

**ANALISA PEMAKAIAN BAHAN BAKAR MENGGUNAKAN  
FIBER DAN CANGKANG KELAPA SAWIT PADA KTEL UAP  
KAPASITAS 35 TON UAP/JAM**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**M.IRHAM HAFIDZ ASHOBA  
138130024**



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2024**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 12/12/24

Access From (repository.uma.ac.id)12/12/24

**ANALISA PEMAKAIAN BAHAN BAKAR MENGGUNAKAN  
FIBER DAN CANGKANG KELAPA SAWIT PADA KTEL UAP  
KAPASITAS 35 TON UAP/JAM**

**SKRIPSI**

Diajukan Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh

Gelar Sarjana di Fakultas Teknik

Universitas Medan Area

Oleh:

**M.IRHAM HAFIDZ ASHOBA  
138130024**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 12/12/24

Access From (repository.uma.ac.id)12/12/24

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

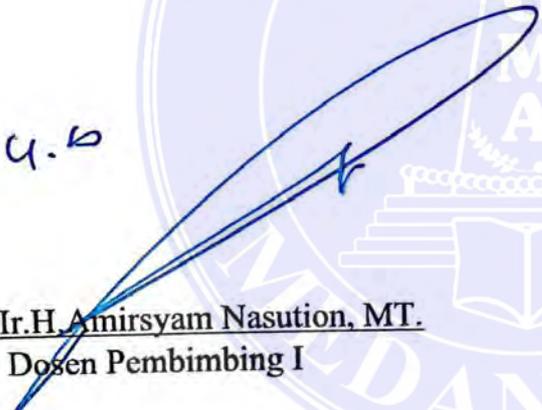
Judul Skripsi : Analisa Pemakaian Bahan Bakar Menggunakan Fiber dan Cangkang Kelapa Sawit Pada Ketel Uap Kapasitas 35 Ton Uap/Jam

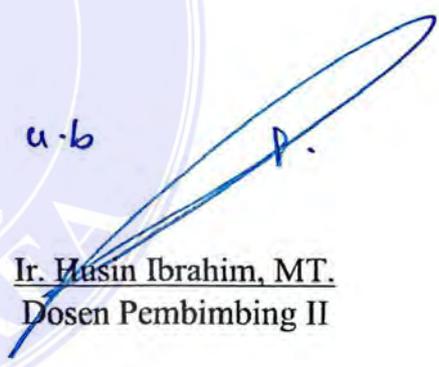
Nama Mahasiswa : M.Irham Hafidz Ashoba

NIM : 138130024

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh  
Komisi Pembimbing

u.b  
  
Ir.H. Amirsyam Nasution, MT.  
Dosen Pembimbing I

u.b  
  
Ir. Hasin Ibrahim, MT.  
Dosen Pembimbing II

  
Dr. Ean Supriatno, ST., MT.  
Dekan

  
Dr. Iswandi, ST., MT.  
Ka. Prodi

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai sorma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



Medan, 5 November 24

M. Irham Hafidz Ashoba

138130024



## PENYERAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR/ARTIKEL ILMIAH DAN COMPACT DISK (CD)

Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area yang namanya tersebut dibawah ini :

Nama : M.Irham Hafidz Ashoba

NPM : 138130024

Program Studi : Teknik Mesin

Alamat : Emplasmen Balimbinan

Nomor HP : 085261163867

Judul Skripsi : ANALISA PEMAKAIAN BAHAN BAKAR MENGGUNAKAN FIBER DAN CANGKANG KELAPA SAWIT PADA KETEL UAP KAPASITAS 35 TON UAP/JAM

Telah Menyerahkan Skripsi/Tugas Akhir/Artikel Ilmiah Dan Compact Disk (CD) kepada masing-masing :

NO	JABATAN	NAMA	TANDA TANGAN/STEMPEL
1	Pembimbing I	Ir.H.Amirsyam Nasution, MT.	<i>u-b</i>
2	Pembimbing II	Ir.Husin Ibrahim, MT.	<i>u-b</i>
3	Ka. Program Studi	Dr. Iswandi, ST., MT.	
4	Perpustakaan	Perpustakaan Universitas	
5	Tempat Riset *	Pt.langkat Nusantara kepong	

\* Bagi yang melaksanakan riset di Instansi terkait

Mengetahui :  
Dekan,

**Dr. Eng. Supriatno, S.T, M.T**

Medan, 24 Oktober 20224  
Yang Menyerahkan Skripsi,

**M.Irham Hafidz Ashoba**

Persyaratan Lain Pengambilan Ijazah

1. Kwitansi Biaya Wisuda
2. Kwitansi Biaya Ijazah
3. Surat Penyerahan Skripsi ke Perpustakaan
4. Surat Penyerahan Skripsi dan Jurnal dari Fakultas

## Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah

### HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M.Irham Hafidz Ashoba  
NPM : 138130024  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenia Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **Analisa Pemakaian Bahan Bakar Menggunakan Fiber dan Cangkang Kelapa Sawit Pada Ketel Uap Kapasitas 35 Ton Uap/Jam**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama saya tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat : Medan  
Pada : 5 November 2024  
Yang menyatakan



(M. Irham Hafidz Ashoba)

## ABSTRAK

Kebutuhan energi uap di Industri minyak sangat di perlukan untuk proses produksi dan kualitas produk yang dihasilkan ketel uap. Karena Ketel uap merupakan suatu pesawat tenaga yang banyak digunakan dan dianggap layak dalam dunia industri minyak di negara Indonesia. Dalam mempelajari Ketel uap, tidak cukup juga hanya bisa mengoperasikan dan mengetahui fungsi unit-unit pendukung pengoperasian Ketel Uap tetapi setidaknya bisa menghitung efisiensi ketel uap apakah menguntungkan atau tidak jika dioperasikan. Pada proses produksi uap sangat di pengaruhi efisiensi dan jumlah pemakaian bahan bakar, hal tersebut merupakan pertimbangan yang harus di perhitungkan sesuai dengan kapasitas Industri. Pada umumnya boiler pipa air menggunakan bahan bakar fiber dan cangkang sawit, oleh sebab itu kebutuhan pemakaian bahan bakar fiber maupun cangkang perlu di analisa untuk mengetahui jenis bahan bakar yang bisa meningkatkan efisiensi Ketel uap. Peningkatan efisiensi ketel uap dapat memberikan nilai ekonomis untuk Industri, dan juga meningkatkan jumlah produksi. Pemakaian jumlah bahan bakar yang jelas dan stabil juga merupakan salah satu faktor penting, menjadi pertimbangan dan perhitungan berkaitan dengan pengeluaran dan persediaan bahan bakar ketel uap pipa air. Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa dengan penggunaan bahan bakar fiber mempunyai nilai efisiensi yang lebih tinggi yaitu rata-rata 80 % dari pada bahan bakar cangkang yang mempunyai nilai efisiensi rata-rata 20 %, sehingga kinerja mesin boiler berbahan bakar fiber dan cangkang sawit lebih baik dalam pembakarannya dan mudah di produksi.

Kata Kunci : Ketel Uap, Efisiensi, Bahan Bakar fiber dan cangkang.

## ABSTRACT

*The need for steam energy in the oil industry is very much needed for the production process and the quality of the products produced by steam boilers. Because the steam boiler is a power aircraft that is widely used and considered feasible in the world of the oil industry in Indonesia. In studying Steam Boilers, it is not enough to only be able to operate and know the functions of the Steam Boiler operation support units but at least be able to calculate the efficiency of the steam boiler whether it is profitable or not if it is disarmed. In the steam production process, efficiency and the amount of fuel used are greatly affected, this is a consideration that must be taken into account according to the capacity of the industry. In general, water pipe boilers use fiber fuel and palm shells, therefore the need for fiber fuel and shells needs to be analyzed to find out the type of fuel that can increase the efficiency of steam boilers. The increased efficiency of the steam boiler can provide economic value for Industry, and also increase the production volume. The use of a clear and stable amount of fuel is also one of the important factors, being considered and calculated related to the expenditure and supply of fuel for steam boilers of water pipes. Based on the results of the calculation, it can be concluded that the use of fiber fuel has a higher efficiency value, which is an average of 80% than shell fuel which has an average efficiency value of 20%, So that the performance of the fiber and palm shell fuel boiler engine is better in combustion and easy to produce.*

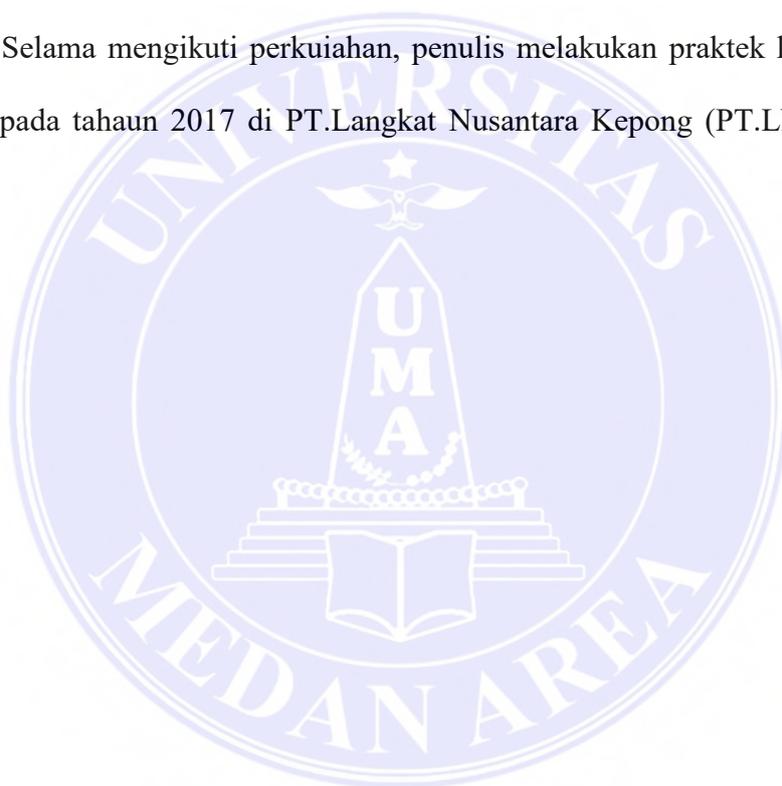
*Keywords: Steam Boiler, Efficiency, Fiber Fuel and shell.*

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pematang Siantar pada tanggal 02 Juni 1995 dari ayah Agus Soleh Batu Bara dan Ibu Purnawati. Penulis merupakan anak ke 2 dari 4 bersaudara.

Tahun 2012 penulis dar MAN Pematang Siantar dan apada tahun 2013 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis melakukan praktek kerja lapangan (PKL) pada tahaun 2017 di PT.Langkat Nusantara Kepong (PT.LNK) selama 1 bulan.



## KATA PENGANTAR

Puju syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah S.W.T. yang masih memberi kita kesehatan jasmani maupun rohani sampai saat ini. Serta Shalawat dan Salam kepada junjungan Nabi besar kita Muhammad S.A.W. yang telah membawa kita kepada zaman ilmu pengetahuan saat ini dan dengan rahmat dan karunianya maka saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, saya telah berusaha untuk menyelesaikannya dengan hasil yang baik menggunakan literatur dan ilmu pengetahuan yang saya dapatkan di bangku perkuliahan.

