



# **KETEL UAP**

## **ANALISA KALOR PEMBAKARAN PADA KETEL UAP TYPE BD 56/300 DI PT. GALUHINDO - RIAU**

### **TUGAS SARAJANA**

Oleh :

**Muhammad Ali Guntar Siregar**

No. Stb. : 00 813 0050



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
M E D A N  
2 0 0 2**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/9/23

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

Access From (repository.uma.ac.id)6/9/23

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar belakang .....	1
B. Ketel Uap sebagai salah satu pengkonvensi Energi .....	1
C. Kondisi Perkebunan Kelapa Sawit PT.GALUHINDO .....	2
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
A. Pengertian dan sejarah perkembangan ketel uap .....	5
B. Klasifikasi ketel uap .....	8
C. Bagian-bagian Utama ketel uap .....	14
D. Proses pembentukan uap .....	16
E. Perpindahan panas pada dapur .....	18
<b>BAB III RUANG BAKAR DAN PEMBAKARAN</b>	
I. Ruang Bakar .....	28
II. Bahan Bakar .....	31
III. Udara Pembakaran .....	32
IV. Rangka Bakar Tetap (Stationary Grate) .....	33

## **BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN**

A. Spesifikasi ketel uap .....	34
B. Penentuan kebutuhan uap .....	34
C. Bahan bakar .....	37
D. Kebutuhan udara pembakaran .....	42
E. Kalor pembakaran .....	44
F. Analisa gas asap .....	45
G. Efisiensi ketel uap .....	48

## **BAB V PERLENGKAPAN KETEL UAP**

A. Katup pengaman .....	50
B. Manometer .....	51
C. Gelas penduga .....	53
D. Peluit pengaman (Alarm Bahaya) .....	54
E. Kran Pipa induk .....	55
F. Kran pembuang air ketel .....	56
G. Flow meter .....	56
H. Thermometer .....	57
I. Katup/Valve .....	57
J. Fire Grate .....	57
K. Blower hisap .....	58
L. Blower tembus .....	58

**BAB VI PENUTUP**

A. Kesimpulan ..... 60

B. Saran ..... 61





# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Dewasa ini penyediaan energi merupakan masalah besar karena kemajuan pembangunan baik di bidang industri, pertanian maupun di bidang sarana transportasi. Berbagai usaha telah dilakukan manusia dalam usaha untuk menyediakan energi yang siap untuk dikonsumsi.

Dalam usaha untuk menyediakan energi ini sering terjadi hal – hal yang merugikan kebersihan dan kenyamanan lingkungan. Ini merupakan tantangan bagi para ilmuwan untuk menyediakan energi yang aman dan tidak merusak lingkungan. Karena pada saat ini salah satu syarat dalam penyediaan energi harus diusahakan untuk mengurangi efek pencemaran lingkungan yang ditimbulkan.

### B. Ketel Uap Sebagai Salah Satu Pengkonversi Energi

Dalam usaha untuk menyediakan energi yang cukup, maka kita membutuhkan alat (pesawat) pengkonversi energi. Salah satunya dari alat tersebut yaitu ketel uap. Ketel Uap adalah suatu pesawat pembangkit uap dan uapnya dapat digunakan untuk kebutuhan lain seperti memutar roda turbin.

Penggunaan uap memang telah lama dikenal manusia. Pertama sekali diperkenalkan oleh Hero dari Alexandria pada tahun 150 SM, dimana uap digunakan untuk menggerakkan turbin. Namun penggunaan uap secara meluas adalah setelah penemuan mesin uap oleh James Watt.

Dengan demikian berkembanglah teknologi dan ilmu pengetahuan, maka pemakaian uap semakin luas seperti pada penggunaan uap di perkebunan dan alat pemanas di rumah sakit.

Penggunaan uap pada pusat tenaga (steam power plant) berkembang dengan pesatnya sehingga dengan perkembangannya tersebut sampai kepada penggunaan reactor nuklir sebagai pembangkit panas untuk memanaskan air pada ketel uap. Dan selanjutnya uap yang dihasilkan dari ketel uap tersebut digunakan untuk kebutuhan lain.

Dalam suatu siklus tenaga uap ketel berfungsi sebagai pembangkit uap. Di dalam ketel, air akan memperoleh panas dari pembakaran sejumlah bahan bakar, sehingga air berubah menjadi uap. Uap yang dihasilkan akan memiliki energi potensial yang besarnya tergantung pada tekanan dan temperatur dari uap tersebut.

Ketel uap banyak digunakan pada stasion pembangkit listrik, juga di pabrik – pabrik. Di pabrik kegunaan uap yang dihasilkan ketel disamping untuk membangkitkan daya juga untuk proses pengolahan.

### **C. Kondisi Perkebunan Kelapa Sawit PT. GALUHINDO**

Untuk mengetahui kapasitas dari uap yang dibutuhkan untuk proses pengolahan dan juga untuk pembangkit tenaga yang akan disuplai ketel, maka kita harus melihat kondisi dari perkebunan kelapa sawit PT. GALUHINDO.

Berdasarkan letak geografis propinsi, Riau terletak antara  $1^{\circ}$  LS sampai  $2,5^{\circ}$  LU dan diantara  $100^{\circ}$  BT sampai  $109^{\circ}$  BT. Suhu pada bulan terdingin lebih dari  $18^{\circ}$  C dan terpanas lebih dari  $22^{\circ}$  C, kadang – kadang suhu maksimum berkisar  $30, 7^{\circ}$  C. Pada musim penghujan kelembaban udara maksimum berkisar 86 %. Perbedaan curah hujan



antara musim kemarau dan musim penghujan kurang jelas kerana sepanjang tahun, hujan turun dan mencapai puncaknya pada bulan Nopember.

Letak ketinggian dari permukaan laut, hampir 50 % dari daerah Riau daratan terletak kurang dari 15 meter, 45 % terletak antara 15 sampai 200 meter dan 3,3 % terletak antara 200 sampai 400 meter. Hanya sebesar 1,7 % terletak di atas 400 meter.

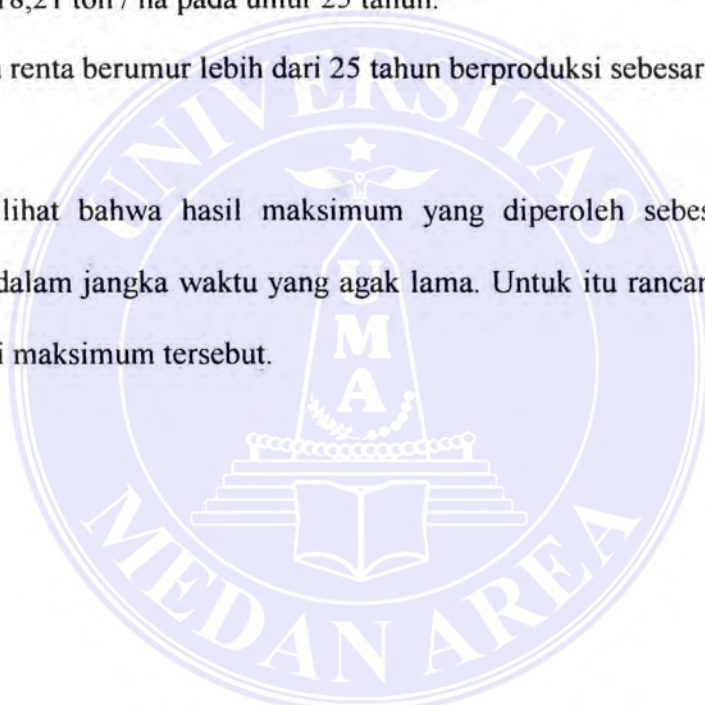
Sementara syarat –syarat agar kelapa sawit dapat tumbuh dengan baik adalah sebagai berikut:

- Kelapa sawit tumbuh baik di daerah yang terletak antara 13<sup>0</sup> LU sampai 12<sup>0</sup> LS. Daerah yang terbaik terletak diantara 6<sup>0</sup> LU sampai 6<sup>0</sup> LS.
- Kelapa sawit dapat tumbuh baik pada ketinggian 0 meter sampai 550 meter di atas permukaan laut. Daerah yang terbaik adalah pada ketinggian 200 meter di atas permukaan laut.
- Tumbuh baik di dataran rendah yang panas dan lembab.
- Curah hujan turun merata sepanjang tahun.
- Temperatur rata – rata minimum 22<sup>0</sup> C dan maksimum 32<sup>0</sup> C.
- Kelembaban relative yang baik untuk pertumbuhan berkisar antara 75 % sampai 90 %.

