

# KARAKTERISTIK KETEL UAP PIPA AIR TERHADAP TEBAL KERAK PADA PIPA WATER WALL

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Ujian Sarjana

Oleh :

EDI KURNIAWAN  
NIM : 07.813.0038



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2011**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

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)13/9/23

## **ABSTRAK**

*Penulisan tugas sarjana ini bertujuan untuk mengetahui secara actual pengaruh tebal kerak terhadap perpindahan panas pada pipa water wall, sehingga didapat jumlah panas yang maksimal untuk uap kering*

*Dalam menyelesaikan tugas akhir ini penulis melakukan survey di PT.PLN (persero) Sicanang Belawan. Tujuan dari survey ini untuk mendapat data-data yang diperlukan dalam menganalisis perpindahan panas pada pipa water wall.*

*Kesimpulan dari analisa ini bahwa semakin tebal kerak yang menempel pada pipa water wall maka koefisien perpindahan panas menyeluruh akan semakin menurun akibatnya panas yang dibutuhkan pipa water wall akan naik dan pemakaian bahan bakar juga meningkat.*

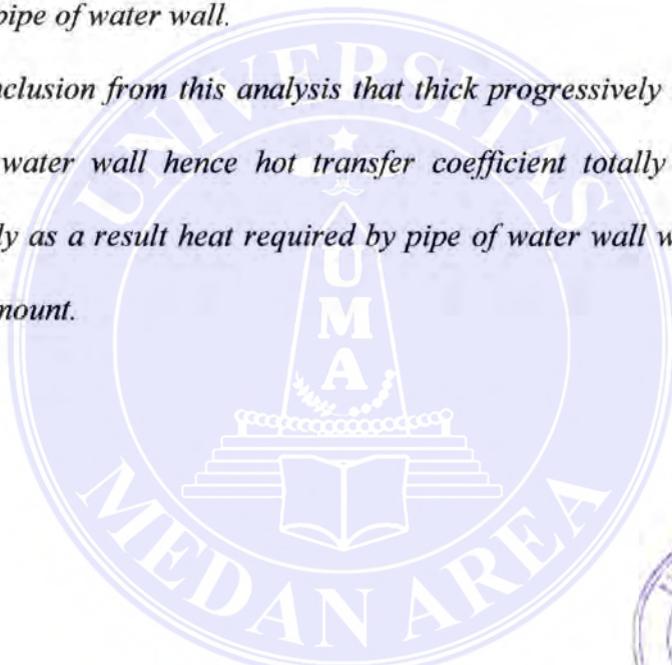
**Kata Kunci :** *Pipa water wall, Kerak*

## ABSTRACTION

*This master Duty Writing aim to to know by actual is thick influence of crust to hot transfer at pipe of water wall, is so that got by a maximal heat amount for the vapour of dry.*

*In finishing this final duty is writer do/conduct survey in PT.PLN( persero) Sicanang Belawan. Intention of this survey to get the data needed in analysing hot transfer a] pipe of water wall.*

*Conclusion from this analysis that thick progressively crust which patch at pipe of water wall hence hot transfer coefficient totally will be downhill progressively as a result heat required by pipe of water wall will go up and fuel usage also mount.*



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACTION.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
<b>BAB 1 : PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Analisa .....	4
1.5 Manfaat Analisa .....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB 2 : TUJUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Defenisi Ketep Uap .....	7
2.2 Klasifikasi Ketel Uap .....	8
2.3 Kinerja Boiler (Ketel Uap).....	17
2.4 Pipa Water Wall.....	32
2.5 Faktor Pergerakan Pada Pipa Water Wall.....	34
2.6 Proses Perpindahan Panas .....	36
2.7 Perpindahan Panas Di Dalam Pipa Water Wall Dalam Keadaan	

2.8	Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh.....	42
<b>BAB 3 : METODE PENELITIAN</b>		
3.1	Survey / Lapangan .....	44
3.2	Literatur .....	44
3.3	Analisa .....	44
3.4	Kesimpulan Dan Saran .....	44
<b>BAB 4 : ANALISA DATA</b>		
4.1	Analisa Pengaruh Kerak Pada Pipa Water Wall.....	45
4.2	Grafik Hasil Perhitungan Perpindahan Panas .....	57
<b>BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	60
5.2	Saran .....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>62</b>
<b>LAMPIRAN</b>		

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Dalam dinamika pembangunan teknologi pada masa sekarang ini, penggunaan ketel uap merupakan suatu hal yang amat penting, tujuannya menunjang mekanisme pembangunan dengan memanfaatkan sumber daya alam untuk kepentingan manusia.

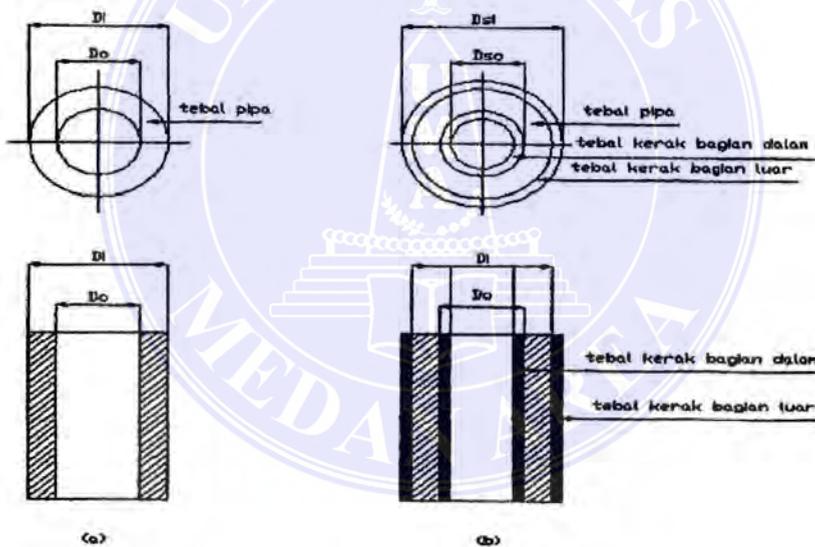
Kebutuhan ketel dalam dunia industri seperti dalam pabrik pengolahan kelapa sawit terus meningkat, yang melibatkan proses pemanasan, perebusan dan pengeringan dalam proses produksinya. Fluida kerja yang dipergunakan adalah air yang telah dipanaskan dan menghasilkan uap.

Air yang masuk ke ketel yang sebenarnya berasal dari sebuah waduk yang masih harus diproses untuk ditinjau kualitas air sebelum digunakan, agar memenuhi persyaratan yang ditentukan. Prosesnya adalah air yang berasal dari waduk dipompakan ke suatu bak yang diberi sekat/*baffle* dengan aliran *overflow* dan *underflow* dengan tujuan untuk menjebak zat padatan yang terbawa air sungai. Kemudian ditambahkan tawas, *aquaflock* AN-9 dan soda ash kedalam air agar zat padat yang melayang menjadi flok dan mengkoagulasi sehingga cukup berat dan mudah dipisahkan. Banyaknya penambahan zat kimia ditentukan oleh konsultan air tergantung pada kualitas airnya.

Kemudian di *demineralisasi* untuk memurnikan air dari mineral-mineralnya, terutama bila air banyak silica. Demineralisasi terdiri dari anion exchanger dan kation exchanger. Anion exchanger berfungsi untuk

garam terhadap hidrolisis dan menahan silica, sedangkan kation exchanger berfungsi untuk menukar mineral-mineral terhadap asam.

Daerator berfungsi mengurangi gas yang terlarut dalam air dan memanaskan *temperature feed water*. Hal ini dicapai melalui proses mekanisme dan pemanasan menggunakan uap yang berada didalam *pressure* daerator atau dengan vakum daerator. Air yang keluar dari daerator sebelum diumpankan ke boiler terlebih dahulu diinjeksikan bahan kimia yang berfungsi untuk menaikkan kualitas air ketel uap agar tidak cepat terjadinya kerak.



(a) Pipa tanpa kerak (b) Pipa dengan endapan kerak  
Gambar 1.1. Ilustrasi Terjadinya Kerak

Setelah mengamati dan melihat hasil penelitian-penelitian yang telah ada maka terdapat kerak dibagian dinding dalam dan bagian luar pipa air (*water wall*), pada ketel uap pipa air (*water tube boiler*), sehingga mengakibatkan faktor perpindahan panas pada pipa air menurun. Sehingga dibutuhkan panas yang lebih

UNIVERSITAS MEDAN AREA

untuk menghasilkan uap pada kondisi yang diinginkan.

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

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

Dari uraian diatas dapat di ambil kesimpulan dan dapat dilakukan sebuah analisa tentang “karakteristik ketel uap pipa air terhadap tebal kerak pada pipa water wall”.

Dengan adanya judul analisa ini diharapkan agar para pembaca, khususnya baik yang ingin mengetahui ketel uap dan cara pengoperasian ketel uap. Dan dapat memahami dan mengetahui proses terjadinya kerak dan perpindahan panasnya pada ketel pipa air (*water wall*) di ketel uap.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini permasalahan yang akan dibahas ialah seberapa besar pengaruh kerak (*scaling*) terhadap laju perpindahan panas yang dibutuhkan pipa *water wall* dan buruknya kualitas dari uap umpan ketel, sehingga menimbulkan kerak ketel pada pipa water wall yang menghasilkan suatu dampak yang perlu dianalisa antara lain ;

1. Buruknya kualitas dari air umpan yang bermutu rendah.
2. Terbentuknya kerak ketel yang menurunkan transfer panas pada pipa air.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini perlu diberi batasan masalah sehingga tidak terlalu meluas topik yang akan dibahas. Adapun batasan masalah dalam penulisan ini antara lain :

1. Menganalisa pengaruh kerak ketel pada pipa air (*water wall*) yang berada

2. Menganalisa perpindahan panas didalam pipa water wall.

#### 1.4 Tujuan Analisa

Tujuan dari dilakukannya penulisan ini adalah untuk mengetahui proses pengaruh kerak ketel uap perpindahan panas pada dinding dalam pipa air dan diluar pipa (*water wall*) di ketel uap pipa air (*water tube boiler*).