Pada kesempatan kali ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir.Amirsyam.Nst.MT. selaku dosen pembimbing I, Bapak Ir.Husin Ibrahim,MT. selaku dosen pembimbing II. dan Bapak Dr. Iswandi, ST., MT. selaku ketua program studi teknik mesin di Universitas Medan Area dan Bapak-Bapak yang bekerja di PT.LNK (Langkat Nusantara Kepong) selaku pembimbing lapangan.dan tidak lupa juga kepada orang tua saya yang selalu memberikan dukungan baik secara moral ataupun spiritual.kemudian kepada teman-teman saya yang ikut serta membantu saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Saya menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir saya ini masih banyak kekurangan dan kesalahan.Mudah-mudahan dalam Penyelesaian Tugas Akhir ini saya dapat mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Medan, Oktober 2024

M.IRHAM HAFIDZ ASHOBA

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
LEMBAR PERNYATAAN PPERSETUJUAM PUBLIKASI KARYA ILMIAH.v	
ABSTRAK .....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II LANDASAN TEORI .....	4
2.1 Pengertian Boiler .....	4
2.2 Klasifikasi Boiler .....	5
2.2.1 Ketel Uap Pipa air.....	6
2.3 Komponen-komponen Ketel Uap .....	8
2.3.1 Menurut kontruksi dan cara kerjanya .....	8
2.3.2 Klasifikasi boiler berdasarkan bahan bakar yang digunakan.....	11
2.3.3 Klasifikasi Boiler Berdasarkan Kegunaan Boiler .....	13
2.3.4 Klasifikasi Boiler Berdasarkan Konstruksi Boiler.....	16
2.4 Bagian-Bagian Boiler.....	18
2.4.1 Bagian Utama Boiler.....	18
2.4.2 Alat Bantu Ketel Uap.....	24
2.4.3 Perlengkapan Elektronik Boiler .....	31
2.4.4 Perlengkapan Boiler Lainnya.....	32
2.4.5 Prinsip Kerja Boiler .....	33
2.5 Pengoperasian Ketel Uap.....	34
2.5.1 Ketentuan Umum .....	34
2.5.2 Prosedur Operasional Boiler.....	35

2.6	Pengolahan Air Umpan Boiler.....	<b>41</b>
2.6.1	Pengolahan Air Internal .....	41
2.6.2	Pengolahan Air Eksternal .....	42
2.6.3	Rekomendasi untuk boiler dan kualitas air umpan .....	47
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>51</b>
3.1	Jenis Penelitian.....	<b>51</b>
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	<b>51</b>
3.2.1	Tempat Penelitian .....	51
3.2.2	Waktu penelitian .....	51
3.2.3	Tabel Kegiatan .....	52
3.3	Alat dan Bahan.....	<b>52</b>
3.3.1	Alat.....	<b>52</b>
3.4	Diagram alir penelitian .....	<b>56</b>
<b>BAB IV HASIL DAN BAHAN.....</b>		<b>58</b>
4.1	Hasil Pengambilan Data.....	<b>58</b>
4.2	Perhitungan Siklus Rankine.....	<b>58</b>
4.3	Perhitungan Ketel Uap.....	<b>60</b>
4.3.1	Nilai Kalor .....	60
4.3.2	Neraca Kalor .....	61
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>		<b>64</b>
5.1	Kesimpulan .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>65</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Boiler Pipa Air Sederhana.....	6
Gambar 2.2. Desain Boiler Pipa Air Superheater .....	7
Gambar 2.3. fire tube boiler .....	8
Gambar 2.4. Diagram sederhana Water Tube Boiler.....	9
Gambar 2.5. Jenis Boiler 3 pass, bahan bakar minyak.....	17
Gambar 2.6. Sistem Pengabut uap .....	19
Gambar 2.7. Pengabut Buatan Wallsend.....	19
Gambar 2.8. Pengabut buatan B & W.....	20
Gambar 2.9. Coil Superheater.....	22
Gambar 2.10. Air Heater.....	23
Gambar 2.11. Bagian Boiler.....	33
Gambar 3.1. Boiler.....	53
Gambar 3.2. Panel Ketel Uap.....	53
Gambar 3.3. Cangkang.....	55
Gambar 3.4. Fiber (Serat).....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Keuntungan Dan Kerugian Boiler Berdasarkan Tipe Pipa .....	10
Tabel 2.2. Keuntungan Dan Kerugian Boiler Berdasarkan Bahan Bakar .....	12
Tabel 2.3. Keuntungan Dan Kerugian Boiler Berdasarkan Kegunaan. ....	15
Tabel 2.4. Keuntungan Dan Kerugian Boiler Berdasarkan Konstruksi. ....	17
Tabel 2.5. Keuntungan dan Kerugian Boiler berdasarkan tekanan kerja.....	17
Tabel 2.6 .Beberapa permasalahan pada boiler yang dapat diatasi dengan pengolahan air umpan boiler .....	38
Tabel 2.7. Besarnya ketebalan scale dan kenaikan konsumsi bahan bakar yang terjadi akibat scale .....	40
Tabel 2.8. Limit impurities pada air boiler untuk meminimalisasi Vaporous Carry Over menurut ASME .....	40
Tabel 2.9. Rekomendasi Batas Air Umpan.....	47
Tabel 2.10. Hal-hal yang dilakukan dan tidak dilakukan pada boiler .....	48
Tabel 3.1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	52
Tabel 3.2. Flow Chart Penelitian.....	57

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pabrik kelapa sawit merupakan salah satu bidang industri yang menghasilkan minyak mentah atau CPO (*Crude Palm Oil*) dan juga energi listrik atau PKO (*Palm Kernel Oil*). Pabrik kelapa sawit PT.Langkat Nusantara Kepong merupakan salah satu industri pengolahan biji kelapa sawit yang berada di daerah gohor lama kabupaten langkat. Dalam proses pengolahan biji kelapa sawit untuk berubah menjadi minyak mentah atau CPO (*Crude Palm Oil*) dan PKO (*Palm Kernel Oil*) di perlukan energi listrik.Oleh karena itu, pabrik kelapa sawit (PKS) harus memiliki pembangkit tenaga listrik sendiri untuk di gunakan pada proses pengolahan biji kelapa sawit.

Dalam hal ini pabrik kelapa sawit menggunakan pembangkit tenaga listrik dengan sistem pembangkit tenaga uap.Selain digunakan untuk pembangkit listrik, tenaga uap juga digunakan dalam produksi sistem CPO itu sendiri.Pada proses PLTU menggunakan air sebagai bahan baku untuk menghasilkan uap pada mesin ketel uap (*Boiler*).

Pada proses produksi uap sangat dipengaruhi efesiensi dan jumlah bahan bakar bahan bakarh,hal tersebut merupakan pertimbangan yang harus diperhitungkan sesuai dengan kapasitas industri. Pada umumnya ketel uap tipe pipa air menggunakan bahan bakar Fiber dan Cangkang kelapa sawit,oleh sebab itu kebutuhan bahan bakar Fiber dan Cangkang kelapa sawit perlu

dianalisa untuk mengetahui jenis bahan bakar untuk meningkatkan efisiensi ketel uap.

Saat ini, upaya yang telah dilakukan untuk meminimalisir penurunan steam pada ketel uap adalah mencampurkan bahan bakar fiber dan cangkang hasil dari sisa pengolahan kelapa sawit menjadi satu, yang didalamnya lebih banyak fiber dibandingkan cangkang. Farel H. Napitupulu (2006) kelapa sawit diolah dalam suatu pabrik kelapa sawit dengan memanfaatkan kembali limbah hasil pengolahan berupa fiber dan cangkang sebagai bahan bakar. Wahyu Purwo Raharjo (2007) meneliti pelumas bekas yang digunakan kembali dicampurkan minyak tanah selanjutnya dipakai sebagai bahan bakar. Dalam penelitiannya nilai kalor bahan bakar semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar campuran.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada analisa ini, kita akan menghitung nilai kalor pada bahan bakar fiber dan cangkang kelapasawit, kebutuhan bahan bakar yg digunakan dan efisiensi termal pada ketel uap tipe pipa air.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Menentukan nilai kalor pada setiap bahan bakar, menganalisa pemakaian bahan bakar fiber dan cangkang kelapa sawit untuk menghasilkan pembakaran pada ketel uap dan menghitung efisiensi termal pada ketel uap pipa air.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan bagi masyarakat khususnya dibidang industri yang bergerak di pengolahan bahan bakar.
2. Membantu mahasiswa untuk menambah wawasan tentang bahan bakar pada ketel uap (Boiler) serta efisiensi ketel uap tipe pipa air.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pengertian Boiler

Ketel uap (*Boiler*) adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam*. Air panas atau *steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi *steam*, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

Sistem boiler terdiri dari: sistem air umpan, sistem *steam*, dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam boiler. *Steam* dialirkan melalui 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 dalam sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada system.

Air yang disuplai ke boiler untuk dirubah menjadi *steam* disebut air umpan. Dua sumber air umpan adalah :

1. *Kondensat* atau *steam* yang mengembun yang kembali ke proses
2. *Air make up* (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpankan dari luar ruang boiler ke *plant* proses.

Untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, digunakan *economizer* untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang.

Uap dibagi menjadi 3 jenis yakni:

1. Uap jenuh basah (*wet saturated steam*)

Adalah uap yang masih bercampur atau berhubungan dengan bagian air yang mempunyai temperatur sama.

2. Uap Jenuh kering (*dry saturated steam*)

Adalah uap yang tidak bercampur atau tidak mengandung bagian air.

3. Uap lewat panas (*superheated steam*)

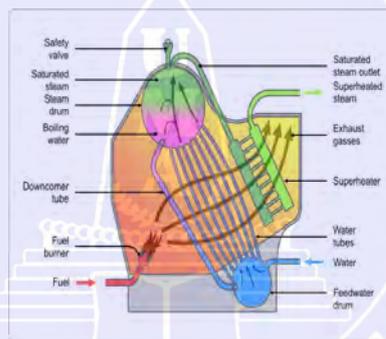
Adalah uap yang didapat dari pemanasan lanjut uap jenuh

## 2.2 Klasifikasi Boiler

Setelah mengetahui proses singkat sistem boiler dan komponen pembentuk sistem boiler, selanjutnya kita perlu mengetahui jenis-jenis boiler. Ketel uap dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran bahan bakar. Ketel uap dibagi dalam 2 jenis yaitu: Ketel Uap Pipa Api dan Ketel Uap Pipa Air. penggunaan untuk pengolahan bahan bakar di pabrik PT. Langkat Nusantara Kepong menggunakan ketel uap pipa air.

### 2.2.1 Ketel Uap Pipa air

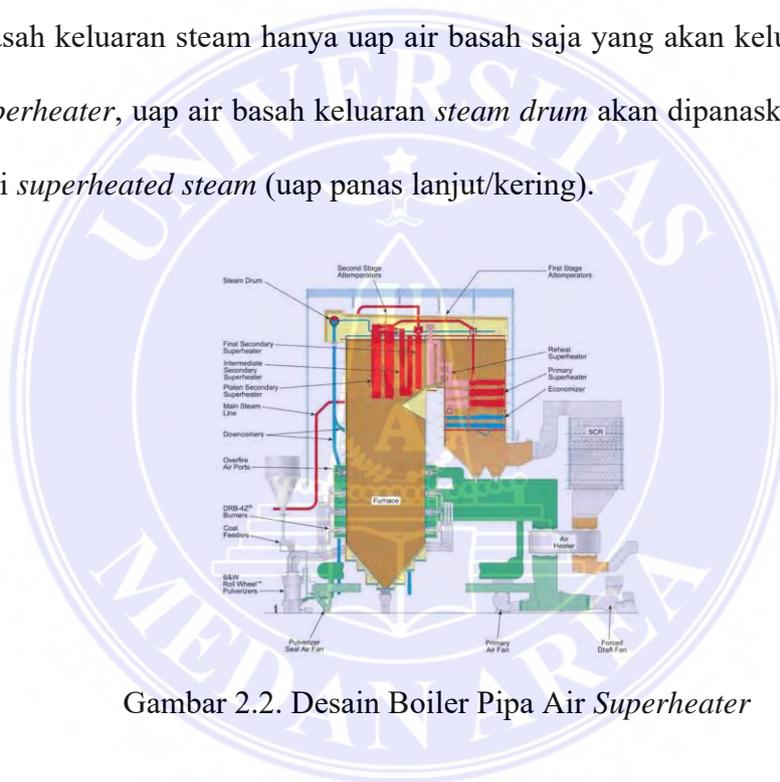
Ketel uap pipa air ialah ketel uap dengan pipa-pipa berisikan air tersirkulasi, yang dipanaskan oleh api di sisi luar pipa. Ketel uap pipa air memiliki desain berkebalikan dengan ketel uap pipa api. Ketel uap ini mensirkulasikan air melewati saluran pipa dengan sumber panas berasal dari ruang bakar (*furnace*). Pipa-pipa yang menjadi saluran sirkulasi air-uap air ini berada didalam selimut ruang bakar hingga saluran gas panas hasil pembakaran pada ketel uap pipa air dengan beban produksi besar ada beberapa bagian pipa-pipa air yang didesain menjadi dinding dari ruang bakar ketel uap. Pipa-pipa tersebut biasanya kita kenal istilah wall-tube.



Gambar 2.1. Boiler Pipa Air Sederhana

Sebuah tanki air yang disebut dengan steam drum, menjadi salah satu karakteristik ketel uap pipa air. Steam drum berfungsi sebagai tanki air yang dijaga levelnya untuk memastikan selalu ada air tersirkulasi ke pipa-pipa air. Selain itu steam drum juga berfungsi untuk memisahkan uap air basah dengan air. Uap air basah yang keluar dari steam drum biasanya dipanaskan lebih lanjut untuk menghasilkan uap panas lanjut (*superheated steam*).