Dari keadaan di atas ditambah lagi bahwa perkebunan PT. GALUHINDO adalah bekas pembukaan hutan yang memiliki lapisan humus yang tebal, maka dapat diharapkan hasil perkebunan tersebut adalah memuaskan. Diperkirakan per hektarnya akan menghasilkan 18 sampai 21,7 ton TBS / ha per tahunnya. Ini dapat kita lihat dari produktivitas kelapa sawit tersebut seperti di bawah ini:

1. Tanaman muda berumur 3 sampai 8 tahun produksi meningkat tajam, dari 5,9 ton / ha pada umur 3 tahun menjadi 20,3 ton / ha pada umur 8 tahun.
2. Tanaman remaja berumur 8 sampai 12 tahun berubah dengan sedikit kenaikan, dari 20,3 ton / ha pada umur 8 tahun menjadi 21,7 ton / ha pada umur 12 tahun.
3. Tanaman dewasa berumur 12 sampai 20 tahun hampir konstan dari 21,7 ton / ha pada umur 12 tahun menjadi 21,8 ton / ha pada umur 20 tahun.
4. Tanaman tua produksi menurun sedikit dari 21,1 ton / ha pada umur 20 tahun menjadi 18,21 ton / ha pada umur 25 tahun.
5. Tanaman renta berumur lebih dari 25 tahun berproduksi sebesar 15,8 ton / ha.

Dapat dilihat bahwa hasil maksimum yang diperoleh sebesar 21,7 ton / ha pertahunnya dalam jangka waktu yang agak lama. Untuk itu rancangan ketel mengacu pada produksi maksimum tersebut.





## BAB II

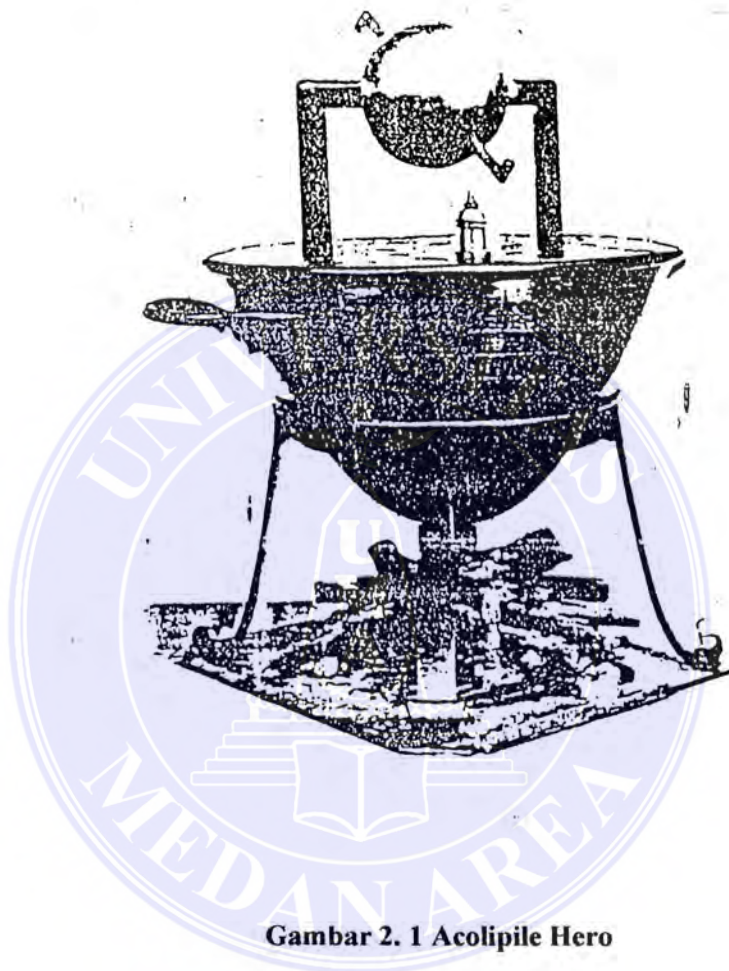
### LANDASAN TEORI

#### A. Pengertian dan Sejarah Perkembangan Ketel Uap

Ketel uap (boiler) adalah pesawat konversi berupa bejana tertutup yang mengkonversi energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi panas yang mengubah air dari fase cair menjadi uap yang timbul akibat perubahan fase melalui pendidihan. Untuk melakukan fase pendidihan diperlukan energi panas yang diperoleh dari hasil pembakaran bahan bakar, baik itu berupa bahan bakar padat, cair, gas, tenaga listrik dan gas panas sebagai sisa proses kimia serta tata surya.

Sejak dahulu manusia telah mengenal uap air yaitu dengan adanya pekerjaan merebus (boiling), tetapi baru sekitar dua abad ini ditemukan cara bagaimana untuk mempergunakan uap bagi kepentingan mereka. Para ilmuwan abad dahulu sudah banyak yang mempunyai pengetahuan tentang sifat-sifat uap dan air panas, tetapi tidak menerapkan ilmu tersebut untuk kepentingan mereka. Hero dari Iskandariah dengan Whirling Aeolipyle (gambar 2.1) mengembangkan prinsip turbin reaksi dan mesin jet seperti sekarang dalam bentuk yang sederhana, tetapi pada waktu itu direncanakan hanya sebagai permainan yang menggembarakan.

Tahun 1606 Geovanni Battista Della Porta merencanakan dua buah laboratorium percobaan yang memperlihatkan tenaga uap dan sistem kondensasi.



Gambar 2. 1 Acolipile Hero

Tahun 1641 Galileo, seorang saintis besar yang terkenal dengan teleskopnya, pendulum dan percobaan dengan grafitasi, menyatakan bahwa air hanya dapat dipompa dari kedalaman 28 kaki (8,5344 m), tetapi dia meninggal ditahun berikutnya.

Tahun 1643, Evongelista Torricelli, salah seorang murid Galileo setelah dia wafat, meneruskan percobaan Galileo. Dia menemukan bahwa tekanan atmosfer

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/9/23

dapat menahan kolom air setinggi 32 kaki (9,7586 m) bila diatas permukaan air

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

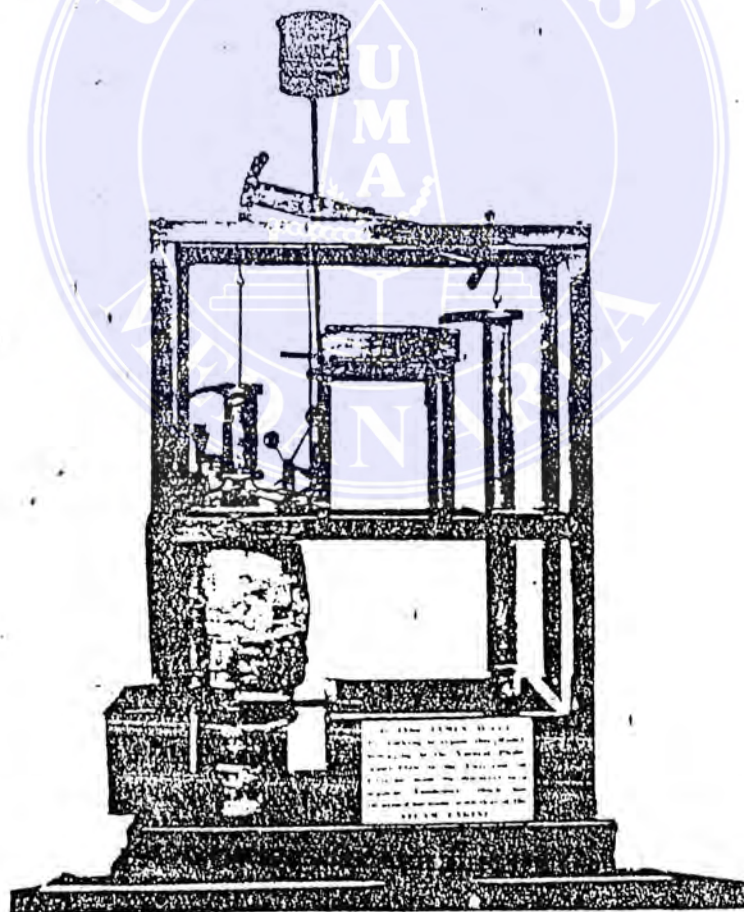
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area Access From (repository.uma.ac.id)6/9/23



tersebut keadaan vakum. Dia juga melakukan percobaan dengan air raksa; ternyata tekanan atmosfer dapat menahan 76 cm air raksa bila diatas permukaan air raksa tersebut keadaan vakum, kalau dipakai kolom air maka sama dengan 10,336 m.

