

PENGARUH KERAK TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA KETEL UAP PIPA AIR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi
Persyaratan Ujian Sarjana

OLEH :

CICOK PRANOLO. S
NIM : 08.813.0040



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2010

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

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)7/9/23

PENGARUH KERAK TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA KETEL UAP PIPA AIR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi
Persyaratan Ujian Sarjana



OLEH :

CICOK PRANOLO. S
NIM : 08.813.0040

Pembimbing I

(Ir. H. Amirsyam Nst., MT.)

Disetujui,

Pembimbing II

(Ir. Surya Keliat)

Mengetahui

Dekan

(Ir. H. Haniza , MT.)

Ka. Program Studi

(Ir. H. Amru Siregar, MT.)

Tanggal Lulus :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

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

ABSTRAK

Penulisan tugas sarjana ini bertujuan untuk mengetahui secara aktual pengaruh tebal kerak terhadap perpindahan panas pada pipa water wall , sehingga didapat jumlah panas yang maksimal untuk uap kering pada industri kelapa sawit dengan kapasitas 30 ton/jam pada tekanan 23 bar dan temp 280°C.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini penulis melakukan survey dengan tujuan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dalam menganalisa perpindahan panas pada pipa water wall.

Dari analisa ini diketahui 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.

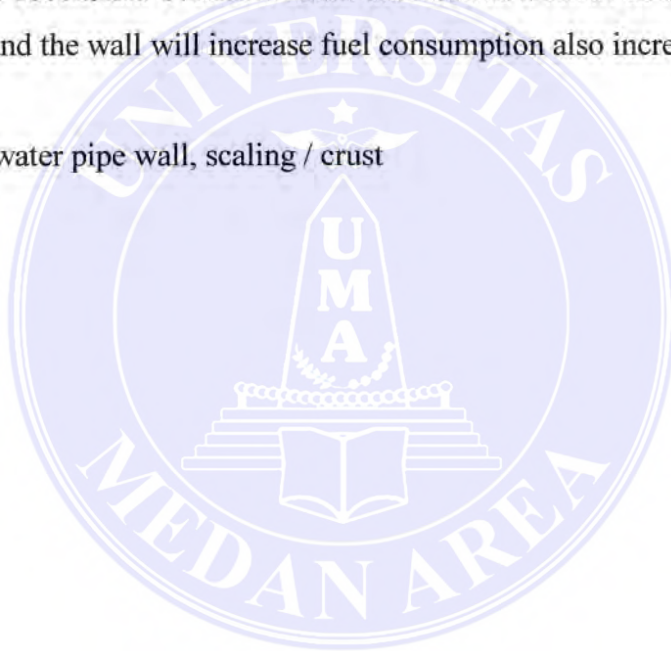
Kata kunci : *Pipa water wall, Kerak*

ABSTRACTION

The Writing of this final project aims to determine the actual effect of a thick crust to heat transfer in a water pipe wall, in order to get the maximum amount of heat to dry steam in the oil palm industry with a capacity of 30 tons / hour at a pressure of 23 bar and temp 280 °C.

In completing this thesis author conducted a survey in order to obtain the necessary data to analyze pepindahan hot water in the pipe wall. From this analysis found that the thick crust that sticks to a water pipe wall heat transfer coefficient overall it could decrease as a result of heat required a water pipe and the wall will increase fuel consumption also increases.

Keywords: water pipe wall, scaling / crust



DAFTAR ISI

	Hal
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB I : PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Analisa	4
1.5. Manfaat Analisa	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Defenisi ketel uap	7
2.2. Klasifikasi Ketel Uap	8
2.3 Faktor Pengerakan Pada Pipa <i>Water Wall</i>	13
2.4 Proses Perpindahan Panas	15

2.5. Perpindahan Panas Di Dalam Pipa <i>Water Wall</i> Dalam Keadaan Terisolasi Oleh lapisan kerak	19
2.6. Koefisien Perpindahan Panas Kalor Menyeluruh	21
BAB III : METODE PENELITIAN	
3.1. Survey / Lapangan	23
3.2. Literatur	24
3.3. Analisa	24
3.4. Kesimpulan dan Saran	24
BAB IV : ANALISA DATA	
4.1 Analisa Pengaruh Kerak Pada Pipa Water Wall	25
4.2. Grafik Hasil Perhitungan Perpindahan Panas	40
BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	

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 uap 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 uap 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 kesuatu 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 dan 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 menukar 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 mekanis 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.

