk

f. Kontrol AirUmpan

Berfungsi sebagai pengontrol bukaan valve air umpan boiler ke dalam steam drum yang dapat dilakukan secara otomatis melalui water level controller.

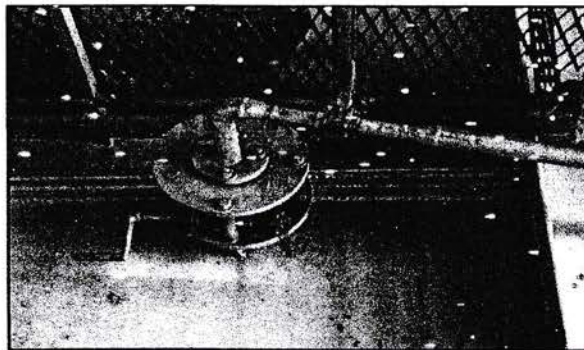


ab

Gambar 3. 15. (a) Automatic Feed Regulator (b) Water Level Controller

g. Soot Blower

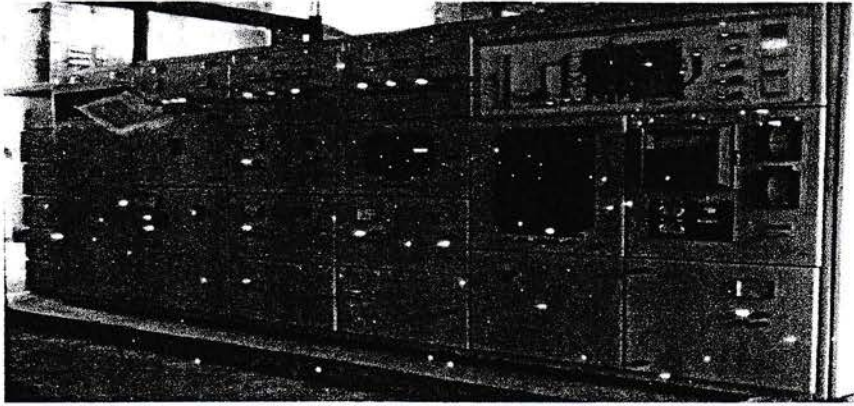
Berfungsi sebagai alat penghebus debu yang ada pada bagian luar pipa-pipa airboiler.



Gambar 3. 16. Soot Blower

h. Panel Utama (Main Panel)

Panel Utama (Main Panel) berfungsi sebagai pengontrol atau alat pengaman semua alat-alat pada boiler.



Gambar 3. 17. Panel Utama (Main Panel)

3.3.13. Pipa Waterwall

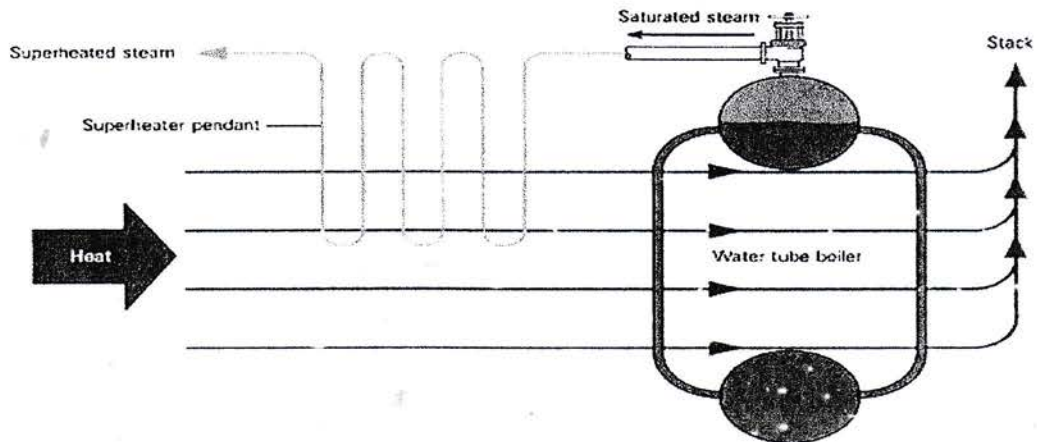
Pada ruang bakar ketel uap komponen yang paling penting adalah pipa waterwall, dimana panas yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar diserap waterwall, sehingga air yang terdapat pada pipa waterwall mengalami kenaikan temperatur sampai berubah menjadi uap. Tube Wall adalah merupakan pipa yang dirangkai membentuk dinding dan dipasang secara vertikal pada 4 (empat) sisi, sehingga membentuk ruangan persegi empat yang disebut ruang bakar. Fungsi tube wall adalah alat pemanas air dengan bidang yang luas sehingga mempercepat proses penguapan.



Gambar 3. 18. Wall Tube Boiler

3.3.14. Superheater

Superheater adalah piranti penting pada unit pembangkit uap. Tujuannya adalah untuk meningkatkan temperatur uap jenuh tanpa menaikkan tekanannya. Biasanya piranti ini merupakan bagian integral dari ketel, dan ditempatkan dijalur gas asap panas dari dapur. Pada dari gas asap ini digunakan untuk memberikan panas lanjut pada uap.



Gambar 3. 19. Superheater

3.4. PENGOPERASIAN BOILER

Pada umumnya setiap mesin yang diproduksi oleh pabrik selalu dilengkapi dengan handbook/ buku petunjuk cara pemasangan, perawatan, dan pengoperasiannya. Begitu juga dengan ketel uap yang ada di PT. VICTORINDO ALAM LESTARI Huta Lombang terdapat buku petunjuk tentang spesifikasi pengoperasian, perawatan, pemasangan, dan lain-lain.

Secara garis besar penulis akan menjelaskan pengoperasian boiler berdasarkan petunjuk yang ada dari buku petunjuk dan penjelasan dari operator, diantaranya:

Ketentuan Umum

Sebelum mengoperasikan boiler ada beberapa hal yang harus diperhatikan demi kelancaran dan keselamatan kerja, diantara:

- Periksa kondisi air di *Feed Tank* melalui bandrol dan *Boiler Steam Drum* melalui Gelas Penduga cukup atau tidak, begitu juga ketersediaan air di *Water Basin*.

- Periksa fungsi kondisi *Deaerator*, *Electrik Pump*, *Fan-Fan*, termasuk

Impeller ID.Fan, Dafety Valve, Soot Blower, Air Compressor dan Control Panel apa dapat bekerja dengan baik.

- c. Pastikan Gelas Penduga berfungsi dengan baik, dan cek sesuai level air minimal 50% di Gelas Penduga dengan kondisi normal dikontrol Panel boiler.
- d. Periksa kondisi pendulum pembagi bahan bakar boiler dengan pneumatic untuk bukaan damper ID fan, FD Fan serta semua Conveyor-conveyor distribusi bahan bakar apa dlam keadaan baik.
- e. Pastikan kesedaa bahan bakar cangkang dan fiber cukup untuk menjalankan boiler.

Untuk Menghidupkan Boiler

- a. Masukkan bahan bakar dan lakukan penibakaran.
- b. Naikkan tekanan secara alami.
- c. Buka kerangan air Vant dan Drain Superheater.
- d. Pastikan Boiler sudah bertekanan 5 Kg/cm²(air vant mengeluarkan steam).
- e. Tutup dumper bahan bakar, ID Fan dan FD Fan.
- f. Posisikan handel operasional ID Fan dan FD Fan pada posisi manual.
- g. Hidupkan pendulung umpan bahan bakar boiler
- h. Hidupkan SA Fan dan FF Fan.
- i. Hidupkan ID Fan seteelah putaran normal, Buka dumper secukupnya.
- j. Hidupkan FD Fan.
- k. Buka dumper bahan bakar.
- l. Hidupkan eletrik pump(sesuai dengan kondisi air di drum)

Operasional

- a. Buka keranan induk perlahan lahan sampai terbuka penuh.tutup keranan air vant dan *super heater boiler*
- b. Setelah *boiler* mencapai tekanan kerja ,putar *heandel* operasional ID Fan dan FD Fan ke posisi otomatis.
- c. Periksa dan catat pada *Boiler Steam Drum* tekanan 30 kg/cm² serta temperatur 250-255°C.
- d. Periksa dan catat pada *Superheater* tekanan 30 kg/cm² serta temperatur 290-300°C.
- e. Periksa dan catat temperatur air daerah *Deaerator* minimal 95°C-105°C.
- f. Periksa dan catat tekanan kerja *Elektrik Pump* normal pada 40 KPa.
- g. Periksa dan catat ke VacumanUdara (*Draught Indikator*) di rang bakar saat boiler beroperasi normal pada -5mmHg.
- h. Lakukan *Shootblowing* setiap 3 atau 5 jam sekaii.
- i. Lakukan *Blowdown* sesaat untuk pengambilan sample TDS oleh *Sample Boy*.
- j. Bila TDS tinggi sesuai ketentuan lakukan *Blowdown* secara continyu.
- k. Periksa dan catat standar parameter air umpan boiler dan standar parameter untuk air boiler 2 kali setiap Shift (4 jam sekali)

pH	8,5 – 9,5
Total hardness	< 1,0
Dissolved Oxygen	0,02
Silica	5 ppn
Iron	0,03 ppn
Copper	0,02 ppn

Parameter mutu air Boiler :

pH (pada suhu 25° C)	10 – 11
Kadar Alkali P (Ca CO ₃)	200 – 350 ppn
TDS (Total Dissolved Solids)	2500 – 3000 ppn

Ion Klorin	di bawah 300 ppn
Ion Sulfid	50 – 150 ppn
Silica	di bawah 75 ppn
Fosfat	50 – 100 ppn
T-hardness	Mill (Tidak ada)

- l. Pastikan supply Bahan bakar, supply air serta distribusi air sesuai parameter agar Boiler berjalan normal.
- m. Pastikan kondisi level air bekerja pada level normal (50 s/d 60) %, jangan sekali - sekali terjadi high (akan terjadi steam basah ke turbin) ataupun posisi low (akan mengakibatkan kerusakan boiler tube).
- n. Pastikan proses pembakaran diruang bakar normal dengan melakukan pengorekan abu boiler minimal 2 jam sekali dan memperhatikan kesesuaian campuran bahan bakar antara cangkang, fiber, dan olahan EFB, termasuk untuk mengurangi asap hitam dari boiler.
- o. Periksa dan catat temperatur flue gas outlet normal sekitar 200°C .
- p. Catat parameter-parameter operasional boiler setiap jam pada log sheet boiler.

Untuk menghentikan Boiler:

- a. Tutup damper untuk bahan bakar, dan secara bersamaan stop FF Fan
- b. Tutup kerangan induk (main steam valve)
- c. Perhatikan air dan gelas penduga masih dalam kondisi normal dan sirkulasi air pada boiler hingga tekanan turun dan ditahan pada 10Kg/Cm²
- d. Stop FD Fan dan SA Fan
- e. Keluarkan abu kerak sisa pembakaran dari pintu dapur
- f. Stop ID Fan dan tutup damper
- g. Periksa dengan seksama semua kerangan blowdown dan continuous blowdown pastikan sudah tertutup semua dan tidak terdapat kebocoran dan juga kerangan air Vent Superheater jangan ada yang terbuka hal ini untuk menjaga agar temperatur boiler dan kondisi air didalam boiler tidak banya berkurang.

3.5. Bahan Bakar Boiler

Agar kualitas uap yang dihasilkan dari ketel uap sesuai dengan yang diinginkan atau dibutuhkan maka dibutuhkan sejumlah panas untuk menguapkan air tersebut, dimana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar ketel. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna di dalam ketel maka diperlukan beberapa syarat, yaitu:

1. Perbandingan pemakaian bahan bakar harus sesuai (cangkang dan fiber)
2. Udara yang dipakai harus mencukupi
3. Waktu yang diperlukan untuk proses pembakaran harus cukup.
4. Panas yang cukup untuk memulai pembakaran
5. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api
6. Dalam hal ini bahan bakar yang digunakan adalah cangkang dan fiber.

Adapun alasan mengapa digunakan cangkang dan fiber sebagai bahan bakar adalah :

1. Bahan bakar cangkang dan fiber cukup tersedia dan mudah diperoleh dipabrik.
2. Cangkang dan fiber merupakan limbah dari pabrik kelapa sawit apabila tidak digunakan.
3. Nilai kalor bahan bakar memenuhi persyaratan untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.
4. Sisa pembakaran bahan bakar dapat digunakan sebagai pupuk untuk tanaman kelapa sawit.
5. Harga lebih ekonomis.

Cangkang adalah sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut.

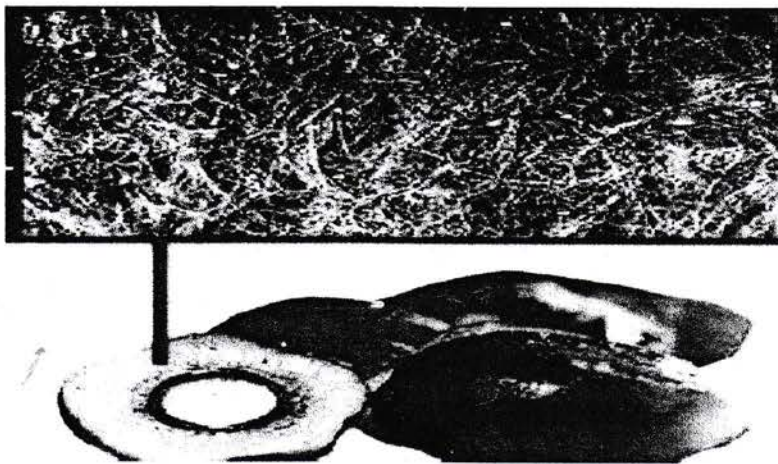
Pada bahan bakar cangkang ini terdapat berbagai unsur kimia antara lain : Carbon (C), Hidrogen (H₂), Nitrogen (N₂), Oksigen (O₂) dan Abu. Dimana unsur

kimia yang terkandung pada cangkang mempunyai persentase (%) yang berbeda jumlahnya, bahan bakar cangkang ini setelah mengalami proses pembakaran akan berubah menjadi arang, kemudian arang tersebut dengan adanya udara pada dapur akan terbang sebagai ukuran partikel kecil yang dinamakan partikel pijar.

Apabila pemakaian cangkang ini terlalu banyak dari fiber akan menghambat proses pembakaran akibat penumpukan arang dan nyala api kurang sempurna, dan jika cangkang digunakan sedikit, panas yang dihasilkan akan rendah, karena cangkang apabila dibakar akan mengeluarkan panas yang besar.