Desain ketel uap pipa air dilengkapi dengan pipa-pipa air yang didedain menjadi dinding ruang bakar (*wall tube*). Air steam drum turun melewati pipa bernama downcomer ke sebuah pipa header yang terhubung dengan semua ujung bawah pipa wall tube. Ujung *wall tube* yang lain berada di bagian atas ruang bakar terhubung langsung dengan steam drum. Dibagian *wall tube* inilah terjadi perubahan fase dari air menjadi uap air. Sistem pipa air ini menghasilkan sirkulasi air tertutup antara *steam drum-downcomer-wall tube* dan kembali ke steam drum. Dari basah keluaran steam hanya uap air basah saja yang akan keluar. Pada ketel uap *superheater*, uap air basah keluaran *steam drum* akan dipanaskan lebih lanjut menjadi *superheated steam* (uap panas lanjut/kering).



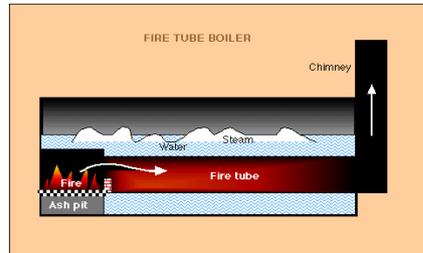
Gambar 2.2. Desain Boiler Pipa Air *Superheater*

Ketel uap pipa air sekalipun memiliki desain yang sedikit lebih kompleks dari pada pipa api, namun boiler pipa air cenderung lebih mampu menghasilkan kualitas uap air yang tinggi (lebih *superheated*), serta kapasitas yang jauh lebih besar. Oleh karena itulah ketel uap pipa air lebih cocok diaplikasikan dari industri-industri besar yang lebih menuntut kualitas, sekaligus kualitas uap air tinggi seperti pembangkit listrik tenaga uap.

## 2.3 Komponen-komponen Ketel Uap

### 2.3.1 Menurut konstruksi dan cara kerjanya

#### 1. Fire Tube Boiler



Gambar 2.3. *fire tube boiler*

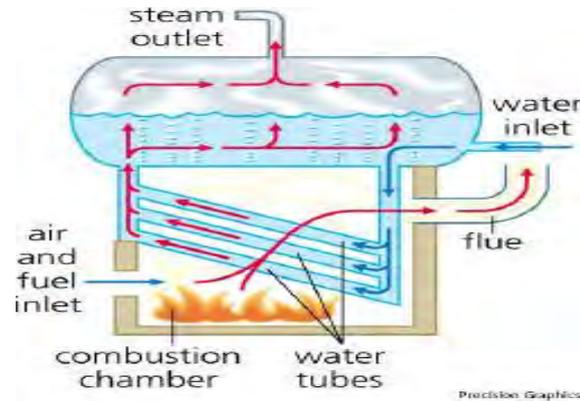
Cara kerja:

Proses pengapian terjadi di dalam pipa, kemudian panas yang dihasilkan dihantarkan langsung kedalam boiler yang berisi air. Besar dan konstruksi boiler mempengaruhi kapasitas dan tekanan yang dihasilkan boiler tersebut.

Karakteristik:

- Biasanya digunakan untuk kapasitas *steam* yang relatif kecil (12.000 kg/jam) dengan tekanan rendah sampai sedang ( $18 \text{ kg/cm}^2$ ).
- Dalam operasinya dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas atau bahan bakar padat.
- Untuk alasan ekonomis, sebagian besar *fire tube boiler* dikonstruksi sebagai paket boiler (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar

## 2. Water Tube Boiler



Gambar 2.4. Diagram sederhana Water Tube Boiler

Cara kerja:

Proses pengapian terjadi di luar 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 di dalam sebuah *steam drum* sampai sesuai. Setelah melalui tahap *secondary superheater* dan *primary superheater*, baru *steam* dilepaskan ke pipa utama distribusi.

Karakteristik:

- Tingkat efisiensi panas yang dihasilkan cukup tinggi.
- Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari *plant* pengolahan air. Sehingga air harus dikondisikan terhadap mineral dan kandungan-kandungan lain yang larut dalam air.
- Boiler ini digunakan untuk kebutuhan tekanan *steam* yang sangat tinggi seperti pada pembangkit tenaga.

- Kapasitas steam antara 4.500-12.000 kg/jam dengan tekanan sangat tinggi.
- Menggunakan bahan bakar minyak dan gas untuk *water tube boiler* yang dirakit dari pabrik
- Menggunakan bahan bakar padat untuk *water tube boiler* yang tidak dirakit di pabrik.

Tabel 2.1. Keuntungan Dan Kerugian Boiler Berdasarkan Tipe Pipa

NO	Tipe boiler	Keuntungan	Kerugian
1	<i>Fire tube boiler</i>	Proses pemasangan mudah dan cepat. Tidak membutuhkan <i>setting</i> khusus	Tekanan operasi <i>steam</i> terbatas untuk tekanan rendah
		Investasi awal boiler ini murah	Kapasitas <i>steam</i> relatif kecil jika dibandingkan dengan <i>water tube</i>
		Bentuknya lebih <i>compact</i> dan <i>portable</i>	Tempat pembakarannya sulit dijangkau untuk dibersihkan, diperbaiki dan diperiksa kondisinya.
		Tidak membutuhkan area yang besar untuk 1 HP boiler	Nilai efisiensinya rendah, karena banyak energi kalor yang terbuang
2	<i>Water Tube Boiler</i>	Kapasitas <i>steam</i> besar	Proses konstruksi lebih detail
		Tekanan operasi mencapai 100 bar	Investasi awal relatif lebih mahal
		Nilai efisiensinya relatif lebih tinggi dari <i>fire tube boiler</i>	Penanganan air yang masuk ke dalam boiler perlu dijaga, karena lebih sensitif untuk sistem ini. Perlu komponen pendukung untuk hal ini.
		Tungku mudah dijangkau untuk melakukan pemeriksaan, pembersihan, dan perbaikan	Karena mampu menghasilkan kapasitas dan <i>steam</i> yang lebih besar, maka konstruksinya

			membutuhkan area yang lebih luas.
--	--	--	-----------------------------------

### 2.3.2 Klasifikasi boiler berdasarkan bahan bakar yang digunakan.

#### 1. *Solid fuel*

Pemanasan yang terjadi akibat pembakaran antara percampuran bahan bakar padat (batu bara, *baggase*, *rejected product*, sampah kota, kayu) dengan oksigen dan sumber panas.

Karakteristik:

- Harga bahan baku relatif lebih murah dari boiler yang menggunakan bahan bakar cair dan listrik
- Nilai efisiensinya lebih baik dari boiler tipe listrik.

#### 2. *Oil fuel*

Pemanasan yang terjadi akibat pembakaran antara percampuran bahan bakar cair (solar, IDO, residu, kerosin) dengan oksigen dan sumber panas.

Karakteristik:

- Harga bahan baku pembakaran paling mahal dibandingkan dengan semua tipe boiler.
- Nilai efisiensinya lebih baik dari boiler berbahan bakar padat dan listrik

#### 3. *Gaseous Fuel*

Pembakaran yang terjadi akibat percampuran bahan bakar gas (LNG) dengan oksigen dan sumber panas.

Karakteristik:

- Harga bahan baku pembakaran paling murah dibandingkan semua tipe boiler

- Nilai efisiensi lebih baik jika dibandingkan dengan semua tipe boiler

4. *Elektrik*

Pemanasan yang terjadi akibat sumber listrik yang menyuplai sumber panas.

Karakteristik:

- Harga bahan baku relatif lebih murah dibandingkan dengan boiler yang menggunakan bahan bakar cair
- Nilai efisiensinya paling rendah dari semua tipe boiler

Tabel 2.2. Keuntungan Dan Kerugian Boiler Berdasarkan Bahan Bakar

No	Tipe boiler	Keuntungan	Kerugian
1	<i>Solid fuel</i>	Bahan baku mudah didapatkan.	Sisa pembakaran sulit dibersihkan.
		Murah konstruksinya	Sulit mendapatkan bahan baku yang baik
2	<i>Oil fuel</i>	Sisa pembakaran tidak banyak dan lebih mudah dibersihkan	Harga bahan baku paling mahal
		Bahan bakunya mudah didapatkan	Mahan konstruksinya
3	<i>Gaseous fuel</i>	Harga bahan bakar paling murah	Mahal konstruksinya
		Paling banyak nilai efisiensinya	Sulit didapatkan bahan bakunya, harus ada jalur distribusi
4	<i>Electric</i>	Paling mudah perawatannya	Paling buruk nilai efisiensinya
		Mudah konstruksinya dan mudah didapatkan sumbernya	Temperatur pembakaran paling rendah

### 2.3.3 Klasifikasi Boiler Berdasarkan Kegunaan Boiler

#### 1. *Power Boiler*

*Steam* yang dihasilkan boiler ini menggunakan tipe *water tube boiler*, hasil *steam* yang dihasilkan memiliki tekanan dan kapasitas yang besar, sehingga mampu memutar *steam* turbin dan menghasilkan listrik dari generator.

Karakteristik:

- Kegunaan utamanya sebagai penghasil *steam* untuk pembangkit listrik
- Sisa *steam* digunakan sebagai proses industri.

#### 2. *Industrial Boiler*

*Steam* yang dihasilkan boiler ini dapat menggunakan tipe *water tube boiler* atau *fire tube boiler*.

Karakteristik:

- Kegunaan *steam* utamanya untuk menjalankan proses industri dan sebagai tambahan panas.
- *Steam* memiliki kapasitas yang besar dan tekanan yang sedang.

#### 3. *Komersial Boiler*

*Steam* yang dihasilkan boiler ini dapat menggunakan tipe *water tube boiler* atau *fire tube boiler*.

Karakteristik:

- Kegunaan *steam* utamanya untuk menjalankan proses operasi komersial.
- *Steam* memiliki kapasitas yang besar dan tekanan rendah.

#### 4. Residential Boiler

*Steam* yang dihasilkan boiler ini menggunakan boiler tipe *fire tube boiler*. Karakteristik:

- Memiliki tekanan dan kapasitas *steam* yang rendah
- Kegunaan utamanya yaitu sebagai penghasil *steam* tekanan rendah yang digunakan untuk perumahan.

#### 5. Heat Recovery Boiler

*Steam* yang dihasilkan boiler ini menggunakan tipe *water tube boiler* atau *fire tube boiler*.

Karakteristik:

- *Steam* yang dihasilkan memiliki tekanan dan kapasitas yang besar
- Kegunaan utamanya sebagai penghasil *steam* dari uap panas yang tidak terpakai
- Hasil *steam* ini digunakan untuk menjalankan proses industri.

Tabel 2.3. Keuntungan Dan Kerugian Boiler Berdasarkan Kegunaan.

No	Tipe Boiler	Keuntungan	Kerugian
1	<i>Power Boiler</i>	Dapat menghasilkan listrik dan sisa <i>steam</i> dapat untuk menjalankan proses industry	Konstruksi awal relatif mahal
		<i>Steam</i> yang dihasilkan memiliki tekanan tinggi	Perlu diperhatikan <i>factor safety</i>
2	<i>Industrial Boiler</i>	Penanganan boiler lebih mudah	<i>Steam</i> yang dihasilkan memiliki tekanan rendah.
		Konstruksi awal relatif murah	
3	<i>Commercial Boiler</i>	Penanganan boiler lebih mudah	<i>Steam</i> yang dihasilkan memiliki tekanan rendah
		Konstruksi awal relatif murah	
4	<i>Residential Boiler</i>	Penanganan boiler lebih mudah	<i>Steam</i> yang dihasilkan memiliki tekanan rendah
		Konstruksi awal relatif murah	
5	<i>Heat Recovery Boiler</i>	Penanganan boiler lebih mudah	<i>Steam</i> yang dihasilkan memiliki tekanan rendah
		Konstruksi awal relatif murah	

### 2.3.4 Klasifikasi Boiler Berdasarkan Konstruksi Boiler

#### 1. Package Boiler

Disebut *package boiler* karena sudah tersedia sebagai paket yang lengkap pada saat dikirim ke pabrik. Hanya memerlukan pipa *steam*, pipa air, suplai bahan bakar dan sambungan listrik untuk dapat beroperasi. Paket boiler biasanya merupakan tipe *fire tube boiler* dengan transfer panas yang tinggi baik radiasi maupun konveksi.

Ciri-ciri *package boiler*:

- Kecilnya ruang pembakaran dan tingginya panas yang dilepas menghasilkan penguapan yang lebih cepat.
- Banyaknya jumlah pipa yang berdiameter kecil membuatnya memiliki perpindahan panas *konvektif* yang baik.
- Sejumlah lintasan/pass menghasilkan perpindahan panas keseluruhan yang baik.
- Tingkat efisiensi termisnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan boiler lainnya.

