

ANALISA PADA DRUM KETEL PIPA API

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Ujian Sarjana

Oleh :

ALI PONTAS LUBIS
NIM : 00.813.0020



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2005**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

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)22/7/24

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

ANALISA PADA DRUM KETEL PIPA API

TUGAS AKHIR

OLEH

ALIPONTAS LUBIS
NIM : 00 813 0020

Disetujui oleh :

Pembimbing I

(Ir. Tugiman K, MT.)

Pembimbing II

(Ir. Surya Keliat)

Mengetahui :

Dekan

(Drs. Dadan Ramdan, MEng.MSc.)

Ketua Program Studi

(Ir. Dariantto, MSc.)

Tanggal Lulus : 18 Maret 2005

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
Access From (repository.uma.ac.id)22/7/24



UNIVERSITAS MEDAN AREA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

TUGAS RANCANGAN / TUGAS AKHIR

Agenda : /FT/TA/2005
Diterima :
Paraf :

Nama : Ali Pontas Lubis
No. Stb : 00 813 0020
Mata Kuliah : Ketel Uap/Konversi Energi
Spesifikasi : Analisa Pada Drum Ketel Jenis Pipa Api

Pembahasan tentang :

- Survey lapangan dan study literatur
- Perpindahan panas pada ketel uap (Boiler Tube)
- Perhitungan dimensi drum ketel
- Perhitungan kekuatan drum ketel

Diberikan tanggal :
Selesai tanggal :

Medan, Juli 2005

Ketua Jurusan Mesin

Dosen Pembimbing

(Ir. Darianto, MSc.)

(Ir. Tugiman K, MT.)

Koordinator Rencana Tugas

(Ir. Amirsyam Nasution, MT.)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

RINGKASAN

Ketel merupakan alat yang terpenting dalam sebuah Pabrik Kelapa Sawit (PKS), Pabrik Minyak Goreng dan Industri yang mengolah Bahan – Bahan Kimia. Dalam hal ini, Ketel terbagi 2 jenis yaitu Ketel Pipa Api dan Ketel Pipa Air.

Untuk itu pada Ketel Pipa Api sering terjadi kerusakan pada Drum Ketel tersebut.

Akibat dari kerusakan pada Drum Ketel, maka akan mengakibatkan system proses produksi berhenti atau tidak berjalan normal. Sehingga merugikan dalam biaya produksi yang disebabkan kebocoran dan meledaknya Drum Ketel tersebut.

Hal ini terjadi disebabkan karena usia, korosi dan tempratur pada Ddrum yang melebihi standart.

Jadi dari analisa yang di lakukan usia maksimum untuk Ketel Pipa Api adalah sekitar 30 Tahun dan material yang di gunakan untuk Baja anti korosi yaitu Carbon Stell (Baja Carbon). Dan untuk tekanan tempratur yang ijinkan sebesar: 160,70°C 321,26°F

Sehingga kenyataan yang di dapat dari hasil survey agar usia maupun peralatan – peralatan Ketel lebih tahan lama , maka di sarankan Tempratur, Tekanan , tidak melebihi dari yang sudah di tetapkan yaitu sekitar 30 Tahun.

ABSTRAK

Steaming Boiler represent all important element in a Coconut Factory of Sawit , Crutch Palm Oil and of Industry witch Process Chemicals Material.

Where the Boiler devided 2 type , that is Fire Tube pipe Boiler and Water Tube pipe Boiler.

For that at Fire Tube pipe Boiler at Tube always happened damage at Drum like leakage and break.

Effect of Damage of Boiler at Boiler Tube , will result Production Process desist or do not walk normally. So that harm Production cost wich because of leakage and burst it Boiler Tube. That thing happened because of , age , temperature , and corrosi at excecting tube standart. From conducted analysis , maximum age for the Steaming Boiler of Fire Tube Boiler is : 30 Year and material which in making at Drum that is anti corrosive stell like stell carbon. Where as for the pressure of temperature is aqualto : 160,70°C , 321,26°F

Fact which in earning from result of survey Temperature, Pressure and Aquipment in the reality age at Boiler Tube don't exceed from which have in specifying that is during : 30 Year.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana ini.

Tugas sarjana ini adalah salah satu kewajiban yang harus dilaksanakan bagi setiap mahasiswa guna menyelesaikan pendidikannya di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Adapun judul dari tugas sarjana yang diambil adalah **“Ketel Uap”** yaitu analisa pada drum ketel pipa api.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang tercinta yaitu Ayahanda Alm. Abdulrahim Lubis dan Ibunda Nursaimah Caniago, yang telah memberikan dorongan dan mendoakan penulis selama mengikuti perkuliahan sampai selesai penyusunan tugas sarjana ini.
2. Kakanda tercinta Rahmadia Lubis, Masdelina Lubis, Ummiana Lubis, dan adinda Ali Mahdi Lubis yang telah memberikan bantuan dan dorongan kepada penulis baik moril maupun materil selama perkuliahan sampai selesai penyusunan tugas sarjana ini.
3. Abangda tercinta Saruddin Rambe yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan baik moril maupun materil dalam penyusunan tugas sarjana ini.
4. Bapak Ir. Darianto, Msc selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik UMA.
5. Bapak Ir. Tugiman K, MT selaku Dosen Pembimbing I.
6. Bapak Ir. Surya Keliat selaku Dosen Pembimbing II yang telah membantu serta meluangkan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana ini.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

7. Rekan-Rekan mahasiswa Fakultas Teknik Mesin Angkatan 2000, R. Hadi Susilo, Erbinto, Abdurrahman, Jojo yang telah memberikan dorongan dan masukan dalam penyelesaian tugas sarjana ini.
8. Adinda Halizah Andriani Lubis yang telah memberikan bantuan moril kepada penulis dalam penulisan tugas sarjana ini sehingga dapat terselesaikan.
9. Adinda tercinta Heni Sigit Purwanti yang telah memberikan dorongan dan masukan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa tugas sarjana ini masih banyak kekurangan dan sangat jauh dari kesempurnaan, baik berupa sistematika penulisan, tata bahasa dan juga dalam perhitungan bagian-bagiannya.

Dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan masukan dan kritik yang bersifat membangun kesempurnaan penulisan tugas sarjana ini.

Akhir kata kiranya Allah S.W.T. memberikan rahmat dan karuniaNya kepada mereka yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan tugas sarjana ini, mudah-mudahan tugas sarjana ini bermanfaat bagi kita semua, Amin.

Medan, Juli 2005
Penulis

ALI PONTAS LUBIS
NIM. 00 813 0020

DAFTAR ISI

| | Hal. |
|---|------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| DAFTAR NOTASI | vii |
| BAB I : PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2. Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.3. Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4. Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II : TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1. Sejarah Perkembangan Ketel Uap | 4 |
| 2.2. Klasifikasi Ketel Uap..... | 5 |
| 2.2.1. Ketel pipa api | 5 |
| 2.3. Bagian-Bagian Utama Ketel Uap..... | 11 |
| 2.4. Peralatan Bantu Pada Ketel Uap | 16 |
| 2.5. Nilai Pembakaran..... | 18 |
| 2.5.1. Kebutuhan Udara Pembakaran..... | 18 |
| 2.5.2. Analisa Pembakaran Bahan Bakar | 20 |
| 2.5.3. Nilai Kalor Bahan Bakar | 20 |
| 2.5.4. Sistim Penyalaan Bahan Bakar | 21 |

| | |
|---|----|
| 2.5.5. Temperatur Nyala Pembakaran..... | 23 |
| 2.6. Proses Pembentukan Uap..... | 23 |
| 2.7. Perpindahan Panas Pada Ketel Uap | 25 |
| 2.7.1. Perpindahan panas secara radiasi..... | 26 |
| 2.7.2. Perpindahan panas secara konveksi | 26 |
| 2.7.3. Perpindahan panas secara konduksi..... | 27 |
| 2.8. Sirkulasi Pada Air Ketel Uap | 29 |
| 2.8.1. Sirkulasi Alam..... | 30 |
| 2.8.2. Sirkulasi Paksa | 31 |
| 2.9. Ukuran-Ukuran Utama Ketel Uap | 32 |
| 2.9.1 Ruang bakar | 33 |
| 2.9.2. Perhitungan Dimensi Ruang Bakar..... | 35 |
| 2.9.3. Perpindahan Panas Pada Ruang Bakar..... | 38 |
| 2.10. Analisa Gas Asap | 41 |
| 2.11. Kerugian Panas dan Neraca Panas | 45 |
| 2.12. Kerugian Cerobong | 46 |
| 2.13. Kerugian Panas Karena Terbentuknya Gas-Gas Pembakaran Pada Pembakaran Yang Tidak Sempurna..... | 47 |
| 2.14. Kerugian Panas Karena Terdapatnya Unsur Carbon Dalam Abu dan Terak..... | 48 |
| 2.15. Kerugian Karena Abu dan Terak Yang Mengandung Panas | 48 |
| 2.16. Kerugian Panas Karena Perpindahan Panas Oleh Peralatan Ketel | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 2.17. Kerugian Panas Karena Kandungan Air Dalam Bahan Bakar (Moisture)..... | 49 |
| 2.18. Kerugian Panas Karena Kandungan Hidrogen (H ₂) Dalam Bahan Bakar..... | 51 |
| BAB III : METODELOGI PENELITIAN | 53 |
| 3.1. Mengajukan Judul..... | 53 |
| 3.2. Pengumpulan Data..... | 54 |
| 3.3. Sistematika Penulisan..... | 54 |
| 3.4. Flowchart Tahap-Tahap Penulisan..... | 55 |
| BAB IV : PEMBAHASAN | 56 |
| 4.1. Drum Ketel..... | 57 |
| 4.2. Dimensi Drum Ketel..... | 57 |
| 4.3. Perhitungan Kekuatan Drum Ketel..... | 61 |
| BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN | 67 |
| A. Kesimpulan..... | 67 |
| B. Saran..... | 68 |
| DAFTAR PUSTAKA | 69 |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

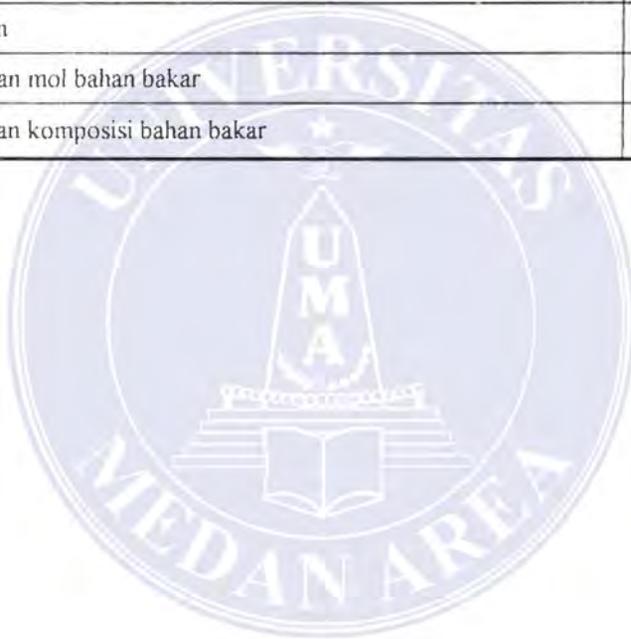
| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1. Penampang ketel Schotch..... | 8 |
| Gambar 2.2. Penampang ketel Lokomotif..... | 8 |
| Gambar 2.3. Penampang ketel tegak..... | 8 |
| Gambar 2.4. Ketel – D (D-Boiler)..... | 11 |
| Gambar 2.5. Ketel Pancaran..... | 11 |
| Gambar 2.6. Diagram T – s pada proses pembentukan uap..... | 24 |
| Gambar 2.7. Perpindahan panas secara konveksi..... | 27 |
| Gambar 2.8. Perpindahan panas secara konduksi..... | 28 |
| Gambar 2.9. Perpindahan panas konduksi pada silinder atau pipa..... | 29 |
| Gambar 2.10. Pemakaian sirkulasi alam yang sederhana..... | 31 |
| Gambar 2.11. Sirkulasi paksa..... | 32 |
| Gambar 2.12. Ketel pipa api..... | 33 |
| Gambar 2.13. Penampang Profil Gelombang Lorong Api..... | 34 |
| Gambar 2.14. Profil lengkungan dinding ruang bakar jenis fox..... | 37 |
| Gambar 2.15. Distribusi Kalor (panas) dalam lorong api dan pipa api..... | 40 |
| Gambar 2.16. Penganalisis orsat gas asap..... | 42 |
| Gambar 4.1. Dimensi drum ketel..... | 58 |
| Gambar 4.2. Perhitungan geometri dari dimensi drum ketel..... | 58 |
| Gambar 4.3. Sketsa lorong api dan pipa-pipa api..... | 59 |
| Gambar 4.4. Tegangan pada elemen kecil pada dinding drum ketel..... | 61 |
| Gambar 4.5. Distribusi tegangan Tangensial pada Drum Ketel..... | 62 |
| Gambar 4.6. Distribusi Tegangan Aksial..... | 64 |

DAFTAR NOTASI

| SIMBOL | KETERANGAN | SATUAN (SI) |
|-------------------|---|--------------------|
| A | Luas permukaan, luas penampang | m ² |
| C _p | Panas jenis pada tekanan konstan | kJ/kgk |
| C _c | Faktor koreksi untuk CO ₂ | - |
| C _w | Faktor koreksi untuk C ₂ O | - |
| d | Diameter pipa | mm |
| D | Diameter drum | mm, m |
| h | Entalpi Fluida koefisien perpindahan panas konveksi | kJ/kg |
| HHV | Nilai Pembakaran atas | kJ/kg |
| L | Panjang pipa | m |
| | Panjang ruang bakar | m |
| L _f | Panjang nyala api | m |
| L _c | Panjang berkas rata-rata | m, ft |
| L _p | Panjang permukaan ruang bakar sesungguhnya | m |
| LHV | Nilai pembakaran bawah | kJ/kg |
| m | Laju aliran massa | kJ/kg |
| n | Mol senyawa campuran | - |
| P, P _k | Tekanan ketel | bar |
| P _{dkm} | Tekanan kerja drum ketel | kg/cm ² |
| Q | Kalor yang lepas/diserap | kJ/jam |
| Q _{kl} | Kalor keluar lorong | kJ/jam |
| Q _{pa} | Kalor pipa api | kJ/jam |
| Q _{rb} | Kalor ruang bakar | kJ/jam |
| R | Jari-jari | m, mm |
| t | Tebal | m, mm |
| T | Temperatur | K, °C |
| T _{gkl} | Temperatur gas keluar lorong | °F, °C |
| T _{gkp} | Temperatur gas keluar pipa | °F, °C |
| U | Koefisien Perpindahan panas menyeluruh | W/m ² K |
| v | Volume spesitik | m ³ /kg |
| V | Volume | m ³ |
| Y | Tinggi antara puncak sisi gelombang ruang bakar | m |

Notasi Yunani

| SIMBOL | KETERANGAN | SATUAN (SI) |
|---------------|------------------------------------|---------------------------------|
| α | Absorbsivitas gas | - |
| β | Koefisien Volume pemuaian | K^{-1} |
| ε | Emisivitas | - |
| η | Efisiensi | % |
| μ | Viskositas dinamik | kg/ms |
| ρ | Massa jenis | kg/m ³ |
| σ | Konstanta Stefan Boltzman | W/m ² K ⁴ |
| τ | Tegangan geser | kN/m ² |
| ω | Kelembaban | % |
| ξ | Perbandingan mol bahan bakar | - |
| ψ | Perbandingan komposisi bahan bakar | - |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pada masa perkembangan industri yang mengimbangi kemajuan Teknologi dewasa ini, untuk kebutuhan energi yang terus menerus meningkat, untuk mengantisipasi, dalam hal ini dilakukan berbagai macam cara untuk memenuhi kebutuhan energi. Diantaranya dengan mengembangkan sumber-sumber tenaga seperti Tenaga Gas, Tenaga Uap, Tenaga Air maupun Tenaga Nuklir.

Berkaitan dengan itu Tenaga Uap merupakan salah satu alternatif dalam pengembangan yang cukup besar nilainya, baik ditinjau dari segi penggunaan maupun biaya pengoperasian.

Ketel Uap untuk sekarang digunakan pada Pembangkit Tenaga (Power Plant) industri-industri, hotel dan lain-lain.

Dalam pemakaiannya Uap (steam) sangat dipengaruhi oleh Kapasitas, Tekanan Temperatur serta Kualitas Uap tersebut.

Uap (steam) terjadi akibat perubahan fase air (liquid) menjadi fase uap dengan cara pendidihan (Boiling). Untuk itu pada Drum Ketel Pipa Api akibat terjadinya proses perpindahan panas dari peralatan pemanas terhadap air yang merupakan fluida cair yang menerima panas (Kalor) merubah menjadi uap. Serta mengatur sirkulasi uap dan air.

Dalam hal ini peranan penulis akan membahas lebih lanjut tentang Drum Ketel pada Sistem Perpindahan Panas (kalor) serta Kekuatan, Tekanan, Ketebalan, Material yang digunakan dan diameter Drum Ketel.

1.2. Tujuan Penelitian

Dewasa ini Teknologi yang digunakan semakin maju dan terus berkembang. Hal ini dapat menimbulkan kesan yang lain bila mengadakan pengamatan dan menganalisa.

Pada ketel uap tepatnya Drum ketel (Bejana yang tertutup) merupakan sebagai pusat sirkulasi Air dan uap. Dimana pusat sirkulasi air dan uap dipisahkan melalui pipa-pipa api dalam drum ketel.

Adapun tujuan dari survey yang diinginkan oleh penulis adalah :

- a. Menganalisa pada Drum ketel pipa api
adapun yang dianalisa yaitu :
 - Sistim perpindahan kalor (Heat Exchanger) dalam Drum ketel :
 - Perpindahan panas secara radiasi
 - Perpindahan panas secara konveksi
 - Perpindahan panas secara konduksi
 - Kekuatan, ketebalan, Tekanan, Diameter, dan Material yang digunakan pada Drum ketel

1.3. Batasan Masalah

Dalam hal ini, Bagian dari ketel uap yang dianalisa adalah Drum Ketel jenis pipa api yang merupakan ketel uap dengan kapasitas kecil dimana mampu memproduksi uap sebanyak 10 ton uap/jam dengan Tekanan maksimum 24 kg/cm^2 .

Adapun batasan masalah yang di analisa dari survey adalah :

- a. Sistim perpindahan panas pada pipa api drum ketel
- b. Dimensi pada drum ketel
- c. Perhitungan pada drum ketel

1.4. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian dan survey yang di lakukan, penulis dapat mengerti serta memahami cara kerja dari Ketel uap drum ketel pipa api.

Adapun manfaat dari penelitian yang di maksud adalah:

- a. Mengetahui sistim perpindahan panas pada drum ketel
- b. Mengetahui kekuatan, ketebalan, serta material yang di gunakan pada drum ketel.
- c. Mengetahui pengertian, fungsi, cara kerja, klasifikasi dan sejarah perkembangan ketel uap.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sejarah Perkembangan Ketel Uap

Uap (steam) dalam pembicaraan selanjutnya dimaksudkan Uap air yaitu gas yang timbul akibat dari perubahan fase air (cair) menjadi uap (gas) dengan pendidihan (Boiling).

Untuk melakukan proses pendidihan dilakukan energi panas yang diperoleh dari sumber panas misalnya dari pembakaran Bahan Bakar, (padat, cair maupun gas) tenaga listrik dan Gas panas merupakan sebagai sisa proses kimia serta tenaga nuklir.

Penguapan terjadi bila disembarang tempat dan waktu pada tekanan normal (atau mutlak), bila diatas permukaan zat cair tekanan turun, atau diturunkan dibawah tekanan mutlak.

Uap yang terjadi akan dihasilkan mempunyai Energi Potensial yang tidak dapat digunakan sebagai sumber energi.

Sudah beribu-ribu tahun manusia bersahabat dengan uap air, yaitu semenjak manusia bisa melakukan pekerjaan merebus (Boiling) namun hanya baru dua abad ini mereka atau manusia baru menemukan bagaimana manfaat tenaga uap bagi kepentingan manusia yaitu pada Tahun 1606 seorang yang bernama Giovanni Battista Della Forta merencanakan laboratorium perencanaan yang memperlihatkan Tenaga uap dan Sistem Kondensasi.

Pada Tahun 1641, seorang yang bernama Galileo seorang Saintis Besar yang terkenal dengan Teleskopnya serta percobaan Grafitasinya bahwa air hanya dapat dipompakan pada kedalaman 28 kaki (8,5334 meter).

Pada tahun 1643, Evangelista Torricelli salah seorang murid Gallileo meneruskan percobaan beliau tentang tekanan Atmosfir.

Pada Tahun 1698 seorang yang bernama Thomas Soverly memperoleh Hak paten dari sebuah mesin pompa dengan sistim Vakum yang memakai Ketel Uap pada pesawat Kondensor. Boiler yang dipanasi menghasilkan Uap dan dialirkan ke kondensor, lalu air didalam Tangki disiram ke dalam kondensor, maka terjadilah keadaan Vakum sehingga air dalam sumur naik mengisi ruang pada pompa.

2.2. Klasifikasi Ketel Uap

Ketel uap pada dasarnya terdiri dari bumbung (Drum) yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dilengkapi dengan pipa api dan pipa air. Pengklasifikasian Ketel uap dapat dilihat dari berbagai sudut pandang menurut peninjauan dari berbagai segi Ketel tersebut.

Secara umum Ketel uap dapat diklasifikasikan menurut fluida yang mengalir didalam pipa yaitu :

2.2.1. Ketel pipa api

Ketel pipa api yaitu pada dasarnya terdiri dari sebuah Bejana tekanan (Ketel) yang berisi Air (Tanki) dan mempunyai sejumlah pipa yang merupakan laluan bagi gas panas, dan energi panas yang dipindahkan dari gas panas tersebut ke air didalam Bejana.

Ketel pipa api fluida yang mengalir didalam pipa adalah gas nyala (Hasil pembakaran) yang membawa Energi panas (Thermal Energy) yang mentransfer menuju Air ketel melalui bidang pemanas (Heating Surface).

Ketel pipa api dan gas asap digunakan untuk memanasi Air dan Uap yang melalui lorong api dan pipa-pipa api dimana pada bagian luarnya terdapat air atau uap.

Pada Ketel pipa api ini, Air yang bertekanan tinggi ditempatkan pada sisi luar pipa api, karena pada dasarnya setiap pipa mempunyai kekuatan dua kali lipat terhadap tekanan Internal dibandingkan dengan Tekanan Exthernal.

Maka dalam sistim ini terbatas hanya untuk tekanan uap yang relatip rendah.

Diameter drum maksimum adalah sekitar 8 kaki dan tekanan uap maksimum terbatas sekitar 17 atm, namun pada sistim ini biasanya bejana pada tekanan sekitar 10 atm.

Seluruh Bidang pemanas pada Drum ketel pipa api disediakan bagi produksi Uap Saturasi (Saturated-steam) meskipun dapat juga ditambah sebuah Super heater yang terpisah.

Adapun keuntungan dan kerugian pada ketel pipa api adalah :

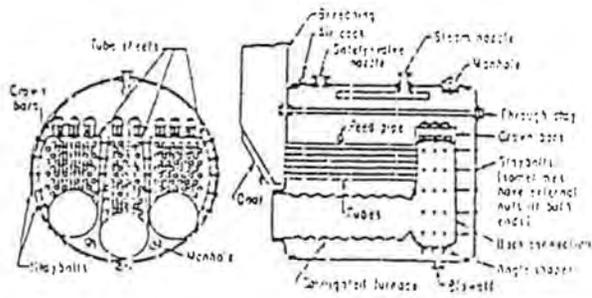
- Keuntungannya :

1. Pemanas air didalam drum dilakukan melalui pipa-pipa yang dialirkan fluida pemanas/gas asap melalui lorong api sehingga panas yang transferkan lebih besar karena pipa-pipa pemanas berada dalam drum ketel, dengan pengertian bahwa kehilangan panas yang terjadi lebih sedikit.
2. Air didalam drum dipanasi oleh gas asap melalui lorong api di bawah drum sehingga persentase panas yang diserap lebih besar karena bidang pemanasnya lebih luas dan pemakaian tempat yang lebih kecil bila dibandingkan dengan ketel pipa air.

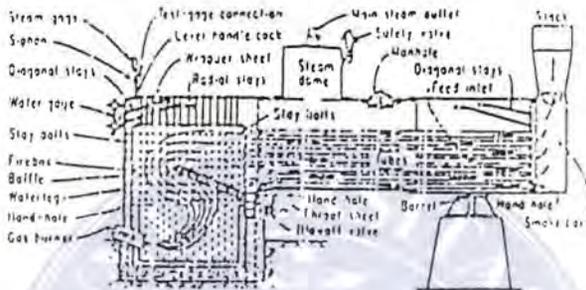
- Kerugiannya :

1. Kapasitas uap yang dihasilkan lebih kecil bila dibandingkan dengan ketel pipa air.
2. Kemungkinan terjadi kerak di dalam drum lebih besar sehingga mengakibatkan kurangnya laju aliran panas dari gas asap menuju air ketel.
3. Dalam waktu start untuk menghasilkan uap lebih lama bila dibandingkan dengan pada ketel pipa air.

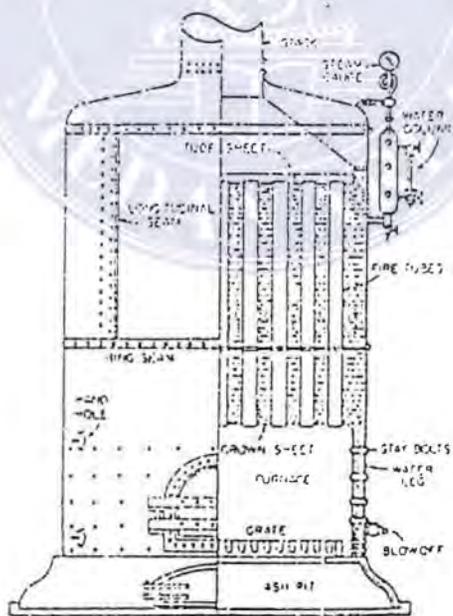




Gambar 2.1. Penampang ketel Scotch



Gambar 2.2. Penampang ketel Lokomotif



Gambar 2.3. Penampang ketel tegak

2.2.2. Ketel pipa air

Ketel pipa air adalah suatu ketel uap yang bekerja dimana air beredar didalam pipa sedangkan pemanasan dilakukan oleh gas-gas yang berada disekeliling pipa-pipa tersebut. Atau dengan kata lain, pembentukan uap terjadi didalam sejumlah pipa-pipa. Untuk penggunaannya ketel pipa air sangat banyak digunakan. Hal ini karena ketel pipa air mempunyai luas panas yang sangat besar dibandingkan dengan isi air, sehingga penghasilan uapnya sangat besar. Ketel pipa air terdiri dari pipa-pipa Baja yang ber dinding tipis yang curam letaknya serta mempunyai diameter yang kecil. Dinding pipa yang tipis serta letak pipa yang miring akan mengakibatkan sistim peredaran Air ketel yang cepat dan perpindahan panas dari gas-gas asap pada air ketel berjalan dengan baik.

Ketel pipa air dapat dibagi menurut,

1. Tekanan kerja dan
2. Miringnya pipa

Menurut Tekanan kerja ketel pipa air dapat dibagi atas 3 bagian :

- Ketel dengan tekanan rendah (8 – 16 atm)
- Ketel dengan tekanan menengah (22 atm ÷ 39 atm)
- Ketel dengan tekanan tinggi (60 atm ÷ 230 atm)

Menurut miringnya pipa, ketel pipa air dapat dibagi 2 bagian yaitu :

- Ketel pipa air dengan pipa-pipa yang miring sedikit
- Ketel pipa air dengan pipa-pipa yang curam

Pada ketel pipa air ini Drum yang digunakan untuk sebagai penampung air dan uap. Jadi pipa pemanas terletak diluar drum dimana Air mengalir pada pipa-pipa pemanas ini sehingga sebagian Air yang ada pada pipa-pipa pemanas berubah menjadi uap.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

Disamping itu pada Ketel pipa Air dilengkapi dengan alat pemanas lanjut untuk menghasilkan uap kering (Temperatur Tinggi) dan sehingga Tekanan absolut dari uap kering ini juga tinggi.

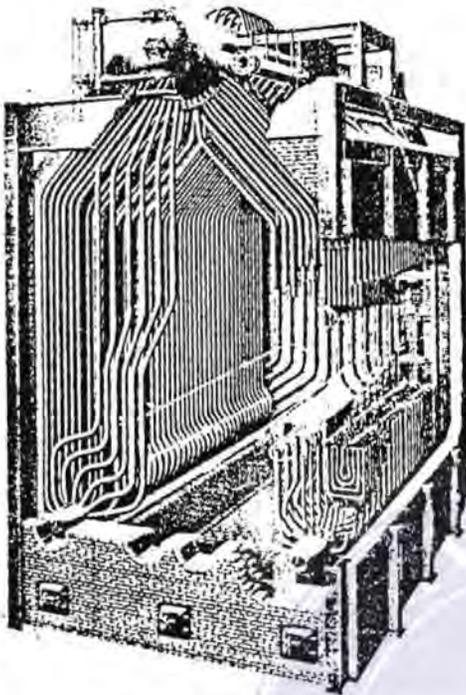
Adapun keuntungan dan kerugian dari ketel pipa air adalah :

- Keuntungannya :

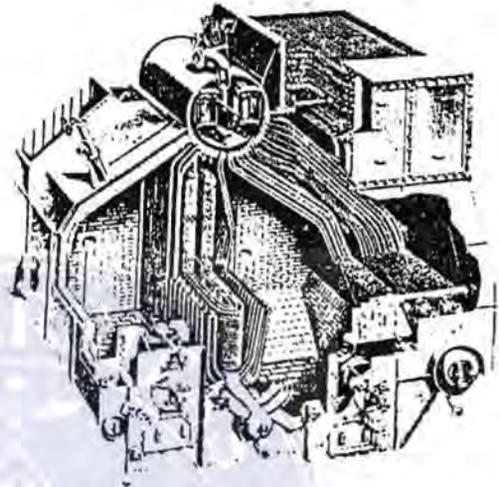
1. Kapasitas uap yang dihasilkan lebih besar dengan permukaan panas yang lebih besar terbuka menuju kepanas radiasi dari nyala api.
2. Karena drum pada ketel pipa air ini tidak terbuka menuju ke panas radiasi dari nyala api maka tidak terjadi over heating.
3. Bentuk ruang bakarnya sedemikian rupa sehingga untuk pemakaian bahan bakar bermacam-macam dan waktu yang dicapai untuk menghasilkan uap lebih singkat karena pipa-pipa pada ketel pipa air berfungsi sebagai bidang pemanas utama sehingga akan cepat menaikkan temperatur air ketel.

- Kerugiannya :

1. Pada drum ketel ini sangat membutuhkan sistem kontrol yang lebih tepat dan lengkap.
2. Air pengisi ketel harus benar-benar bersih sehingga dalam pemilihan ketel ini didasarkan atas pertimbangan sesuai dengan kebutuhan pemakaian uap pada ketel pipa air umumnya digunakan pada ketel pipa air dengan tekanan yang tinggi dan kapasitas yang besar.



Gambar 2.4. Ketel – D (D-Boiler)



Gambar 2.5. Ketel Pancaran

2.3. Bagian-Bagian Utama Ketel Uap

Secara umum Ketel uap dibangun dengan banyak komponen yang satu sama yang lain membentuk satu sistem pembangkit uap dimana masing-masing elemen tersebut mempunyai fungsi tersendiri tapi sangat tergantung kepada elemen lainnya. Keberadaan masing-masing komponen tersebut mutlak diperlukan sebab kerusakan atau ketiadaan suatu bagian akan merusak sistem berikutnya, maka bagian-bagian utama dari suatu Ketel uap secara umum adalah :

a. Dapur (Ruang Bakar)

Proses pembakaran bahan bakar dalam suatu ketel Uap dilakukan diruang bakar (Dapur). Dalam proses pembakaran dibutuhkan udara pembakaran yang cukup untuk menjamin tercapainya pembakaran sempurna, dimensi ruang bakar harus

disesuaikan dengan banyaknya Bahan Bakar yang dibakar untuk mendapatkan energi panas yang cukup.

b. Pipa water wall

Pipa water wall adalah, Bidang pemanas yang ditempatkan pada dinding dalam dapur yang digunakan untuk diubah energi panas menjadi energi potensial Uap. Bidang pemanas ini langsung menyerap panas secara Radiasi dari nyala api, air yang berada pada pipa water wall ini menyerap panas sehingga temperatur akan naik dan berubah menjadi uap.

c. Drum Ketel

Drum ketel adalah pusat sirkulasi air dan uap, dan pada drum inilah air dipisahkan dengan uap. Drum ketel ini berfungsi sebagai separator yang memisahkan uap dengan air. Uap ini akan disalurkan menuju pipa super heater menjadi pemanas lanjut sampai mencapai suhu dan tekanan tertentu.

Drum ketel ini terdiri dari dua buah drum yaitu drum bawah dan drum atas dimana ukurannya berbeda-beda agar sirkulasi berjalan baik pada kedua drum ini dihubungkan pipa-pipa backpass. Pada ketel air dalam drum maksimal 2/3 diameter drum dimana tujuan dari pembatasan ini untuk mengatasi efek yang tidak diinginkan hal ini dapat dimengerti karena dinding atas dari drum ketel yang terbatas dengan uap memuai lebih banyak dibandingkan dengan dinding bagian atas dan bawah dan tidak mudah pecah atau bocor diusahakan jangan sampai terjadi tegangan akibat perbandingan panas maka yang perlu diperhatikan adalah temperatur air pengisian ketel jangan terlalu rendah bila hal ini terjadi maka akan timbul perbandingan suhu yang besar antara dinding sebelah dalam drum dengan sambungan pipa drum maka timbul thermal stress pada persambungan pipa dalam jangka waktu yang lama.

d. Super Heater

Ada kalanya diperlukan uap kering bertekanan tinggi, sehingga Super Heater digunakan untuk menghasilkan Uap yang benar-benar kering dengan tekanan yang cukup tinggi.

Super heater adalah peralatan yang digunakan untuk mengubah uap jenuh menjadi uap lewat jenuh. Adapun sebuah ketel super heater merupakan komponen yang terpenting dimana super heater sangat penting untuk produksi uap panas lanjut bagi ketel uap karena uap panas lanjut adalah uap kering yang merupakan syarat yang diperlukan dalam operasi ketel.

Uap dari super heater ditampung oleh heater super heater untuk selanjutnya dialirkan pada pipa induk. Untuk menghindari kehilangan panas yang keluar dari super heater umumnya pipa penghantar diisolasi.

Adapun beberapa keuntungan pemakaian pipa super heater antara lain :

1. Uap panas lanjut yang dihasilkan super heater tidak mengandung butir-butir air sehingga memenuhi syarat untuk dipakai pada ketel uap.
2. Dengan tekanan yang sama, uap panas lanjut mempunyai entalphi yang lebih tinggi dibandingkan dengan uap jenuh (kenyang) sehingga daya yang dihasilkan lebih besar.
3. Super heater menyerap panas dari gas asap sehingga luas bidang pemanas semakin besar dan kehilangan panas dalam asap dapat diperkecil.

Setelah temperatur antara gas asap memasuki super heater dengan temperatur uap jenuh (kenyang) masuk ke super heater dapat dihitung dengan :

$$T1 = Tg1 - Tu1$$

Sedangkan selisih temperatur antara gas asap keluar dari superheater dengan temperatur uap yang dipanas lanjutkan keluar dari super heater adalah :

$$T_2 = T_g - Tu_2$$

Maka selisih temperatur rata-rata gas daerah temperatur rata-rata uap air didalam superheater adalah :

$$= \frac{1 - 2}{(nc \frac{1}{2})}$$

e. Ekonomiser

Sesuai dengan namanya peralatan ini berfungsi untuk menaikkan efisiensi Ketel. Selain dapat menghemat pemakaian Bahan Bakar, pesawat ini juga memiliki keuntungan yang lain, air pengisian dimasukkan kedalam Ketel dengan suhu yang lebih tinggi sehingga air ketel tidak banyak mengalami pendinginan ketika memasukkan air pengisian baru. Dengan demikian pembentukan Uap tidak banyak terganggu.

Dan alat lain yang sama fungsinya dengan ekonomiser adalah dearator, tapi pada alat ini memanaskan air pengisian digunakan Uap bekas atau uap saturasi.

f. Alat Pemanas Udara

Untuk mempermudah terjadinya proses pembakaran terlebih dahulu dipanaskan sebelum dialirkan pada ruang bakar. Memanaskan udara sebelum masuk ke Dapur berarti mengurangi kebutuhan panas untuk menaikkan temperatur udara didalam Tungku sehingga api tidak banyak mengalami penurunan panas.

g. Cerobong Asap

Fungsi utama cerobong asap adalah menyalurkan Gas asap ke udara bebas. Kualitas pembakaran di dalam Ruang Bakar sangat dipengaruhi oleh sirkulasi gas asap yang dihasilkan. Bila pembuangan gas asap tidak lancar, maka proses pembakaran akan terhambat, sebaliknya bila pembuangan gas asap berjalan lancar maka proses pembakaran berjalan sempurna.

Jadi gas tersebut harus dibuang dari ruang bakar (dapur pembakaran) sebab apabila tidak akan memperburuk mutu dan nilai pembakaran karena dapur penuh dengan karbondioksida akan mengakibatkan api pembakaran mati. Pada dasarnya cerobong asap menghasilkan tarikan gas asap yang disebabkan oleh adanya perbedaan berat jenis gas asap terhadap udara luar. Untuk merencanakan dimensi cerobong asap ada beberapa faktor yang diperhatikan antara lain :

- Jumlah aliran gas asap
- Kecepatan aliran gas asap
- Temperatur rata-rata gas asap melewati cerobong asap dengan temperatur lingkungan.

Jadi dalam hal ini maka diameter cerobong asap dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$Q = \pi/4 d^2 \cdot V$$

atau

$$D_c = \sqrt{\frac{4 Q_{ga}}{\pi V_{ga}}}$$

dimana :

Q_{ga} = kapasitas aliran gas asap (m^3/s)

m_{fg} = massa gas asap (m^3/s)

ρ_{ga} = massa jenis gas asap

V_{ga} = kecepatan gas asap memasuki cerobong gas asap

maka :

$$Q_{ga} = \frac{m_{fg}}{\rho_{ga}}$$

Untuk membantu pengeluaran gas sisa pembakaran tersebut pada umumnya digunakan sistem tarikan udara yang diperlukan untuk pembakaran dapat disuplai dengan sistem tarikan alamiah (Natural Draft System) untuk sistem tarikan mekanis atau dengan cara mengkombinasikan kedua sistem tersebut.

Adapun keuntungan lain dari pemakaian cerobong adalah untuk mengurangi polusi ketel sehingga tidak mengganggu pada pekerja atau operator dan peralatan lainnya.

h. Dearator

Dearator adalah peralatan yang digunakan untuk memanaskan air sebelum disupply ke dalam ketel.

Alat pemanas ini berfungsi untuk membantu mempercepat penguapan air yang terkandung dalam bahan bakar. Dengan demikian pembakaran bahan bakar dapat berlangsung dengan cepat.

Pemanas udara menyerap panas dari gas asap untuk memanaskan udara pembakaran yang dingin, ada dua jenis pemanas udara yaitu :

- a. Pemanas regeneratif
- b. Pemanas rekuratif

2.4. Peralatan Bantu Pada Ketel Uap

Ketel uap yang sedang beroperasi harus dapat dipantau dengan baik sehingga diperlukan peralatan bantu pada ketel uap antara lain :

a. Gelas penduga

Gelas penduga berfungsi untuk melihat ketinggian air pada Drum Ketel sehingga memudahkan pengontrolan Air selama beroperasi.

Dimana alat ini dihubungkan dengan 2 batang pipa, dimana yang satu dihubungkan pada bagian tanki yang berisi uap.

b. Manometer

Manometer berfungsi untuk mengukur besarnya tekanan yang berbentuk lingkaran dengan penampang bulat panjang dimana salah satu ujungnya ditutup, dan ujung yang terbuka dihubungkan pada ruang uap didalam Ketel.

Dengan melalui batang penarik dan sektor gigi, maka gerakan ini dipindahkan pada roda gigi kecil yang dipasang pada jarum penunjuk dengan menunjukkan Tekanan Uap dan untuk mencegah tekanan uap yang tinggi yang dapat merusak bagian dari manometer, maka didalam belokan saluran manometer diisi dengan air dingin.

c. Pompa Air Boiler

Alat ini berfungsi untuk mengisi air ketel pada Drum Ketel yang digerakkan secara otomatis agar jumlah air pada Drum Ketel tetap konstant.

d. Katup pengaman

Katup pengaman ini berfungsi untuk mencegah terjadinya tekanan yang terlalu tinggi diatas tekanan yang diperbolehkan atau yang ditetapkan yakni dengan membuka Katup secara otomatis atau tidak otomatis, sehingga uap dapat dikeluarkan maka tekanan akan turun.

e. Katup pembilas

Katup pembilas berfungsi untuk membuang kotoran-kotoran yang mengendap pada dasar Tanki, dimana endapan-endapan ini harus dibersihkan agar tidak menghambat gerak jalannya perpindahan panas kedalam air ketel dan katup ini dihubungkan dengan pipa pada bagian bawah Tanki Ketel.

f. Peliut Bahaya

Alat ini berfungsi untuk memberitahukan bahwa tinggi air pada Ketel telah mencapai batas yang maximum

g. Blower

Blower berfungsi untuk menghembuskan udara dalam membantu pembakaran yang terjadi sehingga mengakibatkan asap pembakaran dapat keluar melalui cerobong.

2.5. Nilai Pembakaran

Nilai pembakaran dari suatu bahan bakar adalah Jumlah Kalor yang dilepaskan persatuan massa Bahan Bakar satu Btu/Lb atau Kkal/kg.

Pada umumnya Unsur-Unsur yang terbakar didalam pembakaran Bahan Bakar adalah Unsur-Unsur : Karbon (C), Hidrogen(H) dan Sulfur (S).

Untuk Jumlah Udara pembakaran tidak boleh persis sebesar yang dibutuhkan (secara teoritis). Hal ini akan mengakibatkan terjadinya pembakaran yang tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna akan membentuk CO. Maka untuk menghindarinya jumlah udara yang diberikan pada pembakaran harus lebih besar dari kebutuhan teoritis.

2.5.1. Kebutuhan Udara Pembakaran

Untuk membakar Bahan Bakar di dalam dapur ketel diperlukan Oksigen yang diambil dari udara.

Cara memisahkan Udara ini dapat dilakukan dengan sistim penarikan, dimana penarikan dalam hal ini dapat dilakukan penarikan alam maupun penarikan buatan.

Jumlah Udara pembakaran yang dibutuhkan untuk membakar bahan bakar secara sempurna, dapat dihitung berdasarkan susunan kimia dari Bahan Bakar tersebut.

Pada umumnya Bahan Bakar terdiri dari unsur kimia seperti :

- Zat Carbon (C)
- Zat Air (H)
- Zat Pembakar (O)
- Zat Belerang (S)
- Air (W)
- Abu (A)

Sedangkan zat-zat yang akan terbakar dan memerlukan udara atau oksigen seperti : Carbon, Hidrogen dan Sulfur

Sedangkan Udara tersusun dari dua unsur utama yaitu Nitrogen (N) dan Oksigen (O) didalam persentase Volume udara tersusun dari : Oksigen 21%, Nitrogen 79% sedangkan didalam persentase berat tersusun dari : Oksigen 23%, Nitrogen 77%.

Banyaknya udara yang diperlukan ditentukan berdasarkan jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam pembakaran untuk dapat terbakar sempurna diperlukan Udara yang cukup dalam proses pembakaran Bahan Bakar. Dalam komposisi bahan bakar tidak semua Unsur yang terkandung bereaksi dengan Oksigen. Unsur-Unsur yang bereaksi hanyalah Unsur C, H₂ dan S. Mengingat bahwa Bahan Bakar yang digunakan adalah Bahan Bakar Solar, persentase Berat Unsur-Unsur :

Dimana :

| | | | |
|------------------|----------|----------------|----------|
| C | = 86,1 % | S | = 1,2 % |
| H ₂ O | = 0,5 % | O ₂ | = 0,28 % |
| N ₂ | = 0,02 % | H ₂ | = 11,9 % |

2.5.2. Analisa Pembakaran Bahan Bakar

Bahan Bakar adalah segala bahan yang dapat dibakar yang menghasilkan sejumlah Kalor (panas). Panas atau Kalor sebagai sumber pada Ketel uap diperoleh dari hasil pembakaran Bahan Bakar di ruang bakar ketel yang dipergunakan : untuk memanaskan air sehingga diperoleh Uap dengan Tekanan, Kapasitas dan Temperatur yang diinginkan.

Untuk berlangsungnya pembakaran yang baik diperoleh Tiga Unsur yaitu :

1. Bahan Bakar
2. Udara dalam jumlah yang cukup
3. Temperatur untuk memberi pembakaran

Ketel pipa api direncanakan menggunakan Bahan Bakar Solar atau Internal Diesel oil. Jenis Bahan Bakar ini dipilih atas pertimbangan :

- Mudah disimpan (tidak membutuhkan tempat yang khusus)
- Nilai Kalor relatif lebih tinggi dibanding Bahan Bakar kayu, atau Batu Bara
- Lebih sesuai dipakai dimana beban berfluktuasi.

Adapun komposisi kimia Bahan Bakar Solar yang dipakai adalah :

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| - Karbon (C) = 86,1 % | - Air (H ₂ O) = 0,5 % |
| - Hidrogen (H ₂) = 11,9 % | - Nitrogen (N ₂) = 0,02 % |
| - Oksigen (O ₂) = 0,28 % | - Belerang (S) = 1,2 % |

2.5.3. Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor Bahan Bakar adalah banyaknya Kalor yang dihasilkan pada pembakaran sempurna dimana 1 kg Bahan Bakar.

Nilai Kalor atau Nilai pembakaran ada 2 jenis yaitu :

- Nilai pembakaran atas atau High Heating Value (HHV) yaitu banyaknya panas atau Kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi Uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud cair).
- Nilai pembakaran Bawah atau Low Heating Value (LHV) Banyaknya kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar tanpa memperhitungkan kalor kondensasi Uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud gas/uap).

Dimana :

- C, H₂, O₂, S adalah persentase masing-masing Unsur dalam unsur Karbon, Hidrogen, Oksigen, Sulfur dalam Bahan Bakar.
- M (moisture adalah persentase kandungan Air di dalam bahan bakar juga sering disebut dengan kebasahan/kelembaban).

2.5.4. Sistim Penyalaan Bahan Bakar

Untuk memperoleh pembakaran dengan minyak bakar yang efisiensi, maka dalam hal ini sangat tergantung dari peralatan-peralatan yang digunakan.

Adapun peralatan-peralatan yang digunakan/diperlukan minyak bakar adalah untuk :

1. Menyaring minyak bakar dengan meneruskannya ke pembakaran minyak (oil burner) pada viskositas dan tekanan yang diperlukan.
2. Menyemprotkan minyak bakar, artinya minyak tersebar menjadi bagian-bagian kecil yang banyak. Dengan demikian hal ini akan memperbesar permukaan minyak yang dapat berhubungan dengan udara yang diperlukan.

3. Mengatur jumlah udara yang tepat dan mengatur pencampuran dari minyak bakar dengan udara yang diperlukan.
4. Memanaskan tempat-tempat di sekitar nyala api dengan suhu yang tinggi sehingga mempermudah pembakaran.
5. Mencegah menyalanya api di tempat yang tidak diperlukan.

Pada umumnya terdapat tiga jenis pembakaran minyak yang dipergunakan untuk minyak bakar dan penggolongannya menurut cara menyemprotkan minyaknya sebagai berikut :

1. Penyemprotan dengan hembusan dimana minyaknya disemprotkan dengan cepat oleh adanya hembusan udara.
2. Penyemprotan dengan cawan berputar dimana minyaknya terbagi rata pada cawan yang berputar sehingga terjadi pencampuran yang baik antara minyak dengan udara.
3. Penyemprotan dengan tekanan dimana minyaknya dipompakan dengan tekanan tinggi lewat pancaran minyak, sehingga minyaknya tersebar menjadi bagian-bagian kecil.

Pemanasan minyak bakar ini diperlukan, agar diperoleh viskositas yang sesuai sebelum minyak sampai pada alat pembakaran minyak sehingga diperoleh pembakaran yang baik. Penyemprotan hembusan dan penyemprotan tekanan memerlukan minyak bakar dengan viskositas antara 100 – 200 Saybolt Universal Seconds pada alat pembakar minyak untuk mencapai viskositas tersebut, minyak bakar harus dipanaskan lebih dulu sebelum minyak mencapai alat pembakar dan biasanya untuk minyak bakar, tingginya suhu pemanasan ini antara 52 °C sampai 88 °C. Untuk jenis penyemprotan cawan berputar biasanya memerlukan minyak

bakar dengan viskositas 300 S.S.U. Untuk mencapai viskositas ini maka minyak bakar harus lebih dahulu antara $45^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$.

2.5.5. Temperatur Nyala Pembakaran

Temperatur nyala pembakaran adalah temperatur gas asap akibat panas dari pembakaran Bahan Bakar udara di ruang Bakar. Temperatur ini dapat diperoleh dengan menentukan terlebih dahulu entalpi gas asap h_g yaitu :

$$h_g = \frac{Q_{rb}}{m_{fg}}$$

Dimana :

m_{fg} = massa gas asap untuk tiap kg Bahan Bakar

Q_{rb} = panas total diruang bakar

Pada pembakaran Bahan Bakar diruang bakar akan terjadi kehilangan panas ke sekeliling ruang bakar sehingga efisiensi akan menurun. Besarnya panas yang dihasilkan oleh Bahan Bakar diruang bakar dengan memperhitungkan kehilangan panas disekelilingnya :

$$Q_{rb} = \eta_{rb} \cdot m_f \cdot \text{LHV}$$

Dimana :

η_{rb} = efisiensi ruang bakar (90 + 97) % (dari sumber referensi)

m_f = laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)

LHV = Low Heating Value (Nilai pembakaran bawah)

2.6. Proses Pembentukan Uap

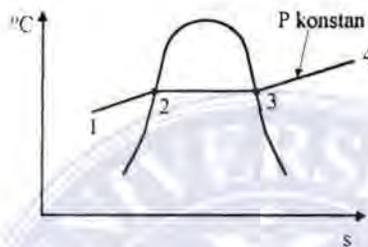
Ketel uap merubah fasa cair pada air menjadi fasa uap dengan menggunakan energi panas dari bahan bakar. Dalam proses pemanasan ini air

dapat diubah menjadi uap basah menjadi uap kering melalui beberapa tahap.

Dengan demikian uap yang terbentuk dapat digolongkan pada beberapa jenis uap :

1. Uap Basah yaitu uap dengan campuran air. Kualitas uap ini dapat dinyatakan dengan kualitas uap tertentu (x), dimana harga x antara $0 \leq x \leq 1$.

Dalam hal ini temperatur air dan uap adalah sama, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 kondisi uap berada antara titik 2 dan titik 3.



Gambar 2.6. Diagram $T - s$ pada proses pembentukan uap

2. Uap Jenuh, yaitu uap dengan kualitas $x = 100 \%$ diperoleh dengan penambahan Kalor pada Uap basah, sehingga mencapai titik (gambar 2.6) pada titik ini tidak ada lagi bintik-bintik air pada uap.
3. Uap panas lanjut, yaitu uap yang diperoleh dengan memanaskan Uap jenuh pada tekanan konstan sehingga Temperaturnya meningkat.

Pemanas air dari keadaan awal (titik 1) menjadi kondisi cair jenuh (titik 2) membutuhkan Kalor sebesar :

$$Q_{1-2} = ma (h_2 - h_1)$$

Dimana :

ma = massa air, kg

h_2 = entalpi air pada kondisi cair jenuh, titik 2, KJ/kg

h_1 = entalpi air pengisian pada kondisi titik 1, KJ/kg

Pemanas dari titik 1 – 2 ini hanya akan menaikkan temperatur tetapi tidak merubah fasa cair.

Perubahan fasa akan terjadi apabila panas tetap diberikan pada air yang telah mencapai kondisi titik 2. Dalam hal ini pemanasan tidak akan menaikkan temperatur fluida yang dipanaskan.

Pemberian panas selanjutnya akan merubah titik air menjadi uap (titik 3).

Panas yang diserap dalam perubahan fasa ini adalah :

$$Q_{2-3} = ma (h_3 - h_2)$$

Dimana :

ma = massa air, kg

h_3 = entalphi air pada kondisi uap jenuh, titik 3, KJ/kg

Pemanasan uap jenuh (titik 3) secara kontinu akan menaikkan temperatur uap sehingga menjadi uap panas lanjut (titik 4) dalam hal ini panas yang dibutuhkan adalah :

$$Q_{3-4} = ma (h_4 - h_3)$$

h_4 = entalphi uap pada kondisi uap superheat, titik 4, KJ/kg

2.7. Perpindahan Panas Pada Ketel Uap

Panas yang dihasilkan pada pembakaran Bahan Bakar dan Udara diruang Bakar dipindahkan kepada air, uap atau udara melalui bidang yang dipanaskan dengan 3 cara yaitu :

- a. Perpindahan panas secara radiasi
- b. Perpindahan panas secara konveksi
- c. Perpindahan panas secara konduksi

2.7.1. Perpindahan panas secara radiasi

Perpindahan panas secara radiasi terjadi bila suatu benda atau permukaan secara langsung menerima panas dari sumber panas tanpa melalui perantara. Perpindahan panas terjadi melalui gelombang-gelombang elektromagnetik.

Menurut rumus Stefan Boltzman bahwa besarnya yang di terima melalui sistim radiasi adalah :

$$Q_r = \epsilon \tau A (T_a^4 - T_b^4)$$

Dimana :

Q_r = panas yang di terima melalui radiasi, KJ/hour

A = Luas bidang yang di panaskan

ϵ = Faktor emisivitas

τ = Konstanta Stefan – Boltzman, $\text{KJ}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{K}^4$

T_a = Temperatur nyala api, $^{\circ}\text{K}$

T_b = Temperatur benda yang di panaskan, $^{\circ}\text{K}$

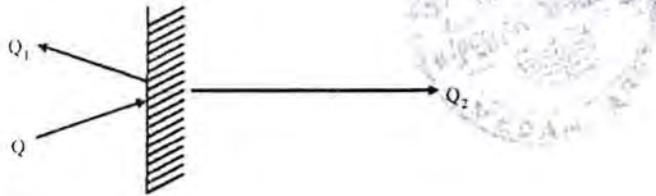
Bila pancaran panas yang mengenai bidang, sebagian dari pancaran tersebut akan diserap dan sebagian lagi akan dipantulkan, tergantung pada koefisien dan kondisi absorsinya.

2.7.2. Perpindahan panas secara konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul fluida (cair atau gas) dalam gerakan melayang-layang.

Molekul-molekul fluida tersebut bergerak membawa sejumlah panas masing-masing sebesar q joule. Pada saat molekul fluida menyentuh dinding ketel yang

akan dipanaskan, maka sebagian panas akan diserap dan sebagian lagi akan dipantulkan, lihat gambar 2.7.



Gambar. 2.7. Perpindahan panas secara konveksi

Panas yang diserap secara konveksi dalam hal ini adalah :

$$Q_{\text{konv}} = h \cdot A \cdot (T_a - T_d)$$

Dimana :

- q = panas yang diteruskan ke dinding, Joule.
- q₁ = panas yang dipantulkan, Joule
- q₂ = panas yang diserap dinding, Joule
- Q_{konv} = panas yang diserap secara konveksi, kJ/jam
- h = koefisien perpindahan panas konveksi, kJ/m² . hr . K
- A = luas bidang yang dipanaskan, m²
- T_a = Temperatur gas asap, K
- T_d = Temperatur dinding yang dipanaskan, K.

2.7.3. Perpindahan panas secara konduksi

Perpindahan panas secara Konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi pada satu bagian benda padat ke bagian lain benda pada tersebut.

Perpindahan panas secara Konduksi dapat terjadi jika ada kontak fisik (persinggungan) tetapi molekul benda padat yang satu tidak berpindah ke benda lain.

Perambatan panas melalui benda padat menempuh jarak yang terpendek.

Jumlah panas yang merambat melalui dinding yang dipanasi adalah :

$$Q_{\text{kond}} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Dimana :

Q_{kond} = jumlah panas yang diserap secara konduksi, kJ/jam

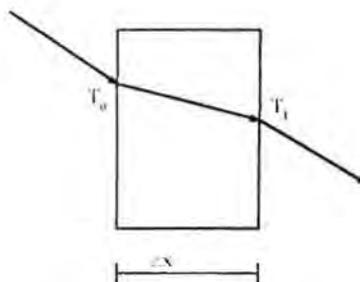
k = konduktivitas dinding yang dipanaskan, kJ/m . hr . K

ΔT = perbedaan temperatur dinding, $(T_0 - T_1)$, K

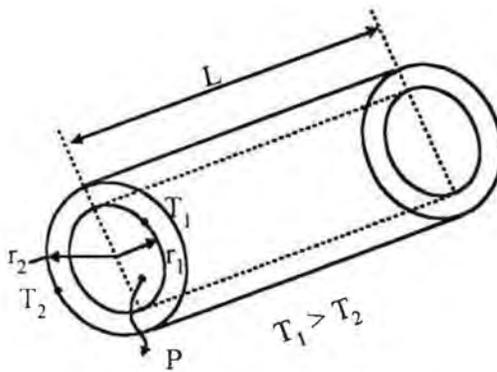
Δx = ketebalan dinding yang dipanaskan, m

Perpindahan panas secara konduksi pada silinder atau pipa yang panjangnya sangat besar dibandingkan dengan diameternya, dapat dianggap bahwa aliran kalor berlangsung menurut arah radial, lihat gambar 2.9 yang besarnya adalah :

$$Q_{\text{kond}} = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot L \frac{(T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$



Gambar 2.8. Perpindahan panas secara konduksi



Gambar 2.9. Perpindahan panas konduksi pada silinder atau pipa

Dimana :

T_1 = temperatur dinding pipa bagian dalam, K

T_2 = temperatur dinding pipa bagian luar, K

r_1 = jari-jari lingkaran pipa bagian dalam, m

r_2 = jari-jari lingkaran pipa bagian luar, m

K = konduktivitas panas dinding bahan pipa, kJ/m.hr.K

L = panjang pipa, m

2.8. Sirkulasi Pada Air Ketel Uap

Sirkulasi pada air ketel merupakan hal yang sangat penting dalam sistem penguapan pada penghantar panas.

Apabila dimisalkan bentuk sederhana pada ketel uap adalah sebuah bak logam.

Bila bak tersebut dipanaskan dengan meletakkan sebuah pembakar gas dibawahnya, maka lempeng dasar logam itu akan menerima panas (kalor) dari hasil pembakaran dan terutama pada sumber panas.

Dimana panas tersebut dihantarkan (ditransfer) melalui lempengan dasar yang kemudian diteruskan kepada air.

Sebelum panas (kalor) yang diperoleh dari bahan bakar diteruskan kepada air, terlebih dahulu terjadi peristiwa :

- a. Pembakaran dari bahan bakar (dimana memakai bahan bakar gas).
- b. Penyerahan panas dari hasil pembakaran gas dan ke lempengan dasar.
- c. Penghantaran panas (kalor) melalui lempengan dasar.
- d. Penyerahan panas (kalor) dari lempeng dasar ke air.

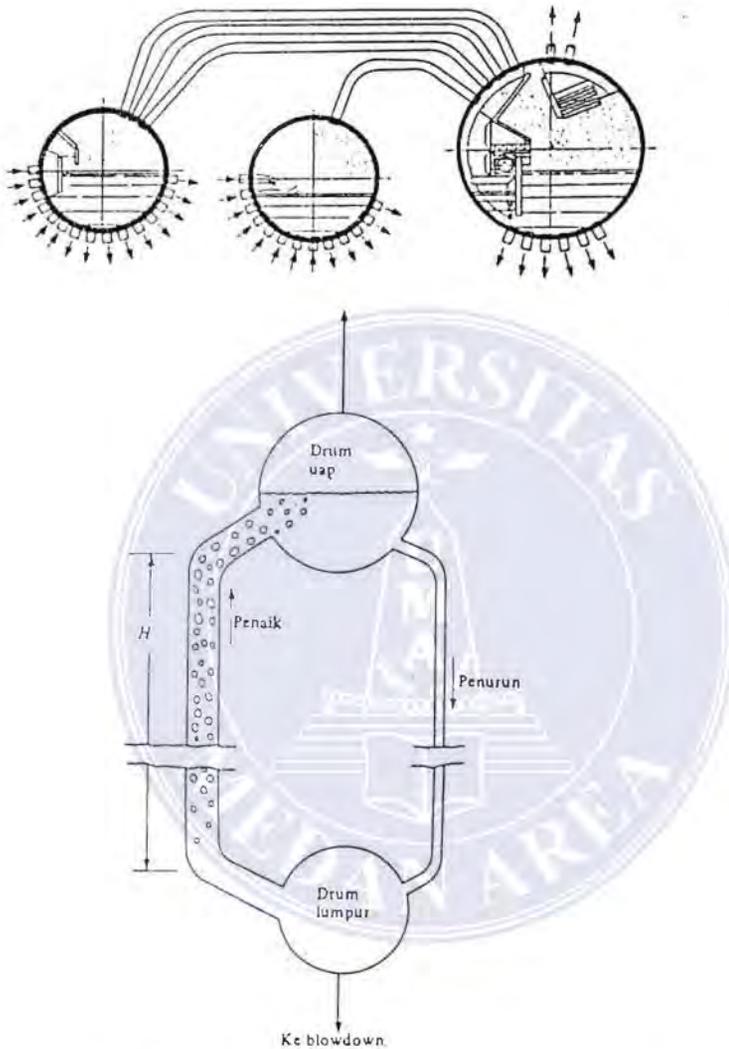
Apabila lempengan dasar menyerahkan panas (kalor) terhadap air, dimana mula-mula menerima panas air pada lapisan bawah. Yang menyebabkan naiknya suhu dari lapisan bawah.

2.8.1. Sirkulasi Alam

Prinsip kerja sirkulasi alam melalui gambar dibawah ini : dimana air mengalir dari drum atas, melalui pipa-pipa “penurun (down comer)” yang terletak dibagian ketel yang lebih dingin menuju ke bawah pada drum “lumpur”. Dari drum lumpur air mengalir kembali ke drum uap yang melalui pipa-pipa evaporator atau penaik (riser) pada drum uap.

Dimana uap dan air dipisahkan sebelum dialirkan ke pemanas lanjut (super heater) sirkulasi alam ini pada drum bawah biasanya dinamakan drum lumpur dikeluarkan keluar dan untuk air yang murni pada drum ketel ditambah untuk mengurangi konsentrasi pada kotoran dalam air ketel tersebut.

Tekanan uap naik, perbedaan kerapatan dan berat jenis antara uap saturasi dengan pengurangan air ketel yang membutuhkan aliran air yang cukup banyak pada titik kritis air ($705,4\text{ }^{\circ}\text{F}$ dan $3206,2\text{ lb}/\text{in}^2\text{ abs}$) perbedaan adalah nol dimana tidak ada gaya penggerak sirkulasi alam.



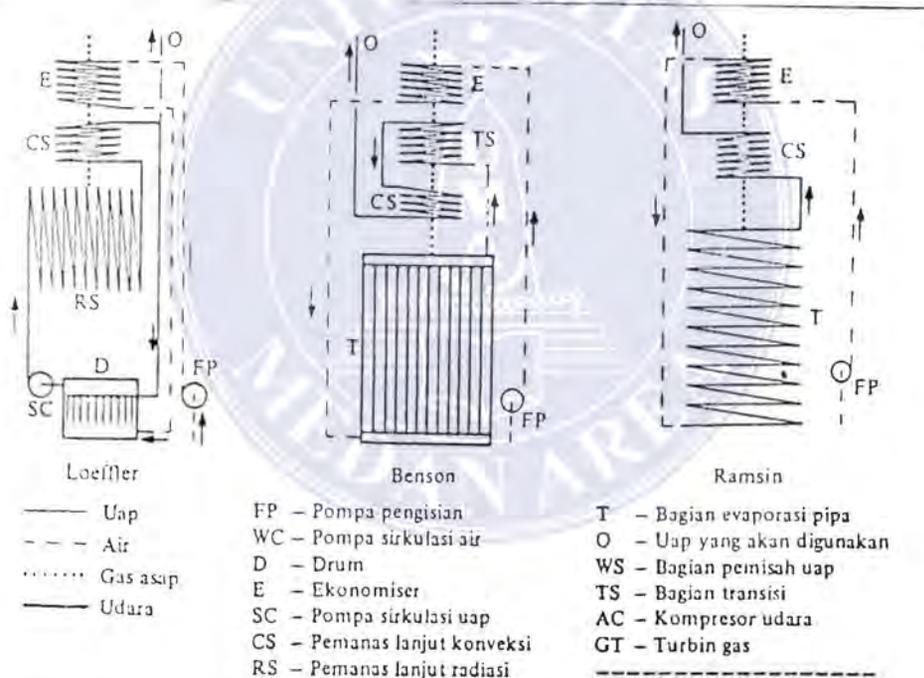
Gambar 2.10. Pemakaian sirkulasi alam yang sederhana

2.8.2. Sirkulasi Paksa

Pada ketel uap yang menggunakan sirkulasi paksa, fluida cair dipompakan melalui evaporator. Hal ini mengakibatkan pada ketel dapat mengakibatkan bekerja dengan tekanan yang tinggi, bahkan diatas titik kritis.

Operasi tekanan tinggi secara teoritis akan meningkatkan efisiensi instalasi uap. Sistem sirkulasi paksa akan melancarkan aliran air didalam ketel. Sehingga berat ketel akan berkurang dan ukuran pipa yang akan dipakai dapat lebih kecil serta drumnya. Dan lebih rendahnya volume air didalam ketel akan dapat mengurangi terjadinya ledakan uap.

Akibat pemakaian pompa sirkulasi serta tekanan operasi yang secara potensial lebih tinggi, sehingga pada sistem ini memerlukan air pengisi ketel benar-benar bersih.



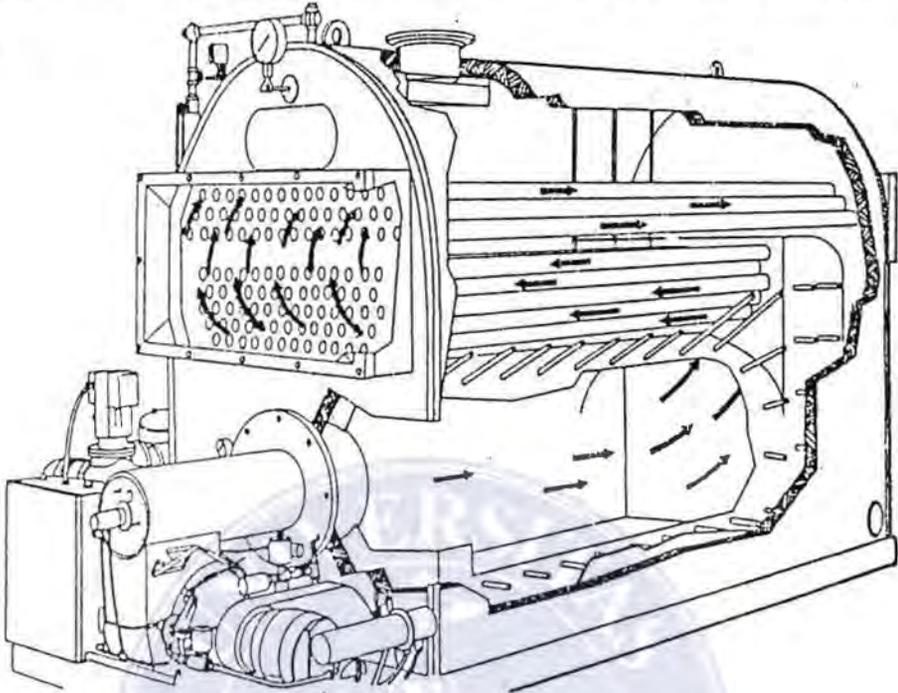
Gambar 2.11. Sirkulasi paksa

2.9. Ukuran-Ukuran Utama Ketel Uap

Dalam hal ini, untuk ketel uap yang digunakan adalah ketel uap pipa api, dimana pada ketel jenis ini kapasitas yang dihasilkan relatif sangat kecil dan

tekanan yang rendah, untuk itu adapun bagian-bagian yang menjadi ukuran-

ukuran utama ketel ini meliputi ruang bakar (furnace) atau disebut juga lorong api, pipa-pipa api, drum ketel (dessel) serta bagian-bagian yang lain yang dianggap penting.



Gambar 2.12. Ketel pipa api

2.9.1 Ruang bakar

Ruang bakar merupakan suatu tempat pembakaran bahan bakar untuk mendapatkan panas dan kemudian akan digunakan untuk memanaskan air hingga menjadi uap pada bidang pemanas. Bentuk ruang bakar (lorong api) ketel pipa api ada 2 jenis :

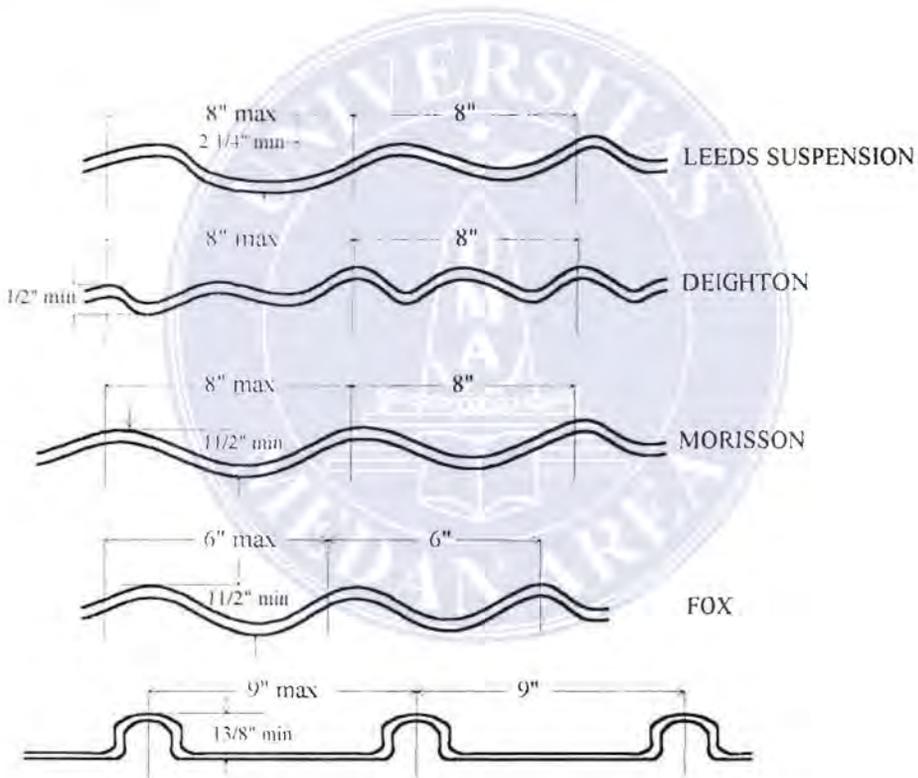
1. Dinding lorong api datar (plain furnace)
2. Dinding lorong api bergelombang (corrugated furnace)

dalam perencanaan ini dipilih lorong api jenis yang bergelombang dengan alasan teknik sebagai berikut :

1. Memungkinkan ekspansi tanpa mendesak dinding api atau dengan kata lain mencegah terjadinya tegangan thermal.
2. Memperluas bidang pemanas.
3. Memperkokoh konstruksi ruang bakar.

Dalam hal ini lorong api tetap dengan perkataan lain lorong apinya tidak dapat digeser ke sebelah kiri dan kanan atau ke atas atau ke bawah.

Adapun bentuk-bentuk dari penampang lorong api (ruang bakar) yang bergelombang dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.13. Penampang Profil Gelombang Lorong Api
(Sumber : Muin, Syamsir A, "Pesawat-pesawat Energi II (Ketel uap)).

2.9.2. Perhitungan Dimensi Ruang Bakar

Prinsip pada ruang bakar (dapur) tergantung pada kondisi pengoperasian ketel, prinsip perpindahan kalor dalam ruang bakar, proses pembakaran dan keberadaan material.

Perencanaan dimensi ruang bakar dapat ditentukan dengan mengetahui bahan bakar yang digunakan kapasitas uap yang dihasilkan, kelebihan udara serta berbagai faktor lainnya.

Tabel 2.1 menunjukkan laju pelepasan kalor didalam ruang bakar yang tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan pada proses pembakaran.

Tabel 2.1. Laju pelepasan kalor di dalam ruang bakar

| Dinding Ruang Bakar | Jenis Bahan Bakar | Kalor yang dilepas (Btu/ft ³ jam) |
|---------------------|-------------------|--|
| - Batu Tahan Api | Travelling Quite | 15000 – 25000 |
| | Serbuk | 15000 – 25000 |
| | Oil | 20000 – 40000 |
| | Gas | 20000 – 40000 |
| - Water Wall | Travelling Quite | 30000 – 45000 |
| | Serbuk | 30000 – 45000 |
| | Oil | 25000 – 35000 |
| | Gas | 30000 – 50000 |

(sumber : Morses's "Sistem Power Plant")

Ukuran volume dari ruang bakar dapat ditentukan dengan rumus :

$$V = \frac{mf(HHV)}{Q_r}$$

Dimana : V = Volume ruang bakar

Q_r = Laju pelepasan kalor didalam ruang bakar (KJ/m³jam)

mf = Massa bahan bakar (Kg/jam)

HHV = Nilai pembakaran atas (KJ/Kg)

Dari tabel diatas dimana bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar minyak (oil) dengan dinding ruang bakar adalah water wall dengan kalor dilepas sebesar 50.000 Btu/ft³ jam atau sama dengan 1.877,500 kJ/m³jam.

Dimensi ruang bakar (lorong api) dapat dihitung dengan terlebih dahulu menentukan panjang nyala api. Panjang nyala api (length of flame) dapat diperoleh melalui rumus :

$$L_f = \frac{5,3 \cdot d_n}{Q} \sqrt{\frac{T_f}{\varepsilon T_0} Q + (1 - Q) \frac{M_s}{M_0}}$$

Dimana : L_f = panjang nyala api (m)

d_n = diameter nozel pembakaran (menurut Prichard = 0,12 – 0,3 in)

T_f = temperatur nyala api (⁰K)

T_0 = temperatur bahan bakar (⁰K)

M_s = berat molekul udara

M_0 = berat mol bahan bakar

Agar nyala api pembakaran tidak menyentuh dinding Drum ketel diujung nyala maka panjang lorong api lebih panjang dari nyala api. Untuk mencari dimensi ruang bakar (lorong api) maka dianggap ruang bakar adalah silinder.

Ruang bakar yang umum (standard) pada ketel pipa api dimana diameter dalam yang diijinkan 700 – 1200 mm, sedangkan ketebalan dari dinding ruang bakar (lorong api) adalah 13 – 16 mm. berdasarkan volume ruang bakar yang telah diperoleh maka panjang dari ruang bakar adalah :

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4}$$

$$\text{Jadi : } L = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}$$

Dimana : $V =$ Volume ruang bakar (m^3)

$D =$ Diameter dalam ruang bakar (m)

$L =$ Panjang ruang bakar (m)

Untuk menentukan ruang bakar yang sebenarnya dapat dilihat pada gambar 4.2. Pada gambar tersebut dipilih jenis ruang bakar Fox, dimana diketahui bahwa tinggi minimum antara 2 puncak yang bersebelahan adalah : 38,1 mm, sedangkan jarak maksimum antara 2 puncak yang bersebelahan adalah : 152,4 mm.

Dalam menganalisa dan menghitung tinggi lengkungan dinding ruang bakar, dapat diperhatikan pada gambar 2.12 yang mewakili dinding ruang bakar. Dimana lengkungan antara puncak-puncak gelombang yang berdekatan dianggap merupakan sebuah segitiga sebagai pendekatan perhitungan.

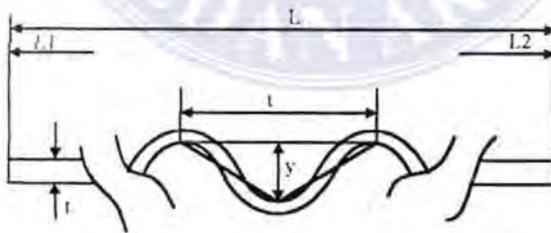
Tinggi lengkungan dinding ruang bakar dapat ditentukan melalui persamaan :

$$Y = 1 - 2 \cdot dw$$

Dimana :

$Y =$ tinggi antara dua puncak gelombang (m)

$dw =$ tebal dinding ruang bakar (mm)



Gambar 2.14. Profil lengkungan dinding ruang bakar jenis fox

2.9.3. Perpindahan Panas Pada Ruang Bakar

Proses perpindahan panas dari pembakaran bahan bakar terjadi secara radiasi terhadap dinding lorong api (ruang bakar). Perpindahan panas radiasi yang diterima oleh dinding ruang bakar tergantung pada emisivitas bahan, gas asap dan temperatur gas asap.

Untuk menghitung panas radiasi dari gas asap ke ruang bakar dapat didekati dengan menganggap semua komponen gas asap terdiri dari senyawa H_2O dan CO_2 . Panas radiasi dalam satu satuan luas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\frac{Q_r}{A} = \frac{\tau (T_{fg}^4 - T_{di}^4)}{\frac{1}{\epsilon_g} + \frac{1}{\epsilon_{di}} - 1}$$

dimana :

- ϵ_s = emisivitas permukaan lorong api
- ϵ_g = emisivitas gas asap = $C_c \epsilon_c + C_w \epsilon_w - \Delta_c$
- C_c = faktor koreksi untuk CO_2
- ϵ_c = emisivitas gas CO_2
- C_w = emisivitas H_2O
- ϵ_w = emisivitas H_2O
- Δ_c = faktor koreksi bila CO_2 dan H_2O dalam satu ruang tertutup
- τ = konstanta Stefan Boltzman $W/m^2 K^4$
- T_{fg} = temperatur gas asap ($^{\circ}C$)
- T_{di} = temperatur dinding dalam lorong api ($^{\circ}K$)

Untuk memperoleh emisivitas H_2O (ϵ_w) dan CO_2 (ϵ_c) terlebih dahulu dicari panjang berkas rata-rata. Dalam hal ini menurut (8) panjang berkas rata-rata :

$$L_c = 3,6 \frac{V}{A}$$

Dimana :

V = Volume gas pembakaran diruang bakar (m^3)

A = Luas permukaan (m^2)

L_e = panjang berkas rata-rata (m, ft)

Dimana : V = Volume gas pembakaran diruang bakar

$$= \frac{\pi}{4} (D^2) L_p$$

maka :
$$L_e = 3,6 \frac{\frac{\pi}{4} (D^2) L_p}{\pi \cdot D_1 \cdot L_p}$$

Sedangkan Tekanan Uap Parsial dari H_2O dan CO_2 untuk masing-masing gas adalah P_w dan P_c dapat dihitung dengan memakai teori senyawa parsial.

Hubungan antara tekanan parsial dengan tekanan campuran adalah :

$$X_i = \frac{n_i}{n} = \frac{P_i}{P}$$

Dimana :

n_i = mol senyawa dalam campuran

n = mol campuran

p_i = tekanan parsial senyawa

p = tekanan total campuran

Untuk pendidihan yang terjadi pada air diluar silinder lorong api (ruang bakar) adalah pendidihan nukleat. Dimana pada kondisi ini temperatur dinding silinder ruang bakar adalah : $(5 - 30) ^\circ C$ diatas temperatur sekelilingnya.

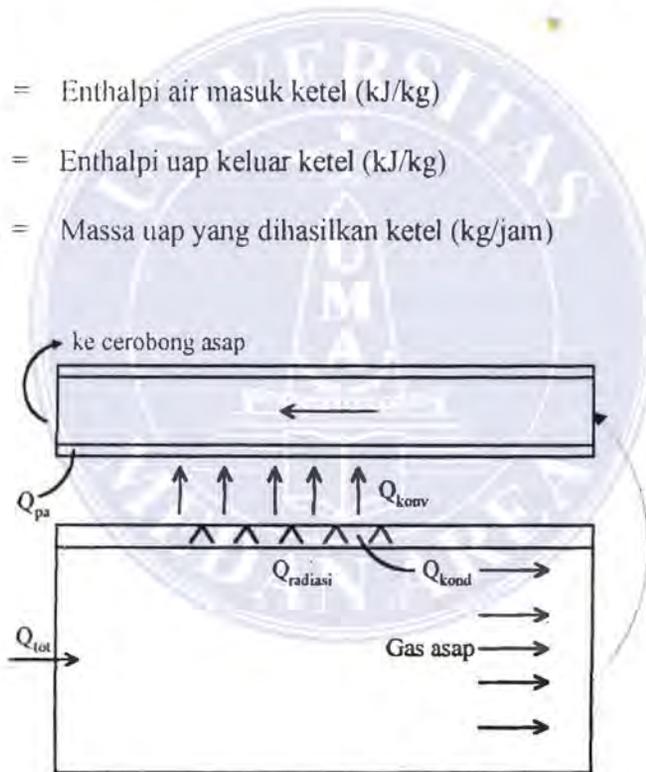
Jadi panas radiasi yang dihasilkan/diberikan pada pembakaran bahan bakar persatuan luas menjadi :

$$\frac{Q_r}{A} = \frac{\tau (T_{fg}^4 - T_{di}^4)}{\frac{1}{\epsilon_g} + \frac{1}{\epsilon_0} - 1}$$

Jadi untuk luas perpindahan panas radiasi (A_r) adalah luas permukaan lorong api (A_i).

Perpindahan panas yang terjadi pada lorong api dan aliran gas asap ke pipa api dapat dilihat pada gambar 2.13 pada perhitungan sebelumnya telah diketahui, bahwa :

- h_i = Enthalpi air masuk ketel (kJ/kg)
- h_o = Enthalpi uap keluar ketel (kJ/kg)
- m_u = Massa uap yang dihasilkan ketel (kg/jam)



Gambar 2.15. Distribusi Kalor (panas) dalam lorong api dan pipa api

Untuk total beban pemanasan yang harus dihasilkan oleh ketel pipa api untuk pembentukan uap adalah :

$$Q_{tot} = m_u (h_o - h_i)$$

Dimana : Q_{tot} = Kalor total (kJ/jam)

m_u = Massa uap yang dihasilkan ketel (kg/jam)

h_o = Entalphi uap keluar ketel (kJ/jam)

h_i = Entalphi air masuk ketel (kJ/jam)

Untuk panas (kalor) yang dihasilkan oleh pipa-pipa api adalah :

$$Q_{pa} = Q_{tot} - Q_r$$

Dimana : Q_{pa} = Kalor pipa api (KJ/jam)

Untuk panas gas asap yang keluar dari ruang bakar adalah :

$$Q_{kl} = Q_{r-b} - Q_r$$

Dimana : Q_{kl} = Kalor keluar lorong (KJ/jam)

Dan entalphi gas asap yang keluar dari lorong api adalah :

$$h_{gkl} = \frac{Q_{kl}}{m_{fg}}$$

2.10. Analisa Gas Asap

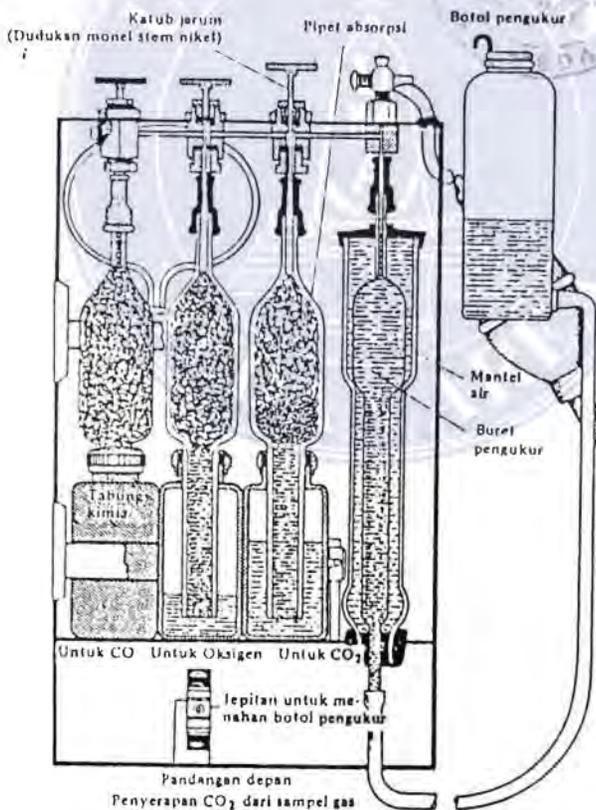
Perbandingan udara dengan bahan bakar untuk suatu proses pembakaran pada ruang bakar ketel umumnya ditaksir dari pengukuran eksperimental komponen-komponen gas dalam asap.

Ada beberapa cara eksperimental untuk menganalisa konsentrasi persenyawaan gas dalam suatu campuran gas. Diantara sistim tersebut adalah Chromotograph gas dan peralatan orsat.

Chromotograph gas adalah, sistem yang sangat sensitif yang dapat dipakai untuk mendekati senyawa-senyawa gas yang berlawanan, tetapi pada alat ini sangat sulit dan rumit dalam penggunaannya.

Untuk peralatan orsat atau sebaliknya relatif sederhana dan merupakan sebuah pengalisan gas asap dari hasil proses pembakaran. Dimana pada alat tersebut dirancang untuk mengukur konsentrasi beberapa senyawa gas yang terdapat dalam hasil proses pembakaran.

Sebuah pengalisan gas orsat diperlihatkan pada gambar 2.16 dan peralatan ini digunakan untuk menentukan fraksi Volumetik atau molar dari monoksida Carbon (Co), dioksida Carbon (CO_2) dan Oksigen (O_2) dalam gas asap kering.



Gambar 2.16. Penganalisis orsat gas asap

Suatu sample untuk gas asap sebanyak 100 cm^3 diambil pada temperatur kamar dalam buret dengan menggunakan gelas ukur air untuk mengumpulkan dan memindahkan sample gas tersebut, karena sample dikumpulkan pada waktu temperatur kamar diatas air, biasanya dikatakan bahwa setiap uap air dalam gas akan mengembun dan setiap dioksida Sulfur (SO_2) dalam gas buang tersebut akan bereaksi dengan air didalam gas asap (flue gas). Jadi untuk konsekuensinya adalah bahwa sample gas asap yang terdiri dari Carbon, Oksigen, Monoksida Carbon dan Nitrogen.

Pada sample gas diperoleh, secara berurutan sample dilewatkan melalui tiga reaktor kimia didalam alat tersebut. Adapun reaktor kimia pertama yang secara perlahan-lahan yang berair yaitu Potassium Hidroksida (KOH) yang secara perlahan-lahan mengeluarkan semua dioksida Carbon dari sample gas tersebut.

Untuk reaktor kimia kedua mengandung larutan asam pirogalik dalam potasium hidroksida dan air.

Dan untuk reaktor ke tiga mengandung larutan kuprokhlorida dalam ammonia dimana pada larutan menyerap semua monoksida Carbon yang ada pada gas pembakaran.

Fraksi Volume atau mol dioksida Carbon, Oksigen dan Monoksida Carbon dalam gas asap kering dapat ditentukan dimana setiap gas asap yang tersisa (biasanya sekitar 80%) setelah sample sesudah dilewatkan melalui ketiga reaktor tersebut yang diasumsikan sebagai Nitrogen (N_2).

Analisa ultimasi serta orsat diperlukan cukup untuk menentukan perbandingan udara bahan bakar aktual pada waktu membakar suatu bahan bakar gas ataupun bahan bakar cair.

Analisa ini dapat diberikan dalam satuan jumlah energi per satuan massa sisa (kilojoule perkilogram kkal/kg) atau sebagai fraksi massa ataupun persentase bahan yang dapat terbakar dalam sisa pembakaran tersebut. Apabila analisa sisa diberikan dalam bentuk nilai pembakaran tertinggi, persentase bahan dapat terbakar bisa dicari dengan membagi nilai pembakaran sisa dengan nilai pembakaran karbon murni.

$$\text{Jadi persentase bahan bakar dapat terbakar} = \frac{100 (\text{HHV})_{\text{sisa}}}{(\text{HHV})_{\text{karbon}}}$$

Apabila C_r adalah fraksi massa bahan bakar karbon yang tak terbakar didalam sisa maka Anti dumping massa sisa yang terkumpul persatuan massa batubara yang terbakar adalah sama dengan jumlah C_r dan A_t .

$$\text{Untuk persentase bahan dapat dibakar adalah} = \text{perbandingan} \frac{C_r}{A_t} \times 100$$

Jadi $(1 - C_r/A_r) = (A/A_t)_r$ yakni fraksi faktor massa abu dalam sisa. Apabila sebagian besar abu dalam batubara beroida dalam bentuk sisa, maka fraksi itu dapat ditentukan dari persamaan :

$$A_t = \frac{\text{massa sisa}}{\text{massa batubara}} = \frac{\text{fraksi massa abu dalam batubara, } A}{(A/A_t)_r}$$

Setelah ditentukan untuk fraksi sisa A_t massa karbon tak terbakar dalam sisa persamaan bahan bakar yang dipakai adalah C_r maka dapat dihitung dengan :

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{\text{act. m. d}} = \frac{N_2 - Z_c - 0,5 Z_n}{0,79}$$

Dalam udara terdapat 79 % Volume N_2 dan 21 % Volume O_2 , dimana Z_c adalah mol atom karbon per mol bahan bakar, dan Z_n adalah mol atom nitrogen per mol

Perbandingan massa aktual udara bahan bakar, dapat diperoleh dengan mengalikan serta membagi angka perbandingan udara bahan bakar molar dengan berat molekul udara bahan bakar.

Secara teoritis, oksigen dan monoksida Carbon tidak dapat terbentuk secara serempak dalam gas asap tetapi keduanya muncul dalam proses pembakaran aktual yang disebabkan oleh pencampuran tak sempurna.

Hal ini dapat dinyatakan bahwa persentase untuk eksekusi udara adalah lima kali persentase oksigen di dalam analisa orsat. Bila persentase monoksida Carbon kecil, maka dapat diperoleh :

$$C_r = A_l \left(\frac{\% \text{ dapat terbakar dalam sisa}}{100} \right) = \frac{C_r}{A_l} A_l$$

Atau

$$C_r = A_l - A$$

2.11. Kerugian Panas dan Neraca Panas

Kerugian-kerugian panas pada Instalasi ketel merupakan salah satu yang dapat menghambat dan mengurangi efisiensi ketel serta daya guna ketel. Kerugian panas yang timbul pada instalasi ketel terdiri dari :

1. Kerugian pada Cerobong asap.
2. Kerugian panas karena terbentuknya gas pembakaran pada pembakaran yang tidak sempurna.
3. Kerugian panas karena terdapatnya unsur karbon dalam abu dan kerak.
4. Kerugian karena abu dan kerak yang mengandung panas.
5. Kerugian karena perpindahan panas dari peralatan ketel.

2.12. Kerugian Cerobong

Kerugian cerobong disebabkan oleh karena hilangnya panas bersama gas asap. Apabila suhu gas asap = t_g °C dan suhu udara = t_u °C dan panas jenis gas asap rata-rata antara t_u °C dan t_g °C = C_p sehingga kerugian cerobong dapat dihitung dengan :

$$Q_g = C_0 (t_g - t_u) \text{ kkal/nm}^3 \text{ gas asap}$$

Bila volume gas asap = V_g m³ std/kg

$$Q_g = V_g C_p (t_g - t_u) \text{ kkal/kg}$$

Bila berat bahan bakar . W_f kg / dj , maka

$$Q_g = W_f V_g C_p (t_g - t_u) \text{ kkal/dj}$$

Apabila gas asap terdiri dari CO₂ + SO₂ dengan panas jenis C_{SO_2} kkal/ °C nm, dan N₂ + O₂ dengan panas jenis C_n kkal/°C nm³ maka panas yang hilang bersama gas asap yang disebut dengan kerugian cerobong.

Maka :

$$Q_g = V_g \{ (CO_2 + SO_2) C_{SO_2} + (N_2 + O_2) C_n + (H_2O) C_w \} (t_g - t_u) \text{ kkal/kg}$$

dimana :

$$(CO_2 + SO_2) = \text{Volume } CO_2 \text{ dan } SO_2, \text{ nm}^3/\text{kg}$$

$$(N_2 + O_2) = \text{Volume } N_2 \text{ dan } O_2, \text{ nm}^3/\text{kg}$$

$$(H_2O) = \text{Volume Uap air, nm}^3/\text{kg}$$

$$\text{nm}^3 = \text{Normal m}^3 \text{ atau m}^3 \text{ standar (= m}^3 \text{ std).}$$

Sehingga dari rumus diatas dapat dijabarkan menjadi :

$$C_p = \frac{Q_g}{V_g (t_g - t_u)}$$

Atau

$$C_p = \frac{(\text{CO}_2 + \text{SO}_2)C_{\text{SO}_2} + (\text{N}_2 + \text{O}_2)C_n + (\text{H}_2\text{O})}{(\text{CO}_2 + \text{SO}_2) + (\text{N}_2 + \text{O}_2) + \text{H}_2\text{O}}$$

Untuk pada gas asap kering kerugian cerobong dapat dihitung :

$$Q_g = \frac{Q_g}{\text{LHV}} 100\%$$

Dan untuk gas asap yang mengandung uap air, untuk kerugian cerobong dapat dihitung :

$$Q_g = \frac{Q_g + 6(9h + w)}{\text{HHV}} 100\%$$

Dimana : $6(9h + w)$ adalah jumlah panas penguapan (panas laten).

2.13. Kerugian Panas Karena Terbentuknya Gas-Gas Pembakaran Pada Pembakaran Yang Tidak Sempurna

Kerugian panas pada gas-gas ini terbentuk karena kurangnya udara pembakaran. Hal ini bisa terjadi bila bahan bakar dalam dapur terlalu tebal sehingga bagian-bagian bahan bakar tidak sempurna mendapat udara. Hal ini dapat diatasi dengan memberikan udara tambahan di atas atau dalam kamar nyala (pada ketel schot) disebut udara skunder.

Tetapi udara yang datang dari bawah kisi disebut udara primer dalam gas asap kadang-kadang masih terdapat gas yang dapat dibakar seperti pada gas-gas :

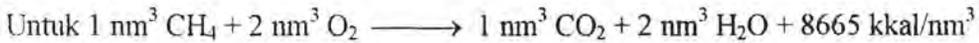
CO (gas monoksida Carbon)

CH₄ (gas metan)

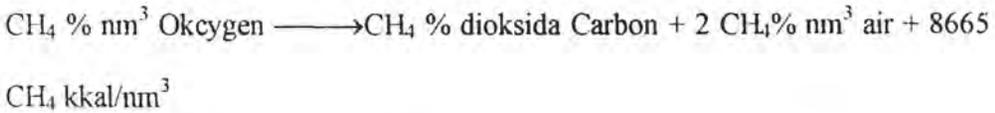
H₂ (gas zat air)

Reaksi pembakaran gas methan (CH₄).





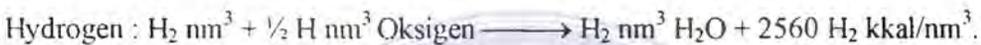
Dalam gas asap terdapat CH_4 % volume metan, maka dalam nm^3 gas asap terdapat



Pada pembakaran Hydrogen (H_2)



Bila dalam 1 m^3 gas asap terdapat H_2 % $\text{nm}^3 \text{ H}_2$, maka pada pembakaran $\text{H}_2 \text{ nm}^3$



2.14. Kerugian Panas Karena Terdapatnya Unsur Carbon Dalam Abu dan Terak.

Kerugian panas seperti ini adalah karena akibat tidak terbakarnya unsur Carbon serta terbuang bersama abu dan terak.

Cara menentukannya adalah dengan menimbang unsur Carbon yang terdapat dalam abu dan terak

Bila berat Carbon dalam abu dan terak = $(W_c)_a$ kg/kg b.b. dengan nilai bahan $(H_v)_c$ kkal/kgC, maka kerugian panas akibat unsur Carbon (C) dalam abu dan terak adalah,

$$Q_{at} = (W_c)_a \times 8140 \text{ kkal/kg b.b}$$

2.15. Kerugian Karena Abu dan Terak Yang Mengandung Panas

Kerugian panas yang terjadi karena abu dan terak masih mengandung panas, yang masih dapat digunakan, maka kerugian ini dapat ditentukan sebagai

hasil kali dari berat abu dan terak dengan panas jenis panas rata-rata dari abu serta perbedaan (selisih) temperatur, dari abu dengan suhu udara luar.

Untuk panas jenis abu ini rata-rata berada diantara :

$$0,20 - 0,25 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C}$$

Bila berat abu dan terak = V_{at} kg/kg b.b (dengan panas jeni C_{at} kkal/kg $^\circ\text{C}$ (dengan suhu t_{at} $^\circ\text{C}$ dan suhu udara luar t_u $^\circ\text{C}$). Sehingga kerugian panas yang terdapat dalam abu dan terak adalah :

$$Q_{at} = W_{at} C_{at} (t_{at} - t_u) \text{ kkal/kg}$$

Maka kerugian dalam presentase terhadap bahan bakar ialah :

dimana :

$$Q_{at} = \frac{W_{at} C_{at} (t_{at} - t_u)}{(LH_r)}$$

2.16. Kerugian Panas Karena Perpindahan Panas Oleh Peralatan Ketel

Kerugian panas yang terjadi akibat karena faktor perpindahan panas oleh peralatan ketel, misalnya pada badan ketel, pipa-pipa uap, dan lain-lain. Dari hasil pengalaman praktek bahwa kerugian panas yang terjadi pada peralatan-peralatan ketel dapat ditetapkan sebagai berikut :

Untuk ketel dengan BP 100 – 500 m² sebesar 4 – 3%

Untuk ketel dengan BP 1000 – 2000 m² sebesar 3 – 1%

2.17. Kerugian Panas Karena Kandungan Air Dalam Bahan Bakar (Moisture)

Kerugian panas seperti ini terjadi karena adanya kandungan air dalam bahan bakar. Kandungan air (moisture) bila terjadi pembakaran akan segera

melepaskan dari ikatan bahan bakar. Air dibawah temperatur pembakaran tidak akan bertahan. Oleh sebab itu akan terjadi penguapan di bawah tekanan dalam dapur.

Bila enthalpy uap panas lanjut = H_{sup} dan enthalpy moisture (panas sensibel) = h_M dan kadar moisture dalam bahan bakar = M maka kerugian panas karena moisture adalah :

$$Q_M = (H_{sup} - H_M) \text{ kkal/kg}$$

Untuk enthalpy uap adi panas (super heated steam) adalah :

$$H_{sup} = H_{sat} + C_p (t_{sup} - t_{sat})$$

dimana :

H_{sat} = enthalpy uap saturasi

C_p = panas jenis uap rata-rata

t_{sup} = temperatur uap adi panas

t_{sat} = temperatur uap saturasi

tekanan dalam dapur diestimasikan = tekanan atmosfer jadi :

- Tekanan saturasi = 1 atm
- Temperatur saturasi = 100 °C
- Enthalpy uap saturasi = 640 kkal/kg

Sehingga dari rumus di atas dapat dituliskan menjadi :

$$Q_M = M \{640 + C_p + (t_g - 100) - H_M\} \text{ kkal/kg}$$

dimana H_M enthalpy dihitung pada temperatur kamar

Pada mulanya uap moisture dipanas lanjutkan sampai temperatur pembakaran, kemudian menjadi uap adi panas pada temperatur pembakaran dan bergabung dengan hasil pembakaran menjadi gas panas melalui bidang-bidang pemanas

sebagian panas di transfer pada bidang-bidang pemanas dengan meninggalkan corong asap maka temperatur sama dengan temperatur gas asap (tg)

Untuk kerugian panas jenis ini termasuk kerugian cerobong sehingga tidak diperhitungkan dalam neraca panas kecuali kerugian cerobong tidak dihitung tetapi diganti dengan kerugian gas asap kering.

2.18. Kerugian Panas Karena Kandungan Hidrogen (H₂) Dalam Bahan Bakar

Sewaktu terjadinya proses pembakaran Hydrogen maka hasil pembakaran adalah air (H₂O) yang akan menguap serta mendapat pemanasan lanjut.

Berat air (H₂O) yang terbentuk adalah 9 kali berat kandungan Hydrogen dalam bahan bakar, sehingga :

$$W (H_2O) = 9 H_2$$

Seperti juga dengan moisture maka air yang terbentuk akan segera menguap di bawah kondisi saturasi yaitu :

$$P_{sat} = 1 \text{ atm}$$

$$t_{sat} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H_{sat} = 640 \text{ kkal/kg}$$

Kemudian mendapat pemanasan lanjut, hingga menjadi uap panas lanjut di bawah kondisi tekanan dalam temperatur ruang pembakaran dan serta bergabung dengan unsur-unsur gas asap lainnya dan mengalami perpindahan panas dan sehingga ketel di bawah kondisi corong asap yaitu :

$$\text{Tekanan (P)} = \pm 1 \text{ atm}$$

$$\text{Temperatur gas (tg)} = \text{temperatur gas asap}$$

Untuk ini dianggap terjadi kerugian panas sebesar :

$$Q_{H_2} = 9 H_2 [640 + C_p (\text{tenaga kerja} - 100) - H_{H_2O}]$$

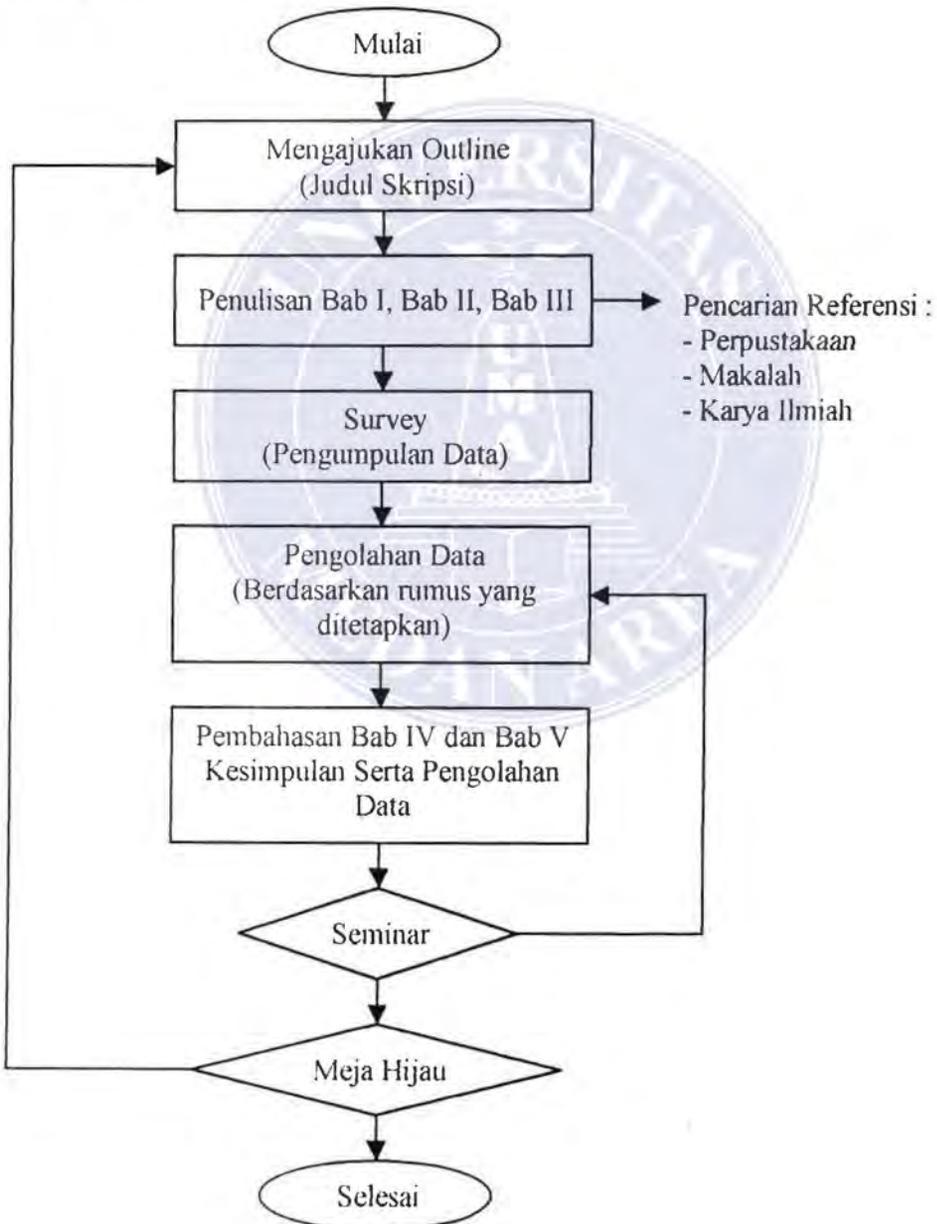
Kerugian panas jenis ini juga termasuk kerugian cerobong, sehingga tidak diperhitungkan dalam penyusunan neraca kalor, kecuali kerugian cerobong tidak dihitung tetapi diganti dengan kerugian panas karena gas asap kering.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Flow Chart Tahap-Tahap Penulisan Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ini dilakukan secara survey yang terdiri dari beberapa tahap yaitu :



3.2 Mengajukan judul

Dalam memulai penyusunan tugas akhir hal yang paling utama dilakukan adalah menentukan judul outline (Mengajukan Judul Outline). Dalam mengajukan outline, diharuskan bagi penulis mencari referensi yang sesuai dengan outline yang diajukan seperti mencari referensi dipergustakaan (Pergustakaan Daerah, USU, Unimed, ITM) serta karya ilmiah.

Setelah pencarian referensi selesai maka penulis dapat mengajukan outline sebagai tahap berikutnya.

Dalam mengajukan outline terdiri dari :

1. BAB I (Pendahuluan)

Bab I ini menjelaskan latar belakang masalah, tujuan pembahasan, batasan masalah.

2. BAB II (Tinjauan Pustaka)

Bab II ini menguraikan teori-teori yang sesuai dengan judul outline yang diajukan.

3. BAB III (Metodologi Penelitian)

Bab III ini menjelaskan bagaimana penulis melakukan penelitiannya, dalam hal ini penulis melakukan penelitian melalui survey. Setelah pengajuan outline selesai dan disetujui oleh ketua jurusan maka penulis dapat melakukan penulisan Tugas Akhir selanjutnya.

3.3 Pengumpulan Data (Survey)

Dalam melaksanakan survey penulis secara langsung mendapatkan data-data yang diperlukan dalam penelitian. Adapun data-data tersebut diperoleh melalui :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

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)22/7/24

1. **Survey Pustaka (Literatur)** yaitu pengambilan dan pengumpulan data yang didapat dari buku-buku, makalah dan karya ilmiah.
2. **Survey ke lapangan** yaitu dengan melakukan pengamatan dilapangan (Survey)
 Dalam melaksanakan survey penulis mengumpulkan data dari berbagai sumber di tempat survey tersebut misalnya :
 - a. Pengambilan data dari dokumentasi perusahaan
 - b. Pengamatan dari pembuatan drum ketel
 - c. Diskusi, tanya jawab kepada operator, teknisi dan maintenance
 - d. Gambar teknik ketel uap pipa api.

Setelah survey selesai dilaksanakan maka penulis dapat melaksanakan seminar outline (Proposal) yang bertujuan apakah outline yang diajukan sesuai atau tidak.

3.4 Seminar

3.5 Penulisan Bab IV dan Bab V serta pengolahan data.

Setelah outline disetujui dalam seminar maka penulis dapat melakukan pengolahan data yang diperoleh selama melakukan survey. Pengolahan data ini harus sesuai dengan rumus-rumus dan literatur yang dipergunakan dalam penelitian. Dalam tahap ini secara otomatis penulis dapat menyelesaikan Bab IV dan Bab V.

a. BAB IV (Pembahasan)

Pada Bab IV ini menerangkan hasil yang diperoleh dari hasil survey yang dilakukan serta menjelaskan hasil tersebut sesuai atau tidak dengan study literatur yang digunakan.

b. BAB V (Kesimpulan dan Saran)

UNIVERSITAS MEDAN AREA
 © Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 22/7/24

Pada Bab V ini menjelaskan hasil akhir atau kesimpulan yang didapat oleh penulis selama survey. Setelah tahap ini selesai dan disetujui kembali oleh ketua jurusan maka penulis dapat melaksanakan Meja Hijau sebagai sarana untuk mempertanggung jawabkan penelitiannya (Skripsinya) sehingga dapat memberikan tambahan informasi dan ilmu secara umum dan khususnya ilmu teknik mesin.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil survey yang dilakukan dimana ketel uap yang dirancang adalah ketel uap jenis pipa api dengan kapasitas uap yang kecil. Dan dari hasil survey yang dilaksanakan bahwa pada drum ketel tersebut material yang dipakai adalah baja carbon (carbon steel) sehingga sangat cukup aman digunakan. Dimana kapasitas uap yang dihasilkan 1050 kg/hour dengan tekanan kerja ketel = 6,3 Bar.

Demi menjaga lebih laa umur (life time) dari drum ketel (Boiler Tube) tersebut. Dikhususkan kepada operator maintenance lebih teliti dalam memelihara peralatan-peralatan pada drum ketel. Agar tidak menimbulkan hal-hal yang tidak diinginkan seperti timbulnya kebocoran atau pecah pada drum ketel akibat tidak mampu menahan panas.

Untuk itu dalam merancang/design suatu drum ketel sangat perlu diperhatikan dan diperhitungkan kekuatan material yng akan digunakan serta faktor-faktor kosentrasi tegangan dimana tegangan izin bahan drum ketel harus lebih besar dari tegangan yang terjadi agar cukup aman dipakai dalam merancang/design suatu drum ketel (Boiler tube). Dari hasil survey yang dilakukan sesuai dengan data-data yang didapat maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

a. Spesifikasi Ketel Uap secara umum :

- Jenis ketel uap : **Ketel uap pipa api**
- Kapasitas ketel uap : **1050 kg/jam**
- Tekanan ketel uap : **6,3 bar**
- Temperatur uap : **160,70°C**
- Jenis uap : **Uap jenuh**

b. Bahan bakar dan udara pembakaran

- Jenis bahan bakar : **Bahan bakar solar**
- Konsumsi bahan bakar : **66,43 kJ/kg**
- Nilai pembakaran bawah (LHV) : **43870,68 kJ/kg**
- Nilai pembakaran atas (HHV) : **46453,08 kJ/kg**
- Kebutuhan udara pembakaran : **1123,96 kg udara/jam**

c. Lorong api (ruang bakar)

- Diameter dalam : **900 mm**
- Diameter luar : **928 mm**
- Panjang : **2600 mm**
- Tebal dinding : **14 mm**

d. Pipa-pipa api

- Bahan pipa : **Seamless Carbon Steel**
- Diameter dalam pipa : **52,5 mm**
- Diameter luar pipa : **60,3 mm**

e. Drum ketel uap

- Material drum : baja carbon (carbon steel)
Spesifikasi C1010
- Panjang drum : 2600 mm
- Diameter dalam drum : 1760 mm
- Diameter luar drum : 1780 mm
- Tebal drum : 10 mm

B. Saran

Dari hasil survey yang dilakukan dari proses fabrikasi sampai dengan bahan jadi ada beberapa hal yang harus diperhatikan :

1. Handling material yang kurang rapi/bersih hal ini dapat mungkin mencelakai atau timbulnya kecelakaan kerja khususnya pada operator sendiri.
2. Pengenalan standar yang tidak menyeluruh sehingga para karyawan maupun operator tidak begitu banyak menguasai dan mengetahui dasar-dasar konstruksi
3. Kontrol mekanik dan elektrik pada Steam Outlet Boiler diharapkan lebih modern sehingga tidak membahayakan terhadap operator
4. Pada sistem Kontrol Air yang sering rusak ditemukan. Hal ini sering dilihat oleh penulis di beberapa pengolahan kelapa sawit, pada kerusakan kontrol ini dapat mengakibatkan keringnya air pada water wall sehingga menimbulkan ledakan pada drum ketel.

DAFTAR PUSTAKA

1. Elonka, Stephen Michael, Standard Heating and Power Boiler Plant Questions and answers, MC Graw – Hill Book Company, New York.
2. Holman, JP 1995 “Perpindahan Kalor” Cetakan Ke Lima, Edisi Ke Enam, Erlangga Jakarta.
3. Babcock & Wilcox, 1972, steam It’s Generation and Used 38th Edition, The Babcock & Wilcox Company, New York.
4. Djoko Setyardjo, M.J , 1987, Ketel Uap, Cetakan Ke Dua, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
5. Sarma S.P Chander Mohan, Fuels and Combustion, Tata Mc Graw Hill Book Company Ltd, New delhi.
6. Shigley, Joseph. E, 1994, Perencanaan Teknik Mesin Edisi Ke Empat Erlangga, Jakarta.
7. Muin, Syamsir A, “ Pesawat-pesawat energi II (ketel Uap)” Cetakan pertama, CV. Rajawali Jakarta, 1988.
8. Thimosenko.s, Dasar-Dasar Perhitungan Kekuatan Bahan, Bagian Pertama, Penerbit Restu Agung Jakarta, 1989