Fiber adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti rambut, apabila telah mengalami proses pengolahan berwarna coklat muda, serabut ini terdapat dibagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit, didalam serabut dan daging buah sawitlah minyak CPO terkandung.

Panas yang dihasilkan fiber jumlahnya lebih kecil dari yang dihasilkan oleh cangkang, oleh karena itu perbandingan lebih besar fiber dari pada cangkang. Disamping fiber lebih cepat habis menjadi abu apabila dibakar, pemakaian fiber yang berlebihan akan berdampak buruk pada proses pembakaran karena dapat menghambat proses perambatan panas pada pipa *water wall*, akibat abu hasil pembakaran beterbangan dalam ruang dapur dan menutupi pipa *water wall*, disamping mempersulit pembuangan dari pintu *ekspansion door* (pintu keluar untuk abu dan arang) akibat terjadinya penumpukan yang berlebihan.



Gambar 3. 20. Fiber kelapa sawit



Gambar 3. 21. Cangkang sawit

3.5.1. Komposisi Bahan Bakar Cangkang dan Fiber

Palm Oil Mill ini menggunakan ketel uap pipa air MACKENZIE berbahan bakar cangkang dan fiber. Penulis akan mencari nilai kalor dari cangkang dan fiber tersebut. Adapun data yang diperoleh dari *Palm Oil Mill* Pada mengenai kandungan unsur-unsur yang terdapat pada cangkang dan fiberpadaperbandingan 1 : 3 dan komposisi 1 kg bahan bakar cangkang dan fiber adalah sebagai berikut:

Table 3. 1Komposisi dari unsur-unsur kimia bahan bakar

Nama Unsur	Cangkang	Fiber
Karbon (C)	61,34 %	40,00 %
Hidrogen (H ₂)	3,25 %	4,25 %
Oksigen (O ₂)	31,16 %	30,29 %
Nitrogen (N ₂)	2,45 %	22,29 %
Abu	1,80 %	3,17 %

Maka komposisi 1 kg bahan bakar adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 C &= \left(\frac{1}{4} \times 61.34 \%\right) + \left(\frac{3}{4} \times 40.00\%\right) = 45,335 \% = 0,45335 \text{ kg} \\
 H_2 &= \left(\frac{1}{4} \times 3.25 \%\right) + \left(\frac{3}{4} \times 4.25\%\right) = 4 \% = 0,04 \text{ kg} \\
 O_2 &= \left(\frac{1}{4} \times 31.16 \%\right) + \left(\frac{3}{4} \times 30.29\%\right) = 30,5075 \% = 0,305075 \text{ kg} \\
 N_2 &= \left(\frac{1}{4} \times 2.45 \%\right) + \left(\frac{3}{4} \times 22.29\%\right) = 17,330 \% = 0,17330 \text{ kg} \\
 \text{Abu} &= \left(\frac{1}{4} \times 1.80 \%\right) + \left(\frac{3}{4} \times 3.17 \%\right) = 2,8275 \% = 0,028275 \text{ kg} \\
 & \hspace{15em} \text{-----} \\
 &= 100 \% = 1,00 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

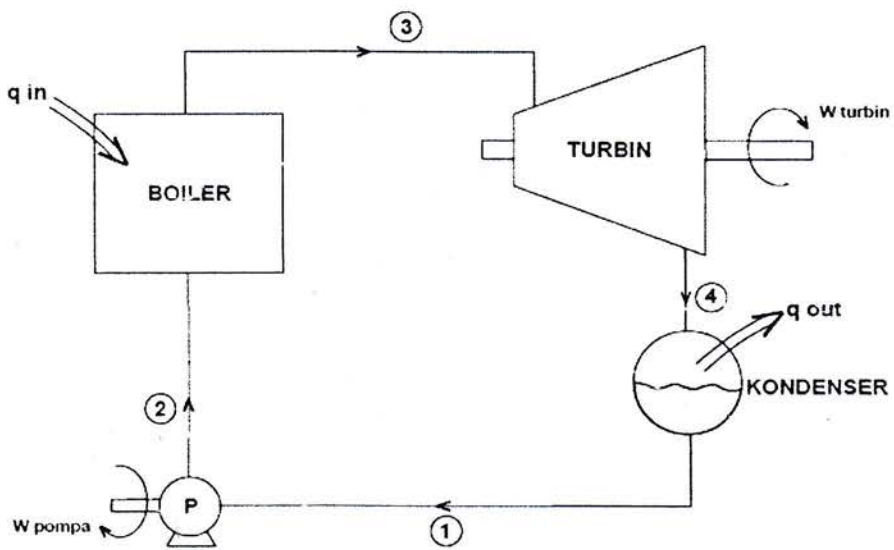
3.6. Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah siklus teoritis yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap. Siklus Rankine berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi, oleh karena itu fluida kerja untuk siklus Rankine harus merupakan uap. Siklus Rankine ideal tidak melibatkan beberapa masalah irreversibilitas internal. Irreversibilitas internal dihasilkan dari gesekan fluida, throttling, dan pencampuran, yang paling penting adalah irreversibilitas dalam turbin dan pompa dan kerugian-kerugian tekanan dalam penukar-penukar panas, pipa-pipa, bengkokan-bengkokan, dan katup-katup.

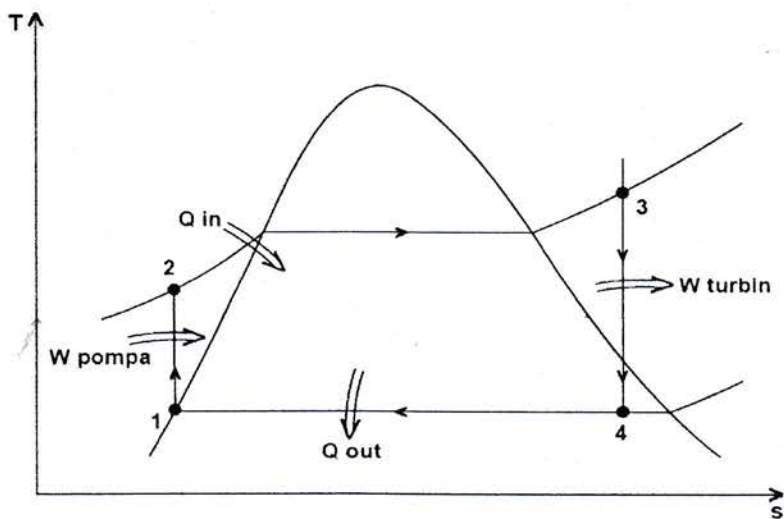
Temperatur air sedikit meningkat selama proses kompresi isentropik karena ada penurunan kecil dari volume jenis air, air masuk boiler sebagai cairan kompresi pada kondisi 2 dan meninggalkan boiler sebagai uap kering pada kondisi 3. Boiler pada dasarnya penukar kalor yang besar dimana sumber panas dari pembakaran gas, reaktor nuklir atau sumber yang lain ditransfer secara esensial ke air pada tekanan konstan.

Uap superheater pada kondisi ke 3 masuk ke turbin yang mana uap diexpansikan secara isentropik dan menghasilkan kerja oleh putaran poros yang dihubungkan pada generator listrik. Temperatur dan tekanan uap jatuh selama proses ini mencapai titik 4, dimana uap masuk ke kondensor dan pada kondisi ini uap biasanya merupakan campuran cairan-uap jenuh dengan kualitas tinggi.

Uap dikondensasikan pada tekanan konstan di dalam kondensor yang merupakan alat penukar kalor mengeluarkan panas ke medium pendingin

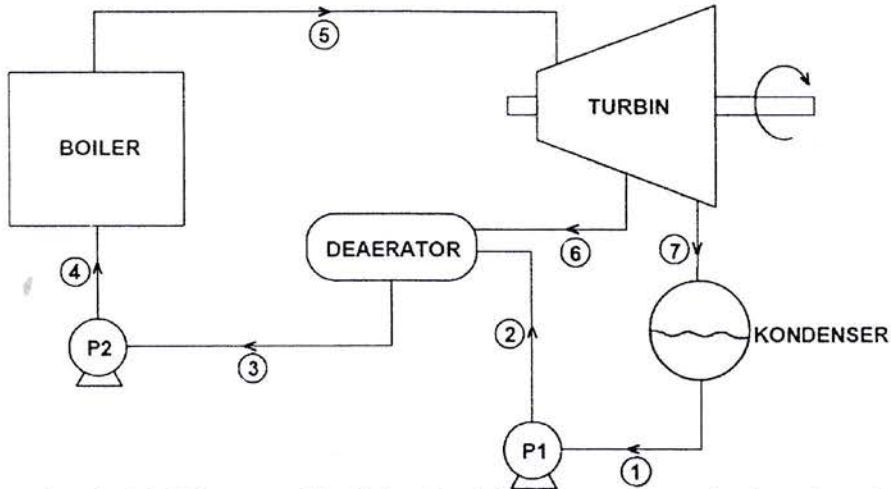


Gambar 3. 22. Diagram alir siklus Rankine sederhana



Gambar 3. 23. Diagram T-s siklus Rankine sederhana

Salah satu modifikasi dari siklus Rankine dapat dilihat pada Gambar berikut :

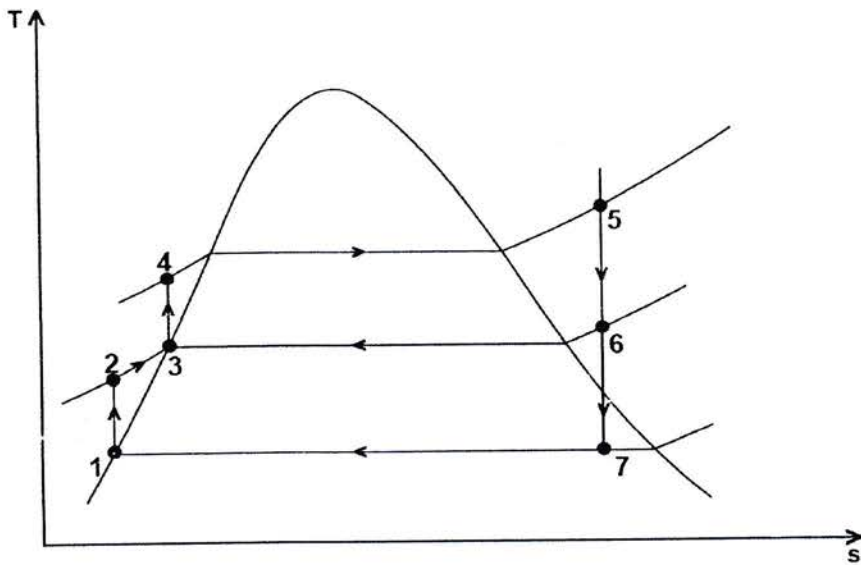


Gambar 3. 24. Diagram alir siklus Rankine dengan satu tingkat ekstraksi

Uap panas lanjut dari ketel memasuki turbin, setelah melalui beberapatingkatan sudu turbin, sebagian uap diekstraksikan ke deaerator, sedangkan sisanya masuk ke kondensor dan dikondensasikan didalam kondensor. Selanjutnya air dari kondensor dipompakan ke deaerator juga. Di dalam deaerator, uap yang berasal dari turbin yang berupa uap basah bercampur dengan air yang berasal dari kondensor. Kemudian dari deaerator dipompakan kembali ke ketel, dari ketel ini air yang sudah menjadi uap kering dialirkan kembali lewat turbin.

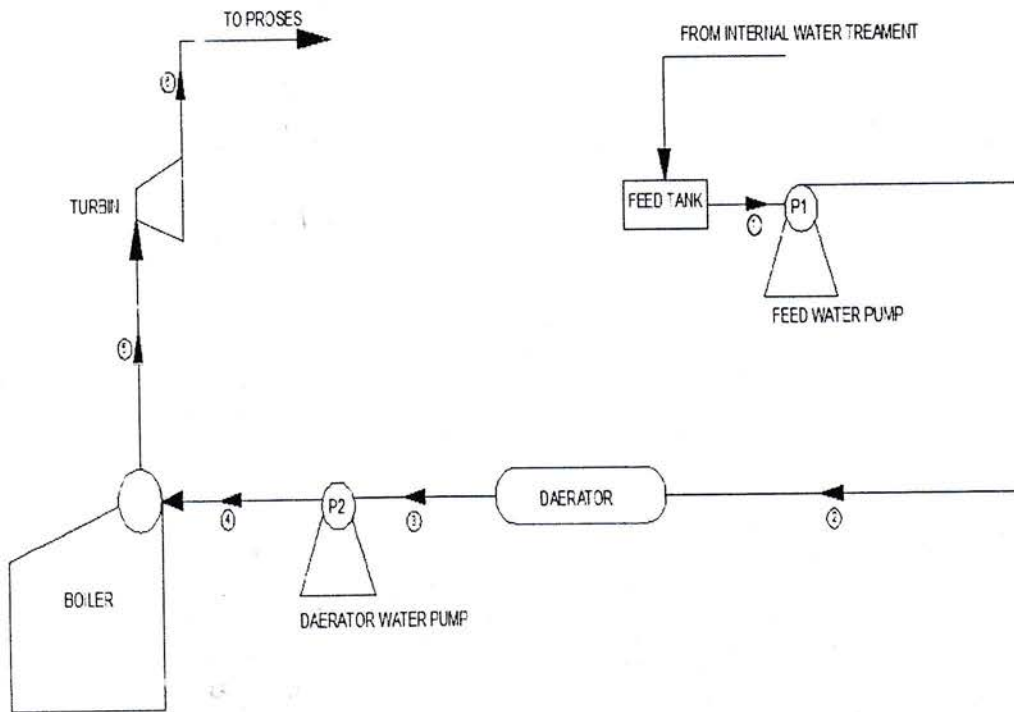
Tujuan uap diekstraksikan ke deaerator adalah untuk membuang gas-gas yang tidak terkondensasi sehingga pemanasan pada ketel dapat berlangsung efektif, mencegah korosi pada ketel, dan meningkatkan efisiensi siklus.