#### 1.5 Manfaat Analisa

1. Penulis dapat membandingkan ilmu yang diperoleh dibangku kuliah dengan kenyataan yang sebenarnya dilapangan.
2. Memahami dan mengetahui langkah-langkah untuk proses terjadinya kerak pada ketel pipa air dan cara mengatasinya.
3. Menambah perbendaharaan untuk mengkaji dalam bidang ketel uap.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk terarahnya penulisan ini dan untuk menghindari agar tidak terjadinya pembahasan yang berulang serta mempermudah pembaca dalam memahami, maka sistematika penulisannya sebagai berikut :

### BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan tugas akhir dan sistematika penulisan.

## BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang tinjauan pustaka yang berkenaan dengan tulisan ini yang terdiri : pengertian dasar ketel uap, pemakaian bahan bakar, faktor pergerakan dan dampak adanya kerak ketel pada pipa air .

## BAB 3 : METODOLOGI

Pada bab ini dibahas mengenai metode yang digunakan dalam melakukan analisa terhadap terbentuknya kerak ketel dan data-data yang digunakan dalam analisa.

## BAB 4 : ANALISA DATA

Pada bab ini dibahas tentang analisa pengaruh kerak pada pipa dan perhitungan perpindahan panas pada pipa Water Wall .

## BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dibahas mengenai ringkasan hasil analisa, kesimpulan dari pengaruh kerak ketel pada pipa Water Wall dan saran-saran dalam melakukan analisa termasuk untuk analisa selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini berisikan tentang referensi penulis untuk membahas persoalan-persoalan dalam tugas akhir ini.

## LAMPIRAN



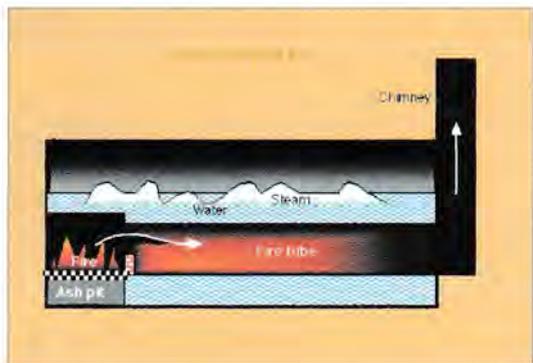
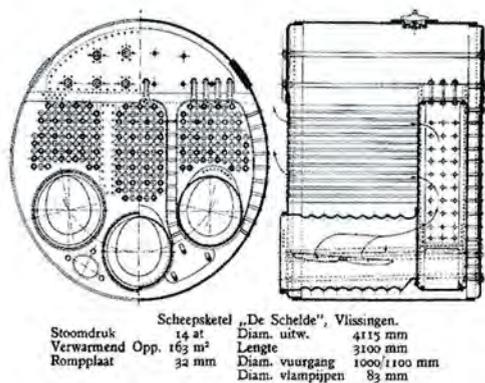
## 2.2 Klasifikasi Ketel Uap

Ketel uap (Steam boiler) dapat diklasifikasikan atas beberapa macam antara lain :

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

### a. Ketel pipa api (fire tube boiler)

Dimana fluida yang mengalir dalam pipa adalah api (hasil pembakaran yang ditransfer ke fluida air melalui bidang pemanas (heating surface). Tujuan pipa api ini adalah untuk memudahkan distribusi panas (kalor) ke air. Umumnya ketel ini digunakan untuk kapasitas uap yang terkecil, karena permukaan bidang yang dipanasi terbatas yaitu pada permukaan pipa-pipa api saja. Dan jenis ketel yang tergolong dalam ketel lorong api adalah ketel-ketel uap kecil serta sederhana yang hanya mampu memproduksi uap maksimum sebanyak 10 ton uap/jam, dengan tekanan maksimum  $22 \text{ kg/cm}^2$ , jadi tergolong ketel-ketel untuk tekanan rendah.



UNIVERSITAS MEDAN AREA

Gambar 2.1. Ketel Uap Pipa Api Type Schots

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

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

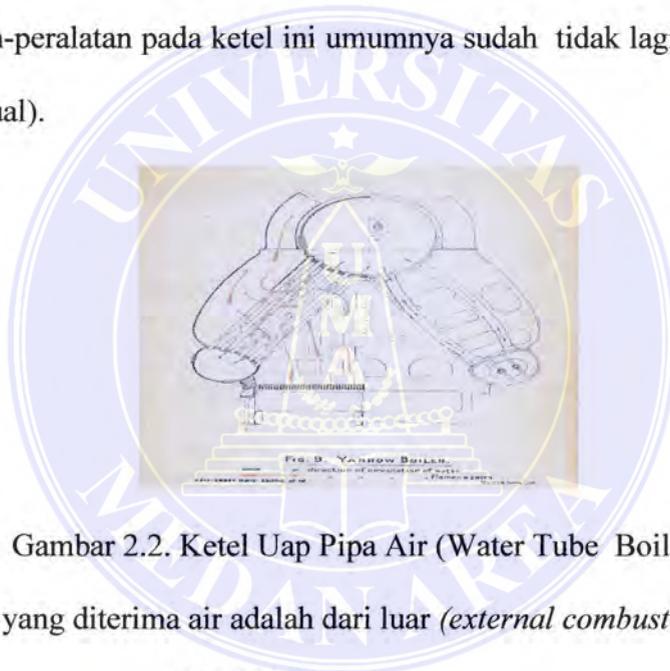
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

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

Access From (repository.uma.ac.id)13/9/23

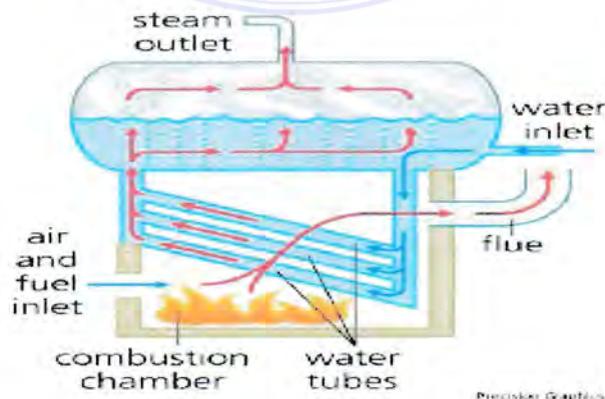
### b. Ketel Pipa Air (water tube boiler)

Pada pipa ini fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, sedangkan energi panas dipancarkan dari luar pipa (ruang bakar) ke air. Umumnya ketel ini digunakan untuk produksi uap dengan kapasitas yang besar. Dan ketel-ketel uap pipa ini umumnya sedang yaitu antara  $45 \text{ kg/cm}^2$  sampai dengan  $140 \text{ kg/cm}^2$ , dengan produksi uap mencapai 1000 ton/jam yang lebih besar dari ketel-ketel pipa api. Peralatan-peralatan pada ketel ini umumnya sudah tidak lagi dilayani dengan tangan (manual).



Gambar 2.2. Ketel Uap Pipa Air (Water Tube Boiler)

Energi panas yang diterima air adalah dari luar (*external combustion*)



Gambar 2.3. Prinsip Kerja Ketel Uap Pipa Air

Ketel uap pipa air memiliki jenis yang bervariasi jenis ketel uap pipa air diantaranya: ketel yarrow, ketel tipe D, ketel stirling, ketel babcock and wilcock dll. Ketel pipa air masih bisa diklasifikasikan berdasarkan system sirkulasi air ketel, susunan pipa-pipa air ketel, pabrik pembuat ketel dan lain-lain.

Dibandingkan dengan ketel pipa api, keuntungan ketel pipa air adalah :

- a. Sanggup bekerja dengan tekanan tinggi.
- b. Berat konstruksi ketel yang relatif ringan dari ketel pipa api jika dibandingkan dengan kapasitas ketel.
- c. Kapasitas yang besar.
- d. Dapat dioperasikan dengan cepat, jadi dalam waktu singkat telah dapat memproduksi uap.

#### b.1. Bagian-bagian Utama Ketel Uap Pipa Air

##### b.1.1. Ekonomiser

Pada ketel tekanan tinggi, temperature gas keluar dari pipa penguap terakhir masih tinggi, sehingga bila langsung di buang, menimbulkan kerugian panas yang relatif tinggi. Akibatnya efisiensi ketel rendah. Untuk ketel-ketel seperti ini sering dipasang ekonomiser. Pada pipa ekonomiser gas asap sebelum di buang digunakan untuk memanaskan air sebelum masuk ke drum ketel, dengan turunnya temperatur gas buang berarti pemanfaatan kalor di dalam ketel lebih

### b.1.2. Evaporator

Pada evaporator ini dirubah menjadi uap jenuh. Secara teoritis tekanan dan temperature pada saat penguapan adalah konstan. Panas yang di berikan ke air berfungsi untuk merubah fasah air menjadi uap. Besar panas yang diberikan ini sering disebut dengan panas laten panguapan. Perubahan fasa dari air ke uap terjadi dalam beberapa tahap, yaitu timbulnya gelembung-gelembung kecil pada air setelah mencapai temperatur saturasi, lalu gelembung-gelembung tersebut membesar dan selanjutnya keluar dari evaporator dengan kualitas uap tertentu.