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 untuk menghasilkan uap pada kondisi yang diinginkan.

Dari uraian diatas dapat di ambil kesimpulan dan dapat dilakukan sebuah analisa tentang **“PENGARUH KERAK TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA KETEL UAP PIPA AIR”**.

Dengan adanya judul analisa ini diharapkan agar para pembaca , khususnya baik yang ingin mengetahui ketel uap dan cara pengoperasian ketel uap. Dan dapat mamahami 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 air 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.
3. Untuk memproduksi uap pada kondisi yang diinginkan.
4. Dan dibutuhkan jumlah panas yang lebih besar.

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 didalam dan diluar ruang bakar.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

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)7/9/23

2. Menganalisa perpindahan panas didalam Pipa Water Wall.

1.4 Tujuan Analisa

Tujuan dari dilakukannya penulisan ini adalah untuk mengetahui proses pengaruh gas 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 pengerakan 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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Defenisi Ketel Uap

Ketel uap dalam bahasa Inggris dikenal dengan “*Steam Boiler*” berasal dari kata “*to boil*” yang artinya sama dengan mendidih/uap. Dengan demikian boiler atau ketel uap adalah suatu alat dapat mengubah air menjadi uap. Sesuai dengan pengertian diatas, maka fungsi ketel uap itu sendiri adalah suatu alat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia dari bahan bakar menjadi panas, lalu panas ditransfer ke fluida kerja (air) menjadi uap. Uap yang dihasilkan oleh boiler dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain:

- a. Pembangkit tenaga (*power hourse*) misalnya penggerak turbin uap.
- b. Untuk proses perebusan dan pengeringan serta proses pemanasan dll
- c. Sebagai proses pengolahan dan pembangkit tenaga.

Ketel uap beroperasi atas dasar bila di panaskan, dimana fasa air berubah menjadi uap. Ketel uap dipanaskan dengan berbagai macam bahan bakar diantaranya:

1. Gas alam
2. Minyak
3. Batu bara
4. Panas yang terbuang
5. Sampah yang di abukan (serabut dan cangkang)
6. Kayu

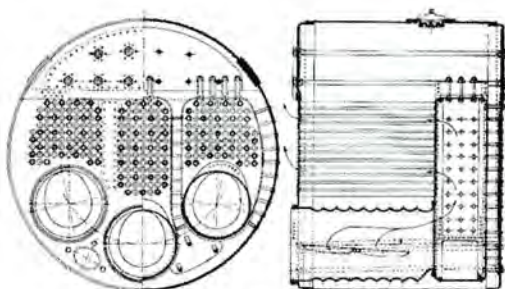
7. Energi nuklir

Ketel Uap (*Steam Boiler*) dapat di klasifikasikan atas beberapa macam (Ragam) 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 nyala api (hasil pembakaran) yang ditranfer 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 kecil, 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 kg/cm^2 . Jadi tergolong ketel-ketel untuk tekanan rendah.



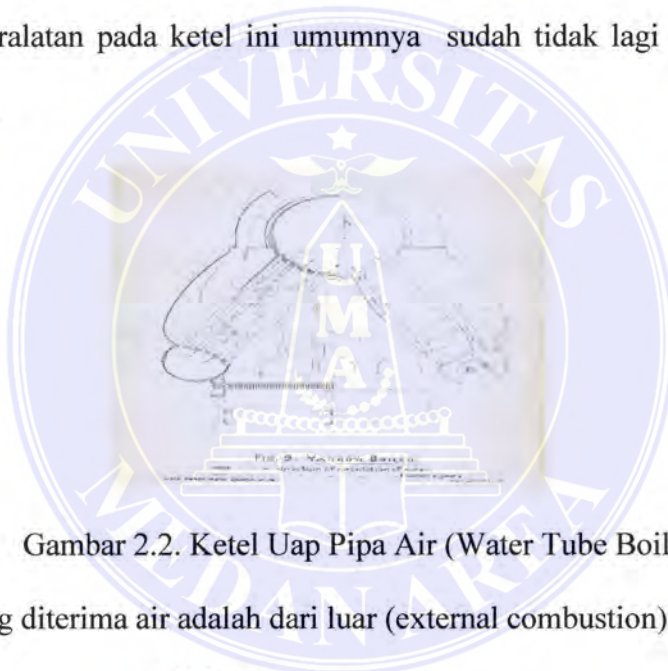
Scheepsketel „De Schelde“, Vlissingen.
 Stoomdruk 14 at
 Verwarmend Opp. 163 m²
 Romplaat 32 mm
 Diam. uitw. 4115 mm
 Lengte 3100 mm
 Diam. vuurgang 1000/1100 mm
 Diam. vlampijpen 83 mm