Unik mempermudah penganalisaan siklus termodinamika ini, proses-proses tersebut di atas disederhanakan dalam bentuk diagram berikut :

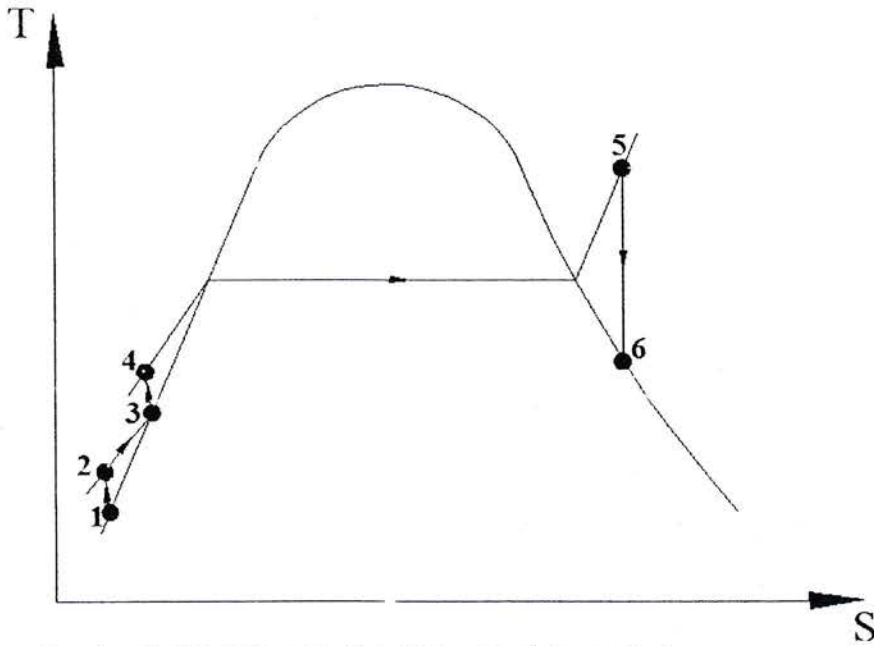


Gambar 3. 25. Diagram T-s siklus Rankine dengan satu tingkat ekstraksi

Siklus Rankine terbuka pada boiler yang ada di Palm Oil Mill:



Gambar 3. 26. Diagram alir siklus Rankine terbuka



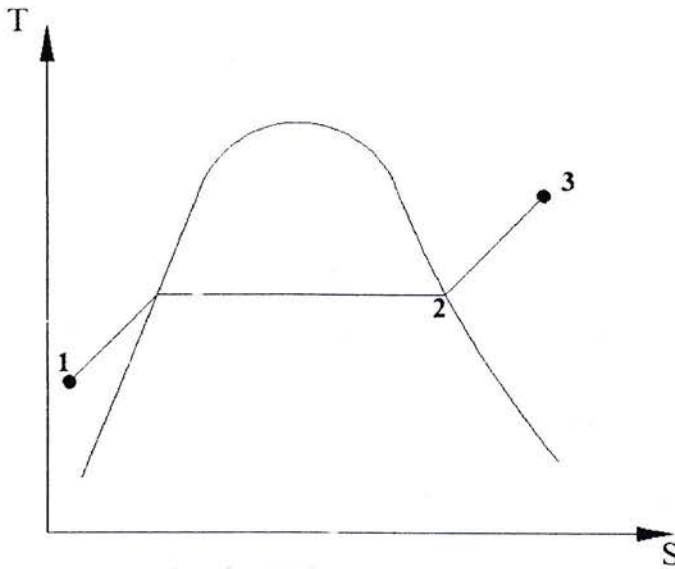
Gambar 3. 27. Diagram T-s siklus Rankine terbuka

3.7. Proses Pembentukan Uap

Sebagai fluida kerja di ketel uap, umumnya digunakan air (H_2O) karena bersifat ekonomis, mudah di peroleh, 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°) pada tekanan $1[kg/cm^2]$, maka air secara berangsur-angsur akan berubah fasa menjadi uap dan hal inilah yang disebut sebagaipenguapan.

Proses perubahan fasa air menjadi uap dapat digambarkan pada diagram T-S seperti Gambar dibawah:



Gambar 3. 28. Diagram T-S

Keterangan:

- 1-2 : Pipa-pipa evaporator pipa penguat
- 2-3 : Pipa-pipasuperheater
- 1-3 : Ketel uap

3.8. Metode Pengkajian Efisiensi Boiler

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

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

3.9. Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler :

3.9.1. Metode Langsung

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

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

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\text{Panas masuk}}{\text{Panas pembentukan uap}}$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{W_s \times h_3 - h_1}{W_f \times \text{LHV}}$$

- Keterangan:
- W_s = kapasitas produksi uap (kg uap/s)
 - W_f = konsumsi bahan bakar (Kg/s)
 - h_3 = entalpi uap (kJ/kg)
 - h_1 = entalpi air umpan/pengisi ketel (kJ/kg)
 - LHV = nilai kalor pembakaran rendah (kJ/kg)

Keuntungan metode langsung

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

Kerugian metode langsung

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

3.9.2. Metode TidakLangsung

Efisiensi merupakan perbedaan antar kehilangan dan energi masuk. Metodologi Standar acuan untuk Uji Boiler di tempat dengan menggunakan metode tidak langsung adalah *British Standard, BS 845:1987* dan *USA Standard ASME PTC-4-1 Power Test Code Steam GeneratingUnits*.

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

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

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

- i. Gas cerobong yangkering
- ii. Penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahanbakar
- iii. Penguapan kadar air dalam bahanbakar
- iv. Adanya kadar air dalam udarapembakaran
- v. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ *flyash*
- vi. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ *bottomash*
- vii. Radiasi dan kehilangan lain yang tidakterhitung

Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh pembakaran hidrogen tergantung pada bahan bakar, dan tidak dapat dikendalikan oleh perancangan.

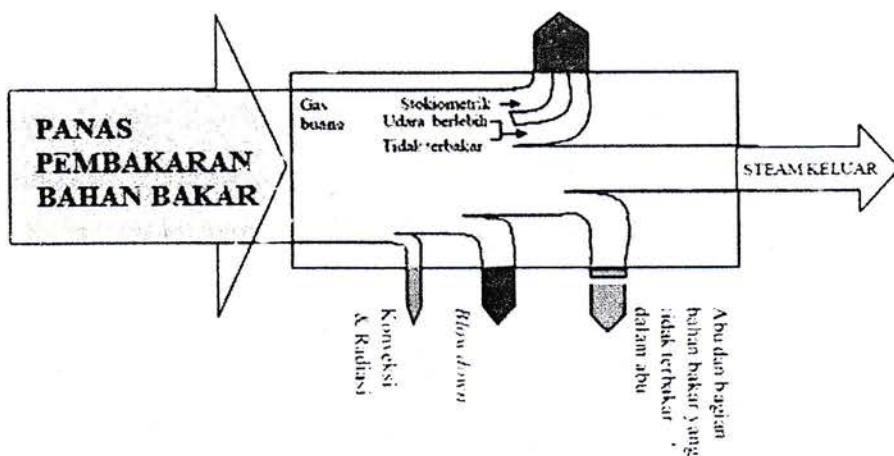
Data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi boiler dengan menggunakanmetode tidak langsung adalah:

- a. Analisis *ultimate* bahan bakar (H₂, O₂, S, C, kadar air, kadarabu).
- b. Persentase oksigen atau CO₂ dalam gasbuang.
- c. Suhu gas buang dalam °C(T_f).

- d. Suhu awal dalam $^{\circ}\text{C}$ (T_a) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
- e. LHV bahan bakar dalam kkal/kg.
- f. Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
- g. LHV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat)

3.10. Neraca Panas

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



Gambar 3. 29. Diagram neraca energi boiler

Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk boiler terhadap yang meninggalkan boiler dalam bentuk yang berbeda. Gambar berikut memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkitan steam.



Gambar 3. 30. Kehilangan pada Boiler yang Berbahan Bakar Batubara

Kehilangan energi dapat dibagi kedalam kehilangan yang tidak atau dapat dihindarkan. Tujuan dari Produksi Bersih dan/atau pengkajian energi harus mengurangi kehilangan yang dapat dihindari, dengan meningkatkan efisiensi energi. Kehilangan berikut dapat dihindari atau dikurangi:

Kehilangan gas cerobong:

- Udara berlebih (diturunkan hingga ke nilai minimum yang tergantung dari teknologi *burner*, operasi (kontrol), dan pemeliharaan).
- Suhu gas cerobong (diturunkan dengan mengoptimalkan perawatan (pembersihan), beban; *burner* yang lebih baik dan teknologiboiler).

Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu (mengoptimalkan operasi dan pemeliharaan; teknologi *burner* yang lebih baik).

Kehilangan dari *blowdown* (pengolahan air umpan segar, daur ulang kondensat).

Kehilangan kondensat (manfaatkan sebanyak mungkin kondensat)
Kehilangan konveksi dan radiasi (dikurangi dengan isolasi boiler yang lebih baik).

3.11. Nilai kalor (Heating Value)

Nilai kalor merupakan energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar

tersebut. Bahan bakar adalah zat kimia yang apabila direaksikan dengan oksigen (O_2) akan menghasilkan sejumlah kalor. Bahan bakar dapat berwujud gas, cair, maupun padat. Selain itu, bahan bakar merupakan suatu senyawa yang tersusun atas beberapa unsur seperti karbon (C), hidrogen (H), belerang (S), dan nitrogen (N).

Kualitas bahan bakar ditentukan oleh kemampuan bahan bakar untuk menghasilkan energi. Kemampuan bahan bakar untuk menghasilkan energi inisangat ditentukan oleh nilai bahan bakar yang didefinisikan sebagai jumlah energi yang dihasilkan pada proses pembakaran per satuan massa atau persatuan volume bahan bakar.

Nilai pembakaran ditentukan oleh komposisi kandungan unsur di dalam bahan bakar. Dikenal dua jenis pembakaran (*Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat Konversi Energi 1 (Ketel Uap) 1988:160*), yaitu:

1. Nilai Kalor Pembakaran Tinggi

Nilai kalor pembakaran tinggi atau juga dikenal dengan istilah *High Heating Value* (HHV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan air dari proses pembakaran ikut diperhitungkan sebagai panas dari proses pembakaran.

Dirumuskan dengan:

$$\text{HHV} = 33950 C + 144200 (H_2 - O_2/8) + 9400 S \text{ kJ/kg}$$

2. Nilai Kalor Pembakaran Rendah

Nilai kalor pembakaran rendah atau juga dikenal dengan istilah *Low Heating Value* (LHV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan uap air dari hasil pembakaran tidak ikut dihitung sebagai panas dari proses pembakaran.

Dirumuskan dengan:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2411 (9H_2) \text{ kJ/kg}$$

3.12. Kebutuhan Udara Pembakaran

Kebutuhan udara pembakaran didefinisikan sebagai kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara sempurna yang meliputi :

a. Kebutuhan udara teoritis (U_t):

$$U_t = 11,5 C + 34,5 (H-O/8) + 4,32 S \text{ kg/kgBB}$$

b. Kebutuhan udara pembakaran sebenarnya/actual(U_s)

$$U_s = U_t (1+\alpha) \text{ kg/kgBB}$$

3.13. Gas Asap

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

a. Berat gas asap teoritis(G_t)

$$G_t = U_t + (1-A) \text{ kg/kgBB}$$

Dimana A = kandungan abu dalam bahan bakar (ash) Gas asap yang terjadi terdiri dari:

- 1) Hasil reaksi atas pembakaran unsur-unsur bahan bakar dengan O_2 dari udara seperti CO_2 , H_2O , SO_2
- 2) Unsur N_2 dari udara yang tidak ikut bereaksi
- 3) Sisa kelebihan udara

Dari reaksi pembakaran sebelumnya diketahui:

1 kg C menghasilkan 3,66 kg CO_2

1 kg S menghasilkan 1,996 kg SO_2

1 kg H menghasilkan 8,9836 kg H_2O

Maka untuk menghitung berat gas asap pembakaran perlu dihitung dulu masing-masing komponen gas asap tersebut (Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat konversi I (Ketel Uap) 1988:196):

$$\begin{aligned} \text{Berat CO}_2 &= 3,66 C \text{ kg/kg} \\ \text{Berat SO}_2 &= 2 S \text{ kg/kg} \\ \text{Berat H}_2\text{O} &= 9 H_2 \text{ kg/kg} \\ \text{Berat N}_2 &= 77\% U_s \text{ kg/kg} \\ \text{Berat O}_2 &= 23\% 20\% U_t \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas maka akan didapatkan jumlah gas asap:

$$\text{Berat gas asap (Gs)} = W \text{ CO}_2 + W \text{ SO}_2 + W \text{ H}_2\text{O} + W \text{ N}_2 + W \text{ O}_2$$

Atau

b. Berat gas asap sebenarnya(Gs)

$$G_s = U_s + (1-A) \text{ kg/kgBB}$$

Untuk menentukan komposisi dari gas asap didapatkan:

$$\text{Kadar gas} = (W \text{ gas tersebut} / W \text{ total gas}) \times 100\%$$

3.14. Volume Gas Asap

Jumlah oksigen adalah 21% jumlah udara pembakaran.

Jadi: $V(\text{O}_2) = 21\% (V_a)_{\text{act}}$; belum termasuk oksigen yang dikandung dalam bahan bakar. Oksigen yang terdapat dalam bahan bakar tergantung persentasenya.