### b.1.3. Superheater

Uap jenuh yang dihasilkan pada drum ketel dipanaskan kembali untuk menaikkan temperatur uap, sehingga kandungan panasnya lebih besar. Disamping itu pemakaian uap superheater tidak menyebabkan bintik-bintik air pada pipa uap dan sudu-sudu turbin. Dari analisa termodinamika efisiensi thermos menjadi lebih besar karena kenaikan temperature tersebut, sehingga pemakaian bahan bakar lebih irit.

### b.1.4. Ruang Bakar

Ruang bakar berfungsi sebagai tempat pembakaran bahan bakar. Bahan bakar dan udara dimasukkan kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran. Dari pembakaran bahan bakar dihasilkan sejumlah panas dan nyala api/gas asap yang berguna untuk memanasi air ketel.

Dinding ruang bakar umumnya dilapisi dengan pipa-pipa yang berisi air ketel (water wall). Air dalam pipa-pipa ini senantiasa bersirkulasi untuk mendinginkan dinding pipa dan sekaligus berfungsi sebagai pipa penguap. Dari drum atas air turun melalui pipa downcomer atau pipa-pipa konveksi dan pada pipa-pipa water wall air naik kembali menuju drum atas. Semakin cepat laju peredaran air, pendinginan dinding pipa bertambah baik dan kapasitas uap yang dihasilkan bertambah besar.

Kebersihan dinding pipa water wall sangat mempengaruhi besarnya laju perpindahan panas. Pengotoran dinding pipa dapat terjadi pada permukaan luar akibat jelaga atau dapat terjadi pada permukaan dalam akibat kerak ketel. Kotoran yang melekat pada pipa water wall akan memperkecil kapasitas yang dihasilkan ketel. Lapisan kerak pada dinding pipa sebelah dalam dapat pula menyebabkan naiknya tekanan ketel

#### b.1.5. Downcomer

Pipa downcomer berfungsi untuk mengalirkan air ketel dari drum uap ke drum lumpur atau ke header-header air pipa evaporator. Dalam beberapa jenis ketel, untuk menghubungkan drum uap dengan drum lumpur digunakan pipa-pipa konveksi yang dipanasi dengan alirangas asap.

#### b.1.6. Drum ketel uap

Drum ketel berfungsi sebagai tempat penampungan air dan temperatur

UNIVERSITAS MEDAN AREA  
 pemisahan antara air dan gelembung-gelembung uap yang terbentuk dari pipa-

pipa water wall. Menurut konsep pemisahan uap dengan air pada drum ketel, proses pemisahan ini terdiri dari 3 (tiga) jenis, yaitu: pemisahan secara alami (*natural gravity-driven separation*), pemisahan dengan menggunakan pembatas (*baffle-assisted primary separation*), dan pemisahan secara mekanik (*mechanical-primary separation*).

#### b.1.7 Pipa Waterwall

Pada ruang bakar ketel uap komponen yang paling penting adalah pipa waterwall, dimana panas yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar diserap waterwall, sehingga air yang terdapat pada pipa waterwall mengalami kenaikan temperatur sampai berubah menjadi uap.

#### b.1.8. Pipa Backpass

Suatu komponen ketel uap yang berfungsi untuk mengalirkan uap jenuh dari drum bawah ke drum atas akibat adanya perbedaan temperature. Pipa backpass juga berfungsi untuk mentransfer panas. Pipa ini diletakkan antara drum atas dan drum bawah.

#### b.1.9. Cerobong Asap

Cerobong asap berfungsi untuk membuang gas asap yang tidak dipakai lagi ke udara bebas, untuk mengurangi polusi disekitar instalasi ketel, Sehingga proses pembakaran dapat berlangsung dengan baik. Dengan cerobong asap pengeluaran gas asap dapat lebih sempurna.

### b.1.10. Header

Header merupakan suatu media penampung air dan uap yang disirkulasi ke pipa-pipa waterwall. Header pada ketel uap terdiri dari 4 ( empat) bagian yaitu :

- a. Header Depan (Front Header)
- b. Header Belakang (Rear Header)
- c. Header Samping kiri (Division Wall side header)
- d. Header Samping kanan (Furnace Side header)

2. Berdasarkan pemakaiannya, ketel dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Stationer (stationery boiler) atau ketel tetap
- b. Mobil (mobile boiler) ketel pindah atau portable boiler

Yang termasuk stationer ialah ketel-ketel yang didudukkan diatas fondasi yang tetap, seperti Boiler untuk pembangkit tenaga, untuk industri dan lain-lain yang termasuk ketel mobil, ialah ketel yang dipasang pada pondasi yang berpindah-pindah, seperti boiler lokomotif, ketel panjang seperti ketel kapal (Marine Boiler).

3. Berdasarkan letak dapur (furnace position)

- a. Ketel dengan pembakaran di dalam (internally fired steam boiler). Dapur berada (pembakaran terjadi) dibagian dalam ketel, cara ini banyak dipakai pada ketel pipa api.
- b. Ketel dengan pembakaran di luar (Outernally Fired Steam Boiler). Berupa

(pembakaran terjadi) dibagian luar ketel, cara ini banyak dipakai pada

4. Menurut arah poros dari drum
  - a. Ketel tegak (*vertical steam boiler*) dimana sumbu ketel tersebut tegak lurus, seperti ketel Cochran, ketel Clarkson dan lain-lain.
  - b. Ketel mendatar (*horizontal steam boiler*), seperti ketel Cornish, Lancashire, scotch dan lain-lain.
5. Berdasarkan jumlah lorong (*Boiler Tube*)
  - a. Ketel dengan lorong tunggal (*single tube steam boiler*) pada ketel ini hanya terdapat satu lorong api atau pun saluran air.  
Contoh: ketel cormish untuk *single fire boiler* dan ketel *simple vertical* untuk *single tube boiler*
  - b. Ketel dengan lorong ganda (*multy tubular steam boiler*). Ketel ini mempunyai lebih dari satu lorong, seperti terdapat pada ketel scotch dan ketel B & W.
6. Menurut bentuk dan letak pipa, ketel uap dapat diklasifikasikan ;
  - a. Ketel dengan pipa lurus, bengkok dan berlekuk-lekuk (*strainght, bent dan sinous tubuler heating*).
  - b. Ketel dengan pipa miring datar dan miring tegak (*horizontal inclined or vertical tubular heating surface*)
7. Menurut sistem peredaran air ketel (*water circulation*) ketel uap diklasifikasikan
  - a. Ketel dengan peredaran alam (*Natural Circulation Steam Boiler*)

Pasa ketel ini, peredaran air dalam ketel terjadi secara alami yaitu air yang

konveksi alami. Ketel yang broprasi secara aliran alami adalah ketel lanchasire, babcock dan Wilcox dan lain-lain.

b. Ketel dengan peredaran pasak (Forced Circulation Steam Boiler)

Pada ketel dengan aliran paksa, aliran paksa diperoleh dari sebuah pompa centrifugal yang digerakkan dengan elektrik motor. Ketel aliran paksa dipakai pada ketel-ketel yang bertekanan tinggi seperti La-Mont Boiler, Benson Boiler, Luffer Boiler, dan Velcan Boiler.

8. Ditinjau dari sumber panasnya (hourse surface)

- a. Ketel uap dengan bahan bakar alami
- b. Ketel uap dengan bahan bakar buatan
- c. Ketel uap dengan dapur listrik
- d. Ketel uap dengan energi nuklir

9. Berdasarkan jenis bahan bakar

- a. Ketel uap dengan bahan bakar padat ( batubara, cangkang, serabut, kayu dan lain-lain)
- b. Ketel uap dengan bahan bakar cair (minyak bumi, bensin, solar)
- c. Ketel uap dengan bahan bakar gas (gas alam, gas bumi dan lain-lain)
- d. Ketel uap dengan bahan bakar nuklir (uranium)

10. Berdasarkan Tekanan Kerja Ketel

- a. Ketel uap tekanan rendah, dibawah 5 kg/cm<sup>2</sup>
- b. Ketel uap tekanan menengah, antara 5-30 kg /cm<sup>2</sup>
- c. Ketel uap tekanan tinggi, antara 30-325 kg/cm<sup>2</sup>

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

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)13/9/23

## 11. Berdasarkan Kapasitas Uap

- a. Ketel uap dengan kapasitas uap rendah (dibawah 10 ton uap/jam)
- b. Ketel uap dengan kapasitas uap sedang (10- 60 ton uap /jam)
- c. Ketel uap dengan kapasitas uap besar ( diatas 60 ton uap/jam).

### 2.3. Kinerja Boiler (Ketel Uap)

Bagian ini menjelaskan evaluasi kinerja boiler (melalui metode langsung dan tidak langsung termasuk contoh perhitungan efisiensi), *blowdown* boiler, dan pengolahan air boiler.

#### 1. Evaluasi Kinerja Boiler

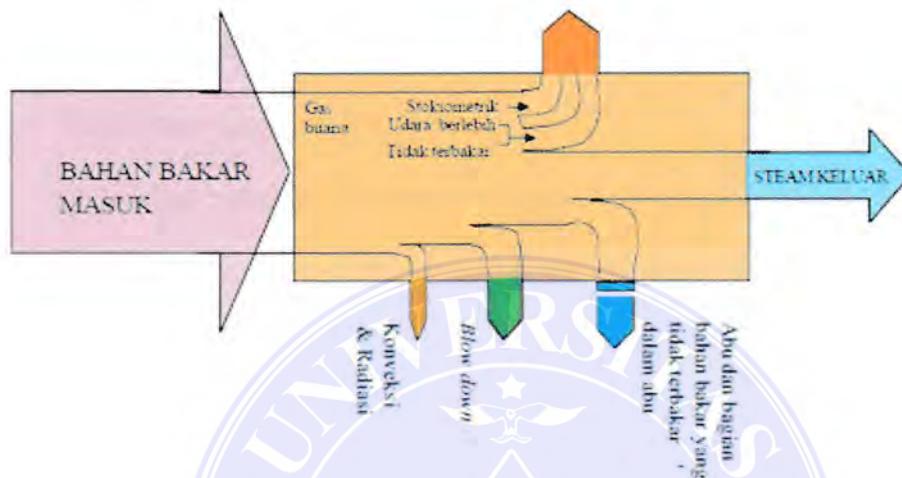
Parameter kinerja boiler, seperti efisiensi dan rasio penguapan, berkurang terhadap waktu disebabkan buruknya pembakaran, kotornya permukaan penukar panas dan buruknya operasi dan pemeliharaan. Bahkan untuk *boiler* yang baru sekalipun, alasan seperti buruknya kualitas bahan bakar dan kualitas air dapat mengakibatkan buruknya kinerja boiler. Neraca panas dapat membantu dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari. Uji efisiensi boiler dapat membantu dalam menemukan penyimpangan efisiensi boiler dari efisiensi terbaik dan target area permasalahan untuk tindakan perbaikan.