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



Gambar 2.5. Jenis Boiler 3 pass, bahan bakar minyak

## 2. *Site Erected Boiler*

Tipe *site erected boiler* perakitannya biasanya dilakukan ditempat akan berdirinya boiler tersebut. Pengiriman dilakukan per komponen.

Tabel 2.4. Keuntungan Dan Kerugian Boiler Berdasarkan Konstruksi.

No	Tipe Boiler	Keuntungan	Kerugian
1	<i>Package Boiler</i>	Mudah pengirimannya	Terbatas tekanan dan kapasitas kerjanya
		Dibutuhkan waktu yang singkat untuk pengoperasian setelah pengiriman	Komponen-komponen boiler tergantung pada produsen boiler
2	<i>Site Erected Boiler</i>	Tekanan dan kapasitas kerjanya dapat disesuaikan keinginan.	Sulit pengirimannya, memakan biaya yang mahal.
		Komponen-komponen boiler dapat dipadukan dengan produsen lain.	Perlu waktu yang cukup lama setelah boiler berdiri, setelah proses pengiriman.

### 2.3.5 Klasifikasi Boiler Berdasarkan Tekanan Kerja Boiler

- a. Low pressure boiler : 5 atm abs
- b. Medium pressure boiler : 5-40 atm
- c. High pressure boiler : 30-225 atm

Tabel 2.5. Keuntungan dan Kerugian Boiler berdasarkan tekanan kerja

No	Tipe Boiler	Keuntungan	Kerugian
1	<i>Low Pressure</i>	Tekanan rendah sehingga penanganannya tidak terlalu rumit	Tekanan yang dihasilkan rendah, tidak dapat membangkitkan listrik.
		Area yang dibutuhkan tidak terlalu besar, dan biaya konstruksi tidak lebih mahal dari <i>high pressure boiler</i>	
2	<i>High Pressure</i>	Tekanan yang dihasilkan tinggi sehingga dapat membangkitkan listrik dan sisanya dapat didaur ulang untuk mengoperasikan proses industri	Tekanan tinggi sehingga penanganannya perlu diperhatikan aspek keselamatannya
			Area yang dibutuhkan besar dan biaya konstruksi lebih mahal dari <i>low pressure boiler</i>

## 2.4 Bagian-Bagian Boiler

### 2.4.1 Bagian Utama Boiler

Boiler atau ketel uap terdiri dari berbagai komponen yang membentuk satu kesatuan sehingga dapat menjalankan operasinya, diantaranya:

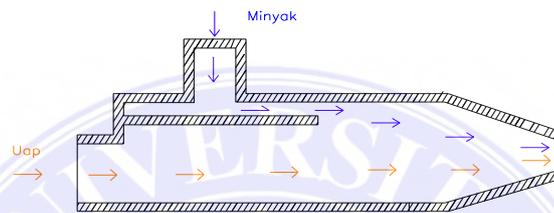
#### 1. *Burner*

*Burner* adalah tempat bahan bakar dan udara bercampur supaya terjadi pengabutan dan pembakaran dapat berlangsung sempurna.

Caranya adalah dengan menyemprotkan kedalam ruang dapur melalui mulut-mulut pembakar atau brander, sedangkan udara dimasukkan lewat sekeliling mulut pembakar tersebut.

Ada beberapa macam sistem brender tergantung pada sistem pengabutannya ,yaitu sistem pengabut uap/udara dan sistem pengabut tekan.

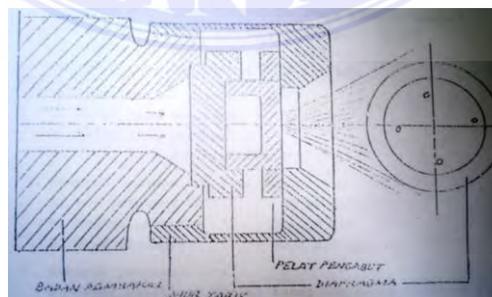
Pada sistem pengabut uap/udara caranya adalah uap/udara dipancarkan melalui mulut pembakar (brender) dan akibat dari pancaran ini minyak akan terisap.



Gambar 2.6. Sistem Pengabut uap

Sistem ini sudah jarang digunakan sebab kurang ekonomis, akibat kerugian uap maupun tenaga untuk menekan udara.

Pada sistem pengabut tekan, minyak langsung ditekan melalui diafragma dan plat pengabut. Contoh brander dengan sistem pengabut tekan adalah brander buatan Wallsand dan Babcock & Wilcock.



Gambar 2.7. Pengabut Buatan Wallsend

Gambar diatas adalah pengabut buatan wallsend. Jenis pengabut ini mempunyai diafragma dan plat pengabut yang disambungkan pada badan

pembakar oleh mur tarik. Pada diafragma terdapat 4 buah lubang kecil yang miring, sedang plat pengabut hanya mempunyai sebuah lubang pusat yang kecil garis tengahnya. Minyak tekanan yang bermuara dikamar minyak akan menyemprot keluar melalui lubang kecil dengan gerakan berputar dan lintasannya berbentuk mantel kerucut yang menganga.



Gambar 2.8. Pengabut buatan B & W

Gambar diatas adalah pengabut buatan Babcock & Willcock. Diafragma pengabut ini mempunyai lubang-lubang yang lurus. Disebelah muka diafragma dibuat saluran silinder gelang, tempat muara minyak yang keluar dari lubang-lubang diafragma. Dari saluran selinder ini dibuat 2 buah alur yang mengarah tangensial kepada muara minyak. Karena kedua alur ini mengalirkan minyak dalam arah tangensial (miring) dimuara A, maka gerak minyak keluar brander mempunyai bentuk mantel kerucut [6].

## 2. *Furnace* ( Dapur Pembakaran )

Dapur pembakaran adalah suatu ruangan tempat terjadinya proses pembakaran dari bahan bakar. Kedudukan dapur pada ketel uap harus direncanakan sedemikian rupa sehingga panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar didalam ruang dapur dapat diserap dengan baik

oleh air ketel. Selain itu kerugian panas diruang dapur harus diusahakan sekecil mungkin .

### 1. *Steam Drum*

Komponen ini merupakan tempat penampungan air panas dan pembangkitan steam. *Steam* masih bersifat jenuh (*saturated steam*).

Tangki atau drum sering disebut juga badan ketel uap yaitu tempat beroperasinya ketel uap di dalamnya terdapat instrumen-instrumen yang menjalankan proses pemindah panas seperti lorong api dan pipa api, dalam badan ketel inilah sejumlah air ditampung untuk dipanaskan.

### 2. *fan*

*Force Draft Fan* adalah alat untuk mendorong udara yang diperlukan untuk pembakaran pada boiler yang melalui lorong udara (*duct*) sebelum bercampur dengan bahan bakar.

### 3. *Superheater*

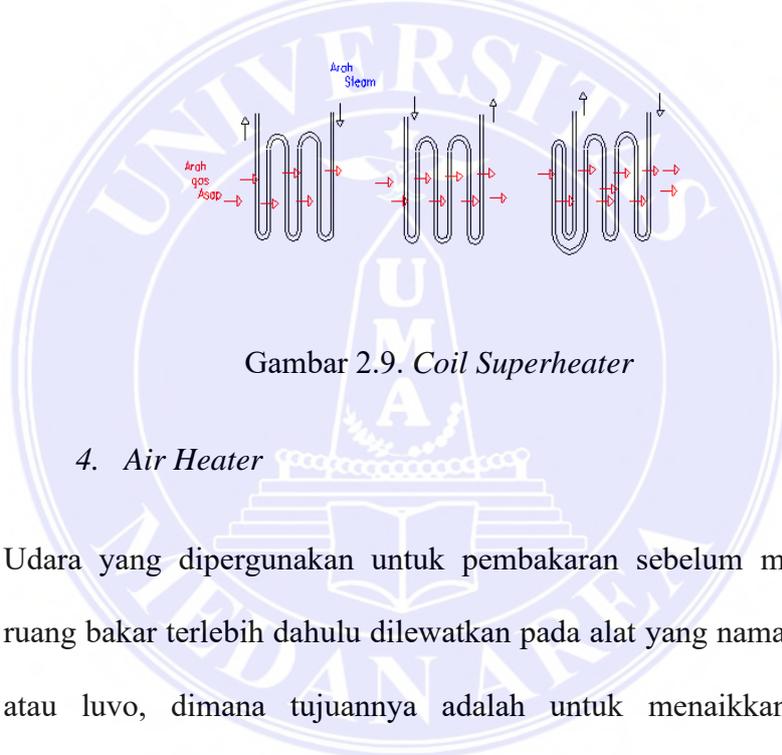
*Superheater* adalah alat yang berbentuk *heat exchanger* dimana panas dari gas asap (*combustion product*) digunakan untuk mengeringkan uap jenuh, kemudian menaikkan temperturnya. Jalannya penyerapan panas adalah sebagai berikut:

Gas asap menyerahkan panas pada bidang *superheater* secara konveksi, konduksi selanjutnya dari pipa bagian dalam *superheater* panas dipindahkan secara konveksi ke uap yang ada dalam pipa tersebut.

Bahan yang digunakan untuk pipa coil adalah dari baja carbon (carbon steel) untuk suhu  $450^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk suhu diatas  $450^{\circ}\text{C}$  digunakan baja campuran (*alloy steel*).

Susunan coil terhadap gas asap ada bermacam-macam:

- a. *Counter flow* (aliran berlawanan)
- b. *Parallel flow* (aliran searah)
- c. *Combine flow* (gabungan searah dan lawan arah)

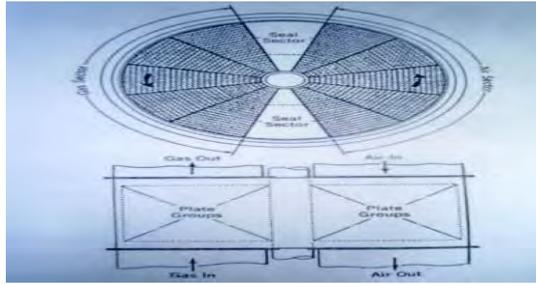


Gambar 2.9. *Coil Superheater*

#### 4. *Air Heater*

Udara yang dipergunakan untuk pembakaran sebelum masuk kedalam ruang bakar terlebih dahulu dilewatkan pada alat yang namanya *air heater* atau luvo, dimana tujuannya adalah untuk menaikkan suhu udara pembakaran sehingga dapat menaikkan efisiensi pembakaran.

Luvo ini biasanya diletakkan dibelakang *economizer*, sehingga sebagai media pemanas di luvo adalah gas asap yang keluar dari *economizer*



Gambar 2.10. Air Heater

### 5. Economizer

*Economizer* adalah alat yang berbentuk *heat exchanger* yang digunakan untuk menaikkan temperatur *feed water* (air umpan boiler). Sebagai pemanas biasanya digunakan gas panas yang keluar dari *superheater*.

Dengan memakai *economizer* didapat keuntungan :

- Memanfaatkan gas asap (*exhaust gas*) yang masih mempunyai kalor.
- Menurunkan atau memperkecil perbedaan temperatur antara *feed water* dan *saturated steam*, dengan demikian tegangan (*external stress*) yang terdapat didalam ketel dapat diperkecil sehingga bisa menaikkan efisiensi.

Dengan menggunakan *economizer*, selain untuk menaikkan suhu air umpan ketel juga dimaksudkan untuk menurunkan suhu gas asap sebab gas asap menyalurkan panasnya pada air dalam *economizer*, dimana setiap kenaikan suhu 1°C *feed water* selalu diikuti penurunan suhu gas asap sebesar 2-3°C.

*Economizer* biasanya terbuat dari susunan pipa-pipa yang membentuk *heat exchanger* dan terbuat dari besi tuang (*cast iron pipe*)

ataupun terbuat dari pipa baja (*steel tube*). Untuk pipa-pipa dari besi, tekanan yang diizinkan adalah sampai 22 atm. Untuk tekanan yang lebih besar lagi maka digunakan *steel tube economizer*.

Umumnya *economizer* dari besi banyak digunakan pada ketel pipa api karena tekanan yang dihasilkan rendah.

*Steel tube* yang digunakan sebagai *economizer* kadang-kadang juga menghasilkan uap. Apabila *economizer* yang digunakan juga berfungsi untuk menghasilkan uap maka disebut *steaming economizer*.