Dengan demikian maka volume gas asap basah adalah :

$$V_g = \frac{1,866 C + 0,7 S}{0,11} \quad 1,24 (9 H_2) \text{ m}^3/\text{kgBB}$$

Dimana :

V_g = Volume gas asap (m^3/kgBB)

C = Nilai carbon bahan bakar

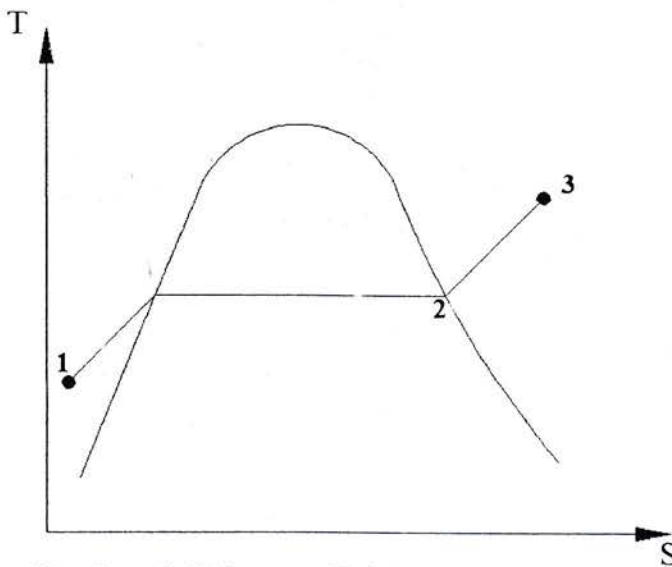
S = Nilai Sulfur bahan bakar

H_2 = Nilai Hidrogen bahan bakar

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Bab ini berisikan metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada skripsi ini. Secara umum untuk perhitungan efisiensi water tube boiler metodologi yang digunakan dalam laporan ini yaitu metode langsung, dimana 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. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus:



Gambar 4. 1Diagram T-S Pembentukan uap

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\text{Panas pembentukan uap}}{\text{Panas masuk}}$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{W_s (h_3 - h_1)}{W_f \times \text{LHV}}$$

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

- a. Jumlah steam yang dihasilkan per jam (W_s) dalam kg uap/s
- b. Jumlah bahan bakar yang digunakan per jam (W_f) dalam Kg/s
- c. Tekanan kerja (dalam kg/cm^2) dan suhu lewat panas ($^{\circ}\text{C}$), jika ada
- d. Suhu air umpan ($^{\circ}\text{C}$)
- e. Jenis bahan bakar dan nilai panas kalor bahan bakar (LHV) dalam kJ/kg bahan bakar

Hasil dari data yang didapat dari survei maupun dari literatur akan dibahas pada bab IV.

4.2. Perhitungan Efisiensi Boiler

Daya guna (efisiensi) boiler adalah perbandingan antara konsumsi panas dengan suplai panas (Ir. Syamsir A. Muin, *Pesawat-pesawat konversi 1 (Ketel Uap) 1988:223*).

$$\text{Efisiensi boiler } \square = \frac{\text{Panas pembentukan uap}}{\text{panas masuk}}$$

$$\text{Efisiensi boiler } \square = \frac{W_s(h_3 - h_1)}{W_f \times \text{LHV}}$$

Keterangan:

W_s = kapasitas produksi uap (kg uap/s)

W_f = konsumsi bahan bakar (Kg/s)

h_3 = entalpi uap (kJ/kg)

h_1 = entalpi air umpan/pengisi ketel (kJ/kg)

LHV = nilai kalor pembakaran rendah(kJ/kg)

4.3. Data Spesifikasi Boiler

Adapun data yang diperoleh langsung dari katalog boiler.

Table 4. 1 Spesifikasi boiler

Steam pressure superheater (kPa)	Temperatur air umpan (°C)	Temperatur uap (°C)	Produksi Uap (kg uap/s)
30	103	350	45000

4.4. Data Dari Stasiun Boiler

Adapun data yang diperoleh langsung dari lapangan pada stasiun boiler meliputi:

- *Steam pressure superheater*(kPa)
- Temperatur *feed tank*(°C)
- Temperatur *daerator*(°C)
- Temperatur *out let steam*(°C)
- *Steam flow* (tonuap/jam)

Table 4. 2 Data 1. Senin, 7 Desember 2020

TIME (WIB)	STEAM PRESSURE (KPA)	FEED TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUT LET STEAM °C	STEAM FLOW (TON/JAM)
		FEED TANK	WATER DEARATOR		
07.00	24.712	74	101	330	29.9
08.00	23.634	74	102	330	37.9
09.00	22.064	72	101	330	42.1
10.00	22.653	72	102	330	40.1
11.00	23.339	73	102	330	39.8
12.00	20.888	72	101	330	42.0
13.00	23.437	71	101	330	43.8
14.00	24.026	71	101	330	41.4
Rata- rata	23.091	72.375	101.375	330	39.625

Table 4. 3 Data 2. Selasa, 8 Desember 2020

TIME (WIB)	STEAM PRESSURE (KPA)	FEED WATER TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUT LET STEAM °C	STEAM FLOW (TON/JAM)
		FEED TANK	DEARATOR		
07.00	27.654	76	101	325	28.2
08.00	26.085	76	101	325	18.3
09.00	27.654	79	101	325	25.8
10.00	19.711	79	100	330	39.8
11.00	21.770	79	100	330	40.8
12.00	22.751	76	102	330	40.0
13.00	22.849	76	102	330	40.1
14.00	22.064	76	102	330	40.7
Rata- rata	23.817	68.555	101.125	328.125	34.212

Table 4. 4 Data 3. Rabu, 9 Desember 2020

TIME (WIB)	STEAM PRESSURE (KPA)	FEED TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUT LET	STEAM FLOW (TON/JAM)
		TANK	DEARATOR		
07.00	26.870	76	102	330	27.3
08.00	26.576	74	102	330	27.1
09.00	26.674	72	102	330	22.4
10.00	21.966	74	101	330	43.2
11.00	19.711	74	101	330	34.2
12.00	23.732	72	102	330	39.9
13.00	21.868	72	102	330	40.1
14.00	23.732	74	102	330	34.8
Rata-rata	23.867	73.5	101.75	330	33.625

Table 4. 5 Data 4. Kamis, 10 Desember 2020

TIME (WIB)	STEAM (KPA)	PRESSURE	FEED TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUT LET	STEAM FLOW (TON/JAM)
			TANK	DEARATOR		
07.00		26.281	75	102	330	28.2
08.00		26.674	76	102	330	27.6
09.00		26.870	78	102	330	23.8
10.00		22.751	75	102	330	39.2
11.00		21.182	74	102	330	40.3
12.00		23.045	74	102	330	41.4
13.00		21.868	73	101	330	40.3
14.00		20.986	73	101	330	40.2
Rata- rata		23.707	74.75	101.75	330	35.125

Table 4. 6 Data 5. Jumat, 11 Desember 2020

TIME (WIB)	STEAM (KPA)	PRESSURE	FEED TEMPERATURE °C		STEAM °C	STEAM FLOW (TON/JAM)
			FEED TANK	DEARATOR		
07.00		27.164	75	102	330	28.8
08.00		27.654	76	102	330	29.6
09.00		27.556	78	102	330	32.1
10.00		20.397	75	102	330	42.2
11.00		20.201	75	102	330	42.6
12.00		22.064	76	102	330	41.7
13.00		22.163	74	102	330	43.1
14.00		20.201	78	102	330	43.2
Rata- rata	23.425		75.875	102	330	37.912

Table 4. 7 Data 6. Sabtu, 12 Desember 2020

TIME (WIB)	STEAM (KPA)	PRESSURE SUPERHEATER	FEED TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUT LET STEAM °C	STEAM FLOW (TON/JAM)
			TANK	DEARATOR		
07.00	24.124		65	100	320	23.1
08.00	27.554		66	100	330	30.6
09.00	27.752		66	101	330	35.2
10.00	27.556		67	102	330	44.1
11.00	27.556		70	102	330	43.6
12.00	27.948		79	103	330	43.9
13.00	26.183		78	102	330	41.5
14.00	26.772		78	102	330	44.6
Rata- rata	26.943		71.125	101.5	328.75	38.325

Table 4. 8 Data 7. Senin, 7 Desember 2020 s/d Sabtu, 12 Desember 2020

Hari/Tanggal	STEAM PRESSURE (BAR)		FEED WATER TEMPERATURE °C		TEMPERATURE OUT LET
	SUPERHEATER	FEED TANK	DEARATOR	STEAM °C	
Senin, 14 September 2020	23,091	72,375	101,375	330	
Selasa, 15 September 2020	23,817	68,555	101,125	328,125	
Rabu, 16 September 2020	23,867	73,5	101,75	330	
Kamis, 17 September 2020	23,707	74,75	101,75	330	
Jumat, 18 September 2020	23,425	75,875	102	330	
Sabtu, 19 September 2020	26,943	71,125	101,5	328,75	
Rata-rata	24,141	72,696	101,583	329,479	

4.5. Data Hasil Percobaan Bom Kalorimeter

Table 4. 9. Serabut kelapa sawit murni

No	T ₁ °C	T ₂ °C
1	26,13	26,40
2	26,49	26,79
3	26,91	27,23
4	27,32	27,63
5	27,76	28,06

Table 4. 10. Cangkang kelapa sawit murni

No	T ₁ °C	T ₂ °C
1	26,71	27,14
2	27,24	27,63
3	27,82	28,26
4	28,28	28,73
5	28,77	29,24

Table 4. 11. Serabut 75% + Cangkang 25% kelapa sawit

No	T ₁ °C	T ₂ °C
1	26,93	27,32
2	27,44	27,83
3	27,94	28,32
4	28,38	28,78
5	28,96	29,35

4.6. Kalor Bahan Bakar

Analisa percobaan dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

Keterangan:

$$T_1 = \text{Suhu air pendingin sebelum dinyalakan (}^\circ\text{C)}$$

$$T_2 = \text{Suhu air pendingin setelah penyalaan (}^\circ\text{C)}$$

$$C_v = \text{Panas jenis bom kalorimeter (73529,6 kJ/kg}^\circ\text{C)}$$

$$\text{Kenaikan suhu akibat kawat menyala} = 0,05^\circ\text{C}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

4.6.1. Analisa Nilai Kalor Bahan Bakar Serabut Kelapa Sawit Murni

a. Analisa percobaan 1

Diketahui :

$$T_1 = 26,13^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 26,40^\circ\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

$$\text{HHV} = (26,40 - 26,13 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 16170.515 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 16170.515 - 3240$$

$$\text{LHV} = 12936.512 \text{ kJ/kg}$$

b. Analisa percobaan 2

Diketahui :

$$T_1 = 26,49^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 26,79^\circ\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

$$\text{HHV} = (26,79 - 26,49 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 18382,4 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 18382,4 - 3240$$

$$\text{LHV} = 15142,4 \text{ kJ/kg}$$

c. Analisa percobaan3

Diketahui :

$$T_1 = 26,91^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 27,23^\circ\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

$$\text{HHV} = (27,23 - 26,91 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 23161,635 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 23161,635 - 3240$$

$$\text{LHV} = 19921,635 \text{ kJ/kg}$$

d. Analisa percobaan4

Diketahui :

$$T_1 = 27,32^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 27,63^\circ\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

$$\text{HHV} = (27,63 - 27,32 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 19047.496 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 19047.496 - 3240$$

$$\text{LHV} = 15807.496 \text{ kJ/kg}$$

e. Analisa percobaan5

Diketahui :

$$T_1 = 27,76^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 28,06^\circ\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

$$\text{HHV} = (28,06 - 27,76 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 18314.9 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 18314.9 - 3240$$

$$\text{LHV} = 15074.9 \text{ kJ/kg}$$

Table 4. 12. Hasil analisa nilai kalor bahan bakar serabut kelapa sawit murni

No	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
1	26.13	26.40	16170.515	12936.512
2	26.49	26.74	18382.4	15142.4
3	26.91	27.18	23161.0635	19921.635
4	27.31	27.58	19047.496	15807.496
5	27.76	28.01	18314.9	15074.9
Rata-rata			19015.3886	15776.5886

Makarata-rata nilai HHV = 19015.3886kJ/kg
HHV = 4544.78 Kkal/kg

Makarata-rata nilai LHV = 15776.5886kJ/kg
LHV = 3770.69 Kkal/kg

4.6.2 Analisa Nilai Kalor Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit Murni

a. Analisa percobaan 1

Diketahui:

$$T_1 = 26,71^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 27,14^{\circ}\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

Nilai panas (HHV) = $(T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$

$$\text{HHV} = (27,14 - 26,71 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 27941.248 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 27941.248 - 3240$$

$$\text{LHV} = 24701.248 \text{ kJ/kg}$$

b. Analisa percobaan2

Diketahui :

$$T_1 = 27,24^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 27,63^\circ\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

$$\text{HHV} = (27,63 - 27,24 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 25000.064 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 25000.064 - 3240$$

$$\text{LHV} = 21760.064 \text{ kJ/kg}$$

c. Analisa percobaan3

Diketahui :

$$T_1 = 27,82^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 28,24^\circ\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

$$\text{HHV} = (28,24 - 27,82 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 28676.544 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 28676.544 - 3240$$

$$\text{LHV} = 25436.544 \text{ kJ/kg}$$

d. Analisa percobaan4

Diketahui :

$$T_1 = 28,28^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 28,73^\circ\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

$$\text{HHV} = (28,73 - 28,28 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 29411.84 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 29411.84 - 3240$$

$$\text{LHV} = 26171.34 \text{ kJ/kg}$$

e. Analisa percobaan5

Diketahui :

$$T_1 = 28,77^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 29,24^\circ\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

$$\text{HHV} = (29,24 - 28,77 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 30882.432 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 30882.432 - 3240$$

$$\text{LHV} = 27642.432 \text{ kJ/kg}$$

Table 4. 13. Hasil analisa nilai kalor bahan bakar cangkang kelapa sawit murni

No	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
1	26.71	27.14	27941.248	24701.248
2	27.24	27.63	25000.064	21760.064
3	27.82	28.26	28676.544	25436.544
4	28.28	28.73	29411.84	26171.84
5	28.77	29.24	30882.432	27642.432
Rata-rata			28382.4256	25142.4256

Makarata-rata nilai HHV = 28382.4256 kJ/kg
 HHV = 6783.5625 Kkal/kg

Makarata-rata nilai LHV = 25142.4256kJ/kg
 LHV = 6009.1839Kkal/kg

4.6.3. Analisa Nilai Kalor Bahan Bakar Serabut 75% + Cangkang 25% Kelapa Sawit

a. Analisa percobaan 1

$$\text{Diketahui : } T_1 = 26,93^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 27,32^{\circ}\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

$$\text{HHV} = (27,32 - 26,93 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 25000.064 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 25000.064 - 3240$$

$$\text{LHV} = 21760.064 \text{ kJ/kg}$$

b. Analisa percobaan2

$$\text{Diketahui : } T_1 = 27,44^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 27,83^{\circ}\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Nilai panas (HHV)} = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

$$\text{HHV} = (27,83 - 27,44 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 24264.768 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 24264.768 - 3240$$

$$\text{LHV} = 21024.768 \text{ kJ/kg}$$

c. Analisa percobaan3

Diketahui : $T_1 = 27,94^{\circ}\text{C}$

$$T_2 = 28,32^{\circ}\text{C}$$

$$C_v = 73529,6\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

Nilai panas (HHV) = $(T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$

$$\text{HHV} = (28,32 - 27,94 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 24264.768\text{kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 24264.768 - 3240$$

$$\text{LHV} = 21024.768\text{kJ/kg}$$

d. Analisa percobaan4

Diketahui : $T_1 = 28,38^{\circ}\text{C}$

$$T_2 = 28,78^{\circ}\text{C}$$

$$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

Nilai panas (HHV) = $(T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$

$$\text{HHV} = (28,66 - 28,28 - 0,05) \times 73529,6$$

$$\text{HHV} = 24264,768 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ)}$$

$$\text{LHV} = 24264,768 - 3240$$

$$\text{LHV} = 21024,768 \text{ kJ/kg}$$

e. Analisa percobaan5

Diketahui : $T_1 = 28,96^\circ\text{C}$

$T_2 = 29,35^\circ\text{C}$

$C_v = 73529,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

Nilai panas (HHV) = $(T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$

$\text{HHV} = (29,35 - 28,96 - 0,05) \times 73529,6$

$\text{HHV} = 25000.064 \text{ kJ/kg}$

$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$

$\text{LHV} = 25000.064 - 3240$

$\text{LHV} = 21760.064 \text{ kJ/kg}$

Table 4. 14. Hasil analisa nilai kalor bahan bakar serabut 75% + cangkang 25% kelapa sawit