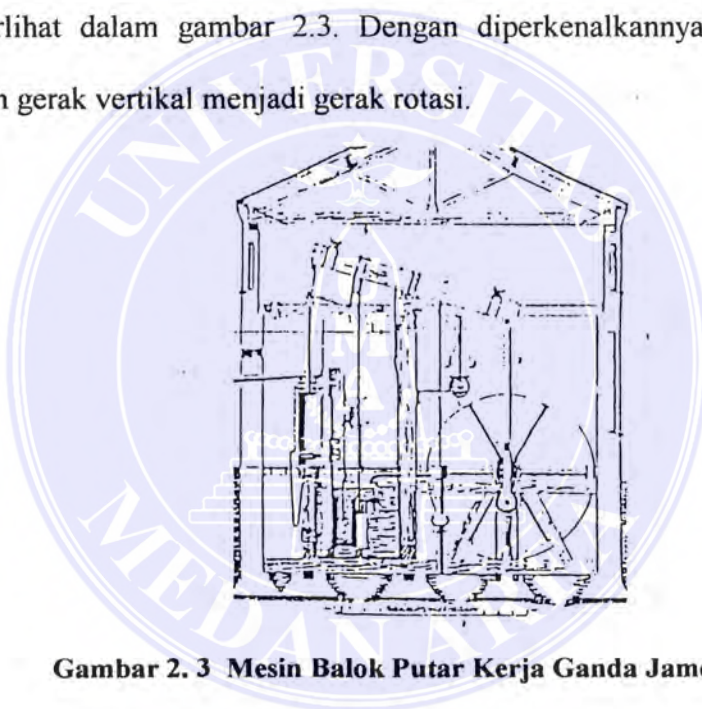
Tahun 1712, Thomas Newcomer dan Jhon Calley, membuat mesin uap yang pertama dengan sukses seperti terlihat pada gambar 2. 2. Uap yang dihasilkan boiler, dialirkan kedalam mesin uap lalu mengangkat piston sampai ke puncak. Bila setelah itu diinjeksikan air kedalam mesin uap, maka tekanan uap sekonyong-konyong menjadi turun (vakum) maka piston tertarik kembali kebawah. Sistem ini akan menimbulkan gerak turun naik dari piston (reciprocating). Tenaga mesin uap ini dapat menggerakkan pompa seperti terlihat dibawah ini.



UNIVERSITAS MEDAN AREA **Gambar 2. 2 Mesin Pompa Newcomer**



Tahun 1764, sebuah model mesin Newcomer direparasi oleh James Watt, seorang pembuat instrumen dari Glasgow university. Tahun 1769 James Watt mendapatkan hak paten dari mesin uap ciptaannya. Menurut teori James Watt uap adalah suatu media yang elastis, dapat mengembang hingga vakum. Watt merancang mesin uap dengan memakai silinder (tabung) dan sebuah piston (pengisap) dengan sebuah kondensor dan sebuah pompa udara. Banyak rancangan mesin uap yang dibuat oleh James Watt diantaranya mesin tuas putar kerja ganda seperti terlihat dalam gambar 2.3. Dengan diperkenalkannya mesin ini maka berubahlah gerak vertikal menjadi gerak rotasi.



Gambar 2. 3 Mesin Balok Putar Kerja Ganda James Watt

## B. Klasifikasi Ketel Uap

Ketel uap pada dasarnya terdiri dari bumbung (drum) yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air.

Pada umumnya ketel uap diklasifikasikan atas:

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/9/23

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

Access From (repository.uma.ac.id)6/9/23

1. Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, maka ketel diklasifikasikan sebagai :

- a. Ketel pipa api (fire tube boiler)
- b. Ketel pipa air (water tube boiler)

Pada ketel pipa api, fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran) yang membawa energi panas (thermal energy), yang segera mentransfernya ke air ketel melalui bidang pemanas (heating surface). Tujuan pipa - pipa api ini adalah untuk memudahkan distribusi panas (kalori) kepada air ketel.

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

2. Berdasarkan pemakaiannya ketel dapat diklasifikasikan atas:

- a. Ketel stasioner (stationary boiler) atau ketel tetap.
- b. Ketel mobil (mobile boiler), ketel pindah atau portable turbin.

Yang termasuk ketel stationer adalah ketel yang didudukkan di atas pondasi yang tetap, seperti boiler untuk pembangkit tenaga pada industri-industri dan lain sebagainya.

Yang termasuk ketel mobile adalah ketel yang dipasang pada pondasi yang berpindah-pindah (mobile), seperti boiler lokomotif, lokomobil, serta termasuk ketel kapal ( marine boiler).

3. Berdasarkan letak dapur (furnace position), ketel uap dapat diklasifikasikan atas:

- a. Ketel dengan pembakaran didalam (internally fired steam boiler) dalam

hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) dibagian dalam ketel.



- b. Ketel dengan pembakaran diluar (eksternally fired steam boiler), dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) dibagian luar ketel. Kebanyakan ketel uap pipa air memakai sistem ini.
4. Menurut jumlah lorong (boiler tube), ketel diklasifikasikan atas:
    - a. Ketel dengan lorong tunggal (single tube steam boiler)
    - b. Ketel dengan lorong ganda (multi tubuler steam boiler)

Pada single tube steam boiler, hanya terdapat satu lorong saja, apakah itu lorong api atau saluran air saja. Chornish boiler adalah single fire tube boiler dan simple vertical boiler adalah single water tube boiler. Multi fire tube boiler misalnya kabel scotch dan multi water tube boiler misalnya ketel B dan W dan lain sebagainya.

5. Tergantung pada poros tutup drum (shell), ketel diklasifikasikan atas:
  - a. Ketel tegak (vertical steam boiler), seperti ketel Cochran, ketel Crackson.
  - b. Ketel mendatar (horizontal steam boiler), seperti ketel Cornish, Landcasire, Scotch.
6. Menurut bentuk dan letak pipa, maka ketel uap diklasifikasikan atas:
  - a. Ketel dengan pipa lurus, bengkok dan berlekak-lekuk (straight, bent and sinous tubuler heating surface).
  - b. Ketel dengan pipa miring-datar, dan miring-tegak (horizontal, inclined or vertical tubuler heating surface)
7. Menurut sistem peredaran air ketel (water circulation), maka ketel uap dibedakan atas:

a. Ketel dengan peredaran alam (natural circulation steam boiler)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

b. Ketel dengan peredaran paksa (forced circulation steam boiler)

Document Accepted 6/9/23

© 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

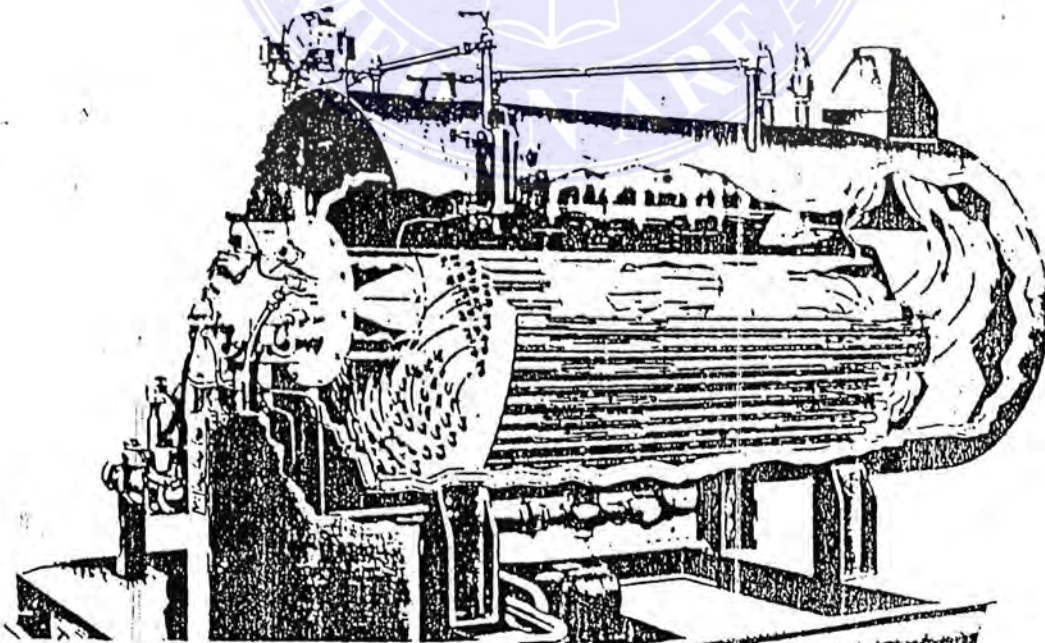
Access From (repository.uma.ac.id)6/9/23



Pada natural circulation boiler, peredaran air dalam ketel terjadi secara alami, yaitu air yang ringan naik sedang air yang berat turun, sehingga terjadilah aliran konveksi alami. Umumnya ketel beroperasi secara aliran alami, seperti ketel Lancashire, Babcock & Wilcox dan lain – lain.

Pada ketel dengan aliran paksa (forced circulation steam boiler) , aliran paksa diperoleh dari sebuah pompa sentrifugal yang digerakkan dengan electric motor misalnya. Sistem aliran paksa dipakai pada ketel – ketel yang bertekanan tinggi seperti La- Mot Boiler, Benson Boiler, Loeffler Boiler dan Velcan Boiler.