Gambar 2.1 Ketel Uap Pipa Api Type Schots

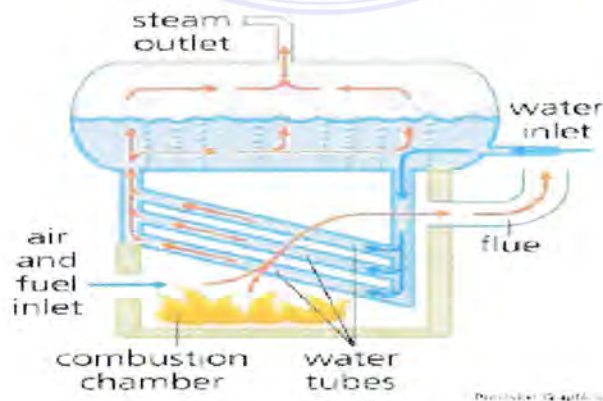
b. Ketel Pipa Air (Water Tube Boiler)

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 air ini umumnya bertekanan sedang yaitu antara 45 kg/cm^2 sampai dengan 140 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

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 didudukan diatas fondasi yang tetap, seperti Boiler untuk pembangkit tenaga, untuk industri dan lain-lain yang termasuk ketel mobil, ialah ketel yang dipasang pada fondasi 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 ketel pipa air.

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 ataupun saluran air.
Contoh : Ketel *Cormish* untuk *Single Fire Boiler* dan ketel *Simple Vertikal* 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 di klarifikasikan :
 - a. Ketel dengan pipa lurus, bengkok dan berlekuk-lekuk (*Straight*).
 - 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*).
 - b. Ketel dengan peredaran paksa (*Forced Circulation Steam 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.

c. Pipa Water wall

Pipa *water wall* yang merupakan bagian dari ketel pipa 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 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*, dari *header* air dialirkan ke pipa – pipa *water wall*. Sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.4. dibawah ini.

Gambar 2.4. (a) merupakan bentuk pipa *water wall* bagian belakang sedangkan untuk Gambar 2.4. (b) adalah bentuk pipa *water wall* bagian samping kanan,samping kiri, depan dan belakang pada sebuah ketel uap pipa air,dimana

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

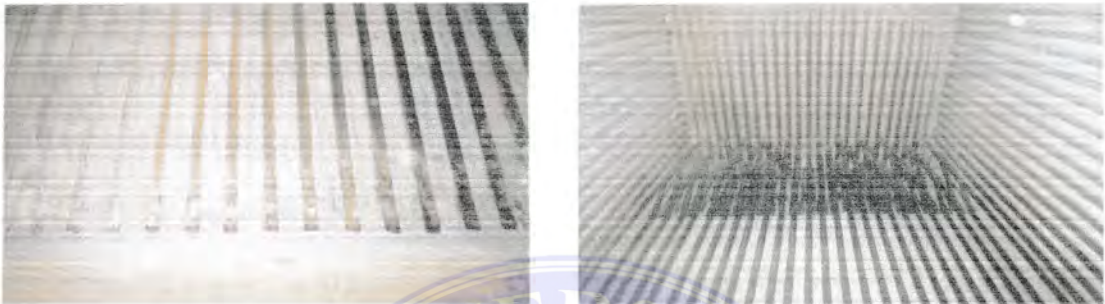
Document Accepted 7/9/23

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

letaknya berada didalam sebuah ruang bakar yang menerima panas secara langsung dari pembakaran bahan bakar.