##### a. Neraca Panas

Proses pembakaran dalam boiler dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir

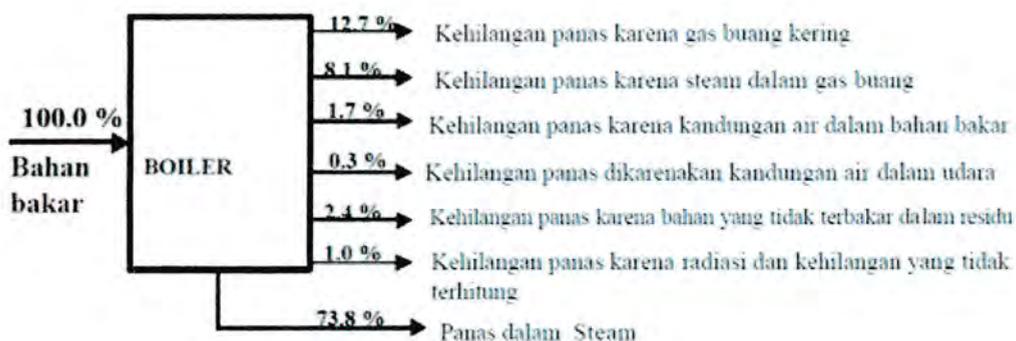
ENERGI  
UNIVERSITAS MEDAN AREA menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi

dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi. Panah tebal menunjukkan jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing-masing.



Gambar 2.4. Diagram neraca energi boiler

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



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

- Kehilangan gas cerobong:
  - a. Udara berlebih (diturunkan hingga ke nilai minimum yang tergantung dari teknologi *burner*, operasi (kontrol), dan pemeliharaan).
  - b. Suhu gas cerobong (diturunkan dengan mengoptimalkan perawatan (pembersihan), beban; *burner* yang lebih baik dan teknologi boiler).
- Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu (mengoptimalkan operasi dan pemeliharaan; teknologi *burner* yang lebih baik).
- Kehilangan dari *blowdown* (pengolahan air umpan segar, daur ulang kondensat)
- Kehilangan kondensat (manfaatkan sebanyak mungkin kondensat)
- Kehilangan konveksi dan radiasi (dikurangi dengan isolasi boiler yang lebih baik)

#### b. Efisiensi Boiler

Efisiensi termis boiler didefinisikan sebagai “persen energi (panas) masuk yang digunakan secara efektif pada steam yang dihasilkan.”

Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler:

## UNIVERSITAS MEDAN AREA

- Metode Langsung: energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar *boiler*.
- Metode Tidak Langsung: efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energy yang masuk.

## 2. Blowdown Boiler

Jika air dididihkan dan dihasilkan steam, padatan terlarut yang terdapat dalam air akan tinggal di boiler. Jika banyak padatan terdapat dalam air umpan, padatan tersebut akan terpekatkan dan akhirnya akan mencapai suatu tingkat dimana kelarutannya dalam air akan terlampaui dan akan mengendap dari larutan. Diatas tingkat konsenrasi tertentu, padatan tersebut mendorong terbentuknya busa dan menyebabkan terbawanya air ke steam. Endapan juga mengakibatkan terbentuknya kerak di bagian dalam boiler, mengakibatkan pemanasan setempat menjadi berlebih dan akhirnya menyebabkan kegagalan pada pipa boiler.

Oleh karena itu penting untuk mengendalikan tingkat konsentrasi padatan dalam suspensi dan yang terlarut dalam air yang dididihkan. Hal ini dicapai oleh proses yang disebut '*blowing down*', dimana sejumlah tertentu volume air dikeluarkan dan secara otomatis diganti dengan air umpan – dengan demikian akan tercapai tingkat optimum total padatan terlarut (TDS) dalam air boiler dan membuang padatan yang sudah rata keluar dari larutan dan yang cenderung tinggal pada permukaan boiler. *Blowdown* penting untuk melindungi permukaan penukar panas pada boiler. Walau demikian, *Blowdown* dapat menjadi sumber

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

kehilangan panas yang cukup berarti, jika dilakukan secara tidak benar.

Document Accepted 13/9/23

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

a. Konduktivitas sebagai indikator kualitas air boiler

Dikarenakan pekerjaan mengukur TDS pada sistim air boiler merupakan pekerjaan yang membosankan dan memakan waktu, maka digunakan pengukuran konduktivitas untuk memantau TDS keseluruhan yang ada dalam boiler. Peningkatan dalam konduktivitas menunjukkan kenaikan “pencemaran” air boiler. Metode konvensional untuk mem-*blowdown* boiler tergantung pada dua jenis *blowdown*: sewaktu-waktu dan kontinyu.

***Blowdown yang sewaktu-waktu/ intermittent***

*Blowdown* yang sewaktu-waktu dioperasikan secara manual menggunakan sebuah kran yang dipasang pada pipa pembuangan pada titik terendah *shell* boiler untuk mengurangi parameter (TDS atau konduktivitas, pH, konsentrasi Silica dan Fosfat) dalam batasan yang sudah ditentukan sehingga tidak berpengaruh buruk terhadap kualitas steam. Jenis *blowdown* ini juga merupakan metode efektif untuk membuang padatan yang telah lepas dari larutan dan menempati pipa api dan permukaan dalam *shell* boiler. Pada *blowdown* yang sewaktu-waktu, jalur yang berdiameter besar dibuka untuk waktu sesaat, yang didasarkan pada aturan umum misalnya “sekali dalam satu *shift* untuk waktu 2 menit”.

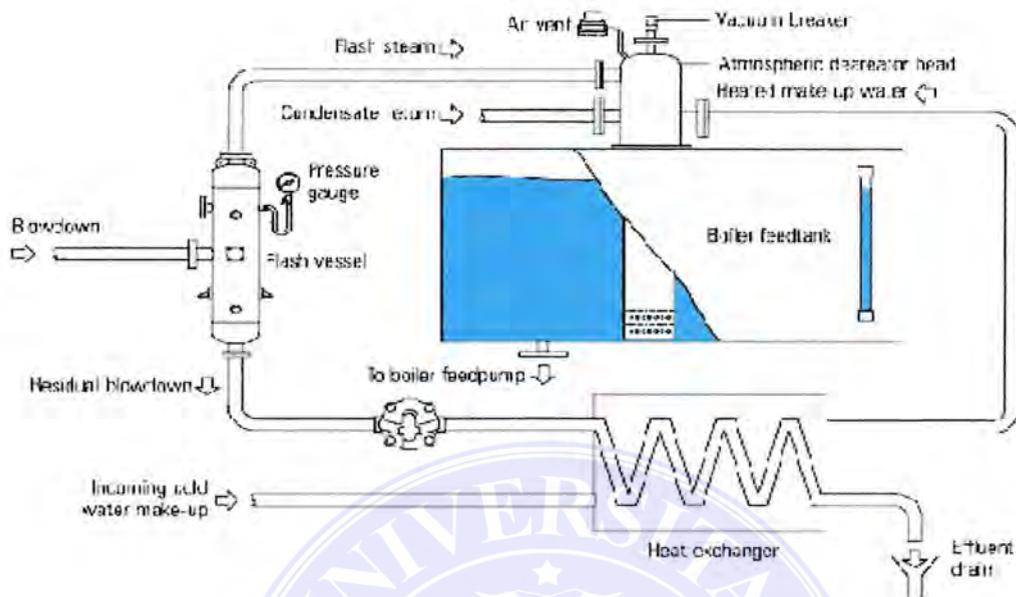
*Blowdown* yang sewaktu-waktu menyebabkan harus ditambahkannya air umpan ke dalam boiler dalam jumlah besar dan dalam waktu singkat, sehingga membutuhkan pompa air umpan yang lebih besar daripada jika digunakan *blowdown* kontinyu. Juga, tingkat TDS akan bervariasi, sehingga menyebabkan

*steam* dan distribusinya yang setara dengan perubahan dalam konsentrasi padatan. Juga, sejumlah besar energi panas hilang karena *blowdown* yang sewaktu-waktu.

### ***Blowdown yang kontinyu***

Terdapat pemasukan yang tetap dan konstan sejumlah kecil aliran air boiler kotor, dengan penggantian aliran masuk air umpan yang tetap dan konstan. Hal ini menjamin TDS yang konstan dan kemurnian steam pada beban steam tertentu. Kran *blowdown* hanya diatur satu kali untuk kondisi tertentu, dan tidak perlu lagi diatur setiap saat oleh operator. Walaupun sejumlah besar panas diambil dari boiler, tetapi ada peluang pemanfaatan kembali panas ini dengan mengembuskannya ke *flash tank* dan menghasilkan *flash steam*. *Flash steam* ini dapat digunakan untuk pemanasan awal air umpan boiler. Jenis *blowdown* ini umum digunakan pada boiler bertekanan tinggi.