No	$T_1(^\circ\text{C})$	$T_2(^\circ\text{C})$	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
1	26.93	27.32	25000.064	21760.064
2	27.44	27.83	24264.768	21024.768
3	27.94	28.32	24264.768	21024.768
4	28.38	28.78	25735.36	25735.36
5	28.96	29.35	25000.064	21760.064
Rata-rata			24853.005	22261.0048

Makarata-rata nilai HHV = 24853.005kJ/kg

$\text{HHV} = 940.01 \text{ Kkal/kg}$

Makarata-rata nilai LHV = 22261.0048kJ/kg

$\text{LHV} = 5320.50 \text{ Kkal/kg}$

4.7. Kebutuhan Udara Bahan Bakar

- a. Dengan menggunakan persamaan berikut ini maka didapatkan kebutuhan udara teoritis (U_t):

$$U_t = 11.5 C + 34.5 H - O_2/8 + 4.325 S \text{ kg/kgBB}$$

$$U_t = 11.5 \times 0.45335 + 34.5 \times 0.04 - 0.305075/8 + 0 \text{ kg/kgBB}$$

$$U_t = 5.213525 + 0.064364062 \text{ kg/kgBB}$$

$$U_t = 5.2778 \text{ kg/kgBB}$$

- b. Dengan menggunakan persamaan berikut ini maka di dapatkan kebutuhan udara sebenarnya (U_s):

$$U_s = U_t (1 + \alpha) \text{ kg/kgBB}$$

$$U_s = 5.2778 + 1 + 0.20 \text{ kg/kgBB}$$

$$U_s = 6.33336 \text{ kg/kgBB}$$

4.8. Perhitungan Gas Asap

Dengan menggunakan persamaan berikut ini maka didapatkan berat gas asap teoritis G_t

$$G_t = U_t + 1 - A \text{ kg/kgBB}$$

$$G_t = 5.2778 + 1 - 0.0028275 \text{ kg/kgBB}$$

$$G_t = 6.249 \text{ kg/kgBB}$$

- a. Berat gas asap hasil pembakaran:

$$\begin{aligned} W_{CO_2} &= 3.66 C \text{ kg/kg} \\ &= 3.66 \times 0.45335 \text{ kg/kg} \\ &= 1.659261 \text{ kg/kg} \end{aligned}$$

$$W_{SO_2} = 2 S \text{ kg/kg}$$

$$= 0$$

$$\begin{aligned} W_{H_2O} &= 9 H_2 \text{ kg/kg} \\ &= 9 \times 0.04 \text{ kg/kg} \\ &= 0.36 \text{ kg/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WN}_2 &= 77\% \text{ Us kg/kg} \\ &= 0.77 \times 6.33336 \text{ kg/kg} \\ &= 4.8766 \text{ kg/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WO}_2 &= (23\% \times 20\%) \text{ Ut kg/kg} \\ &= 0.23 \times 0.2 \times 5.2778 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \\ &= 0.2427 \text{ kg/kg} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan jumlah gas asap:

Berat asap gas

$$\begin{aligned} G_s &= \text{WCO}_2 + \text{WSO}_2 + \text{WH}_2\text{O} + \text{WN}_2 + \text{WO}_2 \\ G_s &= 1.659126 + 0 + 0.36 + 4.8766 + 0.2427 \\ G_s &= 7.13 \text{ Kg/Kg BB} \end{aligned}$$

Atau

Berat gas asap sebenarnya:

$$\begin{aligned} G_s &= U_s + 1 - A \text{ kg/kgBB} \\ G_s &= 6.33336 + 1 - 0.28275 \text{ kg/kgBB} \\ G_s &= 7.05 \text{ kg/kgBB} \end{aligned}$$

4.9. Analisa gas asap basah

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ w} &= \frac{1.659261}{7.13} \times 100\% = 23.2\% \\ \text{SO}_2 \text{ w} &= 0\% \\ \text{H}_2 \text{ w} &= \frac{0.36}{7.13} \times 100\% = 5.04\% \\ \text{N}_2 \text{ w} &= \frac{4.8766}{7.13} \times 100\% = 68.3\% \\ \text{O}_2 \text{ w} &= \frac{0.2427}{7.13} \times 100\% = 3.4\% \end{aligned}$$

Berat gas asap kering :

$$\begin{aligned}G_s \text{ kering} &= G_{\text{basah}} - WH_2O \\ &= 7,13 - 0,36 \\ &= 6,77 \text{ kg/kgBB}\end{aligned}$$

Analisa gas asapkering

$$CO_2 \text{ w} = \frac{1.6592610.36}{6.77} \times 100\% = 24.5\%$$

$$SO_2 \text{ w} = 0\%$$

$$N_2 \text{ w} = \frac{4.8766}{6.77} \times 100\% = 72\%$$

$$O_2 \text{ w} = \frac{0.2427}{6.77} \times 100\% = 3,5\%$$

4.10. Volume Gas Asap

Untuk menghitung volume gas asap basah digunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_g = \frac{1,866 C + 0,7 S}{0,11} + 1,24 (9 H_2) \text{ m}^3/\text{kgBB}$$

$$V_g = \frac{1,866 \times 0,45335 + 0,7 \times 0}{0,11} + 1,24 (9 \times 0,04) \text{ m}^3/\text{kgBB}$$

$$V_g = 7,69 + 0,04464$$

$$V_g = 7,734 \text{ m}^3/\text{kgBB}$$

4.11. Perhitungan efisiensi boiler

Untuk menghitung efisiensi boiler berdasarkan perbandingan antara konsumsi panas dengan suplai panas digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi boiler } \eta = \frac{\text{Panas pembentukan uap}}{\text{panas masuk}}$$

$$\text{Efisiensi boiler } \eta = \frac{W_s(h_3 - h_1)}{W_f \times \text{LHV}}$$

Keterangan:

W_s = kapasitas produksi uap (kg uap/s)

W_f = konsumsi bahan bakar (Kg/s)

h_3 = entalpi uap (kJ/kg)

h_1 = entalpi air umpan/pengisi ketel (kJ/kg)

LHV = nilai kalor pembakaran rendah(kJ/kg)

Mencari jumlah bahan bakar yang tersedia di *Palm Oil Mill*, untuk bahan bakar fiber 13% dari kapasitas pabrik dan bahan bakar cangkang 6% dari kapasitas pabrik.

Kapasitas pabrik *Palm Oil Mill* = 45 ton TBS/jam

Untuk % fiber = 13% x 45 ton TBS/jam
 fiber = 5,85 ton/jam = 5850 Kg/s

Untuk % cangkang = 6% x 45 ton TBS/jam
 cangkang = 2,7 ton/jam = 2700 Kg/s

Konsumsi bahan bakar (W_f) = 75% fiber + 25% cangkang

$$(W_f) = 0,75 \times 5850 + 0,25 \times 2700$$

$$(W_f) = 5062,5 \text{ Kg/s}$$

4.12. Analisa efisiensi boiler saat kPau

Menghitung efisiensi boiler:

Rumus mencari efisiensi boiler:

$$\text{Efisiensi boiler } \eta = \frac{W_s(h_3 - h_1)}{W_f \times \text{LHV}}$$

- Diketahui: $W_s = 45000 \text{ kg uap/s}$
 $P_3 = 30 \text{ kPa}$
 $t_3 = 350^\circ\text{C}$
 $t_1 = 103^\circ\text{C}$
 $W_f = 5062.5 \text{ Kg/s}$
 $\text{LHV} = 22261.0048 \text{ kJ/kg}$

Untuk mencari enthalpy pada $P = 30 \text{ kPa}$, dan $t = 350^\circ\text{C}$, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, maka diperoleh:

$h_3 = 3116.06 \text{ kJ/kg}$

The screenshot shows the 'ChemicalLogic SteamTab Companion' window. The 'input' section has 'Temperature' set to 350 and 'Pressure' set to 30. The 'Units' section has 'Metric/SI' selected. The 'Constants' section has 'English' selected. The 'Calculate' button is visible. Below the input fields is a table of properties:

Property	Value	Unit
Temperature	350	C
Pressure	30	bar
Steam quality	Supersaturated	-
Volume	0.0905564	m³/kg
Density	11.0428	kg/m³
Compressibility factor	0.944624	dimensionless
Enthalpy	3116.06	kJ/kg
Entropy	6.74493	kJ/kg C
Helmoltz free energy	-1359.71	kJ/kg
Internal energy	2944.39	kJ/kg
Gibbs free energy	-1087.04	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	1.72024	kJ/kg C
Heat capacity at constant pressure	2.35587	kJ/kg C
Speed of sound	591.774	m/s
Coefficient of thermal expansion	0.00199724	1/C

ChemicalLogic Corporation, 99 South Bedford St., Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738
 Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved.

Untuk mencari enthalpy pada temperature 103^oC, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, makadiperoleh:

ChemicalLogic SteamTab Companion

About | Saturated | Superheated | Subcooled | Constants

Independent Variable: Temperature Value: C | 103 Units: Metric/SI English Close

Pressure Calculate

Phase: Vapor Liquid Two-phase

Property	Value	Unit
Temperature	103	°C
Pressure	1.12768	bar
Steam quality	0	%
Volume	0.00104583	m ³ /kg
Density	956.176	kg/m ³
Compressibility factor	0.00067930	dimensionless
Enthalpy	431.827	kJ/kg
Entropy	1.34097	kJ/(kg·C)
Helmoltz free energy	-72.6981	kJ/kg
Internal energy	431.709	kJ/kg
Gibbs free energy	-72.5802	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	3.75261	kJ/(kg·C)

ChemicalLogic Corporation, 99 South Bedford St Ste 207 Burlington, MA 01803 Tel 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved

$$\eta_b = \frac{45000(3116.06 - 431.827)}{5062.5 \times 22261.0048}$$

$$\eta_b = \frac{45000 (2336.603)}{112696336.8}$$

$$\eta_b = \frac{12079085}{112696336.8}$$

$$\eta_b = 107.1$$

$$\eta_b = 107.1\%$$

4.12.1 Analisa berdasarkan data 1
Menghitung efisiensi boiler:

Rumus mencari efisiensi boiler:

$$\text{Efisiensi Boiler } \eta_b = \frac{W_s(h_3 - h_1)}{W_f \times \text{LHV}}$$

Diketahui: $W_s = 39.625 \text{ kg uap/s}$
 $P_3 = 23.091 \text{ kPa}$
 $t_3 = 330^\circ\text{C}$
 $t_1 = 101.375^\circ\text{C}$
 $W_f = 5062,5 \text{ Kg/s}$
 $\text{LHV} = 22261.0048 \text{ kJ/kg}$

Untuk mencari enthalpy pada $P = 23.091 \text{ kPa}$, dan $t = 330^\circ\text{C}$, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, maka diperoleh:

$$h_3 = 3085.4 \text{ kJ/kg}$$

ChemicalLogic SteamTab Companion

About | Saturated | Superheated/Subcooled | Constants |

Input: Temperature: 330, Pressure: 23.091

Units: Metric/SI, English

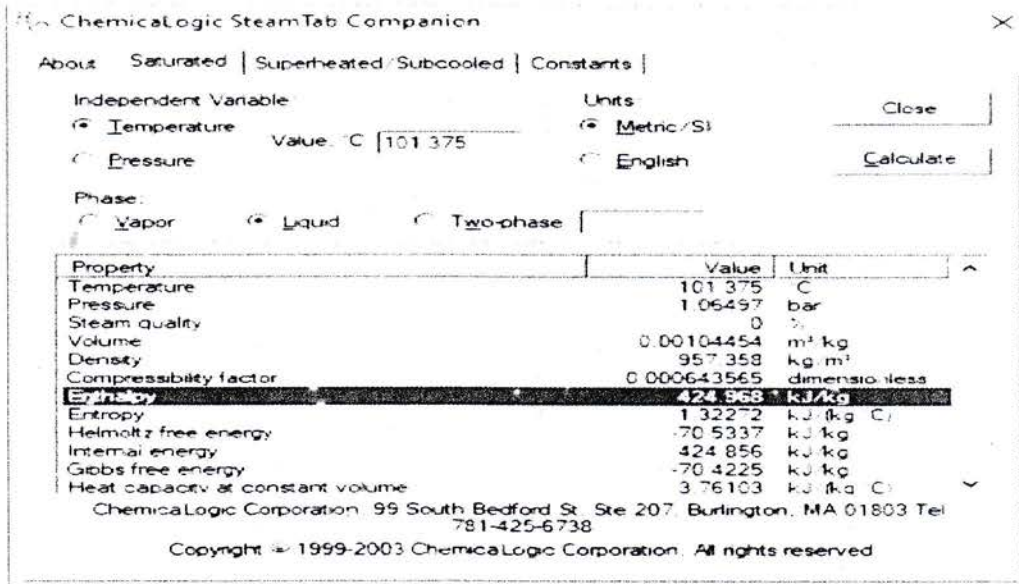
Property	Value	Unit
Temperature	330	C
Pressure	23.091	bar
Steam quality	Superheated	-
Volume	0.11476	m ³ /kg
Density	8.71383	kg/m ³
Compressibility factor	0.951962	dimensionless
Enthalpy	3085.4	kJ/kg
Entropy	6.80949	kJ/kg C
Helmholtz free energy	-1286.73	kJ/kg
Internal energy	2820.41	kJ/kg
Gibbs free energy	-1021.74	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	1.65233	kJ/kg C
Heat capacity at constant pressure	2.30245	kJ/kg C
Speed of sound	585.013	m/s
Coefficient of thermal expansion	0.00200531	1/C

ChemicalLogic Corporation, 95 South Bedford St, Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved.