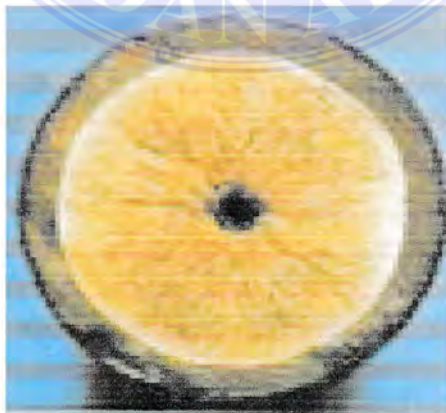
(a) Pandangan belakang

(b) Sisi kanan kiri

Gambar 2.4. (a) Pandangan Belakang (b) sisi kanan kiri Pipa Water Wall Pada Boiler (Water Tube Boiler)

2.3. 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 2.5. Pembentukan Kerak

Kerak merupakan endapan yang terjadi didalam dan diluar pipa. Terbentuknya kerak pada dinding ketel uap merupakan hal yang membahayakan pada ketel uap. Sebab utama terjadinya kerak adalah menurunnya daya larut garam-garam pada suhu tinggi mempercepat terjadinya kerak pada pipa-pipa.

Dibawah ini adalah jenis kerak yang biasanya timbul:

1. Kerak karbonat (Ca CO_3)
2. Kerak gipsa (Ca SO_4)
3. Kerak silikat (Ca SiO_4)

Diantara kerak diatas yang paling berbahaya adalah kerak *anciet* karena daya hantar yang rendah sekali dan karena muda sekali menjadi satu dengan logam, sehingga sukar untuk dibersihkan.

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 factor 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.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

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 (repository.uma.ac.id)7/9/23

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*.

2.4. Proses Perpindahan Panas

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

2.4.1 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 secara radiasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan J.P. Holman (1984) :

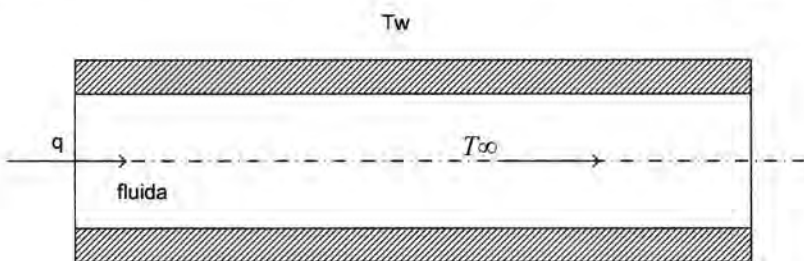
$$q = \sigma A (T)^4 \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

- q = Laju perpindahan kalor radiasi (Watt)
- σ = Konstanta *Stefan - Boltzmann* ($5.699 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}^4$)
- A = Luas permukaan (m^2)
- T = Suhu absolut ($^{\circ} \text{K}$)

2.4.2 Aliran atau Konveksi.

Perpindahan panas dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida (cair ataupun gas) , dengan perantaran benda padat secara hubungan langsung.



Gambar 2.6. Perpindahan Panas Konveksi Pada Pipa.

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

$$q = h A (T_w - T_\infty) \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

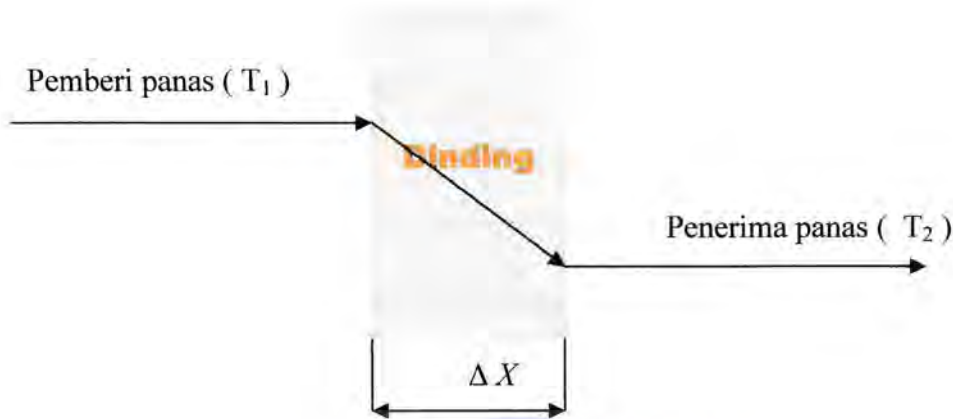
- q = Laju perpindahan Kalor konveksi (Watt)
- h = Koefisien perpindahan kalor konveksi (*convection heat transfer efficient*) (W / m² °C)
- A = Luas penampang perpidahan panas (°C)
- T_w = Suhu permukaan pipa (°C)
- T_∞ = Suhu fluida yang mengalir (°C)

2.4.3 Perambatan atau Konduksi.

Perpindahan panas dari suatu bagian benda padat ke bagian benda padat lainnya, karena terjadinya persinggungan fisik, tanpa terjadinya perpindahan molekul-molekul dari benda padat itu sendiri.