Pada prakteknya pemanasan *feed water* dapat dilakukan dengan dua cara yakni:

1. Pemanasan dengan memanfaatkan gas asap

Alatnya disebut : *economizer*

2. Pemanasan dengan *exhaust steam*

Uap yang masih mempunyai panas atau kalor disalurkan untuk pemanasan lagi. Alat yang dipergunakan untuk memanasi *feed water* dengan *exhaust steam* disebut *feed water heater*.

- Memperbesar efisiensi ketel karena memperkecil kerugian panas yang dialami ketel uap.

#### 2.4.2 Alat Bantu Ketel Uap

*Appendages* adalah alat-alat perlengkapan ketel uap/boiler yang dapat bekerja sendiri dan dipasang dengan maksud untuk menjamin agat

ketel uap/boiler dapat bekerja dengan aman. Adapun yang termasuk alat bantu ketel uap sebagai berikut:

### 1. Gelas Penduga

Gelas penduga adalah suatu alat yang digunakan untuk mengetahui ketinggian permukaan air dalam pesawat ketel uap. Pemasangan gelas penduga pada pesawat ketel uap sekurang-kurangnya 2 buah

#### *Pengukur level air (water level gauge)*

Level air pada drum ketel biasanya dipertahankan pada kondisi sedikit dibawah garis tengah drum. Level yang tinggi dapat menyebabkan air memasuki turbin sehingga menimbulkan kerusakan yang serius serta *valve-valve* pada sistem pipa uap akan menderita kerusakan pula. Sebaliknya bila air terlalu rendah (kosong) kerusakan pada ketel (pipa) dapat terjadi.

### 2. Katup Pengaman (*Safety Valve*)

Katup pengaman mempunyai fungsi untuk menjaga tekanan kerja ketel uap agar tidak melebihi tekanan maksimum.

Katup pengaman ini akan bekerja dengan sendirinya apabila terjadi kelebihan tekanan kerja yaitu uap akan dikeluarkan sehingga ketel bekerja sesuai dengan tekanan yang diinginkan. Namun apabila melebihi tekanan maksimal dan katup ini tidak berfungsi maka akan menyebabkan peledakan.

### 3. *Relief Valve*

*Relief valve* dapat digolongkan sebagai pengaman seperti halnya *safety valve* tapi *relief valve* ini berfungsi sebagai pembatas atau pengaman tekanan maksimal pada daerah kerja zat cair/liquid. Penggunaan pengaman *relief valve* ini ditempatkan pada daerah sebagai berikut:

- *Header reheat/HP bypass spray water*
- *Header auxiliary steam spray*
- *Ignitor oil level header*
- *Heavy fuel oil level header*

### 4. *Pneumatic Valve*

*Pneumatic valve* sebagaimana juga *safety valve* berfungsi sebagai pengaman tekanan uap lebih pada boiler hanya dilengkapi dengan alat sensor tekanan yang disampaikan melalui signal elektronik ke elektro mekanik untuk membuka *pilot valve*.

### 5. Pengaman *Boiler Drum Level*

Berfungsi untuk mengontrol tinggi rendahnya permukaan air pada boiler drum sebagai pengaman terjadinya “*boiler drum level high trip*” dan “*boiler drum level low trip*”. Adapun alasan pengamanan terjadinya “*boiler drum level high trip*” adalah mengamankan boiler drum dari terjadinya *carry over* di drum yang akan mengakibatkan deposit pada area *superheater* dan sudu turbin. Deposit akan menghambat *heat transfer* pada *superheater* yang mengakibatkan *overheating* pada *tube superheater* dan pada sudu turbin akan mengakibatkan terjadinya *unbalance* dan *vibrasi* pada turbin.

Sedangkan kondisi “*boiler drum level low trip*” dapat mengakibatkan terganggunya sirkulasi alami yang akan berakibat *overheating* di *steam drum* dan produksi uap terhambat.

#### 6. Pengaman *Boiler Furnace*

Berfungsi untuk mengontrol tekanan ruang bakar/boiler sebagai pengaman terjadinya:

- *Furnace pressure*

- *Furnace draft*

Sehubungan dengan tipe boiler dengan *desain balance draft* dimana desain *pressure* yang diizinkan  $-10\text{mmWg}$ , hal ini untuk menjamin kestabilan proses pembakaran. Transportasi bahan bakar ke ruang bakar dan proses pengeluaran abu dari dalam ruang bakar menuju alat penangkap debu dan lain-lain. Bila batasan pengamanan terlampaui dan menyimpang maka proses diatas akan terganggu.

Hal-hal yang harus dijaga untuk menghindari kondisi diatas adalah dengan cara:

- 1) Periksa *level water seal through* pada *bottom hopper boiler* harus berada pada posisi diatas normal level. Periksa LCV an *bypass valve water supply*nya.
- 2) Periksa kondisi *manhole boiler* sebelum *startup* boiler harus pada kondisi tertutup termasuk *desorption door*.
- 3) Level air pada SDCC boiler bottom kondisi normal.

### 7. Pengaman *Boiler Main Steam Temperature*

Fungsinya adalah mengontrol tinggi temperatur uap utama keluar *superheater* tingkat ke 2 sebagai pengaman terjadinya temperatur uap utama melebihi batas desain yang diijinkan.

Pengamanan ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya *thermal stress* pada suatu turbin tingkat pertama akibat perbedaan temperatur terlalu tinggi antara temperatur uap utama yang masuk dengan temperatur metal pada sudu turbin. Selain itu untuk menghindari terjadinya kelelahan bahan pada *tube superheater* akibat temperatur uap yang melebihi kemampuan maksimum tube-tube superheater.

### 8. Pengaman *Total Air Flow*

Berfungsi untuk mengamankan jumlah total udara yang masuk ke *windbox*/ruang bakar pada saat proses pembilasan (*purge*) boiler. Pada saat *startup* boiler dan normal operasi harus memenuhi jumlah *total flow* lebih besar daripada minimal (30% saat *purge* boiler).

Pada saat pembilasan boiler kita mengharapkan seluruh gas-gas sisa pembakaran yang terakumulasi dalam ruang bakar dan saluran-saluran gas buang dapat didorong/dikeluarkan oleh udara sejumlah 30% atau kira-kira 600 ton/jam dibuang ke udara luar minimal gas-gas sisa pembakaran bersih dalam waktu 3 menit (desain) kemudian pengamanan pada saat startup dan normal operasi total udara ini memegang peranan sebagai udara pembakaran (*combustion air*) jadi apabila total udara pembakaran minimal 30% maka jumlah perbandingan antara udara dan bahan bakar tidak akan

sempurna dengan pasti kita mengkhawatirkan akan terjadinya kegagalan penyalan yang berulang-ulang dan salah satu penyebab *combustible in flue gas*.

#### 9. Pengaman *Instrument Air Pressure Header*

Udara instrumen adalah sebagai kebutuhan utama dalam sistem kontrol pneumatic PLTU. Pasokan udara instrumen harus betul-betul terjaga dan sangat spesial mengingat sumber tenaga seluruh kontrol boiler turbin dan alat bantuanya terletak pada keandalan supply udara instrumen yang kontinyu dan tetap pada tekanan kerjanya.

Mengingat keutamaan dan fungsi udara instrumen sebagai sumber tenaga bagi seluruh kontrol boiler turbin dan alat bantuanya maka apabila terjadi tekanan udara turun dibawah titik kerjanya hal ini akan mengakibatkan seluruh fungsi kontrol pneumatic terhenti dan akan melumpuhkan kegiatan operasi boiler dan turbin. Antisipasi pada saat terjadinya gangguan udara instrumen *pressure low* alarm diantaranya:

- Segera buka *backup valve* SAC menuju header udara instrumen.
- Segera periksa kondisi kompresor udara instrumen dan proses supplynya.
- Lokalisir kemungkinan terjadinya kebocoran udara instrumen pada seluruh line.
- Lokalisir kemungkinan ada *valve drain/vent* udara yang terbuka.

## 10. Pengaman *Scanner Cool Pressure*

Fungsinya adalah untuk mengamankan sistem pendingin pada *scanner sensor flame*. Pentingnya deteksi nyala api pada suatu boiler untuk meyakinkan adanya pembakaran, sehingga tidak akan terjadi penumpukan bahan bakar akibat kegagalan penyalaan api. Pendeteksi nyala api diamankan dari panasnya area ruang bakar dengan jalan memberikan pendinginan berupa perapat udara bertekanan pada seluruh permukaan alat pendeteksi api tersebut.

Terganggunya sistem pendinginan ini akan mengakibatkan *melting point* pada alat pendeteksi nyala api karena terjadi kontak langsung antara alat dengan panasnya api yang dideteksi kerusakan. Pendeteksi api/*scanner* akan memberi isyarat pada burner-burner yang sedang beroperasi untuk trip sehingga boiler akan trip.

Apabila terjadi *flame scanner blower discharge pressure low* alarm lakukan hal seperti dibawah ini:

- Periksa *select auto start scanner blower* yang *standby* pada posisi auto.
- Periksa saringan/filter udara *blower inlet* kemungkinan kotor.
- Periksa kemungkinan kebocoran pada line joint.

## 11. Katup Uap Induk

Katup ini berfungsi untuk mengalirkan uap hasil dari pesawat ketel uap. Katup ini diletakkan tepat di atas tangki ketel. Pengaturan kapasitas

uap yang disalurkan dapat dilakukan dengan mengatur kran katup uap induk.

## 12. Manometer

Manometer ini digunakan sebagai alat untuk menunjukkan tekanan uap pada ketel uap. Pemasangan manometer ini ditujukan agar besar kecilnya tekanan di dalam ketel uap dapat diketahui sehingga memudahkan untuk mengontrolnya. Penempatan manometer adalah pada bagian dimana uap hampir tidak mengalir, kebanyakan manometer yang dipasang adalah manometer *bourdon*.

## 13. Katup Buang (*Blow Down Valve*)

Katup buang adalah katup untuk membuang segala kotoran-kotoran yang mengendap pada dasar tangki, endapan ini apabila tidak dibersihkan atau dibuang maka akan menyebabkan aliran buntu dan akhirnya membahayakan boiler tersebut. Katup ini juga berfungsi untuk membuang sebagian air dari dalam ketel karena permukaan terlalu tinggi. Permukaan air yang terlalu tinggi menyebabkan uap yang dihasilkan terlalu banyak mengandung air.

### 2.4.3 Perlengkapan Elektronik Boiler

Pada sebuah boiler kegunaan dari sistem elektronik sangatlah penting sekali karena sebuah boiler tidak akan beroperasi bila tidak ada sistem elektroniknya. Instrumen elektronik yang ada pada boiler digunakan untuk sistem kontrol operasional boiler.

## 2.4.4 Perlengkapan Boiler Lainnya

### 1. *Blower*

Adalah instrument yang berbentuk kipas yang digunakan untuk menghasilkan udara yang bertekanan dari motor listrik juga berfungsi sebagai penghisap udara luar sebagai udara pembakaran yang diteruskan ke dalam ruang bakar boiler sebagai penekan bahan bakar yang telah membara sehingga pembakaran berlangsung dengan cepat.

### 2. *Header*

Adalah sebuah tabung atau pipa yang digunakan untuk terminal uap hasil dari ketel uap yang kemudian dari header ini uap akan dibagi ke bagian-bagian yang memerlukan dengan melakukan pengaturan tekanan yang sesuai dengan kebutuhan.

### 3. *Thermometer*

*Thermometer* ini digunakan untuk mengetahui temperatur pada air pengisi ketel uap yang dihasilkan, temperatur asap keluar cerobong, temperatur ruang bakar dan lain sebagainya.

### 4. Pompa Air

Pompa air ini digunakan untuk menaikkan air pengisi dari tangki cadangan yang berada di sisi yang airnya berasal dari tangki induk bila terjadi keterlambatan pengisian air umpan dari tangki induk.

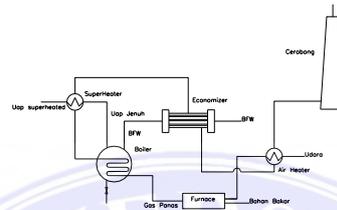
### 5. *Safety Test*

Adalah suatu bejana/tabung yang akan dipanaskan pada boiler yang sesuai dengan tekanan pada ketel uap yang baru di *overhaule*. Masih

normalkah dan masih amankah *safety valve* itu digunakan untuk operasi lagi.

#### 2.4.5 Prinsip Kerja Boiler

Bagan Boiler seperti yang ditunjukkan pada gambar .