8. Tergantung pada sumber panasnya (heat source) untuk pembuatan uap, ketel uap diklasifikasikan sebagai:
  - a. Ketel uap dengan bahan bakar alami
  - b. Ketel uap dengan bahan bakar buatan



UNIVERSITAS MEDAN AREA

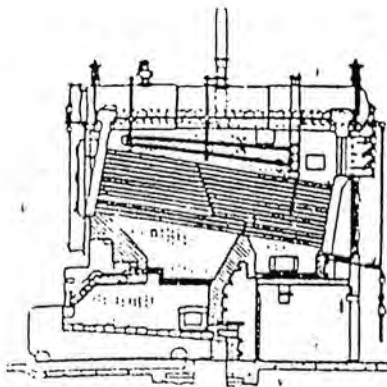
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

**Gambar 2. 4 Ketel Paket Scotch**

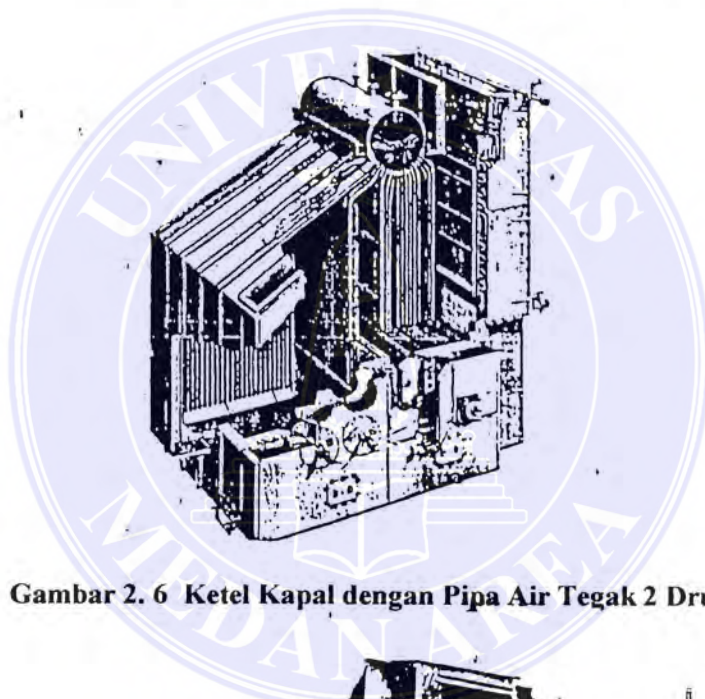
Document Accepted 6/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

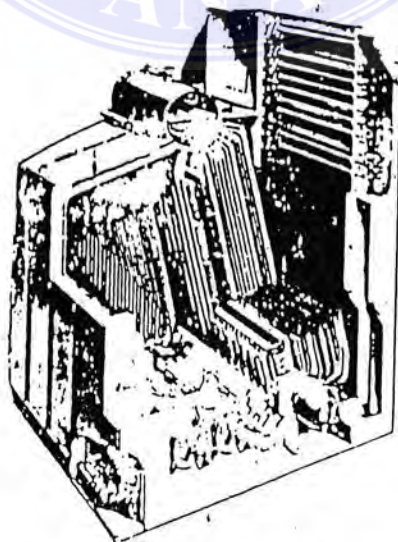
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



**Gambar 2. 5 Ketel dengan Pipa Air Lurus Mendatar**

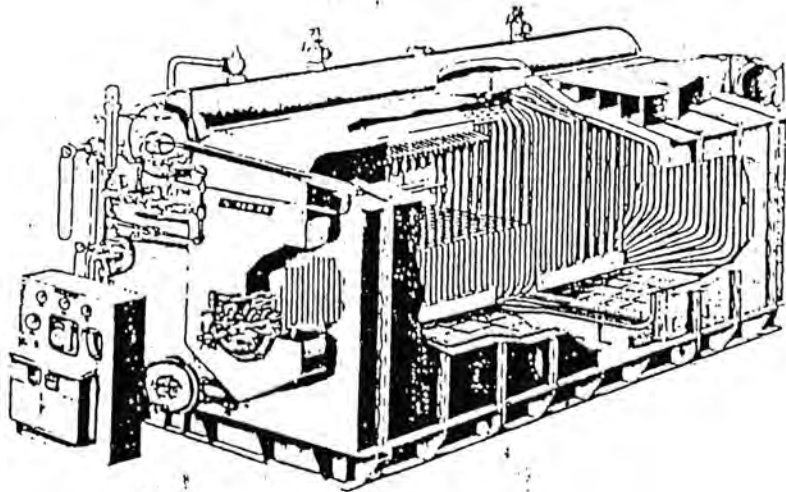


**Gambar 2. 6 Ketel Kapal dengan Pipa Air Tegak 2 Drum**



**Gambar 2. 7 Ketel Kapal dengan Pipa Air Miring 2 Drum**

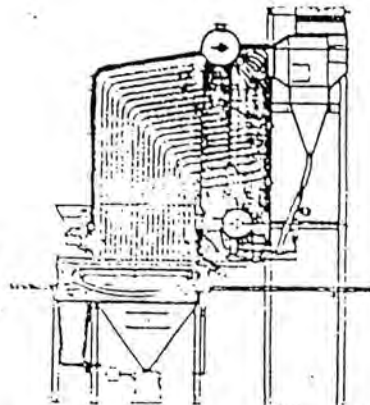




Gambar 2. 8 Ketel Uap Paket dengan Dua Drum Pipa Tegak



Gambar 2. 9 Ketel Uap Lokomotif



Gambar 2. 10 Ketel dengan Pipa Bengkok

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 6/9/23

Access From (repository.uma.ac.id)6/9/23



## C Bagian-Bagian Utama Ketel Uap

### 1. Drum Ketel

Drum ketel adalah tempat atau wadah penyimpanan air dan penampung uap yang dihasilkan oleh pipa water wall, 2/3 dari drum berisi air pada kondisi ketel bekerja. Air dan uap dipisahkan oleh suatu alat yang disebut “separator” yang terdapat dalam drum tersebut. Air pengisian yang masuk ke drum ketel melalui bagian bawah drum turun ke pipa-pipa water wall melalui pipa down comer. Setelah uap terbentuk di pipa water wall maka uap tersebut masuk ke drum ketel melalui bagian atas drum untuk seterusnya masuk ke superheater.

### 2. Pipa water wall

Pipa water wall terdiri dari susunan pipa yang ditempatkan pada sisi sebelah dalam ruang bakar, dimana pipa water wall ini berfungsi sebagai penerima panas dalam dapur. Sirkulasi air yang bergerak dari drum atas mengalir melalui pipa-pipa downcomer ke header bawah dan dari header bawah ini dialirkan ke pipa water wall dimana air dan uap sudah menjadi campuran.

### 3. Header

Header terdiri dari front header, side header, dan real header. Header adalah suatu tabung uap dan air yang dihubungkan dengan pipa-pipa water wall, pipa-pipa superheater yang berfungsi sebagai tabung pengumpul baik uap maupun air.

Pemanas lanjut uap atau superheater adalah alat untuk memanaskan uap basah menjadi uap yang dipanaskan lanjut (uap kering).

Uap yang dipanaskan lanjut bila digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi didalam turbin atau mesin uap tidak segera mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya yang disebabkan terjadinya pukulan balik atau back stroke yang diakibatkan mengembunnya uap belum pada waktunya, sehingga menimbulkan vakum ditempat yang tidak semestinya didaerah ekspansi.

Kemungkinan terjadinya pukulan balik atau back stroke ditempat yang belum semestinya lebih mudah terjadi bila yang digunakan adalah uap kenyang sebagai penggerak mesin uap atau turbin uap.

##### 5. Dapur ketel

Dapur (furnace) yang dimaksudkan disini adalah dapur tempat melakukan pembakaran bahan bakar secara efektif. Dapur boiler adalah suatu ruangan tempat terjadinya reaksi pembakaran bahan bakar dengan udara. Tujuan dengan adanya ruang bakar adalah energi panas yang diperoleh dari reaksi pembakaran antara bahan bakar dan udara dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin.

Dalam perencanaan ini dapur terdiri dari sebuah tungku yang disekelilingnya ditempatkan pipa-pipa air yang dipanasi oleh nyala api/gas panas sehingga penyerapan panas langsung dapat diterima oleh bidang yang dipanaskan.

Bahan bakar dimasukkan dari sisi dapur dengan gaya grafitasi dan

UNIVERSITAS MEDAN AREA  
disebarakan oleh sebuah pengopak mekanik, dengan tujuan agar penyebaran

Document Accepted 6/9/23

© 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

Access From (repository.uma.ac.id)6/9/23

bahan bakar merata di seluruh dapur sehingga penerimaan panas oleh pipa water wall merata. Lantai dapur dibuat berlubang-lubang dengan tujuan untuk membuang abu sisa pembakaran.

### C. Proses Pembentukan Uap

Kita ambil 1 kg es pada temperatur  $-10^{\circ}\text{C}$  kemudian kita panaskan dibawah tekanan standard.

Dapat dicatat bahwa temperatur es akan mulai naik sampai mendekati  $0^{\circ}\text{C}$  seperti diperlihatkan oleh garis AB pada gambar



Gambar 2.12 Proses Pembentukan Uap

Sesudah itu akan terlihat dua fase yang bercampur yaitu fase padat (es) dan fase cair (air) seperti yang diperlihatkan oleh BC, tidak ada kenaikan temperatur pada fase campuran ini hingga seluruh es mencair (terbentuk air).

Jumlah energi panas yang diberikan selama proses transformasi BC yang berlangsung tanpa kenaikan suhu disebut panas lebur, besarnya 80 kkal/kg. Titik  $0^{\circ}\text{C}$  disebut titik lebur (titik beku) es. Bila pemanasan diteruskan terhadap 1 kg air pada  $0^{\circ}\text{C}$  (titik C) maka temperatur air akan naik sampai  $100^{\circ}\text{C}$  dibawah tekanan standard seperti yang diperlihatkan oleh garis CD.



Bila proses pemanasan dilanjutkan sesuai garis DE dibawah tekanan standard akan terlihat bahwa temperatur tidak berubah. Sebagian air akan berubah menjadi uap (fase gas). Jadi selama berlangsungnya penambahan energi panas pada campuran ini, temperatur tidak naik tetapi energi panas terserap kedalam proses. Akhir dari proses campuran ini adalah terbentuknya uap air secara keseluruhan (air mendidih) pada titik E. Titik E ditandai dengan suhu 100 °C dan tekanan standard 1 atm. Angka 100 °C disebut titik didih air dibawah tekanan 1 atm (1,033 kg/cm<sup>2</sup>).

Jumlah energi yang terserap selama proses transformasi DE disebut panas penguapan (panas laten) yang besarnya 538,9 kkal/kg. Kondisi uap pada 1,033 kg/cm<sup>2</sup> absolut dan 100 °C disebut kondisi jenuh (saturasi). Uap yang terbentuk pada suhu dan tekanan saturasi disebut uap saturasi.

Kesimpulan proses ABCDEF tersebut dapat disimpulkan dalam tabel 2. 1

Proses	Energi masuk	Kkal kg
<b>Pemanasan es A - B</b>	$C_1[0 - (-10)]$	$10 C_1$
<b>Peleburan es B - C</b>	Panas lebur	80
<b>Penguapan air C - D</b>	$C_2 (100 - 0)$	$100 C_2$
<b>Penguapan D - E</b>	Panas laten	538,9
<b>Pemanasan lanjut E - F</b>	$C_3 [T_{sup} - T_{sat}]$	$C_3 (T_{sup} - 100)$

**Tabel 2. 1 Proses Pembentukan Uap**

Keterangan:

$$C_1 = \text{panas jenis es [kkal/kg } ^\circ\text{C]}$$

$$C_2 = \text{panas jenis air [kkal/kg } ^\circ\text{C]}$$

$$C_3 = \text{panas jenis uap [kkal/kg } ^\circ\text{C]}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/9/23

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  
 Access From (repository.uma.ac.id)6/9/23

$C_{sat}$  = temperatur uap saturasi

$C_{sup}$  = temperatur uap adipanas.

## E Perpindahan Panas Pada Dapur

Setelah terjadi proses pembakaran dalam dapur maka terjadi perpindahan panas (heat transfer) dan sumber panas hasil pembakaran terhadap bahan bakar pada bidang pemanas (heating surface) secara pancaran dan perambatan (radiasi dan konduksi). Dari bidang pemanas panas dilontarkan lagi pada air ketel secara rambatan (konduksi) dan sebagian panas diabaikan. Proses heat transfer berlangsung dengan 3 cara, yaitu:

1. Dengan cara Pancaran atau Radiasi
2. Dengan cara Aliran atau Konveksi
3. Dengan cara Perambatan atau Konduksi.

### 1. *Perpindahan panas secara Pancaran atau Radiasi*

Perpindahan panas secara Pancaran atau Radiasi adalah perpindahan panas antara suatu benda ke benda yang lain dengan jalan melalui gelombang-gelombang elektromagnetis tanpa tergantung kepada ada atau tidak adanya media atau zat diantara benda yang menerima pancaran panas tersebut.

Perpindahan panas secara pancaran dapat dibayangkan berlangsung melalui media berupa Aether yaitu suatu jenis materi bayangan tanpa bobot,

UNIVERSITAS MEDAN AREA

yang mengisi seluruh sela-sela ruangan diantara molekul-molekul dari suatu

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/9/23

zat tertentu, ataupun didalam ruangan hampa sekalipun. Molekul-molekul api

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

Access From (repository.uma.ac.id)6/9/23



yang merupakan hasil pembakaran bahan bakar dan udara akan menyebabkan terjadinya gangguan keseimbangan elektromagnetis terhadap Aether tersebut.

Sebagian dari panas atau energi yang timbul dari hasil pembakaran tersebut, diserahkan kepada Aether, dan yang akan menyerahkannya lebih lanjut melalui gelombang-gelombang elektromagnetis kepada benda atau bidang yang dipanasi ( dinding ketel, dinding tungku, lorong api, pipa-pipa ketel dan sebagainya). Penyerahan panas dari api atau gas asap melalui aether kepada bidang yang akan dipanasi tersebut melalui gelombang-gelombang elektromagnetik yang lintasannya lurus seperti halnya lintasan sinar.

Apabila lintasan penyerahan panas melalui gelombang-gelombang elektromagnetik dari aether tersebut tertutup atau terhalang oleh benda lain, maka bidang yang akan dipanasi tadi tidak akan menerima panas secara pancaran, atau terhalang penyerahan panas secara pancarannya. Semua zat-zat yang memancarkan panas (molekul-molekul api atau gas asap), intensitas radiasi thermisnya atau kuat pancaran panasnya tergantung dari temperatur zat yang memancarkan panas tersebut.

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

Adapun banyaknya panas yang diterima secara pancaran atau  $Q_p$  berdasarkan rumus dari Stephan-Boltzmann adalah sebagai berikut:

$$Q_p = C_z \cdot F \cdot [(T_{api} : 100)^4 - (T_{benda} : 100)^4] \text{ KJ / Jam}$$

$C_z$  konstanta pancaran dari Stephan-Boltzmann yang dinyatakan dalam  
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang Kine  $\text{Kilojoule/m}^2 \cdot \text{Jam} \cdot \text{K}^4$  atau dalam Watt/m<sup>2</sup> · K<sup>4</sup>.

Document Accepted 6/9/23

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 Access From (repository.uma.ac.id)6/9/23



Bila  $C_z$  dinyatakan dalam Kilojoule/m<sup>2</sup>. Jam. K<sup>4</sup> maka  $Q_p$  dinyatakan dalam Kilojoule/Jam .

Adapun besarnya  $C_z$  antara lain ditentukan oleh:

- Keadaan permukaan bidang yang dipanasi, kasar, halus;
- Bahan benda yang dipanasi: besi, tembaga, aluminium, dll;
- Warna benda yang dipanasi: hitam, abu-abu, putih;
- Dan lain – lain.

Harga-harga $C_z$	KJ/m <sup>2</sup> . Jam. K <sup>4</sup>	Watt/ m <sup>2</sup> . K <sup>4</sup>
- benda hitam pekat absolut	20,726	5,757
- jelaga yang licin	18,004	5,000
- baja yang dipoles .....	5,569	5,477
- baja berkarat .....	18,423	5,117
- besi tuang berkarat	16,748	4,652
- pasangan batu tahan api	19,260	5,350

$F$  = luas bidang yang dipanasi [m<sup>2</sup>]

$T$  = temperatur [ K]

Untuk perhitungan-perhitungan praktis lebih lanjut dalam teknik ketel uap, besarnya harga konstanta Stephan-Boltzmann

$$C_z = 16,75 \text{ KJ/m}^2 \cdot \text{Jam} \cdot \text{K}^4 = 4,65 \text{ Watt/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

## 2. Perpindahan panas secara aliran atau konveksi

Perpindahan panas secara aliran atau konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida (cair atau gas). Molekul-molekul fluida tersebut dalam gerakannya melayang kesana-kemari membawa

sejumlah panas masing-masing  $q$  [Joule]. Pada saat molekul fluida tersebut

menyentuh dinding ketel maka panasnya dibagikan sebagian, yaitu  $q_1$  [Joule] kepada dinding ketel, selebihnya yaitu  $q_2 = q - q_1$  [Joule] dibawa pergi.

Bila gerakan dari molekul-molekul yang melayang-layang kesana-kemari tersebut disebabkan karena perbedaan temperatur di dalam fluida itu sendiri, maka perpindahan panasnya disebut konveksi bebas atau konveksi alamiah. Bila gerakan molekul-molekul tersebut sebagai akibat dari kekuatan mekanis (karena dipompa atau karena dihembus dengan fan), maka perpindahan panasnya disebut konveksi paksa. Dalam gerakannya molekul-molekul api tersebut tidak perlu melalui lintasan yang lurus untuk mencapai dinding ketel atau bidang yang dipanasi.

Jumlah panas yang diserahkan secara Konveksi  $Q_K$  adalah :

$$Q_K = \alpha \cdot F (T_{api} - T_{dinding}) \text{ KJ/Jam}$$

Dimana :

$\alpha$  = Angka peralihan panas dari api kedinding ketel dinyatakan dalam Kilojoule/m<sup>2</sup>. Jam atau Watt/m<sup>2</sup>. K

Bila  $\alpha$  dinyatakan dalam KJ/m<sup>2</sup>. Jam. K

Bila  $\alpha$  dinyatakan dalam KJ/m<sup>2</sup>. Jam. K maka  $Q_K$  dinyatakan dalam KJ/Jam; sedangkan bila  $\alpha$  dinyatakan dalam Watt/m<sup>2</sup>. K maka  $Q_K$  dinyatakan dalam Watt.

### 3. *Perpindahan panas secara Perambatan atau Konduksi*

Perpindahan panas secara perambatan atau konduksi adalah perpindahan

UNIVERSITAS MEDAN AREA bagian benda padat kebagian lain dari benda padat yang sama,

atau dari benda padat yang satu ke benda padat yang lain karena terjadinya persinggungan fisik (kontak fisik atau menempel), tanpa terjadinya perpindahan molekul-molekul dari benda padat itu sendiri.

Di dalam dinding ketel tersebut, panas akan dirambatkan oleh molekul-molekul dinding ketel sebelah luar yang berbatasan dengan api, menuju ke molekul-molekul dinding ketel sebelah dalam yang berbatasan dengan air, uap ataupun udara. Untuk selanjutnya, panas yang dibawa merambat oleh dinding ketel tersebut akan diterima oleh molekul-molekul air, uap ataupun udara dengan konveksi pula, yaitu penyerahan sebagian panas dari molekul-molekul air, uap ataupun udara. Molekul-molekul air, uap ataupun udara tersebut dalam keadaan mengalir/bergerak, bukan dalam keadaan diam.

Jumlah panas yang dirambatkan  $Q_R$  melalui dinding ketel adalah sebesar

$$Q_R = \frac{\lambda}{s} \cdot F \cdot (T_{d1} - T_{d2}) \quad \text{Kilojoule / Jam}$$

$\lambda$  = Angka perambatan panas di dalam dinding ketel [KJ/m. Jam. K]

$s$  = Tebal dinding ketel [m]

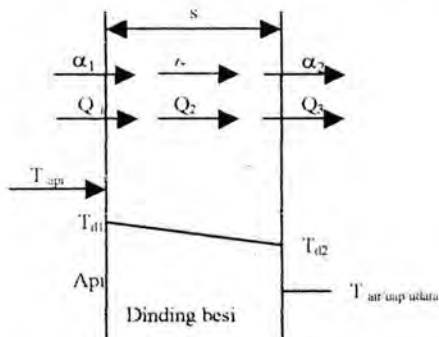
$F$  = Luas dinding ketel yang merambatkan panas [m<sup>2</sup>]

$T_{d1}$  = Temperatur dinding ketel yang berbatasan dengan api

$T_{d2}$  = Temperatur dinding ketel yang berbatasan dengan air, uap ataupun udara



## PERPINDAHAN PANAS MELALUI DINDING YANG BERSIH



Didalam gambar berikut ini, memisalkan api ada di sebelah kiri dari dinding ketel, sedangkan air, uap ataupun udara, ada di sebelah kanan dari dinding ketel.

Bila :  $F$  = Luas dinding ketel yang dilewati panas dinyatakan dalam  $m^2$

$s$  = Tebal dinding dalam m

$\lambda$  = Angka perambatan panas dalam KJ/m. Jam. K

$\alpha_1$  = Angka peralihan panas dari api ke dinding ketel [KJ/m<sup>2</sup>. Jam. K]

$\alpha_2$  = Angka peralihan panas dari dinding ketel ke air [KJ/m<sup>2</sup>. Jam. K]

$Q_1$  = Panas yang diserahkan oleh api kepada dinding ketel yang besarnya

$$Q_1 = \alpha_1 \cdot F \cdot (T_{api} - T_{d1}) \text{ Kilojoule/ Jam}$$

$Q_2$  = Panas yang dirambatkan di dalam dinding ketel yang besarnya :

$$Q_2 = \frac{\lambda}{s} \cdot F \cdot (T_{d1} - T_{d2}) \text{ Kilojoule/ Jam}$$

$Q_3$  = Panas yang diserahkan oleh dinding ketel ke air, uap ataupun udara, yang besarnya :

$$Q_3 = \alpha_2 \cdot F \cdot (T_{d2} - T_{air/uap/udara}) \text{ Kilojoule/ Jam}$$

$T_{d1}$  = Temperatur dinding ketel sebelah kiri [K]

$T_{d2}$  = Temperatur dinding ketel sebelah kanan [K]

Bila penyerahan panas dari api ke air, uap ataupun udara melalui dinding

ketel tersebut, keadaanya dalam keadaan seimbang (*steady state*), maka berarti

UNIVERSITAS MEDAN AREA

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

Sebab jika tidak demikian, yaitu bahwa bila :

$$Q_1 \neq Q_2 \neq Q_3 \neq Q$$

Maka berarti ada sejumlah panas yang tertinggal, sehingga temperatur dinding makin lama meningkat, yang berarti keadaan seimbang (*steady state*) adalah belum tercapai:

Ketiga persamaan tersebut kita ubah menjadi :

$$Q_1 = \alpha_1 \cdot F \cdot (T_{\text{api}} - T_{d1}) = Q \longrightarrow T_{\text{api}} - T_{d1} = \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{Q}{F} \quad (1)$$

$$Q_2 = \frac{\lambda}{s} \cdot F \cdot (T_{d1} - T_{d2}) = Q \longrightarrow T_{d1} - T_{d2} = \frac{s}{\lambda} \cdot \frac{Q}{F} \quad (2)$$

$$Q_3 = \alpha_2 \cdot F \cdot (T_{d2} - T_{\text{air}}) = Q \longrightarrow T_{d2} - T_{\text{air}} = \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{Q}{F} \quad (3)$$

---


$$\text{Penjumlahan (1) + (2) + (3) = } T_{\text{api}} - T_{\text{air}} = \frac{Q}{F} \times \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$

Bila  $\left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$  diganti dengan  $1/k_o$ ; maka persamaan tersebut berubah menjadi :

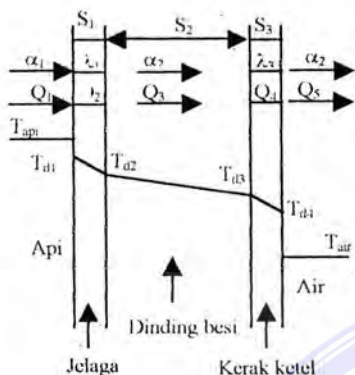
$$T_{\text{api}} - T_{\text{air}} = \frac{Q}{F} \times \frac{1}{k_o} \text{ atau } q = k_o \cdot F \cdot (T_{\text{api}} - T_{\text{air}})$$

$$\text{Dengan harga } k_o \text{ yang dicari dari } \frac{1}{k_o} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

$k_o$  = Angka perpindahan panas melalui dinding yang bersih [Watt/m<sup>2</sup>. K]

Dari rumus yang terakhir tadi, ternyata harga  $Q$  yang dihasilkan tanpa memperhatikan besarnya harga  $T_{d1}$  ataupun  $T_{d2}$ .

## PERPINDAHAN PANAS MELALUI DINDING YANG KOTOR



Seperti terlihat pada gambar, panas dari api dipindahkan kepada air, uap ataupun udara melalui lapisan – lapisan sebagai berikut : Jelaga – dinding besi – kerak ketel.

Adapun tahap – tahap perpindahan panasnya adalah sebagai berikut :

$Q_1$  = Panas yang diserahkan oleh api kepada jelaga yang besarnya

$$Q_1 = \alpha_1 \cdot F \cdot (T_{afi} - T_{d1}) \text{ Kilojoule/ Jam}$$

$Q_2$  = Panas yang dirambatkan di dalam jelaga yang besarnya :

$$Q_2 = \frac{\lambda_1}{s_1} \cdot F \cdot (T_{d1} - T_{d2})$$

$Q_3$  = Panas yang dirambatkan di dalam dinding ketel yang besarnya :

$$Q_3 = \frac{\lambda}{s_2} \cdot F \cdot (T_{d2} - T_{d3})$$

$Q_4$  = Panas yang dirambatkan di dalam kerak ketel yang besarnya :

$$Q_4 = \frac{\lambda_3}{s_3} \cdot F \cdot (T_{d3} - T_{d4})$$

$Q_5$  = Panas yang diserahkan dari kerak ketel kepada air, uap ataupun udara yang besarnya adalah :

$$Q_5 = \alpha_2 \cdot F \cdot (T_{d4} - T_{dair})$$

$\alpha_1$  = Angka peralihan panas dari api ke jelaga [KJ/m<sup>2</sup>. Jam. K]



$\alpha_2$  = Angka peralihan panas dari kerak ketel ke air, uap atau udara  
dinyatakan dalam [KJ/m<sup>2</sup>. Jam. K]

$\lambda_1$  = angka perambatan panas di dalam jelaga dalam [KJ/m. Jam. K]

$\lambda_2$  = angka perambatan panas di dalam dinding ketel dalam [KJ/m.  
Jam. K]

$\lambda_3$  = angka perambatan panas di dalam kerak ketel [KJ/m. Jam. K]

$s_1$  = Tebal lapisan jelaga [m]

$s_2$  = Tebal lapisan dinding ketel [m]

$s_3$  = Tebal lapisan kerak ketel [m]

$T_{d1}$  = Temperatur jelaga sebelah kiri [K]

$T_{d2}$  = Temperatur jelaga sebelah dalam (kanan) [K]  
= Temperatur dinding besi sebelah kiri

$T_{d3}$  = Temperatur jelaga sebelah kiri [K]  
= Temperatur dinding besi sebelah kiri

$T_{d4}$  = Temperatur kerak ketel sebelah kanan dalam [K]

Bila keadaan seimbang tercapai (steady state) maka:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = Q$$

Sebab jika tidak demikian, maka berarti ada panas yang tertinggal, yang berarti di suatu tempat temperturnya akan terus menerus meningkat

Kelima buah persamaan tersebut dapat ditulis menjadi:

$$Q_1 = Q = \alpha_1 \cdot F \cdot (T_{api} - T_{d1}) \longrightarrow T_{api} - T_{d1} = \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{Q}{F}$$

$$Q_2 = Q = \frac{\lambda_1}{s_1} \cdot F \cdot (T_{d1} - T_{d2}) \longrightarrow T_{d1} - T_{d2} = \frac{s_1}{\lambda_1} \cdot \frac{Q}{F}$$

$$Q_3 = Q = \frac{\lambda_2}{s_2} \cdot F \cdot (T_{d2} - T_{d3}) \longrightarrow T_{d2} - T_{d3} = \frac{s_2}{\lambda_2} \cdot \frac{Q}{F}$$

$$Q_4 = Q = \frac{\lambda_3}{s_3} \cdot F \cdot (T_{d3} - T_{d4}) \longrightarrow T_{d3} - T_{d4} = \frac{s_3}{\lambda_3} \cdot \frac{Q}{F}$$

$$Q_5 = Q = \alpha_2 \cdot F \cdot (T_{d4} - T_{air}) \longrightarrow T_{d4} - T_{air} = \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{Q}{F}$$

Dengan menjumlahkan kelima persamaan tersebut akan didapat hasil persamaan sebagai berikut :

$$T_{api} - T_{air} = \frac{Q}{F} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$

Dengan mengganti seluruh factor yang terdapat didalam kurung dengan  $1/k_k$

$$\frac{1}{k_k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}$$

$k_k$  = Angka perpindahan panas lansund dari api ke air melalui dinding ketel yang kotor , maka persamaan tersebut menjadi:

$$T_{api} - T_{air} = \frac{Q}{F} \times \frac{1}{k_k} \text{ atau diubah menjadi :}$$

$$Q = k_k \cdot F \cdot (T_{api} - T_{air})$$

Persamaan terakhir tadi menyatakan bahwa  $T_{air}$  ataupun  $T_{api}$  tidak tergantung dari tingginya temperatur dinding besi, temperatur jelaga, ataupun temperatur kerak ketel.

## BAB III

### RUANG BAKAR DAN PEMBAKARAN

#### I. Ruang Bakar

Ruang bakar adalah tempat terjadinya pembakaran bahan bakar. Di dalam ruang bakar akan terjadi reaksi oksidasi dari unsur-unsur bahan bakar sehingga akan dihasilkan energi panas. Untuk menerima energi panas dari reaksi tersebut maka disekeliling ruang bakar ditempatkan pipa-pipa air (water wall). Dinding dapur diisolasi dengan peralatan yang dapat menghalangi energi panas tersebut keluar, sehingga kehilangan kalor dapat dikurangi sekecil mungkin.

Peralatan – peralatan yang ditempatkan di dinding ruang bakar selain dari pipa water wall yaitu :

1. Manhole, sebagai tempat masuknya orang ke ruang bakar untuk mengadakan pemeriksaan atau pembersihan ketel. Juga berfungsi untuk memasukkan bahan bakar sewaktu memulai pembakaran.
2. Peralatan pemasukan bahan bakar (feeder).
3. Saluran udara sekunder berfungsi untuk memasukkan udara sekunder dari samping ruang bakar.
4. Lubang intip yang berfungsi sebagai alat untuk melihat keadaan pembakaran di ruang bakar.
5. Alat penebar bahan bakar, agar bahan bakar tersebut tersebar merata ke seluruh ruang bakar.



Jenis – jenis tungku berdasarkan penempatannya di dalam ruang bakar ketel uap adalah:

#### *A Tungku depan*

4erletak sama seklai di bagian depan dari ketel uap. Rangka bakarnya dikelilingi seluruhnya oleh tembok ketel dari batu tahan api, sehingga hanya sebagian kecil dari panas yang dipancarkan di dalam tungku yang diterima oleh bidang pemanas.

Tembok tersebut akan menyerap panas pembakaran dan menyimpannya dalam waktu relatif lama sehingga konstruksi ini baik untuk bahan bakar yang memiliki kalor pembakaran yang rendah, atau bahan bakar yang memiliki tingkat kelembaban yang tinggi. Panas dari tembok tersebut akan memudahkan bahan bakar mencapai temperatur pembakarannya.

Kelemahan tungku ini adalah:

- Banyak membutuhkan tempat.
- Banyak panas yang terbuang.
- Setiap memulai pembakaran setelah istirahat ( berhenti) maka diperlukan banyak waktu dan kalor untuk menaikkan temperatur dinding tembok terlebih dahulu.
- Untuk bahan bakar yang memiliki nilai pembakaran yang tinggi, maka jenis ini sama sekali tidak cocok, karena temperatur api yang tinggi yang dihasilkan akan cepat merusak tembok-tembok tersebut.

### *B Tungku dalam*

Terletak sama sekali dikelilingi oleh bidang yang dipanaskan dari ketel uap. Karena itu panas yang terserap oleh penyerap panas (air) akan lebih besar. Dengan demikian temperatur di dalam tungku menjadi rendah, sehingga tidak cocok untuk bahan bakar dengan nilai pembakaran rendah, juga tidak cocok untuk bahan bakar yang menghasilkan jelaga yang banyak. Kerugian panas karena pancaran panas oleh tungku keluar sedikit sekali dan juga tungku dalam tidak banyak menyita ruangan.

Tungku jenis ini umumnya dipakai untuk ketel pipa api dimana disekeliling dinding ruang bakar adalah berisi air dan air ini bertindak sebagai pendingin dari ruang bakar. Kerugian dari jenis tungku ini adalah terbatasnya ukuran – ukuran tungku tergantung dari dimensi ketel uapnya atau tergantung dari besarnya silinder api, karena panjang rangka tidak lebih dari 2 meter.

### *C Tungku bawah*

Tungku bawah adalah tungku dimana dinding – dinding tungkunya dikelilingi oleh pipa – pipa air, baik seluruhnya maupun sebagian. Karena dinding tungku terdapat pipa – pipa air maka penyerapan panas akan langsung diterima oleh bidang yang dipanaskan.

Tungku ini umumnya banyak digunakan pada ketel uap pipa air. Dan dalam perencanaan ini juga menggunakan jenis tungku ini.

Keuntungan tungku bawah adalah:

- Kerugian kalor radiasi dari bahan bakar cukup kecil sebab kalor radiasi langsung diterima oleh dinding penguap.

- Sangat cocok untuk bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang tinggi.
- Ukuran rangka bakar sangat fleksibel tergantung dari jenis bahan bakar dan kapasitas uap yang diinginkan.

## II. Bahan Bakar

Bahan bakar adalah sumber energi yang akan dimanfaatkan untuk membakitkan uap. Dalam perencanaan ini bahan bakar diambil dari sisa produksi yaitu cangkang dan serabut dengan berbagai pertimbangan. Cangkang dan serabut tersebut dimasukkan ke ruang bakar secara tercampur dengan tujuan agar pembakaran bahan bakar tersebut sempurna dalam arti semua bahan bakar habis terbakar. Seperti kita ketahui cangkang dan serabut tersebut memiliki sifat fisik yang berbeda dimana serabut berbentuk rambut – rambut yang kecil dan memanjang, sehingga memiliki luas permukaan kontak dengan  $O_2$  lebih besar. Ini sangat berguna berada diantara cangkang yang berbentuk kecil dan padat, sehingga dapat diharapkan semua cangkang akan ikut terbakar.

Pemasukan bahan bakar ke ruang bakar tanpa memilah – milah perbandingan antara serabut dan cangkang, sehingga perbandingan tersebut sesuai dengan besarnya kandungan cangkang dan serabut di dalam buah sawit yaitu serabut sebesar 13 % dan cangkang sebesar 6 %. Perbandingan tersebut sudah memadai karena bila cangkang terlalu banyak dapat mengakibatkan cangkang tersebut mengumpul dan menggumpal di lantai dapur tanpa terbakar.



Pemasukan bahan bakar ke ruang bakar dapat diatur dengan kecepatan feeder. Bahan bakar juga ditebarkan ke ruang bakar oleh alat penebar sehingga bahan bakar akan tersebar secara merata ke seluruh rangka bakar. Ini dimaksudkan untuk lebih memungkinkan terbakarnya semua bahan bakar secara sempurna.

### III. Udara Pembakaran

Udara pembakaran memasuki ruang bakar dengan dua jalan, yaitu :

- Udara memasuki dapur melalui bagian bawah rangka bakar yang berkisi – kisi dengan bantuan fan tarikan tekan.
- Udara memasuki dapur melalui bagian atas bahan bakar di rangka bakar.

Udara primer ini akan menerbangkan abu sebagian ke atas dan sebagian akan jatuh ke bawah rangka bakar melalui kisi – kisi rangka bakar.

Fan udara akan menekan udara pembakaran untuk memasuki ruang bakar ketel. Kebutuhan udara pembakaran harus cukup untuk melangsungkan proses pembakaran dengan baik. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna maka digunakan udara berlebih sebesar 30 % dengan harapan bahan bakar dapat terbakar seluruhnya, sehingga energi yang terkandung di dalam bahan bakar dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin.

Pemasukan udara primer berkisar 90 % dari kebutuhan udara total. Aliran udara sekunder dihembuskan ke dalam tungku dari sebelah atas rangka bakar dan tegak lurus dari aliran nyala api. Jumlah udara sekunder yaitu berkisar 10 % dari kebutuhan total udara. Dengan pemasukan udara pembakaran seperti di atas dapat diharapkan pembakaran yang terjadi adalah sempurna.

#### IV. Rangka Bakar Tetap (Stationary Grate)

Rangka bakar tetap adalah suatu rangka bakar yang tidak dapat membawa bahan bakar ke ujung lain dari dapur ketel. Karena itu di dalam rangka bakar tetap ini perlu dibantu oleh alat penebar bahan bakar (Spreader Stoker).

Spreader akan menebarkan bahan bakar ke seluruh ruang bakar. Dengan suatu kecepatan putar tertentu dari spreader, penebaran dapat berlangsung dengan baik.

Dasar perancangan dari rangka bakar tetap adalah karena rangka bakar tetap memiliki konstruksi yang lebih sederhana, karena itu rangka bakar tetap adalah yang termurah dari segala jenis rangka bakar.

Feeder terdiri dari sudu – sudu yang pendek pada sebuah permukaan drum yang berputar untuk mengeluarkan bahan bakar dari bawah hopper, dan seterusnya spreader akan menebarkan bahan bakar ke seluruh ruang bakar.

Kecepatan putaran feeder adalah berbanding langsung dengan output uap dari ketel, kecepatan pembakaran di ruang bakar. Spreader (distributor) terdiri dari poros dengan kincir yang menyilang untuk menebarkan bahan bakar ke kiri dan ke kanan dari dapur. Putaran yang cepat dari kincir pada spreader ini akan melemparkan bahan bakar ke ruang bakar. Dengan kecepatan putaran tertentu, pendistribusian bahan bakar ke kiri dan ke kanan dari dapur dapat terjadi secara merata. Jadi pendistribusian bahan bakar ke ruang bakar tergantung dari kecepatan putaran spreader yang dapat divariasikan sesuai dengan kebutuhan dan juga ukuran dari bahan bakar tersebut.

Rangka bakar terdiri dari batang – batang besi yang diberi kisi – kisi dengan panjang kira – kira 3 ft dan lebar 6 in dan ketebalan kira – kira 6 in. Tiap batang di poroskan sejajar ke arah panjang 3 ft dari batang tersebut sedemikian rupa sehingga masing – masing batang berdekatan dan membentuk bagian dari rangka bakar.



## BAB VI

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan serta dari analisa yang dilakukan penulis di lapangan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Ketel uap yang digunakan adalah ketel uap pipa air dengan merk TITAN BD 56 / 300 dengan kapasitas uap yang dihasilkan oleh ketel = 18 [Ton uap/jam]  
Dengan perincian : 16 [Ton uap/jam] untuk turbin  
2 [Ton uap/jam] untuk daerator
2. Uap yang dihasilkan digunakan untuk memutar turbin, untuk keperluan daerator serta untuk proses pengolahan buah kelapa sawit, dimana uap yang digunakan untuk proses pengolahan berasal dari uap keluaran turbin.
3. Tekanan uap yang dihasilkan oleh ketel = 20 [kg/Cm<sup>2</sup>]
4. Temperatur air umpan = 104,98 °C  
Enthalpi air umpan = 102,83 °C
5. Bahan bakar yang digunakan adalah cangkang dan serabut
6. Jumlah bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan uap = 173,40 [kg/jam]
7. Nilai pembakaran bawah bahan bakar = 2975,4 [kkal/kg]
8. Nilai pembakaran atas bahan bakar = 13535,53 [kkal/kg]
9. Kalor pembakaran bahan bakar = 13261313,47 [kkal/kg]
10. Kalor udara yang diperlukan untuk pembakaran = 21549,75 [kkal/kg]



11. Gas asap yang dihasilkan dari hasil pembakaran = 8,21 [kg/kg. bb]
12. Suhu uap keluar dari ketel 280 °C, entalpi uap keluar dari ketel = 710,6 [kkal/kg]
13. Efisiensi ketel sebesar = 80 %
14. Dari hasil analisa yang dilakukan penulis, jika dibandingkan dengan data-data yang diperoleh dari lapangan tidak jauh berbeda, dengan demikian bahwa pengoperasian ketel uap di PT. GALUHINDO berjalan dengan baik serta ketel uap yang digunakan masih layak untuk digunakan.

## B. Saran

1. Untuk pembakaran yang sempurna harus diperhatikan pemberian udara yang berlebihan karena sangat berpengaruh terhadap pembakaran di dapur.
2. Untuk proses kerja boiler hendaknya diperhatikan kebutuhan bahan bakar, kebutuhan udara, analisa gas asap, temperatur air umpan serta temperatur uap keluar dari ketel untuk lebih meningkatkan efisiensi ketel.
3. Sebelum melakukan pengoperasian ketel uap harus diperhatikan prosedur dan petunjuk yang telah ditentukan untuk menghindari bahaya yang terjadi.
4. Sebaiknya ketel uap harus dirawat dan dijaga dengan baik supaya dapat bertahan lama.
5. Dilakukan inspeksi terhadap ketel uap sekali dalam sebulan.
6. Sebaiknya dalam penaburan bahan bakar jangan sampai bergumpal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Djokosetiarjo, M. J. 1987. **Ketel Uap**. Jakarta. Pradya Paramita. Cetakan Pertama.
- Holman, J. P. 1995. **Perpindahan Kalor**. Jakarta. PT. Erlangga. Edisi Keenam.
- Muin, Syamsir A. 1988. **Pesawat - Pesawat Konversi Energi I Ketel Uap**. Jakarta. PT. Erlangga.
- Berman, Hutahaean. 1994. **Bahasa Indonesia Untuk Politeknik**. Jilid II Politeknik Negeri Medan.
- Kreith, Frank. 1991. **Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas**, Jakarta. PT. Erlangga. Edisi Ketiga.
- Sugiono, Bambang A. P. 1995. **Dasar – Dasar Termodinamika Teknik dan Perpindahan Panas**.