Residu *blowdown* yang meninggalkan *flash vessel* masih mengandung energi panas yang cukup dan dapat dimanfaatkan kembali dengan me pasang sebuah penukar panas untuk memanaskan air *make-up* dingin. Sistem pemanfaatan kembali panas *blowdown* yang lengkap seperti yang digambarkan dibawah dapat memanfaatkan hingga 80% energi yang terkandung dalam *blowdown*, yang dapat diterapkan pada berbagai ukuran boiler steam dengan waktu pengembalian modalnya bisa kembali hanya dalam beberapa bulan.



Gambar 2.6. Skema Pemanfaatan Kembali Panas dari *Blowdown* Boiler

### 3. Pengolahan Air Umpan Boiler

Memproduksi steam yang berkualitas tergantung pada pengolahan air yang benar untuk mengendalikan kemurnian steam, endapan dan korosi. Sebuah boiler merupakan bagian dari sistem boiler, yang menerima semua bahan pencemar dari sistem sebelumnya. Kinerja boiler, efisiensi, dan umur layanan merupakan hasil langsung dari pemilihan dan pengendalian air umpan yang digunakan dalam boiler.

Jika air umpan masuk ke boiler, kenaikan suhu dan tekanan menyebabkan komponen air memiliki sifat yang berbeda. Hampir semua komponen dalam air umpan dalam keadaan terlarut. Walau demikian, dibawah kondisi panas dan tekanan hampir seluruh komponen terlarut keluar dari larutan sebagai padatan partikulat, kadang-kadang dalam bentuk Kristal dan pada waktu yang lain sebagai

terjadi pembentukan kerak dan endapan. Air boiler harus cukup bebas dari pembentukan endapan padat supaya terjadi perpindahan panas yang cepat dan efisien dan harus tidak korosif terhadap logam boiler.

a. Pengendalian endapan

Endapan dalam boiler dapat diakibatkan dari kesadahan air umpan dan hasil korosi dari sistim kondensat dan air umpan. Kesadahan air umpan dapat terjadi karena kurangnya sistim pelunakan.

Endapan dan korosi menyebabkan kehilangan efisiensi yang dapat menyebabkan kegagalan dalam pipa boiler dan ketidakmampuan memproduksi steam. Endapan bertindak sebagai isolator dan memperlambat perpindahan panas. Sejumlah besar endapan diseluruh boiler dapat mengurangi perpindahan panas yang secara signifikan dapat menurunkan efisiensi boiler. Berbagai jenis endapan akan mempengaruhi efisiensi boiler secara berbeda-beda, sehingga sangat penting untuk menganalisis karakteristik endapan. Efek pengisolasian terhadap endapan menyebabkan naiknya suhu logam boiler dan mungkin dapat menyebabkan kegagalan pipa karena pemanasan berlebih.

b. Kotoran yang mengakibatkan pengendapan

Bahan kimia yang paling penting dalam air yang mempengaruhi pembentukan endapan dalam boiler adalah garam kalsium dan magnesium yang dikenal dengan garam sadah.

Kalsium dan magnesium bikarbonat larut dalam air membentuk larutan basa/alkali dan garam-garam tersebut dikenal dengan kesadahan alkali. Garam-garam tersebut terurai dengan pemanasan, melepaskan karbon dioksida dan membentuk lumpur lunak, yang kemudian mengendap. Hal ini disebut dengan kesadahan sementara – kesadahan yang dapat dibuang dengan pendidihan.

Kalsium dan magnesium sulfat, klorida dan nitrat, dll., jika dilarutkan dalam air secara kimiawi akan menjadi netral dan dikenal dengan kesadahan non-alkali. Bahan tersebut disebut bahan kimia sadah permanen dan membentuk kerak yang keras pada permukaan boiler yang sulit dihilangkan. Bahan kimia sadah non-alkali terlepas dari larutannya karena penurunan daya larut dengan meningkatnya suhu, dengan pemekatan karena penguapan yang berlangsung dalam boiler, atau dengan perubahan bahan kimia menjadi senyawa yang kurang larut.

### c. Silika

Keberadaan silika dalam air boiler dapat meningkatkan pembentukan kerak silika yang keras. Silika dapat juga berinteraksi dengan garam kalsium dan magnesium, membentuk silikat kalsium dan magnesium dengan daya konduktivitas panas yang rendah. Silika dapat meningkatkan endapan pada sirip turbin, setelah terbawa dalam bentuk tetesan air dalam steam, atau dalam bentuk yang mudah menguap dalam steam pada tekanan tinggi.

#### d. Pengolahan Air internal

Pengolahan internal adalah penambahan bahan kimia ke boiler untuk mencegah pembentukan kerak. Senyawa pembentuk kerak diubah menjadi lumpur yang mengalir bebas, yang dapat dibuang dengan *blowdown*. Metode ini terbatas pada boiler dimana air umpan mengandung garam sadah yang rendah, dengan tekanan rendah, kandungan TDS tinggi dalam boiler dapat ditoleransi, dan jika jumlah airnya kecil. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi maka laju *blowdown* yang tinggi diperlukan untuk membuang lumpur. Hal tersebut menjadi tidak ekonomis sehubungan dengan kehilangan air dan panas.

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

#### e. Pengolahan Air Eksternal

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

Proses perlakuan eksternal yang ada adalah:

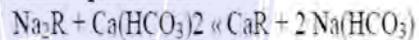
- De-aerasi (mekanis dan kimia)
- Osmosis balik
- Penghilangan mineral/ demineralisasi

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

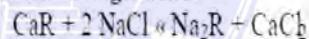
Metode pengolahan awal adalah sedimentasi sederhana dalam tangki pengendapan atau pengendapan dalam *clarifiers* dengan bantuan koagulan dan flokulan. Penyaring pasir bertekanan, dengan aerasi untuk menghilangkan karbon dioksida dan besi, dapat digunakan untuk menghilangkan garam-garam logam dari air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

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

**Reaksi pelunakan:**



**Reaksi regenerasi**



### ***Proses pertukaran ion (Plant Pelunakan)***

Pada proses pertukaran ion, kesadahan dihilangkan dengan melewati air pada *bed* zeolit alam atau resin sintetik dan tanpa pembentukan endapan. Jenis paling sederhana adalah ‘pertukaran basa’ dimana ion kalsium dan magnesium ditukar dengan ion sodium. Setelah jenuh, dilakukan regenerasi dengan sodium klorida.

Garam sodium mudah larut, tidak membentuk kerak dalam boiler. Dikarenakan

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

Demineralisasi merupakan penghilangan lengkap seluruh garam. Hal ini dicapai dengan menggunakan resin “kation”, yang menukar kation dalam air baku dengan ion hydrogen menghasilkan asam hidroklorida, asam sulfat dan asam karbonat. Asam karbonat dihilangkan dalam menara *degassing* dimana udara dihembuskan melalui air asam. Berikutnya, air melewati resin “anion”, yang menukar anion dengan asam mineral (misalnya asam sulfat) dan membentuk air. Regenerasi kation dan anion perlu dilakukan pada jangka waktu tertentu dengan menggunakan asam mineral dan soda kaustik. Penghilangan lengkap silika dapat dicapai dengan pemilihan resin anion yang benar. Proses pertukaran ion, jika diperlukan, dapat digunakan untuk demineralisasi yang hampir total, seperti untuk boiler pembangkit tenaga listrik.

### ***De-aerasi***

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

Penghilangan oksigen, karbon dioksida dan gas lain yang tidak dapat terembunkan dari air umpan boiler sangat penting bagi umur peralatan boiler dan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

..... juga keamanan operasi. Asam karbonat mengkorosi logam menurunkan umur  
 © 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

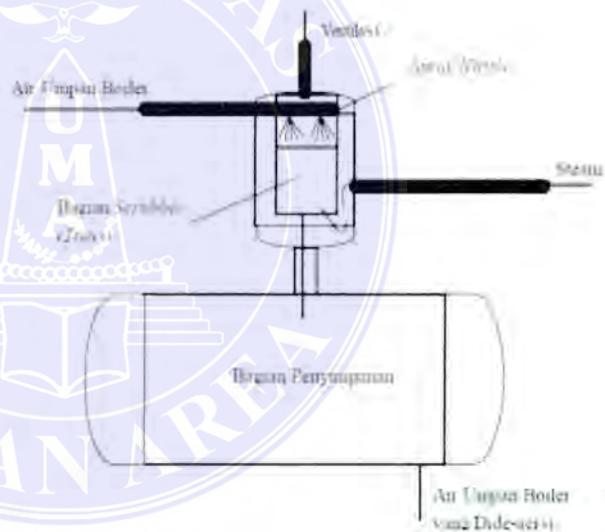
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
 Access From (Repository.uma.ac.id)13/9/23

peralatan dan pemipaan. Asam ini juga melarutkan besi (Fe) yang jika kembali ke boiler akan mengalami pengendapan dan menyebabkan terjadinya pembentukan kerak pada boiler dan pipa. Kerak ini tidak hanya berperan dalam penurunan umur peralatan tapi juga meningkatkan jumlah energi yang diperlukan untuk mencapai perpindahan panas.

De-aerasi dapat dilakukan dengan de-aerasi mekanis, de-aerasi kimiawi, atau keduanya.

### De-aerasi mekanis

De-aerasi mekanis untuk penghilangan gas terlarut digunakan sebelum penambahan bahan kimia untuk oksigen. De-aerasi mekanis didasarkan pada hukum fisika Charles dan Henry. Secara ringkas, hukum tersebut



Gambar 2.7. De-aerasi mekanis

menyatakan bahwa penghilangan oksigen dan karbon dioksida dapat disempurnakan dengan pemanasan air umpam boiler, yang akan menurunkan konsentrasi oksigen dan karbon dioksida di sekitar atmosfer air umpam. De-aerasi mekanis dapat menjadi yang paling ekonomis, beroperasi pada titik didih air pada tekanan dalam *de-aerator*. Deaerasi mekanis dapat berjenis vakum atau bertekanan.