Gambar 2. 11. Bagian Boiler

Air yang ada didalam boiler dipanasi oleh kalor hasil reaksi pembakaran di *furnace*. Uap jenuh yang dihasilkan boiler dipanaskan lebih lanjut pada *superheater* untuk menghasilkan uap *superheated*. Sebagai pemanas disuperheater adalah gas panas dari boiler yang masih tinggi suhunya. Gas panas yang keluar dari superheater karena masih tinggi suhunya maka dimanfaatkan lagi sebagai pemanas air umpan boiler (BFW) di alat yang namanya *economizer*. BFW yang sudah dipanaskan dalam *economizer* ini kemudian baru dimasukkan ke boiler.

Gas panas yang keluar economizer kemudian dipakai untuk pemanasan udara di *air heater* (luvo) untuk selanjutnya dibuang melalui cerobong sebagai gas buang (*flue gas/ gas buang*).

Udara panas hasil pemanasan di air heater selanjutnya dipakai sebagai udara pembakaran dan bersama bahan bakar masuk dapur (*furnace*) untuk menghasilkan gas pembakaran yang panas.

## 2.5 Pengoperasian Ketel Uap

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. KIMIA FARMA Unit Manufaktur Semarang 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:

### 2.5.1 Ketentuan Umum

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

- Tekanan ketel uap maksimum yang diijinkan
- Tekanan uap yang diperlukan
- Kapasitas produksi uap maksimum
- Luas pemanasan boiler
- Pemeriksaan visual pada bagian luar dan dalam
- *Hydrostatis test* atau pamadatan dengan air dingin
- Percobaan alat perlengkapan dan pengaman
- Mengecek ulang gambar konstruksi dengan pesawat uapnya

- Percobaan jalan atau pemanasan
- *Steam test* atau uji dengan uap

### 2.5.2 Prosedur Operasional Boiler

Sebelum mengoperasikan boiler hal yang harus diperhatikan oleh seorang operator adalah:

1. Ketel uap tersebut sudah diperiksa oleh tim K-3 atau ahli K-3 bidang uap dengan nilai baik.
2. Alat-alat perlengkapan dan pengamannya sudah terpasang dengan baik dan telah dicoba serta dapat bekerja sebagaimana mestinya dan khusus manometer harus dikalibrasi lebih dahulu untuk menentukan nilainya.
3. Instalasi pipa-pipa air, pipa buang harus dalam kondisi baik. Jangan sampai bocor atau kerusakan lainnya.
4. Diadakan pengecekan instalasi listrik pada tahanan isolasinya dan panel sampai instrument-instrumennya, juga dengan sambungan kabel diperhatikan bilamana kendur.
5. Persediaan air pengisi ketel uap harus memadai sesuai dengan kapasitas produksi uapnya dan kondisi uap harus memenuhi syarat.
6. Bahan bakar harus tersedia cukup
7. Kondisi ketel uap agar di cek ulang kembali tentang lubang-lubang laluan orang dan sebagainya.
8. Selanjutnya ketel diisi dengan air sebatas normal *water leave* dan dalam pengisian air ini keran udara harus dalam keadaan terbuka dengan tujuan agar udara di dalam ketel uap keluar dengan desakan air itu.

9. Cek kembali semua kran yang menghubungkan *indicator* tekanan atau manometer, gelas penduga, dan kondisi stop pada kran *blow down* dan keran induk uap keluar.

#### 2.5.2.1 Prosedur stop boiler

Pada waktu mematikan boiler operator tidak boleh langsung mematikan begitu saja tanpa produksi yang benar. Tujuannya untuk menghindari kerusakan atau kecelakaan ketel dan peralatannya. Berikut ini urutan prosedur mematikan boiler yang benar, diantaranya :

1. Matikan pembakaran bahan bakar secara bertahap
2. Turunkan beban secara bertahap sampai dengan tekanan yang diinginkan
3. Aturilah udara tarik atau tekan di dalam cerobong agar pendinginan tidak mendadak
4. Jaga water level dalam keadaan normal
5. Tutup stop valve atau main valve secara perlahan
6. Jika tekanan ketel mencapai  $1 \text{ kg/cm}^2$  maka bukalah venting valve untuk menghindari kevakuman didalam ketel
7. Tutup atau matikan aliran bahan bakar yang menuju ruang bakar
8. Yakinkan semua peralatan ketel telah aman atau sudah dalam keadaan tidak bekerja.

Tabel 2.6. Beberapa kerusakan boiler dan cara mengatasinya  
A. Air Ketel

Permasalahan	Analisa Sebab	Solusi	Upaya / Perawatan
Pompa air pengisi tidak mau jalan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pompa rusak</li> <li>2. Arus listrik terhambat</li> <li>3. Elektroda otomatis pompa tertutup kerak</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perbaiki oleh petugas yang di tunjuk</li> <li>2. Bersihkan dari Kerak</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perawatan instalasi listrik secara berkala</li> <li>2. Jaga kondisi kesadahan air ketel tetap rendah</li> <li>3. Diadakan perawatan ringan secara berkala</li> </ol>
Pompa bekerja tetapi air masuk sedikit dan lamban	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sudut pompa mulai aus.</li> <li>2. Pipa pengisi menyempit oleh kerak</li> <li>3. Air dalam tandon sedikit</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perbaiki pompa</li> <li>2. Pipa pengisi dibersihkan dari kerak</li> <li>3. Isi segera air dalam tandon</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengoperasian pompa secara bergantian</li> <li>2. Jaga kondisi kekerasan air ketel</li> <li>3. Diadakan perawatan ringan secara berkala</li> <li>4. Buat tanda yang mudah dilihat bila air tandon habis</li> <li>5. Buat instalasi otomatis isi dan stop pompa pada tandon</li> </ol>
Pompa bekerja tapi kedudukan air dalam gelas penduga masih diatas batas normal	Pipa penghubung bawah gelas pedoman dengan badan ketel tersumbat kerak	Dicoba drain dibuka atau ditutup agar kotoran dalam pipa penghubung bawah hilang	Rencanakan pembersihan/bongkar pada saat overhoule berkala pada saat operasi sering dicoba drain dibuka / ditutup

### B. Pembakaran

Permasalah	Analisa Sebab	Solusi	Upaya / Perawatan
Lorong api peti nyala dan pipa api	Pembakaran bahan bakar kurang sempurna	1. Perbaiki burner/noxxle	1. Perawatan burner secara berkala sesuai petunjuk

banyak jelaga atau debu		2. Temperatur minyak bakar rendah 3. stel pengapian dan lihat cerobong asap	2. Temperatur minyak bakar yang akan masuk sumber dijaga sesuai petunjuk 3. Lakukan pembersihan pada lorong dan pipa api setelah bekerja selama 300-400 jam
-------------------------	--	--	--

Tabel 2.7. Beberapa permasalahan pada boiler yang dapat diatasi dengan pengolahan air umpan boiler

Masalah	Tekanan	Fenomena	penyebab
Kerak	Tekanan rendah	Pembentukan kerak oleh komponen kesadahan	Mutu air buruk dan resin penukar ion kotor
		Pecahnya pipa penguapan	Kondisi jelek dan ketidaksempurnaan control pelunakan air
			Control operasi boiler tidak sempurna
	Tekanan sedang-tinggi	Deposit oksida metal seperti oksida besi pada daerah yang mendapat beban panas tinggi	Mutu air buruk
			Kontaminasi oleh hidrat metal seperti $Al(OH)_3$
			Korosi terbawa air umpan dan aliran kondensat ke dalam boiler
Korosi	Tekanan rendah	Korosi pada permukaan pemanas, pipa air umpan, serta kondensat karena adanya pengaruh gas ( $O_2$ , dan $CO_2$ )	Pengaruh pH dan penyerapan $O_2$ tidak sesuai
		Deposit hasil korosi akibat dari penumpukan oksida	Pengembalian kondensat yang mengandung hasil korosi

		metal pada permukaan pemanas	Korosi selama masa perbaikan
	Tekanan sedang	Korosi pada permukaan pemanas karena penumpukan oksida hidrat metal	Hasil korosi dalam air umpan dan pipa kondensat terbawa dalam boiler
		Korosi karena kaustik	Pengaturan pH dan penyerapan O <sub>2</sub> tidak sempurna
		Korosi pada pipa kondensat dan pipa umpan karena gas terlarut	Korosi selama masa perbaikan
Carry over	Tekanan rendah	Kamurnian uap air turun	Perubahan beban boiler yang mendadak
		Mempengaruhi mutu produksi pabrik	Ketidaksempurnaan cara kerja pemisah uap dan system pengendali air umpan
	Tekanan sedang	Terjadinya peledakan pipa superheater	Tidak normalnya mutu air terutama karena silica
		Pembentukan kerak pada turbin dan berkurangnya efisiensi turbin	Zat padat tersuspensi dan hidrat metal terbawa ke boiler yang disebabkan karena ketidak sempurnaan air umpan boiler
			Beban boiler yang berubah mendadak
			Kontaminasi air boiler oleh produksi hasil proses

Tabel 2.8. Besarnya ketebalan scale dan kenaikan konsumsi bahan bakar yang terjadi akibat scale

Thickness of scale	Increases in fuel consumption due to this scale
1/2 mm	2 %
1 mm	4 %
2 mm	6 %
4 mm (1/8 ")	10 %
8 mm (1/4")	20 %
16 mm (1/2 ")	40 %
30 mm (1")	80 %

Tabel 2.9. Limit impurities pada air boiler untuk meminimalisasi Vaporous Carry Over menurut ASME

Drum Pressure (psig)	Boiler Water		
	Total Silica (ppm SiO <sub>2</sub> )	Specific Alkalinity (ppm CaCO <sub>3</sub> )	Conductances (micromhos/cm)
0 – 300	150	700	7000
301 – 450	90	600	6000
451 – 600	40	500	5000
601 – 750	30	400	4000
750 – 900	20	300	3000
901 – 1000	8	200	2000
1001 – 1500	2	0	150
1501 – 2000	1	0	100

## 2.6 Pengolahan Air Umpan Boiler

Pengolahan air umpan boiler mutlak diperlukan untuk menjamin agar uap yang dihasilkan nantinya berkualitas. Persyaratan air umpan boiler yang baik antara lain:

- Bebas dari zat-zat penyebab kerak, terutama kesadahanannya dan silica serta suhu tinggi.
- Bebas dari zat-zat penyebab korosi, terutama air umpan yang mengandung asam dan gas-gas terlarut
- Bebas dari zat penyebab busa dan zat padat ikutan, selain itu juga bebas dari minyak dan lema

Ada beberapa tujuan pengolahan air umpan boiler yaitu:

- Mencegah kehilangan energi
- Menjaga kestabilan konsumsi bahan bakar boiler
- Mencegah kerusakan boiler
- Menjaga kemurnian *steam*
- Mendapatkan *heat transfer* optimum]
- Menghemat biaya pemeliharaan boiler

Pengolahan air umpan boiler dibagi menjadi dua yaitu pengolahan air internal dan pengolahan air eksternal.

### 2.6.1 Pengolahan Air Internal

Pengolahan air internal adalah penambahan bahan kimia ke boiler untuk mencegah pembentukan kerak. Senyawa pembentuk kerak diubah menjadi lumpur yang mengalir bebas, yang dapat dibuang dengan

*blowdown*. Metode ini terbatas pada boiler dimana air umpan mengandung garam sadah yang rendah, dengan tekanan rendah, kandungan TDS tinggi dalam boiler dapat ditoleransi, dan jika jumlah airnya sedikit. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka laju *blowdown* yang tinggi diperlukan untuk membuang lumpur. Hal tersebut menjadi tidak ekonomis sehubungan dengan kehilangan air dan panas.

Jenis sumber air yang berbeda memerlukan bahan kimia yang berbeda pula. Senyawa seperti sodium karbonat, sodium aluminat, sodium fosfat, sodium sulfit, dan senyawa organik dan anorganik seluruhnya dapat digunakan untuk maksud ini. Untuk setiap kondisi air diperlukan bahan kimia tertentu. Harus dikonsultasikan dengan seorang spesialis dalam menentukan bahan kimia yang paling cocok untuk digunakan pada setiap kasus. Pengolahan air hanya dengan pengolahan internal tidak direkomendasikan.

### 2.6.2 Pengolahan Air Eksternal

Pengolahan eksternal digunakan untuk membuang padatan tersuspensi, padatan terlarut (terutama ion kalsium dan magnesium yang merupakan penyebab utama pembentukan kerak) dan gas-gas terlarut (oksigen dan karbondioksida)

Proses perlakuan eksternal yang ada adalah:

- a. Pertukaran ion
- b. *De-aerasi* (mekanis dan kimia)
- c. Osmosis balik

d. Koagulasi

e. filtrasi

Sebelum digunakan cara diatas, perlu untuk membuang padatan dan warna dari bahan baku air, sebab bahan tersebut dapat mengotori resin yang digunakan pada bagian pengolahan selanjutnya.