Untuk mencari enthalpy pada temperature 101.375⁰C, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, makadiperoleh:

$$h_1 = 424.968 \text{ kJ/kg}$$



Maka efisiensi boiler:

$$\eta_b = \frac{39625(3085.4 - 424.968)}{5062.5 \times 22261.6048}$$

$$\eta_b = \frac{39625(2660.432)}{112696336.8}$$

$$\eta_b = \frac{105419618}{112696336.8}$$

$$\eta_b = 0.935$$

$$\eta_b = 93.5\%$$

4.12.2. Analisa berdasarkan data 2

Menghitung efisiensi boiler:

Rumus mencari efisiensi boiler:

$$\text{Efisiensi Boiler } \eta_b = \frac{W_s(h_3 - h_1)}{W_f \times \text{LHV}}$$

Diketahui: $W_s = 34212 \text{ kg uap/s}$
 $P_3 = 23.817 \text{ kPa}$
 $t_3 = 328,125^\circ\text{C}$
 $t_1 = 101.125^\circ\text{C}$
 $W_f = 5062,5 \text{ Kg/s}$
 $\text{LHV} = 22261.0048 \text{ kJ/kg}$

Untuk mencari enthalpy pada $P = 23.817 \text{ kPa}$, dan $t = 328.125^\circ\text{C}$, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, maka diperoleh:

$$h_3 = 3079.31 \text{ kJ/kg}$$

ChemicalLogic SteamTab Companion

About | Saturated | Superheated/Subcooled | Constants |

Input: Units: Metric/SI English

Property	Value	Unit
Temperature	328.125	C
Pressure	23.817	bar
Steam quality	Superheated	%
Volume	0.110654	m ³ /kg
Density	9.03719	kg/m ³
Compressibility factor	0.949712	dimensionless
Enthalpy	3079.31	kJ/kg
Entropy	6.78579	kJ/(kg. C)
Helmoltz free energy	-1264.36	kJ/kg
Internal energy	2815.77	kJ/kg
Gibbs free energy	-1000.81	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	1.69885	kJ/(kg. C)
Heat capacity at constant pressure	2.31732	kJ/(kg. C)
Speed of sound	583.394	m/s
Coefficient of thermal expansion	0.00203038	1/°C

ChemicalLogic Corporation, 99 South Bedford St., Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738
 Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved.

Untuk mencari enthalpy pada temperature 101.125⁰C, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, makadiperoleh:

$$h_1 = 423.913 \text{ kJ/kg}$$

ChemicalLogic SteamTab Companion

About | Saturated | Superheated/Subcooled | Constants

Independent Variable: Temperature Pressure Value, °C: 101.125

Units: Metric/SI English

Phase: Vapor Liquid Two-phase

Property	Value	Unit
Temperature	101.125	C
Pressure	1.05558	bar
Steam quality	0	%
Volume	0.00104434	m ³ /kg
Density	957.539	kg/m ³
Compressibility factor	0.000638198	dimensionless
Enthalpy	423.913	kJ/kg
Entropy	1.3199	kJ/(kg. C)
Helmoltz free energy	-70.2033	kJ/kg
Internal energy	423.802	kJ/kg
Gibbs free energy	-70.0931	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	3.76232	kJ/(kg. C)

ChemicalLogic Corporation, 99 South Bedford St. Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved.

Maka efisiensi boiler:

$$\eta_b = \frac{34212(3079.31 - 423.913)}{5062.5 \times 22261.0048}$$

$$\eta_b = \frac{34212 (2655.397)}{112696336.8}$$

$$\eta_b = \frac{90846442.16}{112696336.8}$$

$$\eta_b = 0.806$$

$$\eta_b = 80.6\%$$

4.12.3. Analisa berdasarkan data 3
Menghitung efisiensi boiler:

Rumus mencari efisiensi boiler:

$$\text{Efisiensi Boiler } \eta_b = \frac{W_s(h_3 - h_1)}{W_s \cdot \text{LHV}}$$

Diketahui: $W_s = 33625 \text{ kg uap/s}$
 $P_3 = 23.867 \text{ kPa}$
 $t_3 = 330^\circ$
 $t_1 = 101.75^\circ\text{C}$
 $W_f = 5062,5 \text{ Kg/s}$
 $\text{LHV} = 22261.0048 \text{ kJ/kg}$

Untuk mencari enthalpy pada $P = 23.867 \text{ kPa}$, dan $t = 330^\circ\text{C}$, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, maka diperoleh:

$h_3 = 3083.53 \text{ kJ/kg}$

ChemicalLogic SteamTab Companion ×

About | Saturated Superheated/Subcooled | Constants |

Input: Units: Close

Temperature Metric/SI

Pressure English Calculate

Property	Value	Unit	^
Temperature	330	C	
Pressure	23.867	bar	
Steam quality	Superheated	%	
Volume	0.110829	m ³ /kg	
Density	9.0229	kg/m ³	
Compressibility factor	0.950249	dimensionless	
Enthalpy	3083.53	kJ/kg	
Entropy	6.79188	kJ/(kg. C)	
Helmoltz free energy	-1277.5	kJ/kg	
Internal energy	2819.02	kJ/kg	
Gibbs free energy	-1012.99	kJ/kg	
Heat capacity at constant volume	1.69765	kJ/(kg. C)	
Heat capacity at constant pressure	2.31399	kJ/(kg. C)	
Speed of sound	584.445	m/s	
Coefficient of thermal expansion	0.00201936	1/C	∇

ChemicalLogic Corporation, 99 South Bedford St, Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved.

Untuk mencari enthalpy pada temperature 101.75⁰C, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, makadiperoleh:

$$h_1 = 426.55 \text{ kJ/kg}$$

ChemicalLogic SteamTab Companion

About | Saturated | Superheated/Subcooled | Constants

Independent Variable: Temperature Value, °C | 101.75 | Units: Metric/SI English

Phase: Vapor Liquid Two-phase

Property	Value	Unit
Temperature	101.75	°C
Pressure	1.07918	bar
Steam quality	0	%
Volume	0.00104484	m ³ /kg
Density	957.086	kg/m ³
Compressibility factor	0.000651685	dimensionless
Enthalpy	426.55	kJ/kg
Entropy	1.32694	kJ/(kg. C)
Helmoltz free energy	-71.0305	kJ/kg
Internal energy	426.437	kJ/kg
Gibbs free energy	-70.9178	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	3.75908	kJ/(kg. C)

ChemicalLogic Corporation, 59 South Bedford St. Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved.

Maka efisiensi boiler:

$$\eta_b = \frac{33625(3083.53 - 426.551)}{5062.5 \times 22261.0048}$$

$$\eta_b = \frac{33625(2656.98)}{112696336.8}$$

$$\eta_b = \frac{89340952.5}{112696336.8}$$

$$\eta_b = 0.792$$

$$\eta_b = 79.2\%$$

4.12.4. Analisa berdasarkan data 4

Menghitung efisiensi boiler:

Rumus mencari efisiensi boiler:

$$\text{Efisiensi Boiler } \eta_b = \frac{W_s(h_3 - h_1)}{W_s \cdot \text{LHV}}$$

- Diketahui: $W_s = 35125 \text{ kg uap/s}$
 $P_3 = 23.707 \text{ kPa}$
 $t_3 = 330^\circ\text{C}$
 $t_1 = 101.75^\circ\text{C}$
 $W_f = 5062,5 \text{ Kg/s}$
 $\text{LHV} = 22261.0048 \text{ kJ/kg}$

Untuk mencari enthalpy pada $P = 23.707 \text{ kPa}$, dan $t = 330^\circ\text{C}$, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, maka diperoleh:

$$h_3 = 3083.92 \text{ kJ/kg}$$

ChemicalLogic SteamTab Companion ×

About | Saturated Superheated/Subcooled | Constants |

Input: Units: Close

Temperature Metric/SI

Pressure English Calculate

Property	Value	Unit	^
Temperature	330	C	
Pressure	23.707	bar	
Steam quality	Superheated	%	
Volume	0.111619	m ³ /kg	
Density	8.95908	kg/m ³	
Compressibility factor	0.950603	dimensionless	
Enthalpy	3083.92	kJ/kg	
Entropy	6.79547	kJ/(kg. C)	
Helmoltz free energy	-1279.38	kJ/kg	
Internal energy	2819.31	kJ/kg	
Gibbs free energy	-1014.77	kJ/kg	
Heat capacity at constant volume	1.69655	kJ/(kg. C)	
Heat capacity at constant pressure	2.3116	kJ/(kg. C)	
Speed of sound	584.562	m/s	
Coefficient of thermal expansion	0.00201644	1/ C	∇

ChemicalLogic Corporation, 99 South Bedford St. Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved.

Untuk mencari enthalpy pada temperature 101.75⁰C, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, makadiperoleh:

$$h_1 = 426.55 \text{ kJ/kg}$$

ChemicalLogic SteamTab Companion ×

About | Saturated | Superheated/Subcooled | Constants

Independent Variable: Units: Close

Temperature Value, °C 101.75 Metric/SI

Pressure English Calculate

Phase:

Vapor Liquid Two-phase

Property	Value	Unit
Temperature	101.75	°C
Pressure	1.07913	bar
Steam quality	0	%
Volume	0.00104484	m ³ /kg
Density	957.086	kg/m ³
Compressibility factor	0.000651685	dimensionless
Enthalpy	426.55	kJ/kg
Entropy	1.32694	kJ/(kg·°C)
Helmoltz free energy	-71.0305	kJ/kg
Internal energy	426.437	kJ/kg
Gibbs free energy	-70.9178	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	3.75908	kJ/(kg·°C)

ChemicalLogic Corporation, 99 South Bedford St. Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved.

Maka efisiensiboiler:

$$\eta_b = \frac{35125(3083.92 - 426.55)}{5062.5 \times 22261.0048}$$

$$\eta_b = \frac{35125(2657.37)}{112696336.8}$$

$$\eta_b = \frac{93340121.25}{112696336.8}$$

$$\eta_b = 0.828$$

$$\eta_b = 82.8\%$$

4.12.5. Analisa berdasarkan data 5

Menghitung efisiensi boiler:

Rumus mencari efisiensi boiler:

$$\text{Efisiensi Boiler } \eta_b = \frac{W_s(h_3 - h_1)}{W_s \cdot \text{LHV}}$$

Diketahui: $W_s = 37912 \text{ kg uap/s}$

$P_3 = 23.425 \text{ kPa}$

$t_3 = 330^\circ\text{C}$

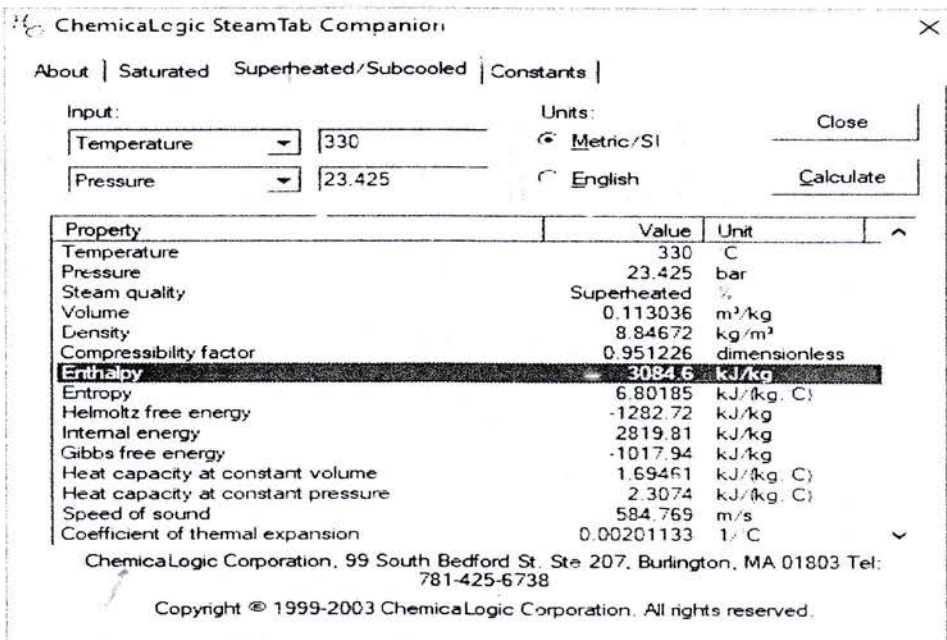
$t_1 = 102^\circ\text{C}$

$W_f = 5062,5 \text{ Kg/s}$

$\text{LHV} = 22261.0048 \text{ kJ/kg}$

Untuk mencari enthalpy pada $P = 23.425 \text{ kPa}$, dan $t = 330^\circ\text{C}$, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, maka diperoleh:

$h_3 = 3084.6 \text{ kJ/kg}$



Untuk mencari enthalpy pada temperature 102°C , dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, maka diperoleh:

$h_1 = 427.605 \text{ kJ/kg}$

ChemicaLogic SteamTab Companion

About Saturated | Superheated/Subcooled | Constants |

Independent Variable: Temperature Value, C | 102 Pressure

Units: Metric/SI English

Phase: Vapor Liquid Two-phase

Property	Value	Unit
Temperature	102	C
Pressure	1.08874	bar
Steam quality	0	%
Volume	0.00104504	m ³ /kg
Density	956.905	kg/m ³
Compressibility factor	0.000657145	dimensionless
Enthalpy	427.605	kJ/kg
Entropy	1.32975	kJ/(kg, C)
Helmoltz free energy	-71.3626	kJ/kg
Internal energy	427.492	kJ/kg
Gibbs free energy	-71.2489	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	3.75779	kJ/(kg, C)

ChemicaLogic Corporation, 99 South Bedford St. Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicaLogic Corporation. All rights reserved.