De-aerator jenis vakum beroperasi dibawah tekanan atmosfer, pada suhu sekitar 82°C, dan dapat menurunkan kandungan oksigen dalam air hingga kurang dari 0,02 mg/liter. Pompa vakum atau *steam ejectors* diperlukan untuk mencapai kondisi vakum. De-aerator jenis bertekanan beroperasi dengan membiarkan steam menuju air umpan melalui klep pengendali tekanan untuk mencapai tekanan operasi yang dikehendaki, dan dengan suhu minimum 105°C. Steam menaikkan suhu air menyebabkan pelepasan gas O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan dari sistim. Jenis ini dapat mengurangi kadar oksigen hingga 0,005 mg/liter.

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

Dalam sistim boiler, steam lebih disukai untuk de-aerasi sebab:

- Steam pada dasarnya bebas dari O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>
- Steam tersedia dengan mudah
- Steam menambah panas yang diperlukan untuk melengkapi reaksi



### De-aerasi kimiawi

Sementara *deaerators* mekanis yang paling efisien menurunkan oksigen hingga ke tingkat yang sangat rendah (0,005 mg/liter), namun jumlah oksigen yang sangat kecil sekalipun dapat menyebabkan bahaya korosi terhadap sistim. Sebagai akibatnya, praktek pengoperasian yang baik memerlukan penghilangan oksigen yang sangat sedikit tersebut dengan bahan kimia pereaksi oksigen seperti sodium sulfit atau hidrasin. Sodium sulfit akan bereaksi dengan oksigen membentuk

UNIVERSITAS MEDAN AREA

sodium sulfat yang akan meningkatkan TDS dalam air boiler dan meningkatkan

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

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

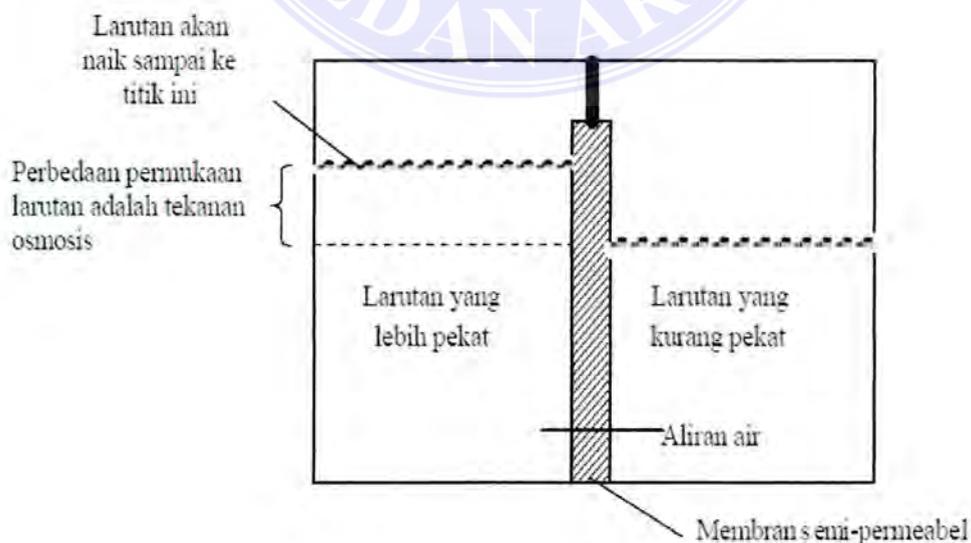
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

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

*blowdown* dan kualitas air *make-up*. Hydrasin bereaksi dengan oksigen membentuk nitrogen dan air. Senyawa tersebut selalu digunakan dalam boiler tekanan tinggi bila diperlukan air boiler dengan padatan yang rendah, karena senyawa tersebut tidak meningkatkan TDS air boiler.

### ***Osmosis balik***

Osmosis balik menggunakan kenyataan bahwa jika larutan dengan konsentrasi yang berbedabeda dipisahkan dengan sebuah membran *semi-permeable*, air dari larutan yang berkonsentrasi lebih kecil akan melewati membran untuk mengencerkan cairan yang berkonsentrasi tinggi. Jika cairan yang berkonsentrasi tinggi tersebut diberi tekanan, prosesnya akan dibalik dan air dari larutan yang berkonsentrasi tinggi mengalir ke larutan yang lebih lemah. Hal ini dikenal dengan osmosis balik.



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

## 2.4 Pipa Water Wall

Pipa water wall yang merupakan bagian dari ketel uap air adalah susunan pipa-pipa yang diletakkan pada sisi sebelah dalam ruang bakar ketel sebagai dinding yang merupakan bagian terpanas, karena tempat terjadinya pembakaran bahan bakar. Hal ini dilakukan agar panas hasil pembakaran bahan bakar yang berupa gas.

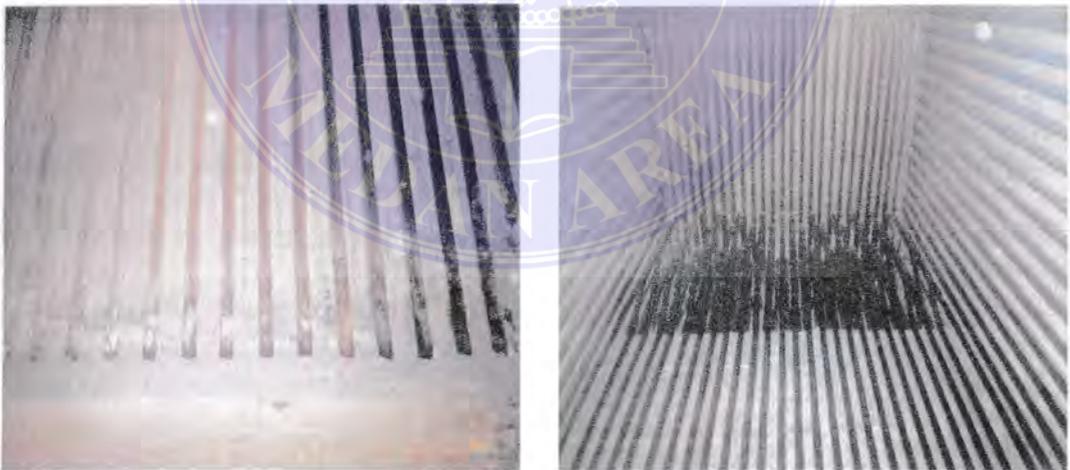
Hal ini dilakukan agar panas hasil pembakaran bahan bakar yang berupa gas asap maupun yang berupa nyala api dapat diserap oleh air yang berada di dalam pipa. Panas yang diserap oleh air dalam pipa *water wall* berasal dari nyala api dalam ruang bakar dan juga kondisi pada aliran gas asap sehingga membentuk uap saturasi. Bagian atas pada pipa *water wall* dihubungkan ke drum atas dan bagian bawah dihubungkan ke header (tangki penampung).

Panas yang dipindahkan ke pipa water wall akan mengubah fasa air yang cair didalam pipa menjadi fasa uap, hal ini ditandai dengan adanya gelembung-gelembung uap air pada saat air mendidih akibat pemberian panas.

Dari uraian diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa fungsi pipa water wall adalah sebagai media pemanas yang akan memanaskan air yang berada di dalamnya untuk diubah menjadi uap saturasi.

Siklus air berlangsung dari drum bagian atas melalui pipa back pass ke drum bawah, selanjutnya ke header, dan header ini dialirkan ke pipa-pipa water wall. Sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini.

Gamabr 2.5. (a) merupakan bentuk pipa water wall bagian belakang sedangkan untuk gambar 2.5 (b) adalah bentuk pipa water wall bagian samping kanan, samping kiri, depan dan belakang pada sebuah ketel uap pipa air, dimana letaknya berada didalam sebuah ruang bakar yang menerima panas secara langsung dari pembakaran bahan bakar.



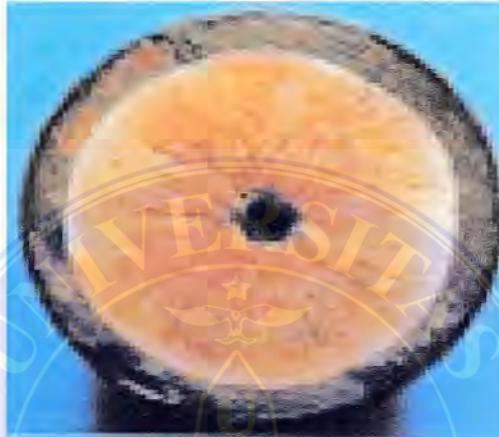
( a ) Pandangan belakang

( b ) Sisi kanan kiri

Gambar 2.9. Boiler

## 2.5 Faktor Pengerakan Pada Pipa Water Wall

Problematika yang sering terjadi pada ketel uap khususnya pada pipa water wall yang mengakibatkan retak atau pecahnya pipa water wall adalah pembentukan kerak.



Gambar 2.10. Pembentukan Kerak

Kerak merupakan endapan yang terjadi di dalam dan di luar pipa. Terbentuknya pada dinding ketel uap merupakan hal yang membahayakan pada ketel uap, sebab utama terjadinya kerak adalah menurunkan daya larut garam-garam pada suhu tinggi mempercepat terjadinya kerak pada pipa-pipa.

Di bawah ini adalah jenis kerak yang biasanya timbul :

1. Kerak karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )
2. Kerak gips ( $\text{CaSO}_4$ )
3. Kerak silikat ( $\text{CaSiO}_4$ )

Diantara kerak diatas yang paling berbahaya adalah kerak anlciet karena

daya hantar yang rendah sekali dan karena muda sekali menjadi satu dengan

logam sehingga sukar untuk dibersihkan.