Metode pengolahan awal adalah sedimentasi dalam tangki pengendapan atau pengendapan dalam *clarifiers* dengan bantuan koagulan dan flokulan. Penyaring pasir bertekanan, dengan aerasi untuk menghilangkan karbondioksida dan besi, dapat digunakan untuk menghilangkan garam-garam logam dari air sumur.

Tahap pertama pengolaha adalah menghilangkan garam sadah dan garam non sadah. Penghilangan hanya garam sadah disebut pelunakan, sedangkan penghilangan total garam dari larutan disebut penghilangan mineral atau demineralisasi.

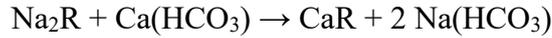
Proses pengolahan air eksternal antara lain:

#### 2.6.2.1 Proses Pertukaran Ion (*Plant* Pelunakan)

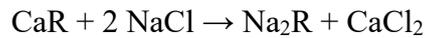
Pada proses pertukaran ion, kesadahan dihilangkan dengan melewati air pada bed zeolit alam atau resin sintetik dan tanpa pembentukan endapan. Jenis paling sederhana adalah “pertukaran basa” dimana ion kalsium dan magnesium ditukar dengan ion sodium. Setelah jenuh, dilakukan regenerasi dengan sodium klorida. Garam sodium mudah larut, tidak membentuk kerak dalam boiler. Dikarenakan penukar basa hanya menggantikan kalsium dan magnesium dengan sodium, maka tidak

mengurangi kandungan TDS, dan besarnya blowdown. Penukar basa ini juga tidak menurunkan alkalinya.

Reaksi pelunakan:



Reaksi regenerasi



#### 2.6.2.2 Deaerasi

Dalam de-aerasi, gas terlarut seperti oksigen dan karbondioksida dibuang dengan pemanasan awal air umpan masuk ke boiler. Seluruh air alam mengandung gas terlarut dalam larutannya. Gas-gas tertentu seperti karbondioksida dan oksigen sangat meningkatkan korosi. Bila dipanaskan dalam sistem boiler, karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan oksigen ( $\text{O}_2$ ) dilepaskan sebagai gas dan bergabung dengan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) membentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ).

Penghilangan oksigen, karbondioksida dan gas lain yang tidak dapat terembunkan dari air umpan boiler sangat penting bagi umur peralatan boiler dan juga keamanan operasi. Asam karbonat mengkorosi logam menurunkan umur peralatan dan pemipaan. Asam ini juga melarutkan besi (Fe) yang jika kembali ke boiler akan mengalami pengendapan dan menyebabkan terjadinya pembentukan kerak pada boiler dan pipa. Kerak ini tidak hanya berperan dalam penurunan umur peralatan tapi juga meningkatkan jumlah energi yang diperlukan untuk mencapai perpindahan panas [8].

De-aerasi dapat dilakukan dengan de-aerasi mekanis dan de-aerasi kimiawi, atau juga dua-duanya.

### 1. De-aerasi mekanis

De-aerasi mekanis untuk menghilangkan gas terlarut digunakan sebelum penambahan bahan kimia untuk oksigen. De-aerasi mekanis didasarkan pada hukum fisika Charles dan Henry. Secara ringkas, hukum tersebut menyatakan bahwa penghilangan oksigen dan karbondioksida dapat disempurnakan dengan pemanasan air umpan boiler yang akan menurunkan konsentrasi oksigen dan karbondioksida di sekitar atmosfer air umpan. De-aerasi mekanis dapat menjadi yang paling ekonomis, beroperasi pada titik didih air pada tekanan dalam de-aerator. Deaerasi mekanis dapat berjenis vakum atau bertekanan.

De-aerator jenis vakum beroperasi dibawah tekanan atmosfer, pada suhu sekitar 82<sup>0</sup>C, dan dapat menurunkan kandungan oksigen dalam air hingga kurang dari 0,02 mg/liter. Pompa vakum atau steam ejectors diperlukan untuk mencapai kondisi vakum. De-aerator jenis bertekanan beroperasi dengan membiarkan steam menuju air umpan melalui klep pengendali tekanan untuk mencapai tekanan operasi yang dikehendaki, dan dengan suhu minimum 105<sup>0</sup>C. Steam menaikkan suhu air menyebabkan pelepasan gas oksigen dan karbondioksida yang dikeluarkan dari sistem. Jenis ini dapat mengurangi kadar oksigen hingga 0,005 mg/liter.

Bila terdapat kelebihan steam tekanan rendah, tekanan operasi dapat dipilih untuk menggunakan steam ini sehingga akan meningkatkan ekonomi bahan

bakar. Dalam sistem boiler, steam lebih disukai untuk de-aerasi sebab steam pada dasarnya bebas dari  $O_2$  dan  $CO_2$ , steam tersedia dengan mudah, steam menambah panas yang diperlukan untuk melengkapi reaksi

## 2. De-aerasi kimiawi

Sementara deaerators mekanis yang paling efisien menurunkan oksigen hingga ke tingkat yang sangat rendah (0,005 mg/liter), namun jumlah oksigen yang sangat kecil sekalipun dapat menyebabkan bahaya korosi terhadap sistem. Sebagai akibatnya, praktek pengoperasian yang baik memerlukan penghilangan oksigen yang sangat sedikit tersebut dengan bahan kimia pereaksi oksigen seperti sodium sulfit atau hidrasin. Sodium sulfit akan bereaksi dengan oksigen membentuk sodium sulfat yang akan meningkatkan TDS dalam air boiler dan meningkatkan *blowdown* dan kualitas air make-up. Hydrasin bereaksi dengan oksigen membentuk nitrogen dan air. Senyawa tersebut selalu digunakan dalam boiler tekanan tinggi bila diperlukan air boiler dengan padatan yang rendah, karena senyawa tersebut tidak meningkatkan TDS air boiler.

## 3. Osmosis Balik

Osmosis balik menggunakan kenyataan bahwa jika larutan dengan konsentrasi yang berbeda-beda dipisahkan dengan sebuah membran semi-permeable, air dari larutan yang berkonsentrasi lebih kecil akan melewati membran untuk mengencerkan cairan yang berkonsentrasi tinggi. Jika cairan yang berkonsentrasi tinggi tersebut diberi tekanan, prosesnya akan dibalik

dan air dari larutan yang berkonsentrasi tinggi mengalir ke larutan yang lebih lemah. Hal ini dikenal dengan osmosis balik.

Membran semi-permeable lebih mudah melewatkan air daripada bahan mineral yang terlarut. Air pada larutan yang kurang pekat mengalir melalui membran ke arah larutan yang lebih pekat menghasilkan perbedaan head yang nyata diantara dua larutan. Perbedaan head ini merupakan ukuran perbedaan konsentrasi dua larutan dan menunjukkan perbedaan tekanan osmosis.

#### 4. Koagulasi

Adalah proses penggumpalan partikel yang digunakan sebelum proses filtrasi. Prinsipnya menambahkan koagulan untuk mengendapkan partikel

#### 5. Filtrasi

Adalah proses penyaringan yang fungsinya untuk menghilangkan *suspended solid* seperti pasir halus, tanah liat, dan beberapa bahan organik.

#### 2.6.3 Rekomendasi untuk boiler dan kualitas air umpan

Kotoran yang ditemukan dalam boiler tergantung pada kualitas air umpan yang diolah, proses pengolahan yang digunakan dan prosedur pengoperasian boiler. Sebagai aturan umum, semakin tinggi tekanan operasi boiler akan semakin besar sensitivitas terhadap kotoran.

Tabel 2.10. Rekomendasi Batas Air Umpan  
REKOMENDASI BATAS AIR UMPAN (IS 10392, 1982)

Faktor	Hingga 20 kg/cm <sup>2</sup>	21 - 39 kg/cm <sup>2</sup>	40- 59 kg/cm <sup>2</sup>
Total besi (maks.) ppm	0,05	0,02	0,01

Total tembaga (maks.) ppm	0,01	0,01	0,01
Total silika (maks.) ppm	1,0	0,3	0,1
Oksigen (maks.) ppm	0,02	0,02	0,01
Residu hidrasin ppm	-	-	-0,02-0,04
pH pada 25 <sup>0</sup> C	8,8-9,2	8,8-9,2	8,2-9,2
Kesadahan, ppm	1,0	0,5	-

REKOMENDASI BATAS AIR BOILER (IS 10392, 1982)			
Faktor	Hingga 20 kg/cm <sup>2</sup>	21 - 39 kg/cm <sup>2</sup>	40- 59 kg/cm <sup>2</sup>
TDS, ppm	3000-3500	1500-2500	500-1500
Total padatan besi terlarut ppm	500	200	150
Konduktivitas listrik spesifik pada 25 <sup>0</sup> C (mho)	1000	400	300
Residu fosfat ppm	20-40	20-40	15-25
pH pada 25 <sup>0</sup> C	10-10,5	10-10,5	9,8-10,2
Silika (maks.) ppm	25	15	10

Tabel 2.11. Hal-hal yang dilakukan dan tidak dilakukan pada boiler  
Dilakukan dan Tidak Dilakukan pada Boiler

Lakukan	Tidak Lakukan
1. Tiup jelaga secara teratur	1. Jangan nyalakan pemantik api secara mendadak setelah api habis (pembersihan)
2. Bersihkan pengukur gelas <i>blowdown</i> sekali tiap satu sift	2. Jangan lakukan <i>blowdown</i> jika tidak perlu

3. Periksa klep keamanan seminggu sekali	3. Jangan biarkan pintu tungku terbuka jika tidak perlu
4. <i>Blowdown</i> pada setiap sift, sesuai keperluan	4. Jangan sering menghembus klep pengaman (kendali operasi)
5. Jaga seluruh pintu tungku tertutup	5. Jangan memberikan aliran berlebih pada <i>hopper</i> abu
6. Kendalikan sirkulasi tungku	6. Jangan menaikkan laju pembakaran melebihi yang diperbolehkan
7. Bersihkan, <i>hopper</i> pembuangan abu setiap sift	7. Jangan mengumpankan air baku
8. Jaga asap cerobong dan pengendali api	8. Jangan mengoperasikan boiler pada aliran tertutup
9. Periksa pengendali otomatis pada bahan bakar dengan menghentikan sekali waktu air umpan untuk jangka waktu pendek	9. Jangan memberi beban berlebih pada boiler
10. Perhatikan kebocoran secara berkala	10. Jangan membiarkan ketinggian air terlalu tinggi atau terlalu rendah
11. Periksa seluruh klep, <i>damper</i> , dll untuk operasi yang benar seminggu sekali	11. Jangan mengoperasikan penghembus jelaga pada beban tinggi
12. Beri pelumas seluruh alat mekanik untuk berfungsi mulus	12. Jangan jalankan kipas ID manakala sedang dalam operasi
13. Jaga switchboards rapi dan bersih dan sistim penunjuk sesuai dengan perintah pekerjaan	13. Jangan melihat langsung api dalam tungku, gunakan kacamata keamanan yang berwarna
14. Jaga kebersihan area, bebas debu	14. Hindarkan <i>bed</i> bahan bakar yang tebal

15. Jaga alat pemadam kebakaran selalu dalam keadaan siap. Lakukan latihan yang diselenggarakan sebulan sekali	15. Jangan biarkan boiler diserahkan ke operator/ teknisi yang tidak terlatih
16. Seluruh lembar data harian harus diisi secara sungguh-sungguh	16. Jangan mengabaikan pengamatan yang tidak biasa (perubahan suara, perubahan kinerja, kesulitan pengendalian), periksa
17. Jalanan fan FD jika fan ID mati	17. Jangan melewatkan pemeliharaan tahunan
18. Perekam CO2 atau O2 harus diperiksa/dikalibrasi tiga bulan sekali	18. jangan mencat boiler
19. <i>Traps</i> harus diperiksa dan diurus secara berkala	19. Jangan biarkan terjadinya pembentukan steam pada <i>economizer</i> (jaga suhu.)
20. Kualitas steam, air harus diperiksa sehari sekali, atau sekali tiap sift	20. Jangan biarkan <i>grate</i> terbuka (sebarikan secara merata)
21. Kualitas bahan bakar harus diperiksa seminggu sekali	21. Jangan mengoperasikan boiler dengan pipa air yang bocor
22. Jaga saluran pembuangan sub pemanas terbuka selama <i>start up</i>	
23. Jaga kran air terbuka selama <i>start</i> dan tutup	

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Jenis Penelitian

Adapun jenis penelitian yang digunakan adalahh:

– Studi Pustaka

Untuk mendapatkan gambaran teoritis yang berhubungan dengan bahan bakar yang di gunakan pada ketel uap (Boiler).

– Studi Lapangan

Untunk mengetahui secara aktual dan konkrit tentang pemakaian bahan bakar yang digunakan pada instalasi pembangkit tenaga uap

– Analisa

Suatu proses penelitian yang dilakukan unruk menghasilkan gambaran atau kesimpulan akhir dari data lapangan yang di peroleh.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

##### 3.2.1 Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan dan pengujian dilakukan di PT.Langkat Nusantara Kepong Gohor Lama.

##### 3.2.2 Waktu penelitian

Waktu penelitian dimullai dari persetujuan judul skripsi yang diberikann oleh ketua program studi teknik mesinn, pengambilan data, pengolahan data,hingga penyusunan skripsi dinyatakan selesai.

### 3.2.3 Tabel Kegiatan

Analisa ini direncanakan mulai dari persiapan hingga selesai dalam waktu enam bulan. Agar tugas akhir ini dapat dilakukan dengan baik maka disusun suatu jadwal pelaksanaan seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	KEGIATAN	BULAN					
		4	5	6	7	8	9
1	Persiapan : Pengajuan Skripsi	•					
2	Proposal	•					
3	Seminar Proposal	•					
4	Persiapan :- Literatur - Bahan - Alat	•	•	•			
5	Proses Analisa Data				•		
6	Pengambilan Data, Pengolahan dan Analisa data				•		
7	Hasil dan Saran					•	
8	Penyusunan dan Pembuatan Laporan					•	
9	Seminar Hasil					•	
10	Perbaikan dan penyempurnaan skripsi						
11	Sidang Skripsi						

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat

1. Ketel Uap pipa air (Boiler)

sebagai unit utama untuk menganalisa.



Gambar 3.1. Boiler

## 2. Panel Ketel Uap

Panel digunakan untuk memantau aktifitas yang dilakukan oleh ketel uap, seperti tekanan kerja, kapasitas air ketel uap, dsb



Gambar 3.2. Panel Ketel Uap

### 3.3.2 *Bahan*

Bahan dasar dalam penelitian ini adalah cangkang dan fiber yang sudah tidak di pakai dan di olah menjadi bahan bakar ketel uap (boiler) di PT.Langkat Nusantara Kepong.

#### 1. Cangkang

Cangkang Kelapa sawit merupakan produk sampingan dari Crude Palm Oil yang banyak dipakai oleh industri sebagai bahan bakar pengganti batubara. Tidak hanya itu saja, cangkang kelapa sawit ini memiliki kelebihan dibandingkan bahan bakar industri lainnya, yakni lebih ramah kepada lingkungan, dan tidak mencemarkan lingkungan sehingga masyarakat sekitar industri bebas dari infeksi saluran pernapasan akut. Pada pembahasan ini anda akan lebih diperkenalkan lebih lanjut mengenai kegunaan dan kelebihan cangkang kelapa sawit sebagai bahan alami yang memiliki banyak manfaat bagi berbagai industri dan tentunya dengan biaya yang lebih rendah.

1. The Palm Oil Plant (*Elais Guinensis*) memiliki tiga varietas yang berbeda, yakni Dura, Pesippera dan Tenera, serta menghasilkan buah yang dapat dimakan serupa dengan aprikot. Selama dalam proses minyak sawit mentah, daging buah dilelehkan melalui cara dipanaskan dengan temperatur 90°C. Daging yang telah lunak dipaksa untuk berpisah dengan bagian inti dan cangkang dengan pressing pada mesin silinder berlubang. Sisa kepingan buah lebih lanjut lagi dihancurkan secara mekanis guna diekstrak untuk mendapatkan biji atau kernel. Daging inti dan cangkang dipisahkan

dengan pemanasan dan teknik pressing. Setelah itu dialirkan ke dalam lumpur sehingga sisa cangkang akan turun ke bagian bawah lumpur.

2. Kulit atau tempurung yang telah dihancurkan disebut Palm Kernel Shells (PKS) atau cangkang sawit, suatu biomassa murni dengan nilai kalori tinggi (4000-4.600 abt khas NCVAR Kcal / kg – ASTM D5865 – 02). Palm Kernel Shells atau cangkang sawit memiliki konten level abu yang sangat rendah serta belerang dengan konten sebagai berikut:

- Konten abu (biasanya dengan berat abt 3%)
- Konten belerang (biasanya dengan berat abt 0,09%)

3. Palm Kernel Shells adalah merupakan butiran alami dan bahan bakar padat kelas tinggi yang dapat diperbarui untuk pembakaran, baik bersama-sama dengan uap batubara atau dibakar di biomassa pembangkit tenaga listrik, yang biasanya dicampur dengan tingkatan lain dari biomassa, seperti potongan kayu.



Gambar 3.3. Cangkang

## 2. Fiber

Fiber adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Contoh serat yang paling

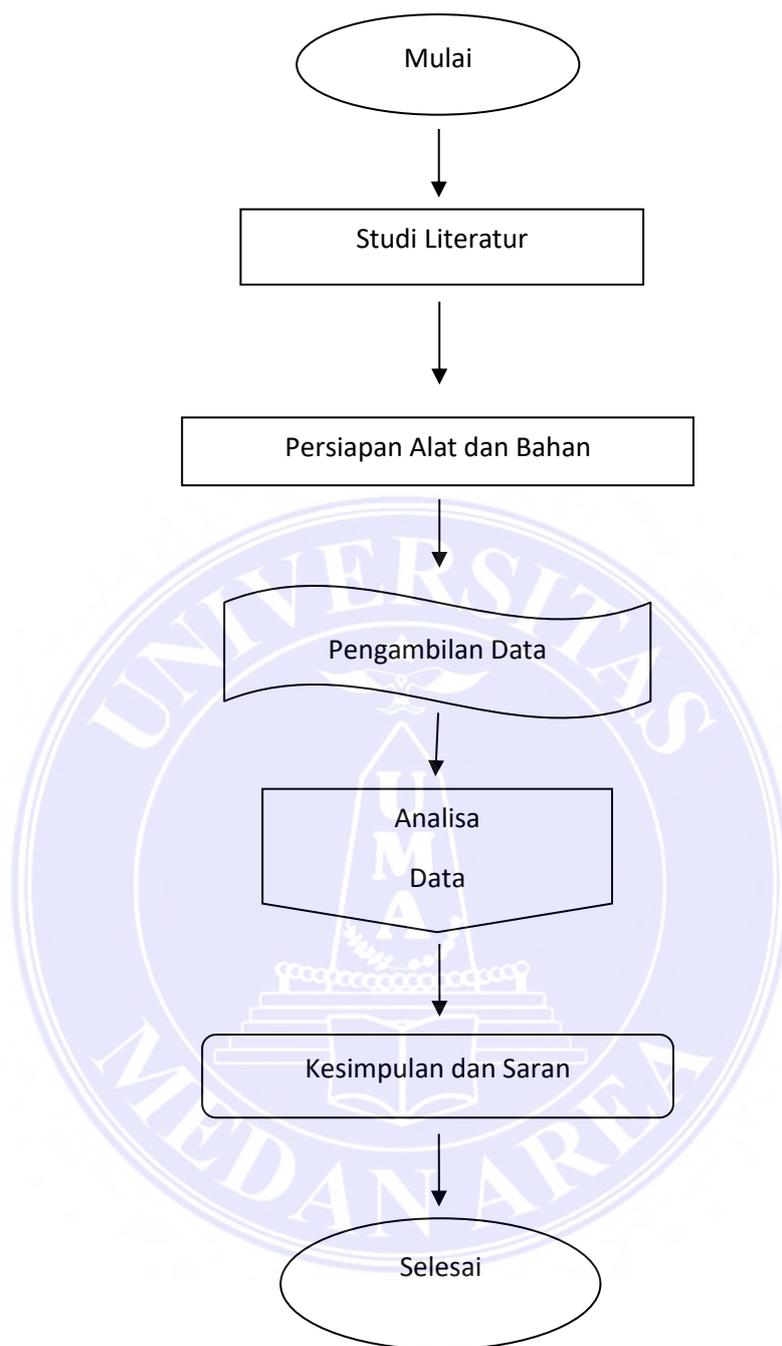
sering dijumpai adalah serat pada kain. Material ini sangat penting dalam ilmu Biologi baik hewan maupun tumbuhan sebagai pengikat dalam tubuh. Manusia menggunakan serat dalam banyak hal: untuk membuat tali, kain, atau kertas. Serat dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu serat alami dan serat sintetis (serat buatan manusia). Serat sintetis dapat diproduksi secara murah dalam jumlah yang besar. Namun, serat alami memiliki berbagai kelebihan khususnya dalam hal kenyamanan.



Gambar 3.4. Fiber (Serat)

### 3.4 Diagram alir penelitian

Untuk mempermudah penulisan skripsi ini, penulis membuat konsep penganalisaan pemakaian bahan bakar pada ketel uap yang digunakan. Konsep tersebut dapat dilihat dalam bentuk *Flow Chart* pada tabel 3.2 di bawah ini :



Tabel 3.2. *Flow Chart* Penelitian

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan laporan kerja praktek dengan judul Analisa Pemakaian Bahan Bakar Boiler pada ketel uap type water tube dengan kapasitas uap 3 ton/jam maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Tekanan kerja pada ketel uap PT.Langkat Nusantara Kepong adalah sebesar 21,5 Bar.
2. Ketel uap mendapat suplai bahan bakar Fibre dan Cangkang sebesar 5,5% dari hasil produksi 60 ton/jam tandan buah segar atau 3300 kg b.bakar/jam.
3. Campuran bahan bakar ketel uap adalah 80% Fibre dan 20% Cangkang.
4. Nilai kalor campuran bahan bakar 80% Fibre dan 20% Cangkang adalah sebesar 3849,095 Kkal/Kg.
5. Panas masuk ketel uap ( $Q_{in}$ ) adalah sebesar 42620790,3 Kj/jam.
6. Panas keluar ketel uap ( $Q_{out}$ ) adalah sebesar 54666538,5 Kj/jam.
7. Efisiensi ketel uap sebesar 70%.
8. Kebutuhan bahan bakar ketel uap adalah sebesar 2366 Kg b.bakar/jam.

## DAFTAR PUSTAKA

- <https://id.wikipedia.org/wiki/Serat>  
<http://cangkangsawit.net/apa-itu-cangkang-kelapa-sawit/>  
<http://abdimanik.blogspot.co.id/2012/05/laporan-pkl.html>  
<http://dokumen.tips/documents/pengetahuan-dan-perhitungan-boiler.html>  
<https://www.scribd.com/doc/252686944/Contoh-Laporan-Pkl-Pengolahan-Kelapa-Sawit>  
<http://www.scribd.com> Pengetahuan- Umum Boiler/ 9 oktober 2012.  
Setyardjo M.J. Djoko. 1932. *Ketel Uap*, Edisi Ke-2. Jakarta: Pradya Paramitha.  
Muin A. Syamsir. 1988. *Pesawat-pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*, Edisi Ke-1. Jakarta: Penerbit CV. Rajawali.  
Harry Christian Hasibuan. Farel H Napitupulu. 2013. *Analisa Pemakaian Bahan Bakar Dengan Melakukan Pengujian Nilai Kalor Terhadap Performansi Ketel Uap Tipe Pipa Air Dengan Kapasitas Uap 60 Ton/Jam*. Medan: Universitas Sumatera Utara.  
Yudi Setiawan. 2015. *Karakteristik Campuran Cangkang Dan Serabut Kelapa Sawit Terhadap Nilai Kalor Di Propinsi Bangka Belitung*. Bangka Belitung : Universitas Bangka Belitung.  
Heni Hendaryati. 2012. *Analisis Efisiensi Termal Pada Ketel Uap Di Pabrik Gula Kebonagung Malang*. Malang : Universitas Muhammadiyah Malang.  
William C. Reynolds, Filino Harahap. 1987. *Termodinamika Teknik*. Jakarta : Erlangga.  
[https://artikel-teknologi.com/pengertian-boiler-pipa-air/#:~:text=Pengertian%20boiler%20pipa%20Dair%20adalah,api%20di%20sisi%20luar%20pipa.&text=Boiler%20ini%20mensirkulasikan%20air%20melewat,dari%20ruang%20bakar%20\(furnace\).](https://artikel-teknologi.com/pengertian-boiler-pipa-air/#:~:text=Pengertian%20boiler%20pipa%20Dair%20adalah,api%20di%20sisi%20luar%20pipa.&text=Boiler%20ini%20mensirkulasikan%20air%20melewat,dari%20ruang%20bakar%20(furnace).)