Maka efisiensi boiler:

$$\eta_b = \frac{37912(3084.6 - 427.605)}{5062.5 \times 22261.0048}$$

$$\eta_b = \frac{37912 (2656.995)}{112696336.8}$$

$$\eta_b = \frac{100731994.4}{112696336.8}$$

$$\eta_b = 0.893$$

$$\eta_b = 89.3\%$$

4.12.6. Analisa berdasarkan data 6

Menghitung efisiensi boiler:

Rumus mencari efisiensi boiler:

$$\text{Efisiensi Boiler } \eta_b = \frac{W_s(h_3 - h_1)}{W_s \cdot \text{LHV}}$$

Diketahui: $W_s = 38325 \text{ kg uap/s}$

$P_3 = 26.943 \text{ kPa}$

$t_3 = 328.75^\circ\text{C}$

$t_1 = 101.5^\circ\text{C}$

$W_f = 5062,5 \text{ Kg/s}$

$\text{LHV} = 22261.0048 \text{ kJ/kg}$

Untuk mencari enthalpy pada $P = 26.943\text{kPa}$, dan $t = 328.75^\circ\text{C}$, dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, maka diperoleh:

$$h_3 = 3073.08 \text{ kJ/kg}$$

ChemicalLogic SteamTab Companion

About | Saturated | Superheated/Subcooled | Constants |

Input: Temperature: 328.75 Pressure: 26.943

Units: Metric/SI English

Property	Value	Unit
Temperature	328.75	°C
Pressure	26.943	bar
Steam quality	Superheated	%
Volume	0.0972143	m ³ /kg
Density	10.2866	kg/m ³
Compressibility factor	0.942894	dimensionless
Enthalpy	3073.08	kJ/kg
Entropy	6.72156	kJ/(kg·C)
Helmoltz free energy	-1234.55	kJ/kg
Internal energy	2811.15	kJ/kg
Gibbs free energy	-972.63	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	1.72059	kJ/(kg·C)
Heat capacity at constant pressure	2.36462	kJ/(kg·C)
Speed of sound	581.417	m/s
Coefficient of thermal expansion	0.00208566	1/°C

ChemicalLogic Corporation, 99 South Bedford St. Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved.

Untuk mencari enthalpy pada temperature 101.5°C , dicari dengan menggunakan software *chemicallogic steamtab companion*, maka diperoleh:

$$h_1 = 425.495 \text{ kJ/kg}$$

ChemicalLogic SteamTab Companion

About | Saturated | Superheated/Subcooled | Constants |

Independent Variable: Temperature Value: °C 101.5 Pressure

Units: Metric/SI English

Phase: Vapor Liquid Two-phase

Property	Value	Unit
Temperature	101.5	°C
Pressure	1.06969	bar
Steam quality	0	%
Volume	0.00104464	m ³ /kg
Density	957.267	kg/m ³
Compressibility factor	0.000646263	dimensionless
Enthalpy	425.495	kJ/kg
Entropy	1.32412	kJ/(kg·C)
Helmoltz free energy	-70.6991	kJ/kg
Internal energy	425.383	kJ/kg
Gibbs free energy	-70.5874	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	3.76038	kJ/(kg·C)

ChemicalLogic Corporation, 99 South Bedford St. Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved.

Maka efisiensi boiler:

$$\eta_b = \frac{38325(2647.585 - 425.495)}{5062.5 \times 22261.0048}$$

$$\eta_b = \frac{38325(2647.585)}{112696336.8}$$

$$\eta_b = \frac{101468695}{112696336.8}$$

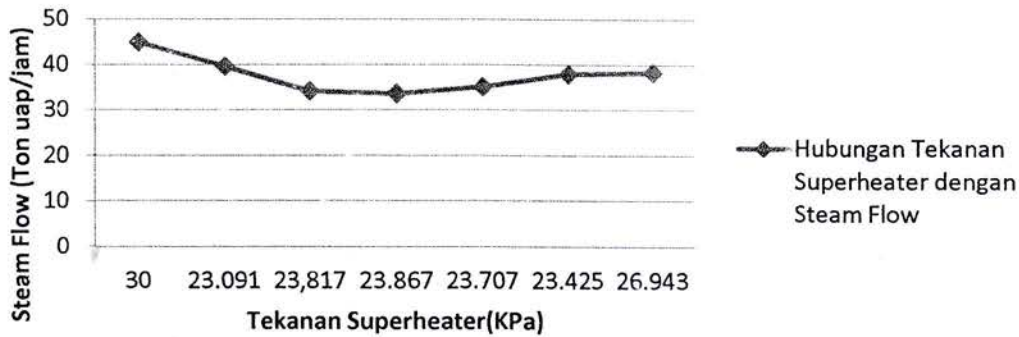
$$\eta_b = 0.900$$

$$\eta_b = 90.0\%$$

Table 4. 15. Hubungan tekanan superheater dengan steam flow

Tekanan Superheater (KPa)	Steam flow (Ton uap/jam)
30.0	45.00
23.091	39.625
23.817	34.212
23.867	33.625
23.707	35.125
23.425	37.912
26.943	38.325

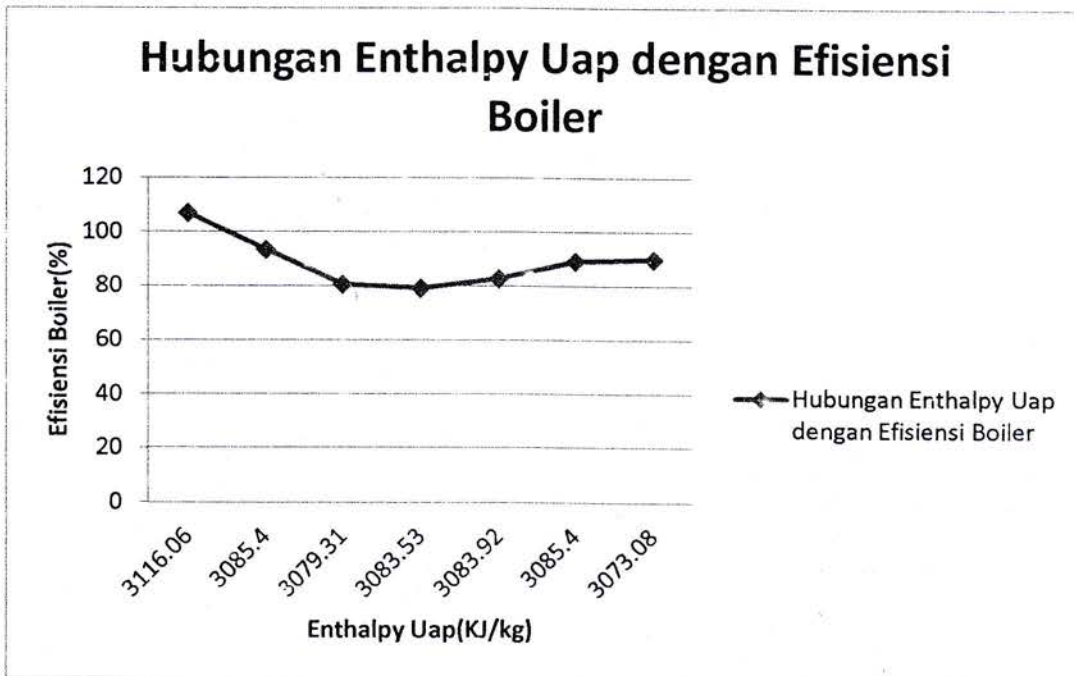
Hubungan Tekanan Superheater dengan Steam Flow



Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa hubungan tekanan superheater dengan jumlah uap yang dihasilkan tidak konstan naik melainkan naik turun. Dimana pada saat tekanan superheater 30 kPa jumlah uap yang dihasilkan 45 ton uap/jam, sedangkan pada saat tekanan superheater 23.091 kPa jumlah uap yang dihasilkan 39,625 ton uap/jam jumlah uap yang dihasilkan turun, kemudian pada saat tekanan superheater 23,817 kPa jumlah uap yang dihasilkan sebesar 34.212 ton uap/jam jumlah uap yang dihasilkan turun, kemudian pada saat tekanan superheater 23.867 kPa jumlah uap yang dihasilkan sebesar 33.625 ton uap/jam jumlah uap yang dihasilkan turun, sedangkan pada saat tekanan superheater 23.707 kPa jumlah uap yang dihasilkan 35.125 ton uap/jam jumlah uap yang dihasilkan naik, kemudian pada saat tekanan superheater 23.425 kPa jumlah uap yang dihasilkan sebesar 37.912 ton uap/jam jumlah uap yang dihasilkan naik, kemudian pada saat tekanan superheater 26.943 kPa jumlah uap yang dihasilkan sebesar 38.325 ton uap/jam jumlah uap yang dihasilkan naik. Hal ini terjadi bisa saja disebabkan beberapa faktor, misalnya pemakaian bahan bakar yang tidak konstan disebabkan oleh beban pakai keseluruhan pabrik melebihi kapasitas boiler.

Table 4. 16. Hubungan enthalpy uap dengan efisiensi boiler

Enthalpy Uap (kJ/kg)	Efisiensi Boiler (%)
3116.06	107.1%
3085.4	93.5%
3079.31	80.6%
3083.53	79.2%
3083.92	82.8%
3085.4	89.3%
3073.08	90,0%



Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa hubungan enthalpy uap dengan efisiensi boiler tidak konstan naik melainkan naik turun. Dimana bisa dilihat pada saat enthalpy uap 3116.06 kJ/kg efisiensi boiler sebesar 107.1%, sedangkan pada saat enthalpy uap 3085.4 kJ/kg efisiensi boiler sebesar 93.5 % mengalami penurunan, kemudian pada saat enthalpy uap 3079.31 kJ/kg efisiensi boiler sebesar 80.6 % mengalami penurunan, kemudian pada saat enthalpy uap 3085.4 kJ/kg efisiensi boiler sebesar 89.3 % mengalami kenaikan. Hal ini bisa

saja terjadi disebabkan laju perpindahan kalor pada sistem ketel uap yang tidak sempurna.

Table 4. 17. Hubungan tekanan superheater dengan efisiensi boiler

Tekanan Superheater (KPa)	Efisiensi Boiler (%)
30.00	107.1
23.091	93.5
23.817	80.6
23.867	79.6
23.707	82.8
23.425	89.3
26.943	90.0

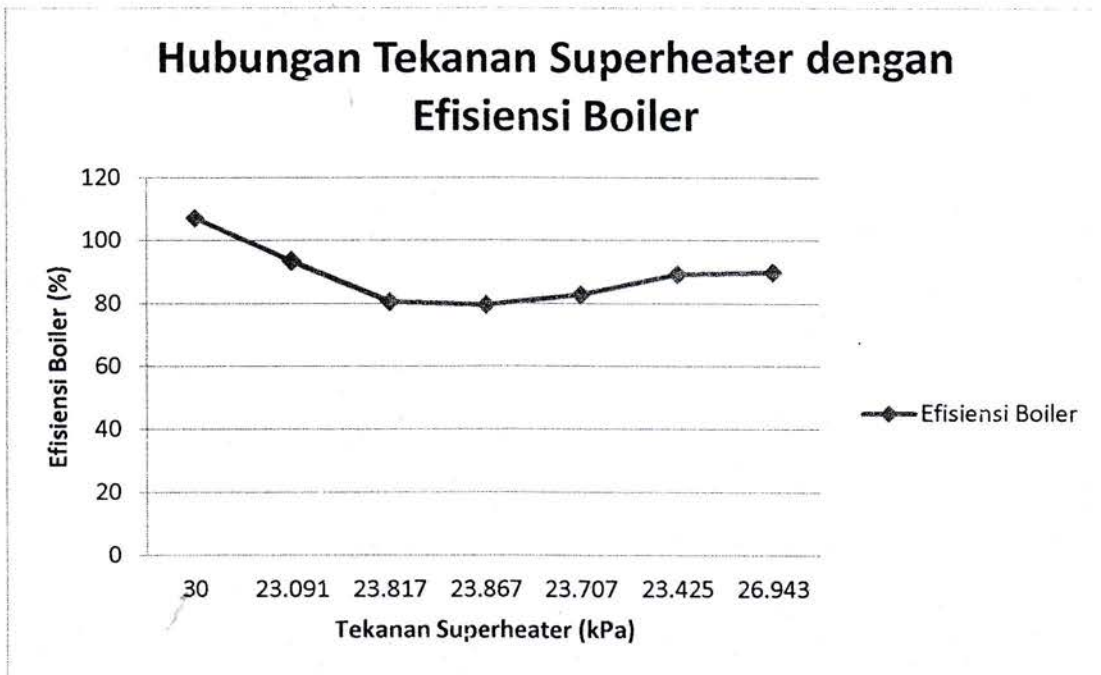
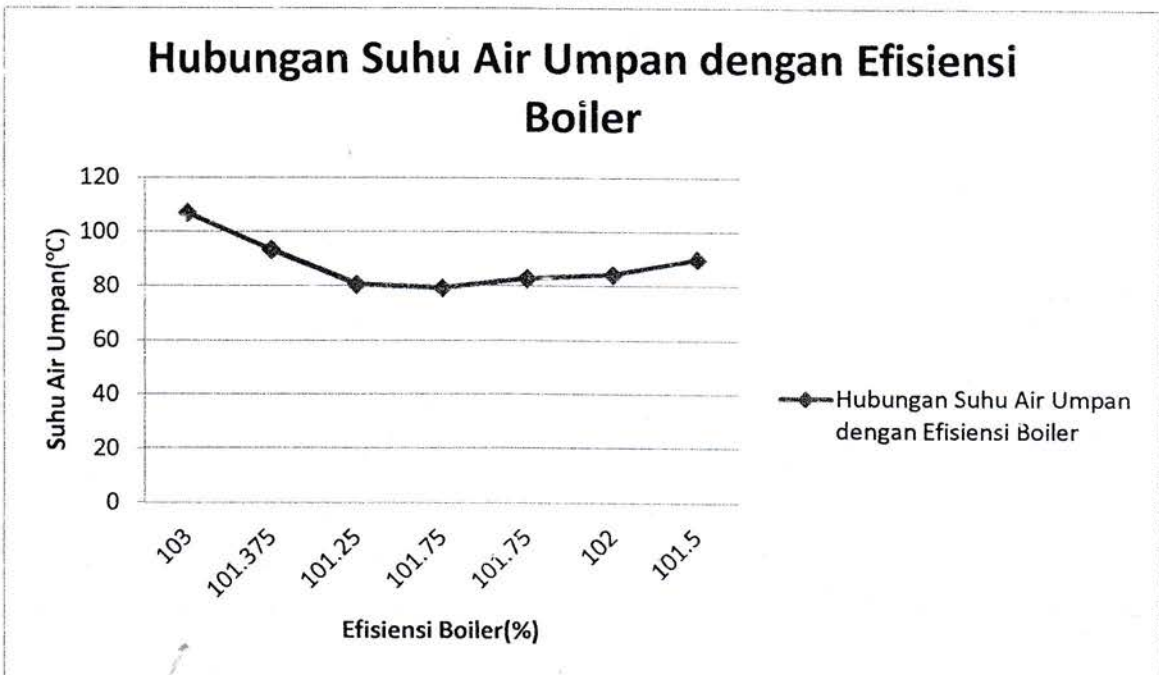


Table 4. 18. Hubungan Suhu Air Umpan dengan Efisiensi Boiler.