Document Accepted 13/9/23

Akibat dari pembentukan kerak ialah ;

1. Menghambat perpindahan panas dari pipa ke air
2. Terjadinya over heating pada pipa-pipa ketel yang dapat mengakibatkan pipa gembung dan lama kelamaan pipa tersebut akan pecah
3. Menurunnya efisiensi ketel
4. Pecahnya pipa water wall

Kerak dapat terbentuk dari beberapa faktor diantaranya ;

1. Pengendapan dari hardeness (Ca, Mg) pada air umpan
2. Peristiwa lewat jenuh (super saturation) atau kristalisasi dari zat-zat terlarut dalam air umpan pada permukaan dimana perpindahan panas terjadi.

Kerak terjadi didaerah terjadinya transfer panas yang maksimum dan daerah-daerah yang sirkulasinya buruk. Lapisan isolasi kerak akan menimbulkan atau menyebabkan “Mask Corrosion” yaitu suatu kombinasi panas yang sangat tinggi ditambah korosi dan tekanan yang dapat melemahkan pipa dan mengakibatkan kerusakan pipa.

Pengendalian kerak dapat dilakukan dengan :

1. Bahan kimia sludge conditioner

Conditioner ini mencegah sludge menjadi kerak

2. Control TDS (blow down)

Sludge hasil dari proses penggumpalan akan menjadi TDS didalam boiler, sehingga harus dikontrol dengan blow down.

## 2.6 Proses perpindahan panas

Perpindahan panas ialah berpindahnya energi dari satu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari perbedaan suhu. Perpindahan panas pada ketel uap dihasilkan karena pembakaran bahan bakar dan udara yang berupa api dan gas asap yang ditransferkan kepada air, uap ataupun udara melalui bidang yang dipanaskan (heating surface) pada suatu instalasi ketel uap. Perpindahan panas ini terjadi dengan cara

### 1. Pancaran atau Radiasi

Perpindahan panas yang terjadi antara suatu zat kepada zat yang lain melalui gelombang elektromagnetik, tanpa tergantung kepada ada atau tidaknya media zat di antara benda yang menerima pancaran tersebut.

Besarnya perpindahan panas radiasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Holmon J. P (1984).

$$q = \sigma A (T)^4 \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

$q$  = laju perpindahan kalor radiasi (Watt)

$\sigma$  = Konstanta *Stefan – Boltzman* ( $5.699 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

$A$  = Las permukaan ( $\text{m}^2$ )

$T$  = Suhu absolute (K)

### 2. Aliran atau konveksi

Perpindahan panas secara aliran atau konveksi adalah perpindahan panas

UNIVERSITAS MEDAN AREA

yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida. Molekul-molekul fluida

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

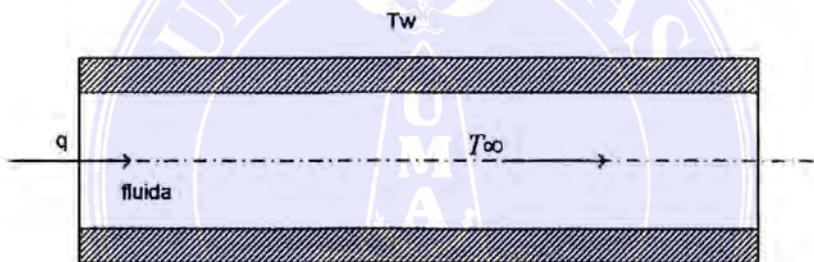
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

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)13/9/23

tersebut melayang-layang secara bolak-balik membawa sejumlah panas masing-masing. Pada saat molekul fluida tersebut menyentuh dinding ketel maka panasnya dibagikan sebagian kepada dinding ketel, selebihnya di bawanya pergi. Bila gerakan yang dibawa oleh molekul-molekul tersebut adalah akibat dari kekuatan mekanis (karena dipompa atau dihembus dengan fan ) maka perpindahan panas tersebut konveksi paksa (forced convection). Dalam gerakannya molekul-molekul api tersebut tidak perlu melalui lintasan yang lurus untuk mencapai dinding ketel atau bidang yang dipanasi.



Gambar 2.11. Perpindahan panas konveksi pada pipa

Menurut Holman J.P (1984) laju perpindahan panas konveksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$q = h A (T_w - T_{\infty})^4 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

Q = Laju perpindahan kalor konveksi (watt)

h = koefisien perpindahan kalor konveksi (convection heat transfer

UNIVERSITAS MEDAN AREA) (W / m<sup>2</sup> °C)

$T_w$  = Suhu permukaan pipa ( $^{\circ}\text{C}$ )

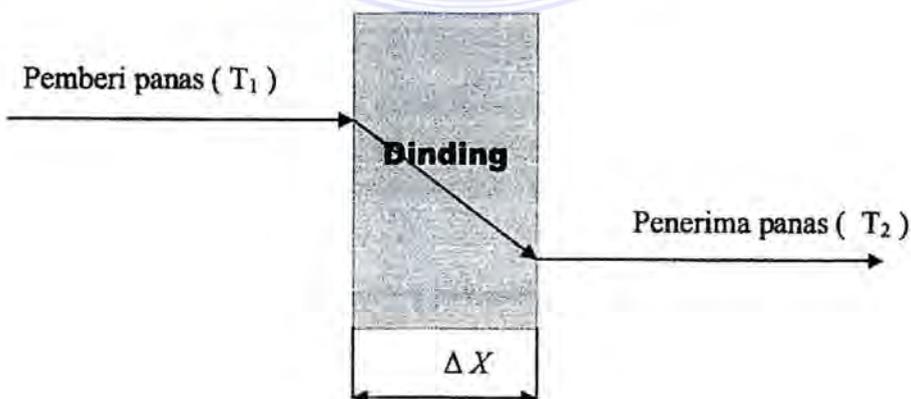
$T_{\infty}$  = Suhu fluida yang mengalir ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 3. Perambatan atau konduksi

Perpindahan panas secara perambatan atau konduksi adalah perpindahan panas dari suatu bagian benda padat ke bagian lain dari benda padat yang sama karena terjadinya persinggungan fisik tanpa terjadinya perpindahan molekul-molekul dari benda padat itu sendiri. Didalam dinding tersebut, panas akan dirambatkan oleh molekul-molekul dinding ketel sebelah dalam yang berbatasan dengan air, uap ataupun udara.

Uap dapat terjadi dalam keadaan ;

1. Uap basah
2. Uap jenuh
3. Uap kering



UNIVERSITAS MEDAN AREA Gambar 2.12. Perpindahan Panas Konduksi

Dari gambar 2.12 menunjukkan bahwa besar laju perpindahan panas konduksi menurut Holman J. P (1984) dapat ditentukan

$$q = - k A \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$q$  = Laju perpindahan kalor konduktivitas (watt)

$k$  = Hantaran thermal (thermal conductivity) ( $W/m^0C$ )

$A$  = Luas permukaan perpindahan panas ( $m^2$ )

$\frac{\partial T}{\partial x}$  = Gradien suhu ke arah perpindahan kalor

(negatif) = Menandakan kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu

## 2.7 Perpindahan panas dalam Pipa water wall dalam keadaan terisolasi oleh lapisan (kerak)

Pada pembahasan diatas telah dipaparkan perpindahan panas dengan tanpa isolasi (kerak ketel) pada sebuah ketel uap. Sekarang kita masuk pada pembahasan mengenai perpindahan panas dengan adanya lapisan kerak didalam dan diluar pipa water wall. Menurut *Joseph Fourier* berkebangsaan Prancis dalam Hukum fourier-nya yang berbunyi bahwa “kalor mengalir ketempat yang lebih rendah dalam skala suhu”. Kita akan periksa penerapan hukum *Fourier* tentang konduksi thermal untuk menghitung aliran thermal dalam sistem sederhana satu dimensi. Dalam kategori satu dimensi ini termasuk berbagai bentuk fisik yang berlainan. Sistem-sistem silinder dan bola adalah satu dimensi bila suhu benda

UNIVERSITAS MEDAN AREA

hanya merupakan fungsi jarak radial dan tidak tergantung dari sudut azimuth atau

© 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)13/9/23

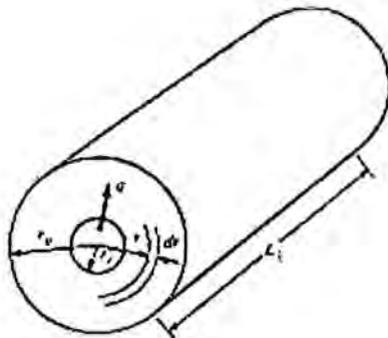
pada letak pada poros. Dalam beberapa masalah dua dimensi, pengaruh koordinat ruang kedua mungkin kecil sekali sehingga dapat diabaikan, dan soal-soal perpindahan kalor dimensi rangkap dapat didekati dengan analisis satu dimensi. Dalam hal ini persamaan diferensial menjadi sederhana dan sebagai akibat penyederhanaan ini kita akan mendapatkan penyelesaian yang lebih mudah pula.