Uap dapat terjadi dalam keadaan :

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



Gambar 2.7. Perpindahan Panas Konduksi.

Dari gambar 2.7 menunjukkan bahwa besar laju perpindahan panas konduksi menurut J.P. Holman (1984) dapat ditentukan.

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

Dimana :

q = Laju perpindahan kalor konduksi (Watt)

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

A = Luas permukaan perpindahan panas (m²)

$\frac{\partial T}{\partial x}$ = Gradien suhu kearah perpindahan kalor .

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

2.4.5 Perpindahan Panas Didalam Pipa Water Wall Dalam Keadaan Terisolasi Oleh Lapisan (kerak)

Pada pembahasan diatas telah dipaparkan mengenai 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 sistem satu dimensi ini termasuk berbagai bentuk fisik yang berlainan. Sistem - sistem silinder dan bola adalah satu dimensi bila suhu benda hanya merupakan fungsi jarak radial dan tidak tergantung dari sudut azimut atau 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 J.P Holman (1984) aliran kalor dalam sistem silinder ini ialah

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

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

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

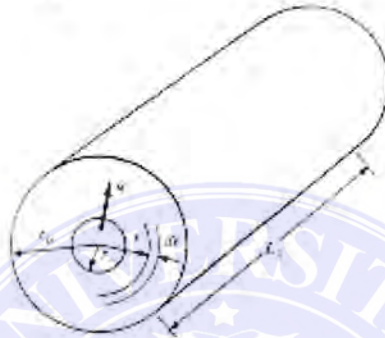
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

$$A_r = 2 \pi rL$$

Sehingga hukum *Fourier* menjadi

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



Gambar 2.8. Aliran Kalor Satu Dimensi Melalui Silinder Bolong

Atau

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

Dengan kondisi batas :

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

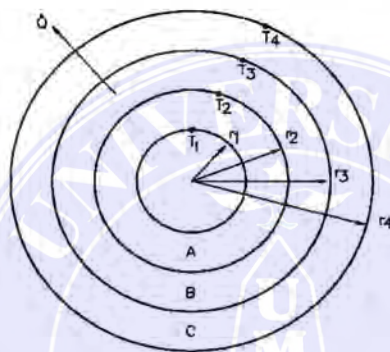
$$T = T_o \quad \text{pada} \quad r = r_o$$

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

$$q = \frac{2 \pi k L (T_i - T_o)}{\ln(r_i / r_o)} \dots\dots\dots(2.5)$$

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 J.P.Holman (1984) penyelesaiannya adalah

$$q = \frac{2\pi L(T_1 - T_4)}{\ln(r_2/r_1)/k_A + \ln(r_3/r_2)/k_B + \ln(r_4/r_3)/k_C} \dots\dots\dots(2.6)$$



Gambar 2.11. Aliran Kalor Satu Dimensi Melalui Penampang Silinder

2.4.6 Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

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

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

dimana A adalah luas bidang aliran kalor. Sesuai dengan persamaan (2.8), koefisien perpindahan kalor menyeluruh adalah (J.P Holman 1984)

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

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o A_i} + \frac{\ln\left(\frac{rsl}{ro}\right)}{2 \cdot \pi \cdot ksl \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{ro}{ri}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{ri}{rsc}\right)}{2 \cdot \pi \cdot ksc \cdot L} + \frac{1}{h_i A_i}}$$

$$q = \frac{1}{\frac{1}{h_o A_i} + \frac{\ln\left(\frac{rsl}{ro}\right)}{2 \cdot \pi \cdot ksl \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{ro}{ri}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{ri}{rsc}\right)}{2 \cdot \pi \cdot ksc \cdot L} + \frac{1}{h_i A_i}}$$

Dimana :

rsl = Jari-jari ketebalan terak (*slag*)

Ksl = Koefisien ketebalan kerak (*slag*)

Ksc = Koefisien konduktivitas thermal kerak (*scale*)

rsc = Jari-jari ketebalan kerak (*scale*)

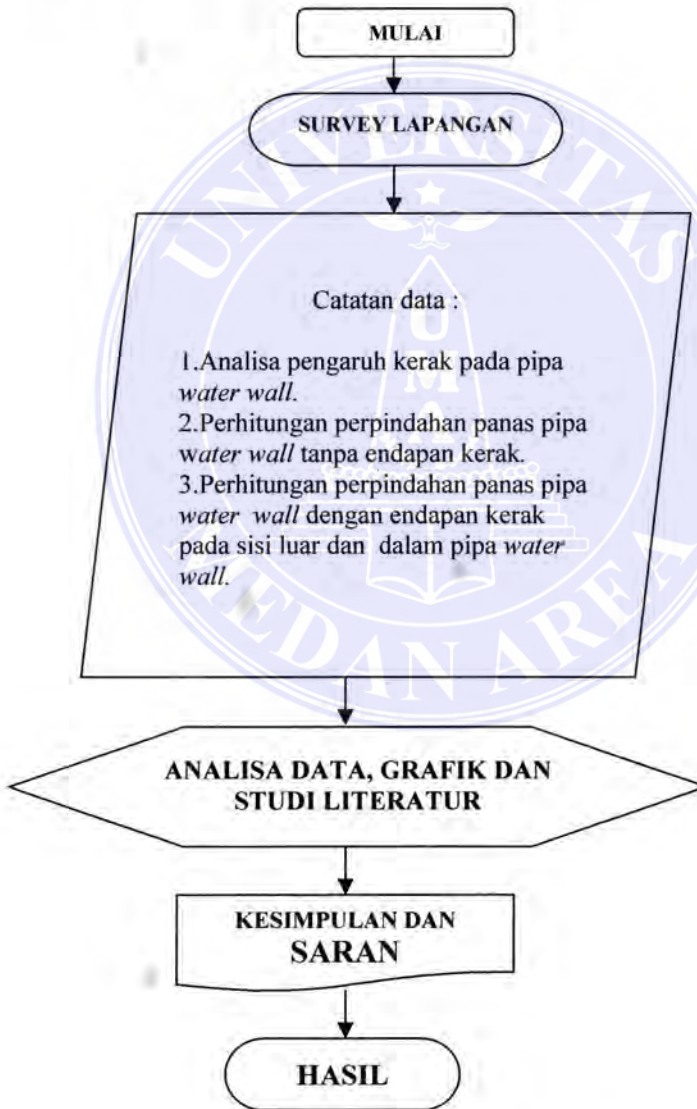
ho = Koefisien perpidahan panas dalam dapur

hi = Koefisien perpindahan panas *konveksi* dalam pipa

BAB III

METODELOGI

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



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.1 Survey/Lapangan

Survey dilapangan dilakukan untuk 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 pembentukan uap dan pemakaian bahan bakar. Sehingga pada proses ini akan mengalami terjadinya pembentukan kerak didalam 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 kesempurnaan tugas akhir ini.

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 system air pengisian ketel/air umpan ketel.
- b. Suhu pembakaran yang terlalu tinggi melebihi standart kekuatan pipa.

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan 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* untuk menghasilkan uap jenuh akan naik dan pemakaian bahan bakar juga akan meningkat. Dengan demikian efisiensi 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 pipa *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 bisa lebih luas lagi terutama faktor pengerakan pada pipa *water wall*.



DAFTAR PUSTAKA

1. Ir. Syamsir A. Muin. "*Pesawat-Pesawat Konversi Energi I*", Edisi Pertama, Penerbit CV. Rajawali, Jakarta, 1988
2. Ir. M.J. Djokosetyardyo. "*Ketel Uap*", Penerbit PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2006
3. J.P. Holman, E. Jasifi, "*perpindahan kalor*", Ediasi keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994
4. E.P. Podov, "*Mekanika Teknik*", edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993
5. Buku panduan "*Pendidikan Dan Pelatihan Operator/Analisis Mekanik*", PTPN III (Persero) Unit Rambutan 2003
6. Michael. J. Moran, Howard. N. Shapiro, "*Termodinamika Teknik*", Edisi Keempat, penerbit Erlangga, Jakarta, 2004