Suhu Air Umpan (°C)	Efisiensi Boiler (%)
103	107.1
101.375	93.5
101.125	80.6
101.75	79.2
101.75	82.8
102	84.3
101.5	90.0



Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa hubungan suhu air umpan dengan efisiensi boiler konstan, Untuk hubungan suhu air umpan dengan efisiensi bisa dilihat dimana pada data 1 dengan efisiensi boiler sebesar 69.49 % rata-rata temperatur 99 °C, pada data 2 dengan efisiensi boiler sebesar 70 % rata-rata

temperatur tetap 99°C pada data 3 dengan efisiensi boiler sebesar 71,05 % rata-rata temperatur tetap 99°C , pada data 4 dengan efisiensi boiler sebesar 70,56% rata-rata temperatur tetap 99°C , dan pada data 5 dengan efisiensi boiler sebesar 70,28 % rata-rata temperatur tetap 99°C .

Table 4. 19. Hubungan produksi uap dengan efisiensi boiler

Produksi Uap (kg uap/s)	Efisiensi Boiler (%)
45000	107.1
39625	93.5
34212	80.6
33625	79.2
35125	82.8
37912	89.3
38325	90.0

Hubungan Produksi Uap dengan Efisiensi Boiler

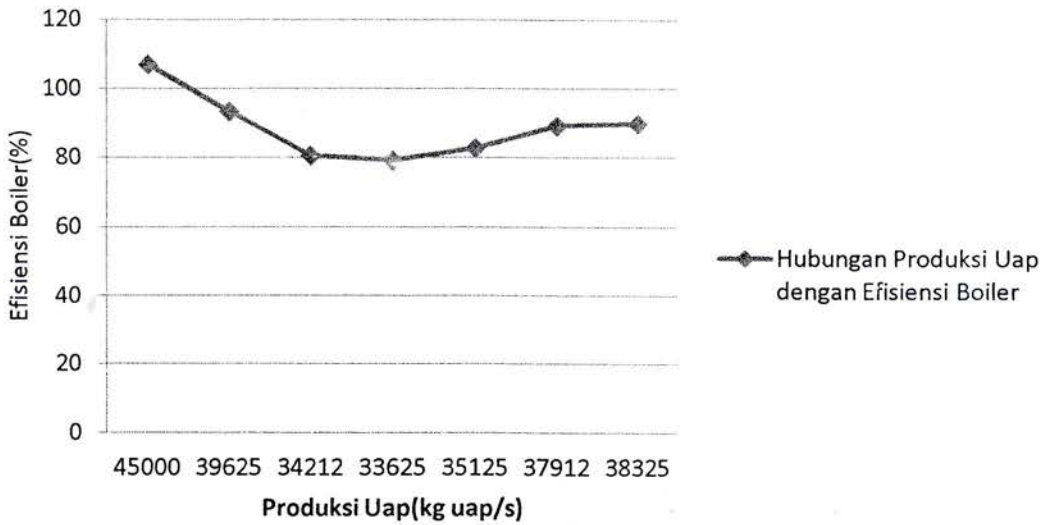
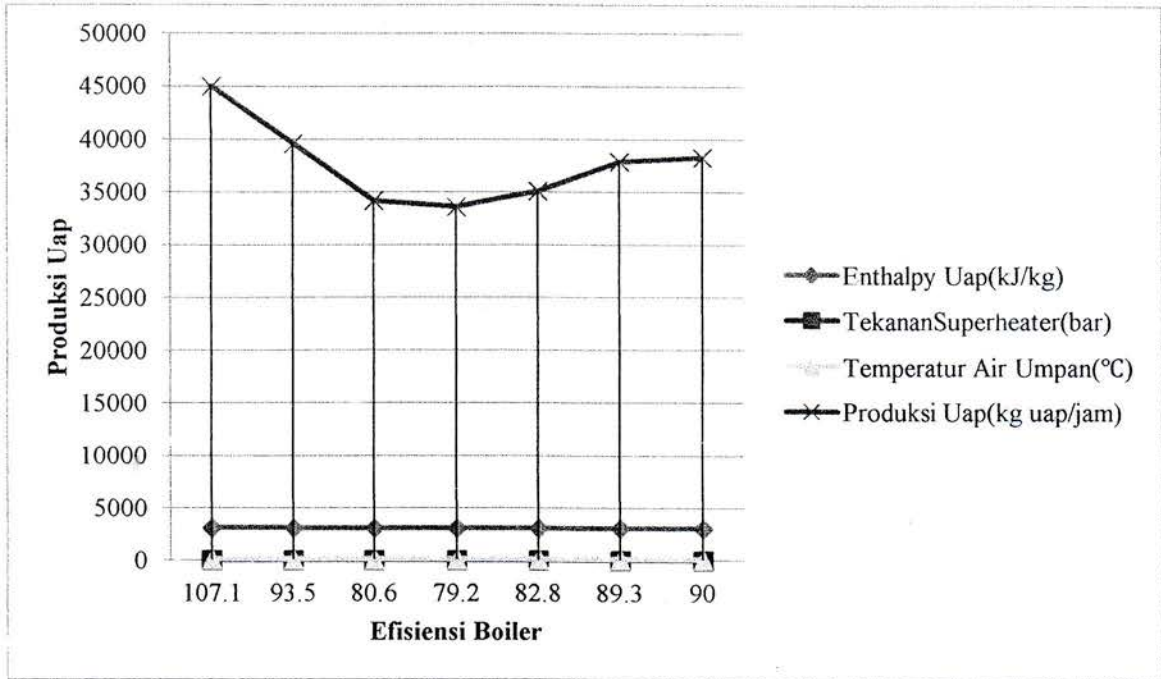


Table 4. 20. Hubungan enthalpy uap, tekanan superheater, temperatur air umpan, dan produksi uap dengan efisiensi boiler.

No. Percobaan	Efisiensi (%)	Enthalpy Uap (kJ/kg)	Tekanan Superheater (kPa)	Temperatur Air Umpan ($^{\circ}$ C)	Produksi Uap (kg uap/s)
Boiler dalam keadaan KPau	107.1	3116.06	30.00	103.00	45000
1	93.5	3085.4	23.091	101.375	39625
2	80.6	3079.31	23.817	101.125	34212
3	79.2	3083.53	23.867	101.75	33625
4	82.8	3083.92	23.707	101.75	35125
5	89.3	3085.4	23.425	102.00	37912
6	90.0	3073.08	26.943	101.5	38325
Jumlah	516	18490,64	144,85	609,5	218824
Rata-Rata	86	3081,77	24,141	101,58	36470,66



Gambar 4.21. Grafik hubungan enthalpy uap, tekanan superheater, temperatur air umpan, dan produksi uap dengan efisiensi boiler.

Berdasarkan grafik 4.21. diatas, dapat dilihat hubungan enthalpy uap, tekanan superheater, temperatur air umpan, dan produksi uap dengan efisiensi boiler. Dimana efisiensi boiler sebesar 107.1 % dengan nilai enthalpy uap sebesar 3116.06 kJ/kg, tekanan superheater sebesar 30.0 kPa, temperatur air umpan 103⁰C, dan produksi uap 45 ton uap/jam. Efisiensi boiler sebesar 93.5 % dengan nilai enthalpy uap sebesar 3085.4 kJ/kg, tekanan superheater sebesar 23.091 kPa, temperatur air umpan 101.375⁰C, dan produksi uap 39,625 ton uap/jam. Efisiensi boiler sebesar 82.8 % dengan nilai enthalpy uap sebesar 3083.92 kJ/kg, tekanan superheater sebesar 23.707 kPa, temperatur air umpan 101.75⁰C, dan produksi uap 35,625 ton uap/jam. , efisiensi boiler sebesar 90% dengan nilai enthalpy uap sebesar 3073.08 kJ/kg, tekanan superheater sebesar 26.943kPa, temperatur air umpan 101.5⁰C, dan produksi uap 38,325 ton uap/jam.

Berdasarkan hasil analisa *efisiensi water tube boiler* berbahan bakar fiber dan cangkang di PT. Jepsindo Sarana Teknologi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hubungan variasi tekanan superheater dengan steam flow yang dihasilkan tidak konstan naik melainkan naikturun.
2. Hubungan variasi enthalpy uap dengan efisiensi boiler tidak konstan naik melainkan naikturun.
3. Hubungan variasi tekanan superheater dengan efisiensi boiler relatif naik turun dan tidak tetap.
4. Hubungan variasi suhu air umpan dengan efisiensi boilerrelatif konstan.
5. Hubungan variasi produksi uap dengan efisiensi boiler tidak konstannaik,melainkan naik turun.

Hasil analisa memperlihatkan bahwa perubahan nilai atau variasi enthalpy uap, tekanan superheater, suhu air umpan, dan jumlah produksi uap yang dihasilkan berpengaruh terhadap efisiensi boiler. Hubungan variasi jumlah produksi uap yang dihasilkan sangat berpengaruh dengan efisiensi boiler itu sendiri, dimana semakin besar jumlah uap yang dihasilkan maka semakin besar juga efisiensi boiler yang dihasilkan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal, antara lain:

1. Nilai efisiensi water tube boiler terendah yang dihasilkan sebesar 79,2 %, dan nilai efisiensi water tube boiler tertinggi yang dihasilkan sebesar 93,5%.
2. Membandingkan efisiensi boiler saat kPau dengan keadaan sekarang mengalami penurunan, efisiensi boiler saat kPau sebesar 107,1 % sedangkan efisiensi boiler dengan keadaan saat ini mengalami penurunan menjadi sebesar 79,2% - 93,5%.
3. Hubungan variasi tekanan superheater dengan steam flow yang dihasilkan tidak konstan naik melainkan naikturun.
4. Hubungan variasi suhu air umpan dengan efisiensi boilerrelatif konstan.
5. Hubungan variasi jumlah uap yang dihasilkan dengan efisiensi boiler tidak konstan naik melainkan naikturun.
6. Nilai rata-rata yang diperoleh dari boileruntuk:

- *Steam pressure superheater* : 24,141kPa

- *temperaturfeedtank* : 72,69⁰C

- *temperaturdaerator* : 101,58⁰C

- *temperatur outlet steam* : 329,47⁰C

- *steamflow* : 36,470 tonuap/jam

7. Nilai kalor bahan bakar serabut 75% + cangkang 25% kelapa sawit:

- Nilai kalor pembakaran tinggi (HHV) : 24853.005 kJ/kg
- Nilai kalor pembakaran rendah (LHV) : 22261.0048 kJ/kg

5.2. Saran

Adapun saran-saran yang dapat kami ajukan kepada PT. Jepsindo Sarana Teknologi ataupun pembaca untuk menyempurnakan penelitian kami tentang analisa efisiensi *water tube boiler* berbahan bakar fiber dan cangkang untuk kedepan ialah sebagai berikut:

1. Memperhatikan kebersihan lingkungan kerja demi keamanan dan kenyamanan bersama.
2. Untuk meningkatkan efisiensi boiler lakukan pengontrolan terhadap kandungan air pada *feed tank* sebelum masuk ke deaerator..
3. Untuk meningkatkan efisiensi boiler lakukan blowdown secara berkala untuk mengurangi jumlah padatan terlarut dalam air ketel.
4. Melakukan blowing steam boiler untuk melepaskan kerak yang menempel pada permukaan pipa secara berkala.
5. Untuk menyempurkan pembakaran pada dapur bakar boiler hendaknya memperhatikan kandungan air yang berlebihan pada bahan bakar.
6. Memperhatikan kondisi isolator pipa superheater untuk meminimalis energi yang terbuang dari pipa.

DAFTAR PUSTAKA

1. Muin A. Syamsir. 1988. "Pesawat-pesawat Konversi Energi (Ketel Uap)". Edisi Pertama. Penerbit CV. Rajawali. Jakarta.
2. Djokosetyardjo, IR. M. J, 2003, *Ketel Uap*, Cetakan Kelima, Pradnya Paramita. Jakarta.
3. Tambunan., 1984, *Ketel Uap*, Karya Agung, Jakarta.
4. A.C. WALSHAW, *HEAT ENGINES (A FIRST TEXT-BOOK)*
5. Silalahi Abel, *Dasar-dasar Ketel Uap*, ITN Malang, 1977.
6. M J Djokosetyardjo, *Ketel Uap*, PT. Pradnya Paramita, 1993.
7. Yunus, Asyari D. *Ketel Uap (Steam Boiler)*. Jakarta: Teknik Mesin Universitas Darma Persada.
8. James J. Jackson, *Steam Boiler Operation*, Prenticehall, Inc., 1980.
9. J.H. Milton, *Marine Steam Boiler*, Newnes Butter Worth, 1975.
10. Holman, JP, 1981, *Heat Transfer*, Mc Graw Hill Book Inc., Edisi ke 5, Jakarta.
11. Reynold, William C., Perkins, Henry C., 1994, *Termodinamika Teknik*, Erlangga, Edisi Kedua, Jakarta.
12. El-Wakil, M.M., Jasjfi, MSc, Ir. E., 1992, *Instalasi Pembangkit Daya*, Erlangga, Jilid 1, Jakarta.
13. Harahap F, "Termodinamika Teknik" Erlangga, Jakarta, 1994.
14. <http://www.scribd.com/doc/28323850/Pengetahuan-Umum-Boiler>
15. Nugroho Agung. 2007. „Analisa Unjuk Kerja Boiler Terhadap Penurunan Daya Pada PLTU". <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-9765-Paper.pdf>
16. www.energyefficiencyasia.org, *Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia*, (18 November 2009)
17. <http://matabayangan.blogspot.com/2013/04/jenis-jenis-ketel-uap.html>
18. <http://belajarsawit.blogspot.com/2012/12/ketel-uap-boiler-di-pabrik-kelapa-sawit.htm>