Untuk silinder yang panjangnya sangat besar dibandingkan dengan diameternya, dapat kita andaikan bahwa aliran kalor berlangsung menurut arah radial, sehingga koordinat ruang yang kita perlukan untuk menentukan sistem itu hanyalah  $r$ . hukum *Fourier* kita gunakan lagi dengan menyisipkan rumus luas yang sesuai. Luas bidang menurut Holman J.P. (1984) aliran kalor dalam sistem silinder ini ialah.

$$A_r = 2 \pi rL$$

Sehingga hukum Fourier menjadi

$$q_r = -kA_r \frac{dT}{dr}$$



Atau 
$$q_r = - 2 \pi k r L \frac{dT}{dr} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan kondisi batas :

$$T = T_i \quad \text{pada} \quad r = r_i$$

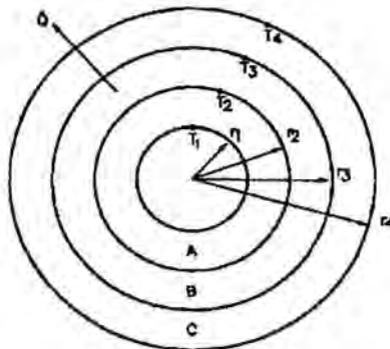
$$T = T_0 \quad \text{pada} \quad r = r_0$$

Penyelesaian persamaan (2.4) besar panas melalui silinder bolong tanpa ada lapisan kerak

$$q = \frac{2\pi k L (T_i - T_0)}{\ln(r_1 / r_0)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Konsep tahanan thermal dapat juga digunakan untuk dinding lapis rangkap berbentuk silinder, seperti halnya dengan dinding datar. Untuk sistem tiga lapis seperti pada gambar 2.8 menurut Holman J.P (2004) penyelesaiannya adalah

$$q = \frac{2\pi k L (T_1 - T_0)}{\ln(r_2 / r_1) / k_A + \ln(r_3 / r_2) / k_B + \ln(r_4 / r_3) / k_C} \dots\dots\dots (2.6)$$



## 2.8 Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Aliran kalor menyeluruh sebagai hasil gabungan proses konduksi dan koreksi bisa dinyatakan dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh ( $U$ ), dirumuskan dalam hubungan (Holman J,P 1984)

$$q = U A \Delta T_{\text{menyeluruh}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana  $A$  adalah luas bidang aliran kalor. Sesuai dengan persamaan (2,8) koefisien perpindahan kalor menyeluruh adalah (Holman, J.P. 1984)

$$U = \frac{1}{1/h_1 + \Delta x/k + i/h_2} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0 A_1} + \frac{\ln\left(\frac{rsl}{ro}\right)}{2\pi \cdot kls \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{ro}{ri}\right)}{2\pi \cdot k \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{rsl}{ro}\right)}{2\pi \cdot ksc \cdot L} + \frac{1}{h_0 A_1}}$$

$$q = \frac{1}{\frac{1}{h_0 A_1} + \frac{\ln\left(\frac{rsl}{ro}\right)}{2\pi \cdot kls \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{ro}{ri}\right)}{2\pi \cdot k \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{rsl}{ro}\right)}{2\pi \cdot ksc \cdot L} + \frac{1}{h_0 A_1}} \Delta T$$

Dimana :

$rsl$  = jari-jari ketebalan terak (slag)

$kls$  = koefisien ketebalan kerak (slag)

$kcs$  = koefisien konduktivitas thermal kerak (scale)

$rsc$  = jari-jari ketebalan kerak (scale)

$h_0$  = koefisien perpindahan panas dalam dapur

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang document Accepted 13/9/23

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

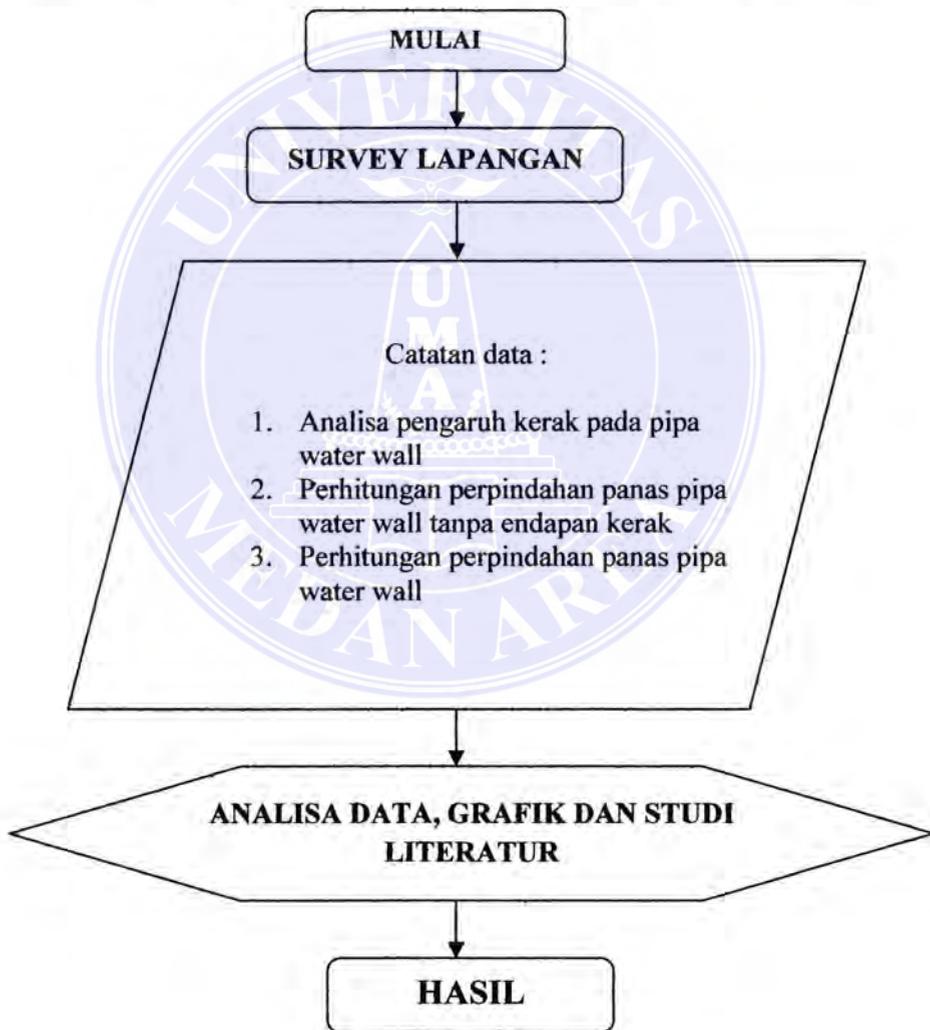
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area Access From (Repository.uma.ac.id)13/9/23

### BAB III

## METODE PENELITIAN

Agar lebih mudah dalam melakukan analisa pengaruh letak ketel terhadap pemakaian bahan bakar, udara pembakaran dan produksi gas asap di dinding dalam dan diluar pipa water wall ini, penulis melakukan langkah-langkah :



Gambar 3.1. Diagram Alir

### 3.1 Survey / Lapangan

Survey dilapangan dilakukan dengan mendukung proses pengerjaan proposal awal tugas akhir dan juga untuk mendapatkan hasil/data yang akurat serta aplikasi dari teori. Sehingga penulis dapat melihat secara langsung pada saat terjadinya proses pembentuk uap dan pemakaian bahan bakar. Sehingga pada proses ini akan mengalami terjadinya pembentukan kerak di dalam dinding dan diluar pipa water wall diketel pipa air (water tube boiler).

### 3.2 Literatur

Literatur digunakan sebagai bahan tinjauan pustaka yang menjadi landasan dasar penulis dalam melakukan analisa pengaruh kerak ketel terhadap perpindahan panas pada pipa water wall.

### 3.3 Analisa

Dalam analisa ini penulis hanya menganalisa tentang pengaruh kerak terhadap perpindahan panas pada pipa water wall.

### 3.4 Kesimpulan dan Saran

Dari analisa tugas akhir ini adalah menyimpulkan bagaimana fenomena-fenomena yang terjadi didalam dinding dan diluar pipa water wall pada sebuah ketel uap akibat pengaruh kerak terhadap perpindahan panas pada ketel pipa air (water tube boiler) serta saran yang sangat dibutuhkan penulis demi

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Adapun hal-hal mendasar yang menyebabkan terjadinya kerusakan hingga mengakibatkan terjadinya penggembungan (bulged) pipa dan akhirnya pecah diantaranya adalah :

- a. Pembentukan kerak yang disebabkan oleh buruknya sistem air pengisian ketel/air umpan ketel.
- b. Suhu pembakaran yang terlalu tinggi melebihi standart kekuatan pipa.

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan perpindahan panas kerak yang menempel pada pipa water wall maka koefisien perpindahan panas menyeluruh akan semakin menurun akibatnya panas yang dibutuhkan pipa water wall untuk menghasilkan uap jenuh akan naik dan pemakaian bahan bakar juga akan meningkat. Dengan demikian efisien ketel uap akan menurun.

#### 5.2. Saran

Pada akhir penulisan tugas akhir ini penulis memberikan saran bahwa perawatan sangatlah diperlukan untuk memperpanjang usia pemakaian ketel uap, khususnya pada bagian water wall.

Berdasarkan hasil analisa dan pertimbangan, penulis menyarankan kepada rekan-rekan mahasiswa yang ingin mengkaji bidang yang sama supaya dalam melakukan analisa dan penelitian agar data-data yang didapat bias lebih luas lagi terutama faktor pergerakan pada pipa water wall.



## DAFTAR PUSTAKA

- E.P Podov, 1993. “Mekanik Teknik”, edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Ir. M. J. 2005. Djokosetyardyo, “Ketel Uap” Penerbit PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Buku panduan 2003 “Pendidikan dan Pelatihan Operator / Analisis Mekanik”, PTPN III (Persero) Unit Rambutan
- Ir. Syamsir A.l Muin. 1998 “Pesawat-pesawat konversi energy I”, edisi pertama, penerbit CV Rajawali, Jakarta.
- J.P. Holman, e. Jasifi, 1994 “Perpindahan Kalor” edisi Keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Michael, J. Moran, Howard, N. Shapiro, 2004. “Termodinamika Teknik”, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta