

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PIPA WATERWALL
PADA RUANG BAKAR BOILER PKS PTPN II PAGAR
MERBAU**

SKRIPSI

OLEH :

**YOGA ARMADA RITONGA
168130095**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 15/7/25

Access From (repository.uma.ac.id)15/7/25

HALAMAN JUDUL

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PIPA WATERWALL
PADA RUANG BAKAR BOILER PKS PTPN II PAGAR
MERBAU**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh:

YOGA ARMADA RITONGA
168130095

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 15/7/25

Access From (repository.uma.ac.id)15/7/25

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Tugas Akhir : Analisis Perpindahan Panas Pipa Waterwall Pada Ruang Bakar Boiler PKS PTPN II PAGAR MERBAU

Nama Mahasiswa : Yoga Armada Ritonga

NIM : 168130095

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


(Ir. H. Amirsyam Nasution, M.T.)

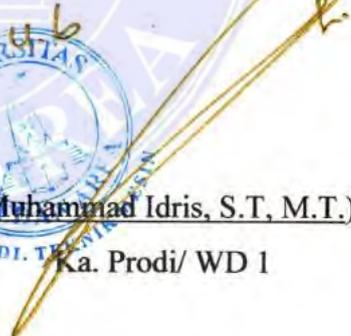
Pembimbing I


(Indra Hermawan, S.T., M.T.)

Pembimbing II


(Dr. Rahmadsyah, S. Kom, M. Kom.)

Dekan


(Muhammad Idris, S.T, M.T.)

Ka. Prodi/ WD 1

Tanggal Lulus:

HALAMAN PERNYATAAN

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

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

Medan, Februari 2023



Yoga Armada Ritonga

168130015

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Yoga Armada Ritonga

NPM : 168130095

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Perpindahan Panas Pipa Waterwall Pada Ruang Bakar Boiler Pks PTPN II Pagar Merbau. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format:kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal: Februari 2023

Yang menyatakan



(Yoga Armada Ritonga)

ABSTRAK

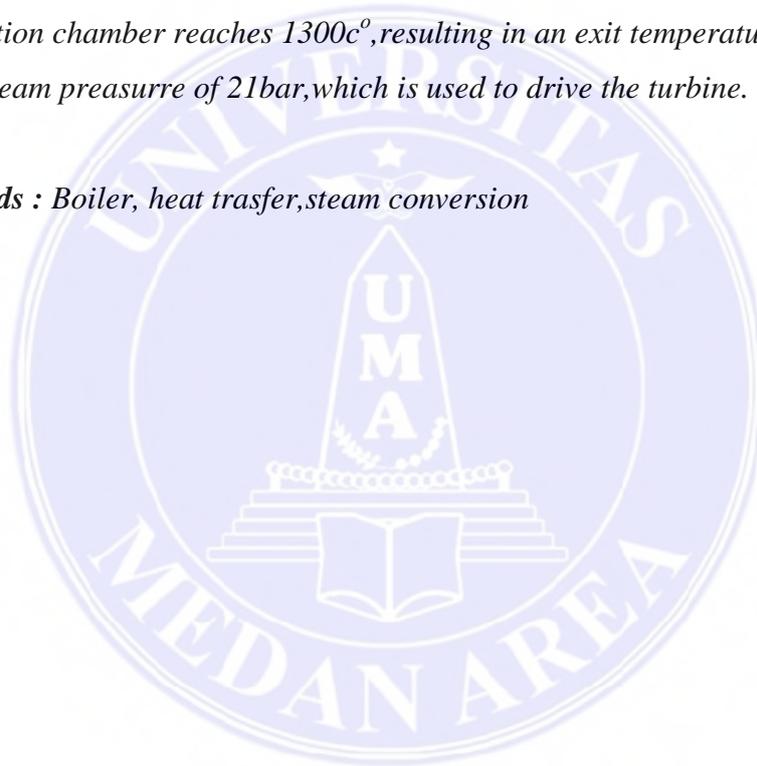
Panas adalah energi yang di pindahkan dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang lebih rendah, karna adanya perbedaan temperatur. Pada pabrik pengolahan kelapa sawit terdapat *Boiler* yang berfungsi untuk memanaskan air, di mana air yang di panas kan di alirkan ke dalam pipa *Waterwall* yang berjumlah 48 batang, dan terbagi menjadi 3 bagian pada dinding depan berjumlah 24 dan masing-masing dinding kiri dan kanan berjumlah 11. Proses pembakaran yang menggunakan bahan cangkang dan fiber terjadi pada ruang bakar *Boiler* dengan cara api yang langsung membakar pipa *waterwall*, di mana suhu pada ruang bakar mencapai 1300 °C, dengan menghasilkan temperatur keluar 200-300°C dan tekanan uap 21 bar, yang di pergunakan untuk menggerakkan turbin.

Kata kunci: *Boiler*, perpindahan panas, perubahan uap.

ABSTRACT

Heat is energy that is transferred from a higher temperature to a lower temperature, due to a temperature difference. At the palm oil processing factory there is a boiler that functions to heat water, where the heated water is flowed into a Waterwall tube totaling 48 steams, and divided into 3 parts on the front wall totaling 24 and each left and right walls totaling 11. The combustion process using shell and fiber materials occurs in the Boiler combustion chamber by means of fire which directly burns the Waterwall tube, where the temperature in the combustion chamber reaches $1300c^{\circ}$, resulting in an exit temperature of $200-300c^{\circ}$ and a steam pressure of 21bar, which is used to drive the turbine.

Keywords : *Boiler, heat transfer, steam conversion*



RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Yoga Armada Ritonga dilahirkan di Pagar Merbau Pada tanggal 04 Juli 1997 dari ayah Syahbudin Ritonga dan ibu Umi Kalsum, Penulis merupakan putra ke 1 dari 3 bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 101981 Galang dan Tamat pada tahun 2009. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di SMP YPAK PTPN III Sei Karang dan Tamat pada tahun 2012. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Galang Penulis lulus pada tahun 2015 dan pada tahun 2016 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Selama mengikuti perkuliahan, Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PT Perkebunan Nusantara II Pagar Merbau Kabupaten Deli Serdang.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat serta bimbingan-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Seminar Hasil ini dengan judul “**Analisis Perpindahan Panas Pipa Waterwall Pada Ruang Bakar Boiler PKS PTPN II Pagar Merbau,**” diajukan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area.

Dalam penyelesaian penulisan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan dan saran dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area yang telah memberikan izin dan fasilitas untuk penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom.Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area yang telah memberikan izin dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Muhammad Idris, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Bapak Dr.Iswandi, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi dan bimbingannya.
4. Bapak Ir. H. Amirsyam Naution., MT., dan Bapak Indra Hermawan, ST, MT.,selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk

membimbing, motivasi dan memberikan saran kepada penulis dalam penulisan tugas akhir ini.

5. Teristimewa kedua orang tua penulis yang selalu memberikan semangat, motivasi, dukungan dan memberikan segala keperluan selama penulis menjalani perkuliahan.
6. Terimakasih kepada teman-teman yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi saya.
7. Terimakasih kepada teman-teman sepermainan saya yang telah memberikan semangat kepada saya.
8. Rekan-rekan Seperjuangan Mahasiswa Teknik Mesin Stambuk 2016 dari kampus Universitas Medan Area, serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang sudah banyak memberikan motivasi, masukan, dan bantuan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari kata sempurna dan masih terdapat kesalahan serta kekurangan didalamnya. Penulis mengharap kritik dan saran dari pembaca agar proposal ini menjadi karya ilmiah yang lebih baik. Demikian, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan diterima.

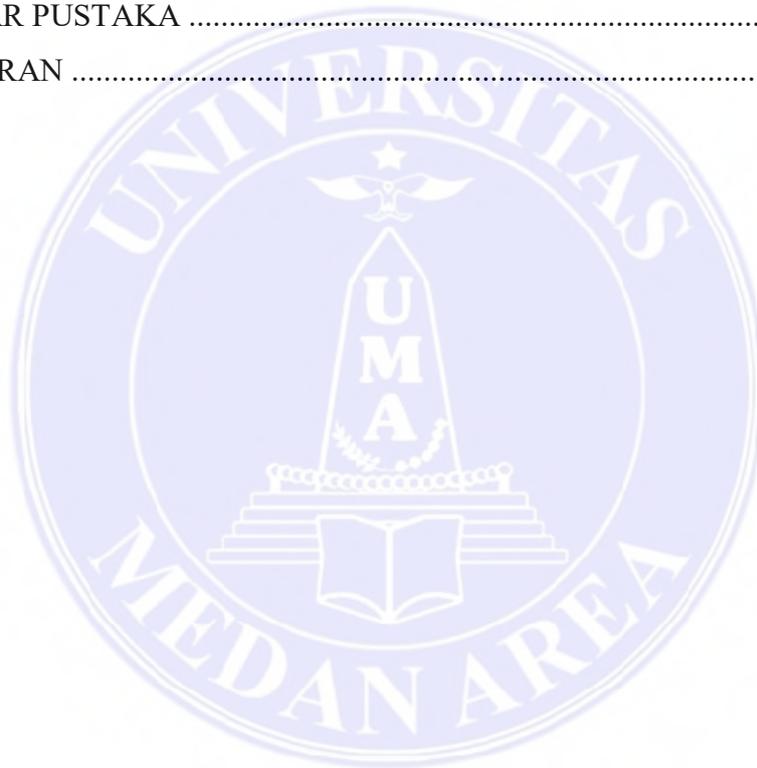
Medan,. Februari 2023
Penulis

Yoga Armada Ritonga
NPM :168130095

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRAC</i>	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Boiler	6
2.2. Fluida	8
2.3. Perpindahan Panas.....	7
2.4. Metode Menghitung Perpindahan Panas	11
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1 Tempat Dan Waktu.....	16
3.2. Peralatan Dan Bahan	17
3.3. Metode Pengumpulan Data	22
3.4. Diagram Alir.....	24
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Laju Perpindahan Panas Menyeluruh	25

4.2. Menghitung Jumlah Tahanan Termal	26
4.3. Perpindahan Panas Pada Isolasi Ruang Bakar	26
4.4. Perpindahan Panas Pada Tiap Isolasi Ruang Bakar	27
4.5. Analisis Perpindahan Panas Dengan LMTD Pada Pipa	28
4.6. Analisis Perpindahan Panas Dengan NTU	28
4.7. Perhitungan Dengan Metode NTU	29
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	31
8.1. Kesimpulan	31
8.2. Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	33



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Boiler	3
Gambar 2. 2. Ruang Bakar	4
Gambar 2. 3. Steam Drum	5
Gambar 2. 4. Perpindahan Panas Konduksi	8
Gambar 2. 5. Perpindahan Panas Konveksi	9
Gambar 2. 6. Perpindahan Panas Konveksi	10
Gambar 2. 7. Aliran Pararel	12
Gambar 2. 8. Aliran Berlawanan Arah	13
Gambar 3. 1. Pressure Gauge	17
Gambar 3. 2. Temperature Gauge	17
Gambar 3. 3. Thermo Gun	18
Gambar 3. 4. Boiler	19
Gambar 3. 5. Struktur Ruang Bakar	20
Gambar 3. 6. Struktur Ruang Bakar Tampak Atas	20
Gambar 3. 7. Pipa Waterwall	21
Gambar 3. 8. Pompa Boiler	21
Gambar 3. 9. Arah Perpindahan Panas	27

DAFTAR TABEL

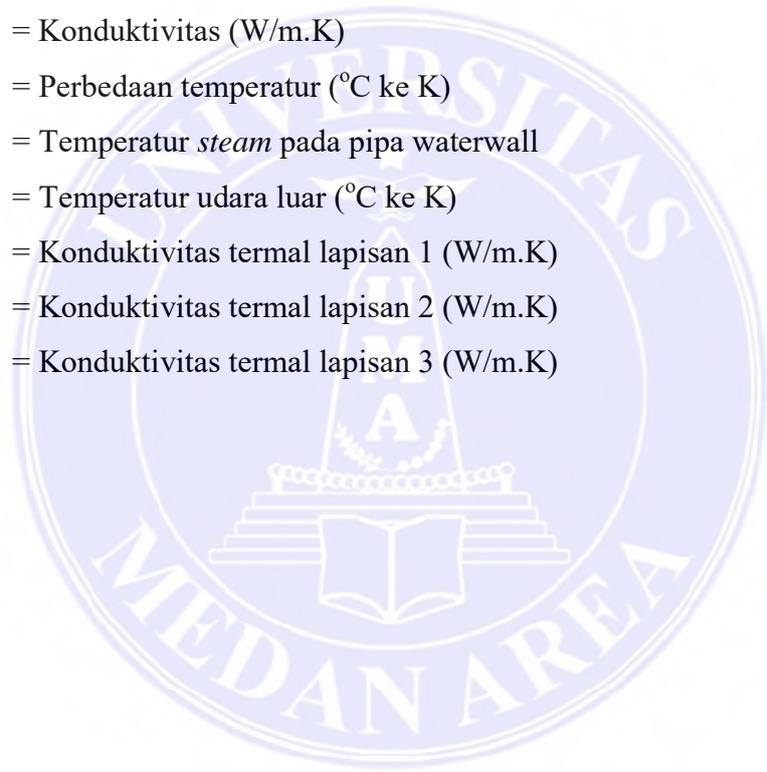
Tabel 3.1. Waktu Penulisan Skripsi	16
Tabel 3.2. Spesifikasi Boiler	19
Tabel 4.1. Temperatur Panas Ruang Bakar Boiler	27



DAFTAR NOTASI

qx	= Laju Perpindahan Panas ke arah sumbu x positif
k	= Konduktivitas termal (W/m^2k)
A	= Luasan penampang (m^2)
dT	= Perbedaan Suhu ($^{\circ}C$)
dX	= Perbedaan Panjang/Jarak (m)
$\frac{dT}{dx}$	= Gradient Temperature (K)
A	= Luas permukaan (m^2)
h	= Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2C)
T_s	= Temperatur Permukaan Dinding ($^{\circ}C$)
T	= Temperatur rata rata fluida ($^{\circ}C$)
q_r	= Laju Perpindahan Radiasi (W)
q	= Laju Perpindahan Panas (w)
U	= <i>overall heat transfer coefficient</i>
A	= Luasan Total Bidang Permukaan Perpindahan Panas (m^2)
ΔT_{LM}	= Perbedaan Temperatur Rata-rata antara Fluida (k)
T_i	= Temperatur Fluida Panas Inlet (k)
t_o	= Temperatur fluida Dingin outlite (k)
$E_{kondensat}$	= Energi yang dibawa oleh kondensat (Joule)
m_{uap}	= Massa uap (kg)
h_{uap}	= Enthalpy uap (kJ/kg)
Ja	= <i>Jacob Number</i>
C_p	= Kalor spesifik (J/kg.K)
T_{sat}	= Temperatur saturasi/steam (K)
T_s	= Temperatur permukaan plat (K)
h_{fg}	= Entalpi Kondensasi (kJ/kg)
h'_{fg}	= <i>Modified latent heat</i> (kJ/kg)l
P	= Parameter tak berdimensi
k_1	= Konduktivitas <i>thermal liquid</i> (W/m.K)
L	= Panjang plat (m)

μ	= Viskositas(Ns/m ²)
ν	= Viskositas kinematik (m/s ²)
g	= Percepatan gravitasi (m/s ²)
Nu	= <i>Nusselt Number</i>
Pr	= <i>Prandtl Number</i>
h_i	= Koefisien konveksi steam (W/m ² .K)
T_{udara}	= Temperatur udara luar sekitaran dinding Boiler (K)
α	= Penyerapan panas (m ² /s)
h_o	= Koefisien konveksi udara (W/m ² .K)
k	= Konduktivitas (W/m.K)
ΔT	= Perbedaan temperatur (°C ke K)
T_{steam}	= Temperatur <i>steam</i> pada pipa waterwall
T_{udara}	= Temperatur udara luar (°C ke K)
k_1	= Konduktivitas termal lapisan 1 (W/m.K)
k_2	= Konduktivitas termal lapisan 2 (W/m.K)
k_3	= Konduktivitas termal lapisan 3 (W/m.K)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bagi Indonesia, tanaman kelapa sawit memiliki arti penting bagi pembangunan perkebunan nasional. Selain mampu menciptakan kesempatan kerja yang mengarah pada kesejahteraan masyarakat, juga sebagai sumber perolehan devisa Negara. Indonesia merupakan salah satu produsen utama minyak sawit. Minyak sawit dapat dimanfaatkan di berbagai industry karena memiliki susunan dan kandungan gizi yang cukup lengkap. Industri yang banyak menggunakan minyak sawit sebagai bahan baku adalah industry pangan serta industry nonpangan seperti kosmetik dan farmasi. Bahkan minyak sawit telah dikembangkan sebagai salah satu bahan bakar.

Pabrik kelapa sawit (PKS) merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan usaha perkebunan kelapa sawit. Hasil utama yang dapat diperoleh ialah minyak sawit dan inti sawit. PKS merupakan titik kritis dalam alur hidup ekonomi buah kelapa sawit dan merupakan titik kritis dalam alur hidup ekonomi buah kelapa sawit khususnya dan industri kelapa sawit umumnya. Ada beberapa tahapan yang harus dilalui untuk mendapatkan minyak sawit dan inti sawit di antaranya adalah: stasiun penerimaan buah, stasiun sterilizer, stasiun threshing, stasiun kempa, stasiun klarifikasi, stasiun pengolahan biji dan komponen tambahan boiler untuk menghasilkan energi listrik untuk menyuplai listrik ke berbagai stasiun dan menghasilkan uap panas untuk merebus buah kelapa sawit. Dian

tara beberapa tahapan tersebut penulis tertarik untuk melakukan penelitian di stasiun boiler, karena boiler sangat berpengaruh penting dalam proses produksi untuk menghasilkan minyak dan cpo.

Latar Belakang Boiler adalah suatu alat yang berfungsi memanaskan air, dimana panas dari pembakaran bahan bakar disalurkan untuk memanaskan air sehingga terjadi perubahan air menjadi uap (*steam*) digunakan untuk keperluan tertentu seperti menggerakkan turbin. Air sebagai media dalam proses kerja boiler karena murah, dan apabila telah menjadi steam volumenya akan meningkat besar sekitar 1600 kali sehingga memiliki tenaga yang besar. Boiler juga terdiri dari beberapa komponen seperti pipa didih (*waterwall*), superheater, reheater, dan economizer biasanya beroperasi pada tekanan dan temperatur yang tinggi, dan khususnya *superheater* yang dapat mencapai di atas 482 oC. Dimana penulis ingin menganalisa tentang perpindahan panas pada pipa didih (*water wall*).

1.2. Rumusan penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, peneliti merumuskan permasalahan yang akan di bahas dalam laporan penelitian tugas akhir yaitu :

- a) Menghitung efektifitas perpindahan panas pipa *waterwall* dengan metode Log Mean Temperature Different (*LMTD*)?
- b) Menghitung efektifitas perpindahan panas pipa *waterwall* dengan metode Number Of Transfer Unit (*NTU*)?
- c) Membandingkan efektifitas perpindahan panas pipa *waterwall* dengan metode *LMTD* dan *NTU*?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk menghindari pembahasan / pengkajian yang tidak terarah dan agar dalam pemecahan permasalahan dapat dengan mudah dilaksanakan, adapun batasan masalah dalam penyelesaian Proposal Tugas Sarjana ini yaitu :

- a) Perpindahan Panas terjadi secara konveksi dan konduksi dengan mengabaikan perpindahan panas secara radiasi.
- b) Perubahan energi potensial dan energi kinetik diabaikan.
- c) Aliran pipa menggunakan tipe aliran paralel dengan mengabaikan aliran berlawanan arah dan aliran silang
- d) Hanya membahas bagian ruang bakar pada boiler.

1.4. Tujuan Penelitian

- a) Menganalisis efektifitas perpindahan panas pipa waterwall dengan metode LMTD
- b) Menganalisis efektifitas perpindahan panas pipa waterwall dengan metode NTU
- c) Menganalisis perbedaan perpindahan panas pipa waterwall dengan metode LMTD dan NTU

1.5. Manfaat Penelitian

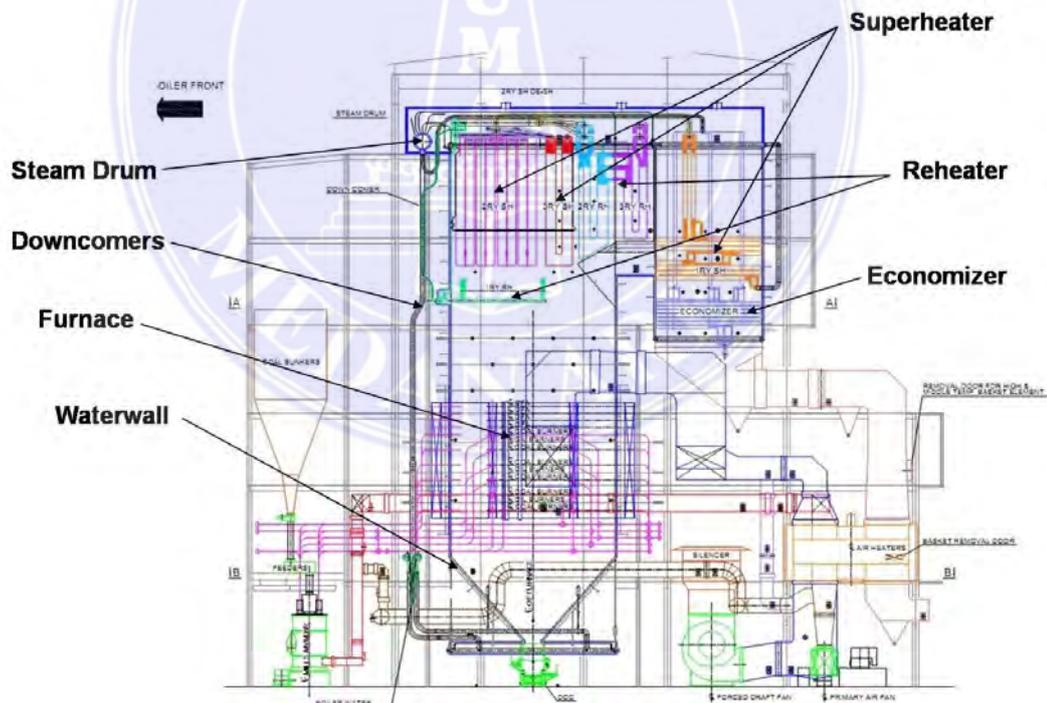
Untuk mengetahui prinsip perpindahan panas pada pipa *waterwall*, yang berfungsi sebagai laluan air yang digunakan untuk pembangkit uap penggerak turbin yang mendapatkan panas dari proses pembakaran di dalam *furnace*, dan menambah wawasan tentang perpindahan panas pada pipa *waterwall*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. BOILER

Boiler adalah alat yang berfungsi Boiler untuk memanaskan air dengan menggunakan panas dari hasil pembakaran bahan bakar, panas hasil pembakaran selanjutnya panas hasil pembakaran dialirkan ke air sehingga menghasilkan steam (*uap air yang memiliki temperatur tinggi*). Dari pengertian tersebut berarti kita dapat menyimpulkan bahwa boiler berfungsi untuk memproduksi steam (*uap*) yang dapat digunakan untuk proses/kebutuhan selanjutnya. Boiler dapat di tunjukan seperti pada gambar 2.1[1].



Gambar 2.1 Boiler

Umumnya bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan boiler yaitu batu bara, gas, dan bahan bakar minyak. Bagian-Bagian Pada Boiler dan Fungsinya sama seperti pompa, kompresor dan peralatan pabrik lainnya yang tersusun dari berbagai komponen sehingga alat tersebut dapat beroperasi dan menjalankan perannya. Boiler juga tersusun dari berbagai macam komponen dengan fungsinya masing-masing. Di bawah ini adalah fungsi dari masing-masing komponen pada boiler, yaitu:

2.2.1 Tungku Pengapian (*Furnace*)

Bagian ini merupakan tempat terjadinya pembakaran bahan bakar yang akan menjadi sumber panas, proses penerimaan panas oleh media air dilakukan melalui pipa yang telah dialiri air, pipa tersebut menempel pada dinding tungku pembakaran. Proses perpindahan panas pada furnace terjadi dengan tiga cara: Perpindahan panas secara radiasi, dimana akan terjadi pancaran panas dari api atau gas yang akan menempel pada dinding tube sehingga panas tersebut akan diserap oleh fluida yang mengalir di dalamnya. Perpindahan panas secara konduksi, panas mengalir melalui hantaran dari sisi pipa yang menerima panas kedalam sisi pipa yang memberi panas pada air.

Perpindahan panas secara konveksi. panas yang terjadi dengan singgungan molekul-molekul air sehingga panas akan menyebar kesetiap aliran air. Di dalam furnace, ruang bakar terbagi atas dua bagian yaitu ruang pertama dan ruang kedua. Pada ruang pertama, di dalamnya akan terjadi pemanasan langsung dari sumber panas yang diterima oleh tube (pipa), sedangkan pada ruang kedua yang terdapat pada bagian atas, panas yang diterima berasal dari udara panas hasil pembakaran dari ruang pertama. Jadi, fungsi dari ruang pemanas kedua ini yakni untuk

menyerap panas yang terbuang dari ruang pemanasan pertama, agar energi panas yang terbuang secara cuma-cuma tidak terlalu besar, dan untuk mengontrol panas fluida yang telah dipanaskan pada ruang pertama agar tidak mengalami penurunan panas secara berlebihan.



Gambar 2.2 Ruang Bakar

2.2.2. Steam Drum

Steam drum berfungsi sebagai tempat penampungan air panas serta tempat terbentuknya uap. Drum ini menampung uap jenuh (saturated steam) beserta air dengan perbandingan antara 50% air dan 50% uap. Untuk menghindari agar air tidak terbawa oleh uap, maka dipasang sekat-sekat, air yang memiliki suhu rendah akan turun ke bawah dan air yang bersuhu tinggi akan naik ke atas dan kemudian menguap.



Gambar 2.3 Stem Drum

2.2.3. Superheater

Merupakan tempat pengeringan steam, dikarenakan uap yang berasal dari steam drum masih dalam keadaan basah sehingga belum dapat digunakan. Proses pemanasan lanjutan menggunakan superheater pipe yang dipanaskan dengan suhu 260°C sampai 350°C. Dengan suhu tersebut, uap akan menjadi kering dan dapat digunakan untuk menggerakkan turbin maupun untuk keperluan peralatan lain.

2.2.4. Air Heater

Komponen ini merupakan alat yang berfungsi untuk memanaskan udara yang digunakan untuk menghembus/meniup bahan bakar agar dapat terbakar sempurna. Udara yang akan dihembuskan, sebelum melewati air heater memiliki suhu yang sama dengan suhu udara normal (suhu luar) yaitu 38°C. Namun, setelah melalui air heater, suhunya udara tersebut akan meningkat menjadi 230°C sehingga sudah dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan air yang terkandung didalamnya karena uap air dapat mengganggu proses pembakaran.

2.2.5. Pengumpul Abu (*Dust Collector*)

Bagian ini berfungsi untuk menangkap atau mengumpulkan abu yang berada pada aliran pembakaran hingga debu yang terikat dalam gas buang. Keuntungan menggunakan alat ini adalah gas hasil pembakaran yang dibuang ke udara bebas dari kandungan debu. Alasannya tidak lain karena debu dapat mencemari udara di lingkungan sekitar, serta bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan pada alat akibat adanya gesekan abu maupun pasir.

2.2.6. Pengatur Pembuangan Gas Bekas

Asap dari ruang pembakaran dihisap oleh blower IDF (*Induced Draft Fan*) melalui dust collector selanjutnya akan dibuang melalui cerobong asap. Damper

pengatur gas asap diatur terlebih dahulu sesuai kebutuhan sebelum IDF dinyalakan, karena semakin besar damper dibuka maka akan semakin besar isapan yang akan terjadi dari dalam tungku.

2.2.7. Katup pengaman (*Safety Valve*)

Alat ini berfungsi untuk membuang uap apabila tekanan uap telah melebihi batas yang telah ditentukan. Katup ini terdiri dari dua jenis, yaitu katup pengaman uap basah dan katup pengaman uap kering. *Safety valve* ini dapat diatur sesuai dengan aspek maksimum yang telah ditentukan. Pada uap basah biasanya diatur pada tekanan 21 kg per cm kuadrat, sedangkan untuk katup pengaman uap kering diatur pada tekanan 20,5 kg per cm kuadrat.

2.2.8. Gelas Penduga (*Sight Glass*)

Gelas penduga dipasang pada drum bagian atas yang berfungsi untuk mengetahui ketinggian air di dalam drum. Tujuannya adalah untuk memudahkan pengontrolan ketinggian air dalam ketel selama boiler sedang beroperasi. Gelas penduga ini harus dicuci secara berkala untuk menghindari terjadinya penyumbatan yang membuat level air tidak dapat dibaca.

2.2.9. Pembuangan Air Ketel

Komponen boiler ini berfungsi untuk membuang air dalam drum bagian atas. Pembuangan air dilakukan bila terdapat zat-zat yang tidak dapat terlarut, contoh sederhananya ialah munculnya busa yang dapat mengganggu pengamatan terhadap gelas penduga. Untuk mengeluarkan air dari dalam drum, digunakan blowdown valve yang terpasang pada drum atas, katup ini bekerja bila jumlah busa sudah melewati batas yang telah ditentukan.

2.2.10. Pipa pada boiler

Di dalam boiler terdapat banyak pipa-pipa yang terletak di dindingnya yang di sebut dengan pipa *waterwall*. Didalam sebuah unit boiler pipa-pipa *waterwall* berjumlah hingga 100 batang pipa dengan diameter yang kecil dan sangat panjang. Pipa-pipa *waterwall* berfungsi sebagai laluan air yang di gunakan untuk pembangkitan uap kerja penggerak turbin yang mendapat panas dari proses pembakaran di dalam *furnace*[2].

2.2. Fluida

Fluida merupakan istilah yang sering digunakan untuk menyebut segala jenis benda atau zat yang dapat mengalir. Segala bentuk cairan yang dapat mengalir disebut dengan fluida, entah itu dalam bentuk gas atau dalam bentuk air. Zat Gas dan zat cair termasuk fluida, karena memiliki sifat yang sama yaitu zat tersebut dapat mengalir dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Dalam hal ini zat padat bukan termasuk dari fluida, karena zat padat tidak dapat mengalir.

Fluida dapat berubah bentuk, perubahan bentuk dari fluida mengikuti bentuk dari penampung atau wadahnya. Fluida ini merupakan suatu zat yang keberadaannya tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia di muka bumi. Karena sepanjang hidupnya manusia tidak lepas dari zat gas, yaitu udara dan zat cair yaitu air.

Fluida memiliki beberapa macam yang setiap harinya kita jumpai dalam kehidupan. Macam-macam dari fluida tersebut, yaitu:

a. Fluida diam (*Fluida Statis*)

Fluida statis atau fluida diam merupakan jenis fluida yang berada pada kondisi diam dan tidak bergerak. Misalnya air di dalam kolam, air di dalam gelas, air waduk, air laut, air di dalam sumur, dan lain sebagainya. Hukum-hukum dasar

fisika yang sangat bermanfaat dapat ditemukan oleh para ilmuwan, hal tersebut berkat dari fluida statis. Hukum-hukum tersebut antara lain; hukum Pascal, hukum Archimedes, hukum Boyle, teori tekanan hidrostatis, dan lain sebagainya.

b. Fluida yang Bergerak (*Fluida Dinamis*)

Fluida dinamis merupakan jenis fluida yang berada dalam kondisi bergerak dan atau dalam kondisi mengalir. Misalnya, aliran air, air terjun, angin, dan lain sebagainya. energi potensial yang dapat dijadikan sumber energi listrik dapat ditemukan berkat adanya fluida dinamis[3].

2.3. Perpindahan Panas

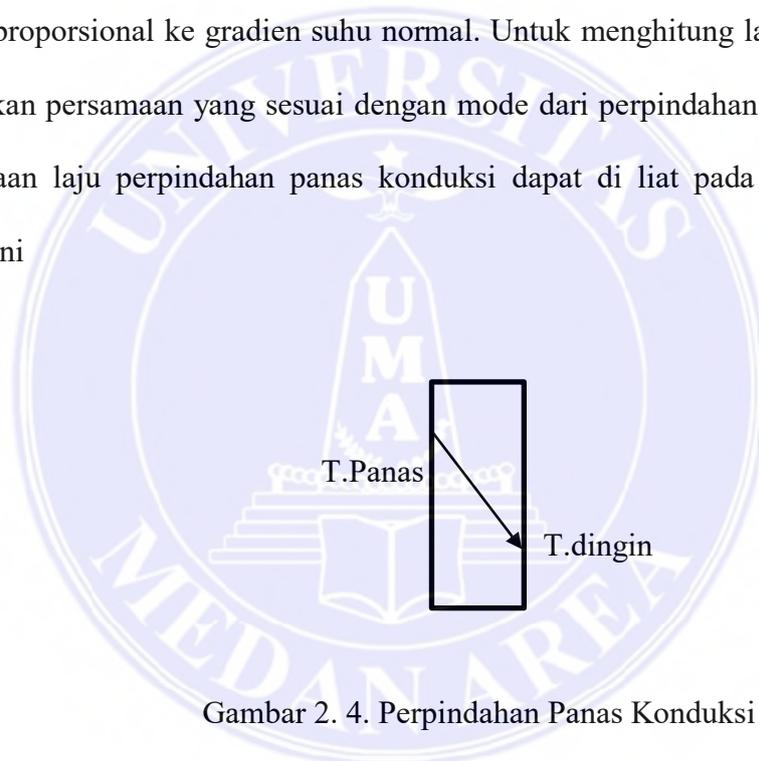
Proses Perpindahan Kalor Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (*kalor*) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada tugas akhir ini hanya menjelaskan perpindahan konduksi dan konveksi saja, untuk perpindahan panas secara radiasi tidak dijelaskan.

2.3.1. Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas yang disebabkan perbedaan temperatur dan bergantung pada aktivitas level atom atau

molekuler. Dimana energi panas dipindahkan melalui hantaran molekul-molekul yang bergerak dan saling bertumbukan yang ada di dalam suatu zat padat, atau melalui hantaran molekul-molekul zat cair atau gas yang berada dalam keadaan diam atau tidak dalam keadaan mengalir.

Gradien suhu ada dalam tubuh, pengalaman menunjukkan bahwa ada transfer energi dari wilayah suhu tinggi ke wilayah suhu rendah. Kami mengatakan bahwa energi ditransfer oleh konduksi dan bahwa laju perpindahan panas per satuan luas adalah proporsional ke gradien suhu normal. Untuk menghitung laju perpindahan diperlukan persamaan yang sesuai dengan mode dari perpindahan panas tersebut. Persamaan laju perpindahan panas konduksi dapat di lihat pada gambar 2.4 di bawah ini



Gambar 2. 4. Perpindahan Panas Konduksi

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradient suhu normal sesuai dengan persamaan berikut

$$qx = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana

qx : laju perpindahan panas ke arah sumbu x positif

K : konduktivitas panas (W/m^2K)

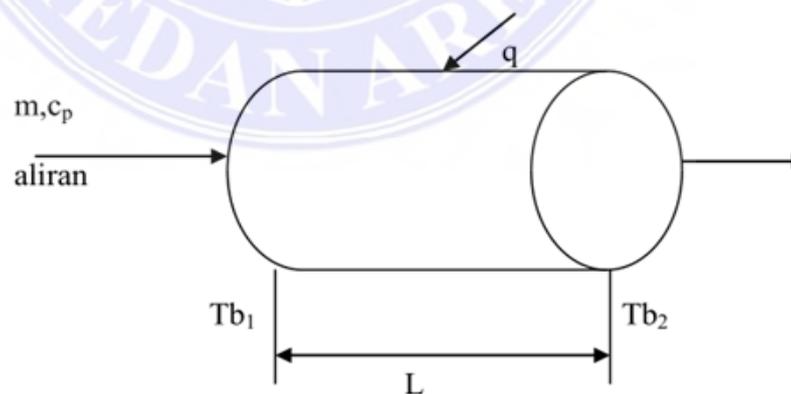
A : luasan penampang perpindahan panas, (m^2)

$\frac{dT}{dx}$: gradient temperature (K)

Tanda minus adalah konsekuensi bahwa panas berpindah dari lokasi yang bertemperatur tinggi ke yang bertemperatur rendah.

2.3.2. Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan zat dengan fluida yang bergerak dan keduanya mempunyai perbedaan temperatur. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free/natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*)



Gambar 2.5. Perpindahan Panas Konveksi

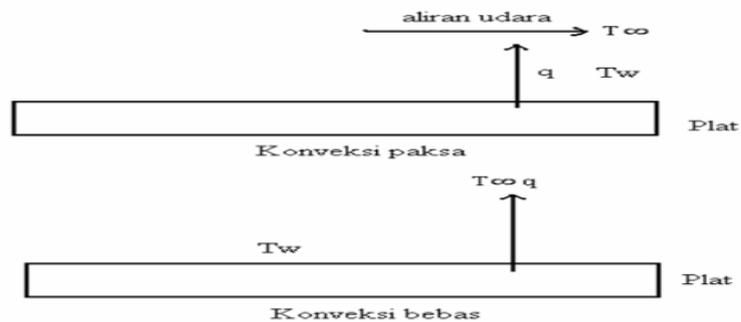
Proses pemanasan atau pendinginan fluida yang mengalir didalam saluran tertutup seperti pada gambar 2.3 merupakan contoh proses perpindahan panas. Laju perpindahan panas pada beda suhu tertentu dapat dihitung dengan persamaan

$$q = hA (T_s - T) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

- q : laju perpindahan panas konveksi, (Watt)
- h : koefisien perpindahan panas konveksi, (W/m²K)
- A : luasan penampang perpindahan panas, (m²)
- T_s : temperatur permukaan padat, (K)
- T : temperatur rata-rata fluida, (K)

Tanda minus (-) digunakan untuk memenuhi hukum II thermodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif (+).Persamaan (2.2) mendefinisikan tahanan panas terhadap konveksi. Koefisien pindah panas permukaan h , bukanlah suatu sifat zat, akan tetapi menyatakan besarnya laju pindah panas didaerah dekat pada permukaan itu.



Gambar 2.6.Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan konveksi paksa dalam kenyataanya sering dijumpai, kaarena dapat meningkatkan efisiensi pemanasan maupun pendinginan satu fluida dengan fluida yang lain.[6]

2.3.3. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas secara Radiasi merupakan energi yang dipancarkan oleh waktu benda yang berada pada temperatur nonzero. Radiasi tidak hanya dipancarkan oleh permukaan padat, namun juga dapat dipancarkan oleh gas cairan. Energi dari medan radiasi (*radiation field*) dihantarkan melalui gelombang elektromagnetik (*foton*).

Energi pancaran atau energi radiasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan hukum Stefan-Blotzmann sebagai berikut[4] :

$$q_r = \varepsilon \cdot A T^4 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

q_r : Laju Perpindahan Radiasi (w)

A : Luas Penampang (m^2)

T : Temperatur absolut dari permukaan

σ : Konstanta Stefan-Boltzmann

ε : emisivitas Bahan.

2.4. Metode Menghitung Perpindahan Panas

Untuk mendapatkan perhitungan efektifitas perpindahan panas pada ruang bakar boiler dapat menggunakan metode LMTD dan NTU.

2.4.1. LMTD (*Log Mean Temperature Different*)

Metode LMTD adalah metode untuk mengetahui laju perpindahan panas dengan asumsi perpindahan panas antara pesawat dan lingkungannya diabaikan.

Laju perpindahan panasnya adalah

$$q = U \cdot A \Delta T_{LM} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana

q : laju perpindahan panas (W)

U : *overall heat transfer coefficient*

A : luasan total bidang permukaan perpindahan panas (m²)

ΔT_{LM} : perbedaan temperatur rata-rata antara fluida (K)

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana

ΔT_{LM} : perbedaan temperatur rata-rata antara fluida (K)

ΔT_1 : $T_i - t_o$

ΔT_2 : $T_i - t_o$

Keterangan

T_i adalah temperatur fluida panas *inlet* ($T_{h,i}$) (K)

t_o adalah temperatur fluida dingin *outlet* ($T_{c,o}$) (K)

T_o adalah temperatur fluida panas *inlet* ($T_{h,o}$) (K)

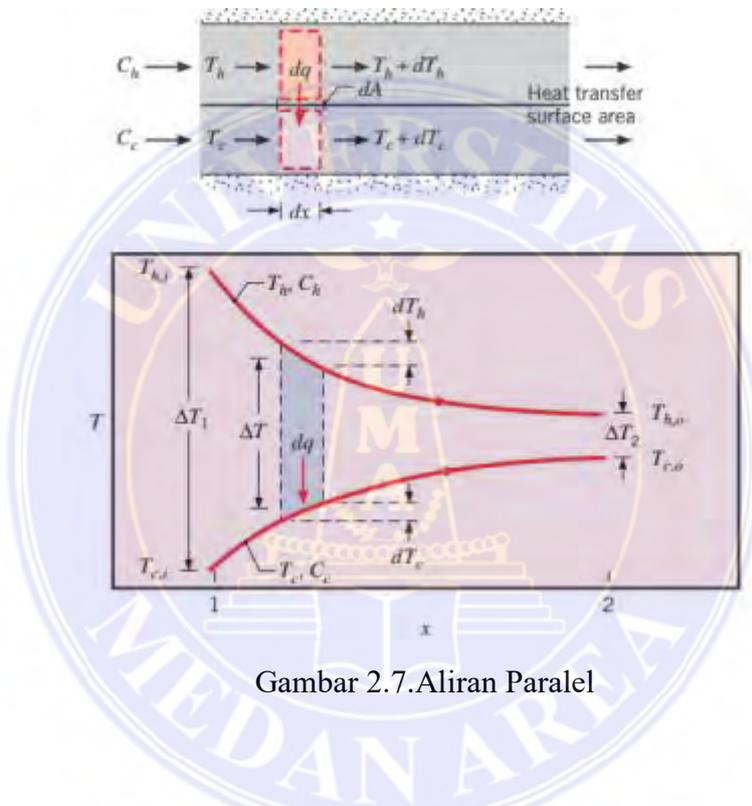
T_i adalah temperatur fluida dingin *outlet* ($T_{c,i}$) (K)

sebelum menentukan LMTD, terlebih dahulu mengetahui jenis alirannya.

Berdasarkan arah aliran heat exchanger, dibagi menjadi 3 jenis arah aliran yaitu:

2.4.2. Tipe Aliran Paralel

Distribusi suhu cairan rata-rata panas dan dingin yang terkait dengan penukar panas aliran paralel ditunjukkan pada (Gambar 2.5). Perbedaan suhu T pada awalnya besar tetapi menyeluruh dengan meningkatnya x , mendekati nol tanpa gejala. Penting untuk dicatat bahwa, untuk penukar seperti itu, suhu keluar dari fluida dingin tidak pernah melebihi dari fluida panas[7].



Gambar 2.7. Aliran Paralel

Sehingga distribusi temperature untuk aliran parallel dapat di rumuskan seperti persamaan 2.5 dan 2.6 berikut,

$$\Delta T_1 = T_{h,1} - T_{c,1} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,o} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana

$T_{h,i}$: temperatur masuk fluida panas (K)

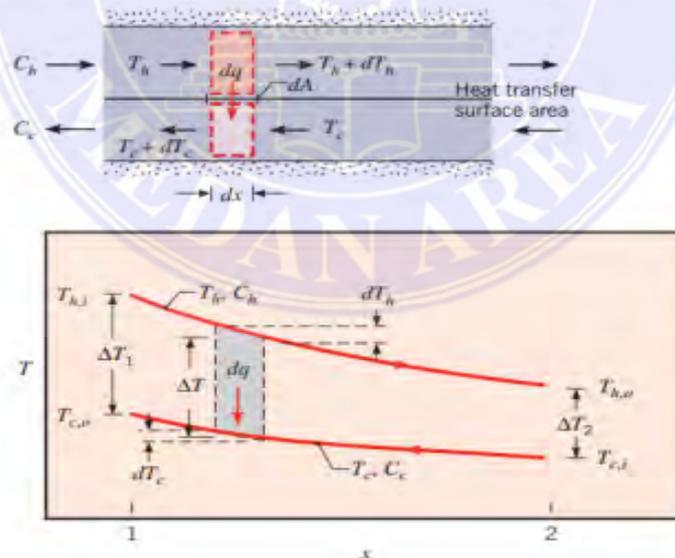
$T_{c,i}$: temperatur masuk fluida dingin (K)

$T_{h,o}$: temperature keluar fluida panas (K)

$T_{c,o}$: temperatur keluar fluida dingin (K)

2.4.3. Aliran Berlawanan Arah (*Crossflow*)

Jenis aliran ini, pembedanya terletak pada ΔT_1 dan ΔT_2 dikarenakan arah aliran yang berbeda. Distribusi suhu cairan panas dan dingin yang terkait dengan penukar panas aliran berlawanan arah ditunjukkan pada (Gambar 2.6). Berbeda dengan penukar aliran paralel, konfigurasi ini menyediakan perpindahan panas antara bagian yang lebih panas dari dua cairan di satu ujung, serta antara bagian yang lebih dingin di sisi lainnya. Untuk alasan ini, perubahan dalam perbedaan suhu, $\Delta T = \Delta T_H - T_C$, sehubungan dengan x tidak ada yang sebesar untuk daerah saluran masuk dari penukar aliran paralel. Perhatikan bahwa suhu keluar dari fluida dingin sekarang dapat melebihi suhu keluar dari fluida panas.



Gambar 2.8. Aliran Berlawanan Arah (*CrossFlow*)

Sehingga dapat di rumuskan seperti yang terlihat pada persamaan 2.7 dan 2.8 berikut,

$$\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,i} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana

$T_{h,i}$: temperatur masuk fluida panas (K)

$T_{c,i}$: temperatur masuk fluida dingin (K)

$T_{h,o}$: temperature keluar fluida panas (K)

$T_{c,o}$: temperatur keluar fluida dingin (K)

2.4.4. Aliran Multipasses atau silang

Tipe aliran ini membutuhkan faktor koreksi dengan hasil perhitungan yang tepat. Seperti yang terlihat pada persamaan 2.9 berikut[8],

$$\Delta T_{LM} = F \Delta T_{LM,CF} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana

ΔT_{LM} : perbedaan temperatur rata-rata antara fluida (K)

F : faktor koreksi

$\Delta T_{LM,CF}$: *log mean temperature different* untuk aliran berlawanan arah

2.4.5. Metode Effectiveness - NTU (Number Of Transfer Unit)

Untuk metode NTU sendiri ialah bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk menganalisis perpindahan panas pada suatu pesawat penukar kalor. Persamaan 2.11, 2.12 dan 2.13 dari NTU sebagai berikut,

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana

NTU : *number of transfer unit*

U : overall heat transfer coefficient

A : luasan total bidang permukaan perpindahan panas (m^2)

C_{min} : nilai terkecil yang diperoleh dari C_c dan C_h

Keterangan

$$C_c = m_c \times CP_c \dots\dots\dots(2.12)$$

$$C_h = m_h \times CP_h \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana

C_c : heat capacity rate untuk fluida dingin, (W/K)

m_c : laju aliran massa fluida dingin, (W/K)

CP_c : kalor spesifik fluida dingin, (J/Kg.K)

C_h : heat capacity rate untuk fluida panas, (W/K)

m_h : laju aliran massa fluida panas, (W/K)

CP_h : kalor spesifik fluida panas, (J/Kg.K)

Effectiveness (ϵ) ialah rasio perbandingan antara laju perpindahan panas maksimum yang dimungkinkan terjadi pada suatu heat exchanger. *Effectiveness* (ϵ) merupakan bilangan tak berdimensi yang berada dalam batas $0 < 1$ [9]. Untuk perumusan *Effectiveness*, data dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\epsilon = f\left[NTU \frac{C_{min}}{C_{max}}\right] \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana

ϵ : Effectiveness

f : faktor kerak (*fouling factor*)

C_{min} : heat capacity rate untuk fluida panas

C_{\max} : *heat capacity rate* untuk fluida dingin

Untuk kondensor tipe shell and tube dengan satu shell and two passes, menggunakan perumusan effectiveness sebagai berikut :

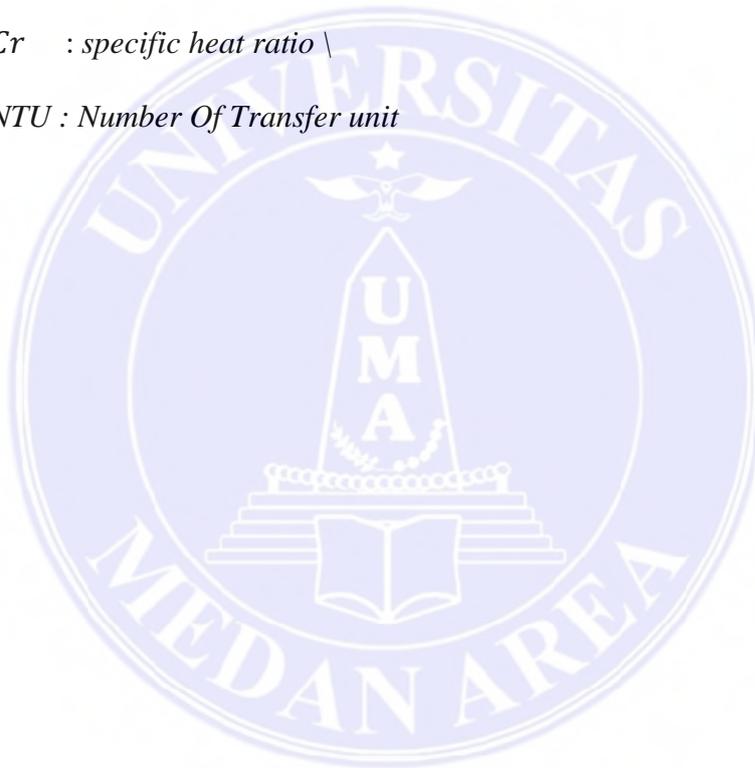
$$\varepsilon = 2 \{1 + C_r + (1 + C_{r2})^{\frac{1}{2}} \frac{1 + \exp[(-NTU)_1(1 + C_{r2})^{\frac{1}{2}}]}{1 - \exp[(-NTU)_1(1 + C_{r2})^{\frac{1}{2}}]}\} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana

ε : *Effectiveness*

C_r : *specific heat ratio* \

NTU : *Number Of Transfer unit*



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat Dan Waktu

3.1.1. Tempat

penelitian di lakukan di pks PTPN 2 Pagar Merbau, yang berada di kecamatan pagar Merbau Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara, dengan waktu 3 bulan untuk pengambilan data.

3.1.2. Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan

Tabel 3.1 Waktu Penulisan Skripsi

NO	URAIAN KEGIATAN	TAHUN 2021-2022				
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI
1	Studi Literatur	○				
2	penyusunan proposal	○				
3	seminar proposal					○
4	pengumpulan data					
5	analisis data dan penulisan laporan penelitian					
6	seminar hasil					○
7	perbaikan					○
8	ujian sidang					○

3.2. Peralatan Dan Bahan

3.2.1. Peralatan

a. Pressure Gauge

pressure gauge ini menunjukkan besar tekanan uap didalam unit. *Pressure gauge* ini ditempatkan pada jalur pemasukan uap yang dilengkapi dengan kran .



Gambar 3.1. Pressure Gauge

b. Temperature Gauge

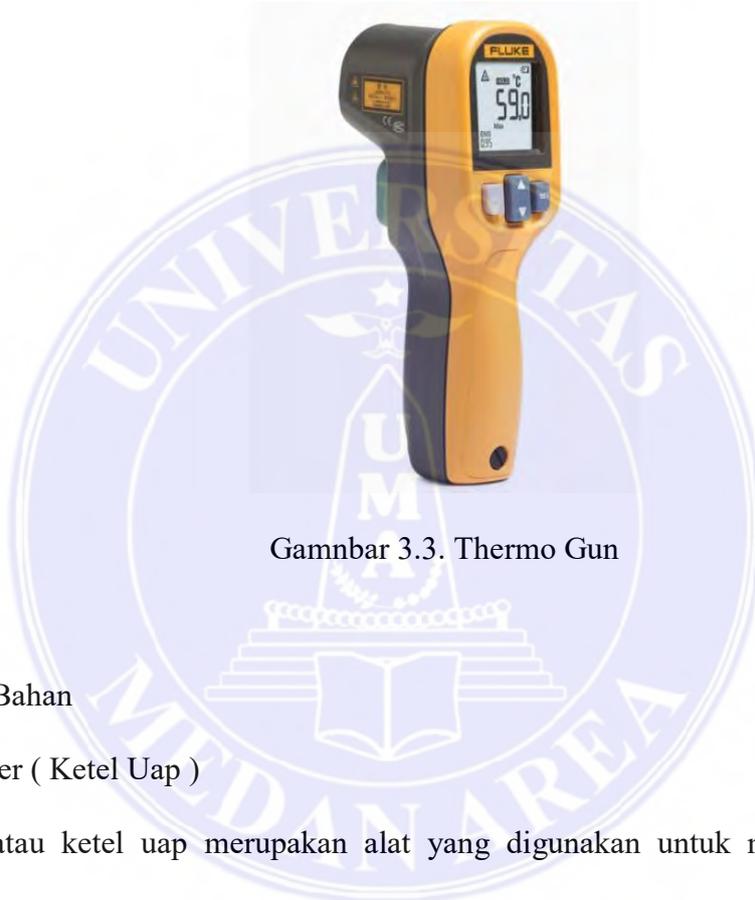
Temperature gauge ditempatkan pada storage tank dari deaerator. Termometer pada storge tank tersebut dan bersesuaian dengan tekanan operasi dari uap. Jika dibutuhkan termometer dapat juga ditambahkan pada jalur pemasukan uap.



Gambar 3.2. Temperature Gauge

c. Thermo Gun

Thermo Gun dapat di gunakan untuk membantu mengukur suhu benda yang sulit untuk di jangkau tangan manusia seperti karna letaknya tinggi atau benda berbahaya untuk di dekati karna suhunya yang sangat tinggi[7].



Gamnbar 3.3. Thermo Gun

3.2.2. Bahan

a. Boiler (Ketel Uap)

Boiler atau ketel uap merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan uap/steam untuk berbagai keperluan. Jenis air dan uap air sangat dipengaruhi oleh tingkat efisiensi boiler itu sendiri. Pada mesin boiler, jenis air yang digunakan harus dilakukan demineralisasi terlebih dahulu untuk mensterilkan air yang digunakan, sehingga pengaplikasian untuk dijadikan uap air dapat dimaksimalkan dengan baik.



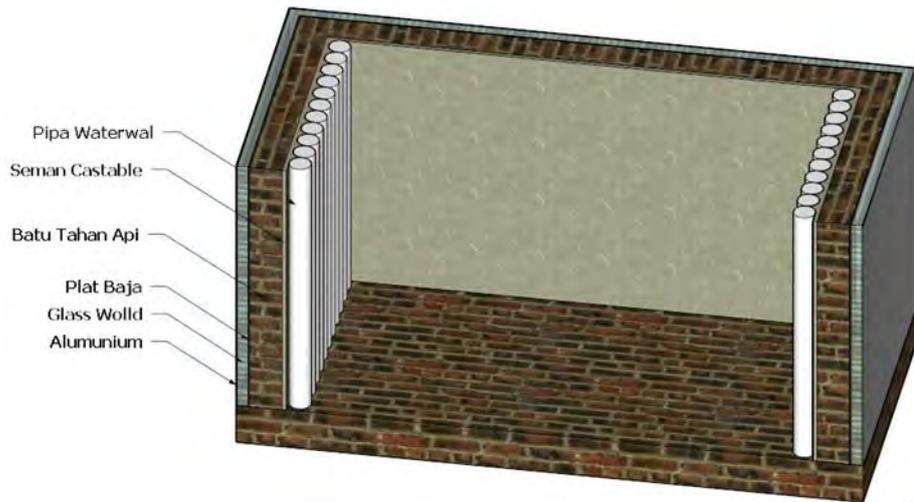
Gambar 3.4. Boiler

Tabel 3.2. Spesifikasi Boiler

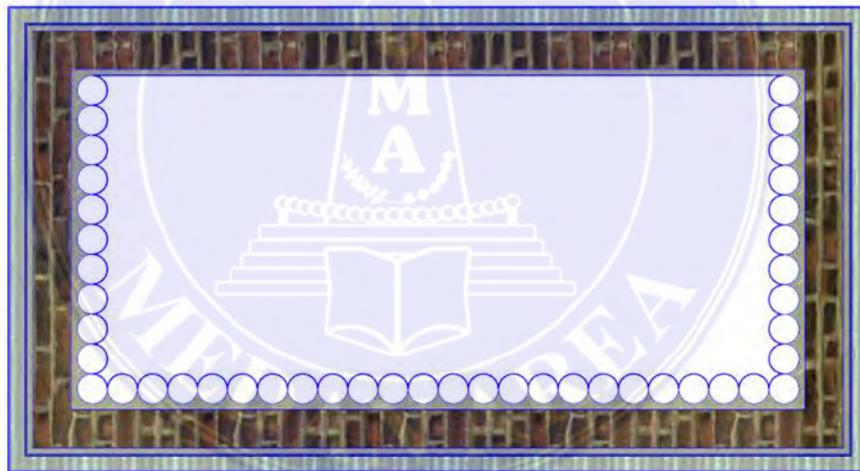
No	Deskripsi	Spesifikasi
1.	Ketel Uap	Advance Water Tube Boiler
2.	Kapasitas Uap	27.000 kg/jam
3.	Temperatur Uap	280°C
4.	Temperatur Air Umpan	90°C
5.	Efisiensi Ketel Uap	75%
6.	Bahan Bakar	Fiber dan Cangkang

b. Ruang Bakar (furnace)

Ruang bakar adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang terbuat dari baja dan digunakan untuk menghasilkan uap (steam). Steam diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Pada umumnya boiler memakai bahan bakar cair (residu, solar), padat (batu bara), atau gas. Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar, sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas.



Gambar 3.5. Struktur Ruang Bakar



Gambar 3.6. Struktur Ruang Bakar Tampak Atas

c. Pipa WaterWall

Pipa waterwall adalah pipa air yang berada pada dinding ruang bakar boiler yang keseluruhan nya berjumlah 46,memiliki diameter luar 76,2 mm dan diameter dalam 72,2 mm,serta memiliki ketebalan 4 mm dan panjang 8000mm.



Gambar 3.7. Pipa WaterWall

Pipa yang di gunakan adalah pipa yang terbuat dari baja campuran atau aloy.

d. Pompa boiler

Pompa pada boiler adalah komponen penting sebagai alat untuk memompa air dalam jumlah besar menuju pipa-pipa boiler ,pompa yang di gunakan pada pks pagar merbau ada lah merek Torsima Pump,tipe dan size MMO 50/7,dengan kapasitas 30 m³/h dengan kecepatan 2945 min^{-1} .



Gambar 3.8. Pompa Boiler

3.3 Metode Pengumpulan Data

Adapun metode penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

3.3.1. Tahapan Studi Literatur

Tahapan studi literatur meliputi referensi baik dari buku, jurnal, dan dari literatur lainnya sebagai penunjang teori yang selanjutnya digunakan sebagai acuan pada penulisan yang akan dilakukan.

3.3.2. Peninjauan Lapangan (Observasi)

Peneliti melakukan peninjauan ke perusahaan dimana penulis melakukan penelitian serta pengamatan sesuai dengan tujuan yang telah dibuat.

3.3.3. Pengumpulan Data

Tahapan ini adalah tahapan terpenting, yaitu melakukan pengamatan dari pengujian dan kemudian mencatat data hasil pengamatan tersebut data yang nantinya dikumpulkan kemudian diolah agar dapat digunakan dalam penelitian, dan sumber penelitian ini berasal dari :

a. Data primer

Data primer yaitu data yang diperoleh dengan peninjauan secara langsung ke pabrik yang meninjau objek penelitian dan wawancara dengan pihak perusahaan. Data primer tersebut hal-hal yang berkenaan dengan *Stasiun Boiler*.

b. Data sekunder

Data skunder diperoleh melalui perusahaan, dimana data tersebut sudah ada disimpan oleh perusahaan sebelumnya, diantaranya adalah spesifikasi mesin, data sheet tentang pemeliharaan pada boiler, kemudian penulis melakukan studi kepustakaan dengan mempelajari buku-buku atau hal-hal yang berkaitan dengan stasiun boiler, meliputi kegiatan pemeliharaan perusahaan secara umum, serta *boiler* secara khusus.

c. Kelengkapan Data

Setelah melakukan pengumpulan data kemudian peneliti mengecek apakah data yang diperlukan sudah sesuai atau tidak untuk melanjutkan tahap selanjutnya.

d. Pengolahan Data

Setelah data penelitian lengkap kemudian penulis mengolah data sesuai dengan tujuan analisis.

e. Tahapan Analisa dan Pembahasan

Hasil dari pengujian diatas kemudian dianalisa kembali dan dibahas sesuai

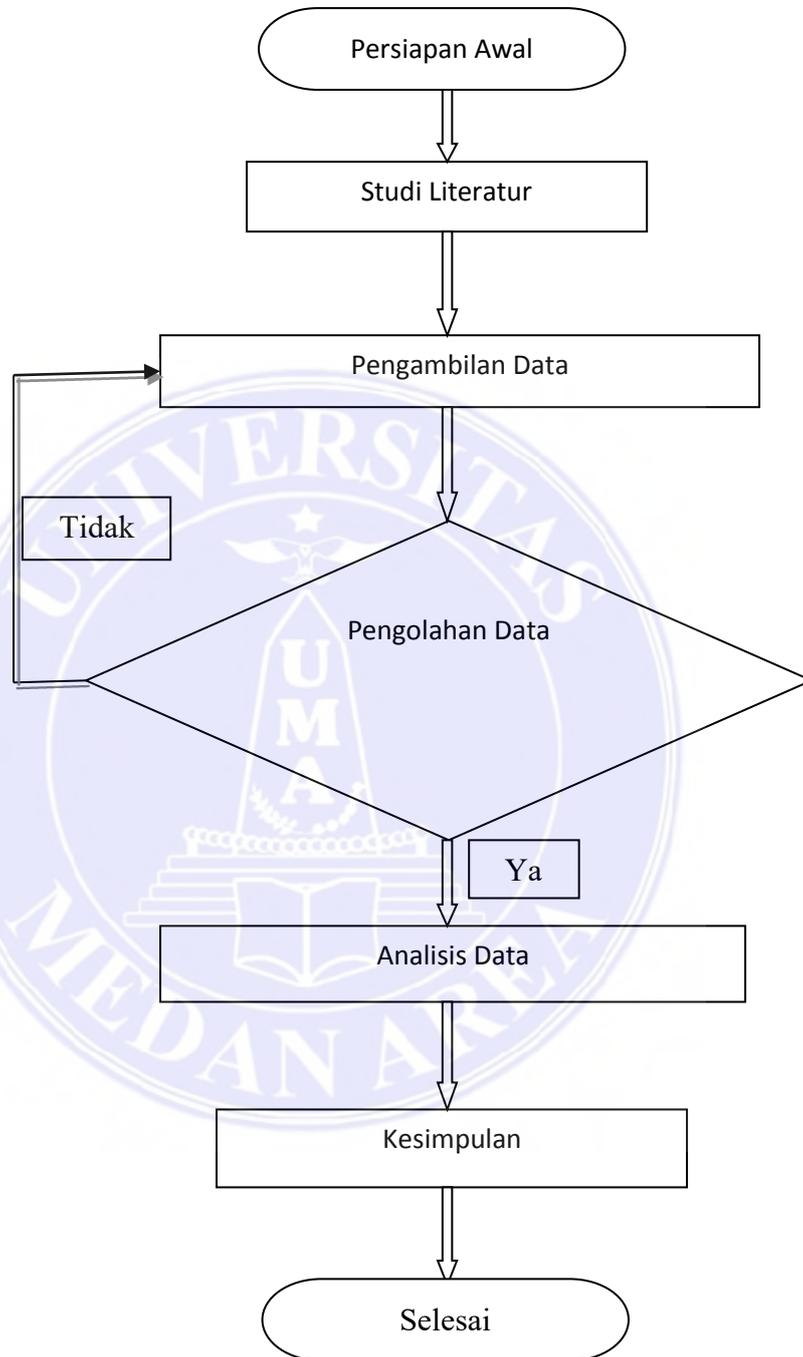
dengan literatur yang sudah ada, kemudian konsultasi kepada dosen pembimbing untuk mencapai hasil yang dibutuhkan.

f. Tahapan kesimpulan dan saran

Dalam mengambil kesimpulan, diperlukan ketelitian dan pertimbangan yang seksama, karna ini merupakan hasil akhir yang diperoleh dari sebuah penelitian, serta meminta saran dari para panitia pelaksana ujian skripsi agar skripsi bias jadi acuan buat kedepannya bagi yang membutuhkan.



3.3. DIAGRAM ALIR (Flow Chart)



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Dari hasil melakukan perhitungan perpindahan panas pipa waterwall pada ruang bakar boiler PKS PTPN II PAGAR MERBAU dapat disimpulkan :

1. Hasil yang didapatkan dari perhitungan metode LMTD adalah 2,96776 watt
2. Hasil yang diperoleh dari perhitungan metode NTU adalah $7,364 \times 10^{-7}$
3. Jika hanya temperatur fluida masuk yang diketahui penggunaan metode LMTD menggunakan prosedur berulang sehingga tidak praktis oleh karena itu lebih baik menggunakan metode NTU.
4. Metode LMTD lebih cocok digunakan untuk mendesain heat exchanger sedangkan metode NTU lebih cocok untuk analisis performa dari suatu heat exchanger yang sudah ada.

5.2. SARAN

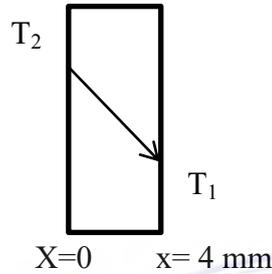
Kepada petugas station boiler agar lebih memperhatikan kebersihan pada pipa waterwall jika tidak kemungkinan akan membuat jelaga banyak menumpuk pada pipa waterwall sehingga proses pemanasan akan terganggu dan panas yang diperoleh tidak sesuai karena jelaga merupakan konduktor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. M.J., ketel uap, jakarta: PT.Pradnya Paramita, 2006.
- [2] M. Ir.Astu Pudjanarsa dan Prof. Ir. Djati Nursuhud, MSME., Mesin Konversi Energi, Yogyakarta: Andi Offset, 2006.
- [3] J. Franke dan Rudolf kral, Supercritical boiler teknologi for future market, paris: siemens Power Generation, 2003.
- [4] N. D. S. Heri, Bambang, p dan Mustika, P., Outlook Energi Indonesia, Jakarta: Dewan Energi Nasional, 2016.
- [5] C. Soekardi, Teknik Perpindahan Energi Panas, Yogyakarta: ANDI, 2019.
- [6] B. a. A. S. L. F. P. I. D. P. D. T. L., Fundamentals of Heat and Mass Trasfer 6th, london: John Wiley & sons, 2006.
- [7] S. Panel dan A.C. Tiwari, "performanse analysis of critical boiler," *Internasional Journal of Mechanical Engineering And Tecnology*, p. 1, 2012.
- [8] J. Mekanova, "Analisis Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger Di Furnace Boiler Circulating Fludizing Bed Unit 1 Pltu Nagan Raya 2 x 110 Mw," *jurnal.utu.ac.id*, p. 1, 2017.
- [9] Koestoer dan Raldi Artono, Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik, Jakarta: Salemba Teknika, 2002.
- [10] F. Kreith dan Arko Prijono, Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas, Jakarta: Erlangga, 2018.
- [11] S. A dan Muin, Pesawat-Pesawat Konversi Energi, Jakarta: Rajawali, 2016.
- [12] J. P. Holman, Perpindahan Kalor, Jakarta: Erlangga, 2017.

Lampiran 1. Mencari Nilai Koefisien Konveksi

1. Perpindahan panas secara konveksi



$$T_1 = 80^\circ\text{C} = 353 \text{ k}$$

$$T_2 = 260^\circ\text{C} = 533 \text{ k}$$

$$K = 60,5 \text{ W/mk}$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$D_{in} = 0,0722 \text{ m}$$

$$D_{out} = 0,0762 \text{ m}$$

$T_{in}(\text{°C})$	$T_{out}(\text{°C})$	$D_{out}(\text{inch})$	$x(\text{mm})$	$v(\text{m}^3/\text{jam})$
80	260	3	4	30

$$D_{out} = 3 \times 0,0254 \text{ m} = 0,0762 \text{ m}$$

$$D_{in} = D_{out} - x$$

$$= 0,0762 \text{ m} - 0,004 \text{ m}$$

$$= 0,0722 \text{ m}$$

$$T_{in} = 80^\circ\text{C} + 273 = 353 \text{ k}$$

$$T_{out} = 260^\circ\text{C} + 273 = 533 \text{ k}$$

$$T_{film} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

$$= \frac{353\text{k} + 533\text{k}}{2}$$

$$= \frac{886 \text{ k}}{2}$$

$$= 443 \text{ k} = 170^\circ\text{C}$$

2. Menghitung koefisien konveksi steam (h_i) sebelum tabel

$T_f = 433\text{k}$, berdasarkan tabel A.9 properties of saturated water maka:

T_f	ρ_e	μ_e	k_e	C_{pe}	pr_e	v
h_{fg}						
(k)	(kg/m^3)	($\text{kg/m.s}) \times 10^3$	w/m.k	J/kg.k	$\text{m}^2/\text{s} \times 10^{-5}$	(kj/kg)

44 897,7 0,160 0,677 4370 1,03 2,378 2050

a. Menghitung jacob Number

$$Ja = \frac{c p_e (T_{sat} - T_s)}{h_{fg}} = \frac{4370 \text{ J/kg} \cdot k (533 - 353) k}{2050000 \text{ J/kg}}$$

$$= 0,3837073171$$

b. Menghitung Modified Laten Heat

$$h_{fg} = h_{fg} (1 + 0,68 Ja)$$

$$= 2050 \text{ KJ/kg} (1 + 0,68 (0,3837073171))$$

$$= 2584,8880 \text{ KJ/kg} = 2.584.888 \text{ J/kg}$$

c. Menghitung Parameter Berdimensi

$$p = \frac{k_e \cdot L (T_{sat} - T_s)}{\pi_e h_{fg} (V_e^2/g)^{\frac{1}{3}}} \rightarrow L = 3,14 \times \frac{D_{in}}{2} = 3,14 \times \frac{0,0722 \text{ m}}{2} = 0,113354 \text{ m}$$

$$= \frac{0,677 \text{ W/m} \cdot k \cdot 0,113354 \text{ m} (533 - 353) k}{0,160 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot s \times 2584,888 \text{ J/kg} \times \left(\frac{(2,378 \times 10^{-5} \text{ m}^2/s)^2}{9,8 \text{ m/s}^2} \right)^{\frac{1}{3}}}$$

$$= 8,64312 \text{ (Laminer)} \leftarrow p \leq 2530$$

d. Menghitung Nuselt Number

$$Nu = \frac{1}{p} ((0,024 P - 53) Pr_e^{\frac{1}{2}} + 89)^{\frac{4}{3}}$$

$$= \frac{1}{86,4312} ((0,024(86,4312) - 53) 1,03^{\frac{1}{2}} + 89)^{\frac{4}{3}}$$

$$= 1,442750582$$

e. Menghitung Koefisien Konveksi

$$h_i = \frac{Nu \cdot k_e}{(V_e^2/g)^{\frac{1}{3}}}$$

$$= \frac{1,442750582 \times 0,677 \text{ W/m} \cdot k}{\left(\frac{(2,378 \times 10^{-5} \text{ m}^2/s)^2}{9,8 \text{ m/s}^2} \right)^{\frac{1}{3}}}$$

$$= 2527,6332 \text{ W/m}^2 \cdot k$$

Lampiran 2. Tabe A- 9 Sifat-sifat Air (Zat- cair jenuh)

593

Lampiran A Beberapa Daftar

Tabel A-9 Sifat-sifat Air (Zat-cair Jenuh)†

Catatan $Gr_x Pr = \left(\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k} \right) x^3 \Delta T$

°F	°C	c_p , kJ/kg · °C	ρ , kg/m ³	μ , kg/m · s	k , W/m · °C	Pr	$\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k}$, 1/m ³ · °C
32	0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	1.91×10^9
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	6.34×10^9
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	1.08×10^{10}
70	21.11	4.179	997.4	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.46×10^{10}
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	1.91×10^{10}
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	2.48×10^{10}
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	3.3×10^{10}
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	4.19×10^{10}
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	4.89×10^{10}
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	5.66×10^{10}
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	6.48×10^{10}
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	7.62×10^{10}
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	8.84×10^{10}
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	9.85×10^{10}
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	1.09×10^{11}
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	9.51×10^{-4}			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

† Adaptasi dari A. I. Brown dan S. M. Marco, "Introduction to Heat Transfer," 3d ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1958.

Daftar ini menggunakan satuan SI.

Lampiran 3. Tabel Konduktifitas Termal Bahan Penukar Kalor

Bahan	Suhu °C	k, W/m °C	ρ, kg/m ³	c, kJ/kg °C	α, m ² /s x 10 ⁶
<i>Bahan-bahan bangunan dan penahan-kalor</i>					
Aspal	20-55	0.74-0.76			
Bata:					
Bata bangunan biasa	20	0.69	1600	0.84	5.2
Muka		1.32	2000		
Bata karborundum	600	18.5			
	1400	11.1			
Bata krom	200	2.32	3000	0.84	9.2
	550	2.47			9.8
	900	1.99			7.9
Tanah diatomea dicetak dan dibakar	200	0.24			
	870	0.31			
Bata tahan-api dibakar 2426°F	500	1.04	2000	0.96	5.4
	800	1.07 ✓			
	1100 ✓	1.09 ✓			
Dibakar 2642°F	500	1.28	2300	0.96	5.8
	800	1.37			
	1100	1.40			
Missouri	200	1.00	2600	0.96	4.0
	600	1.47			
	1400	1.77			
Magnesit	200	3.81		1.13	
	650	2.77			
	1200	1.90			
Semen, portland moster	23	0.29	1500		
		1.16 ✓			
Beton, sinder	23	0.76			
Batu, 1-2-4 campur	20	1.37	1900-2300	0.80	0.2-6.8
(Gelas, jendela	20	0.78 (avg)	2700	0.84	3.4
Korosilikat	30-75	1.09	2200		
Plaster, gips	20	0.48	1440	0.84	4.0
lat logam	20	0.47			
lat kayu	20	0.28			
Batu:		1.73-3.98	2640	0.82	8-18
Granit		1.26-1.33	2500	0.90	5.6-5.9
Batu kapur	100-300	2.07-2.94	2500-2700	0.80	10-13.6
Marmar		1.83	2160-2300	0.71	11.2-11.9
Batu pasir	40				
Kayu (melintas serat)					
Balsa, 8.8 lb/ft ³	30	0.055	140		
Sipres	30	0.097	460		
Fir	23	0.11	420	2.72	0.96
Mapel atau oak	30	0.166	540	2.4	1.38
Pinus kuning	23	0.147	640	2.8	0.82
Pinus putih	30	0.112	430		

Daftar ini menggunakan Satuan SI.

Lampiran 4. Tabel A-3 Properties of Saturated water (Liquid-vapor) Pressure

Tabel

TABLE A-3 Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor): Pressure Table

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Press. bar
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
0.04	28.96	1.0040	34.800	121.45	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.4746	0.04
0.06	36.16	1.0064	23.739	151.53	2425.0	151.53	2415.9	2567.4	0.5210	8.3304	0.06
0.08	41.51	1.0084	18.103	173.87	2432.2	173.88	2403.1	2577.0	0.5926	8.2287	0.08
0.10	45.81	1.0102	14.674	191.82	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	8.1502	0.10
0.20	60.06	1.0172	7.649	251.38	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.9085	0.20
0.30	69.10	1.0223	5.229	289.20	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	7.7686	0.30
0.40	75.87	1.0265	3.993	317.53	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	7.6700	0.40
0.50	81.33	1.0300	3.240	340.44	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	7.5939	0.50
0.60	85.94	1.0331	2.732	359.79	2489.6	359.86	2293.6	2653.5	1.1453	7.5320	0.60
0.70	89.95	1.0360	2.365	376.63	2494.5	376.70	2283.3	2660.0	1.1919	7.4797	0.70
0.80	93.50	1.0380	2.087	391.58	2498.8	391.66	2274.1	2665.8	1.2329	7.4346	0.80
0.90	96.71	1.0410	1.869	405.06	2502.6	405.15	2265.7	2670.9	1.2695	7.3949	0.90
1.00	99.63	1.0432	1.694	417.36	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	7.3594	1.00
1.50	111.4	1.0528	1.139	466.94	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	7.2233	1.50
2.00	120.2	1.0605	0.8857	504.49	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	7.1271	2.00
2.50	127.4	1.0672	0.7187	535.10	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	7.0527	2.50
3.00	133.6	1.0732	0.6058	561.15	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	6.9919	3.00
3.50	138.9	1.0786	0.5243	583.95	2546.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	6.9405	3.50
4.00	143.6	1.0836	0.4625	604.31	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	6.8959	4.00
4.50	147.9	1.0882	0.4140	622.25	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	6.8565	4.50
5.00	151.9	1.0926	0.3749	639.68	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	6.8212	5.00
6.00	158.9	1.1006	0.3157	669.90	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	6.7600	6.00
7.00	165.0	1.1080	0.2729	696.44	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	6.7080	7.00
8.00	170.4	1.1148	0.2404	720.22	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.0462	6.6628	8.00
9.00	175.4	1.1212	0.2150	741.83	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.0946	6.6226	9.00
10.0	179.9	1.1273	0.1944	761.68	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	6.5863	10.0
15.0	198.3	1.1539	0.1318	843.16	2594.5	844.84	1947.3	2792.2	2.3150	6.4448	15.0
20.0	212.4	1.1767	0.09963	906.44	2600.3	908.79	1890.7	2799.5	2.4474	6.3409	20.0
25.0	224.0	1.1973	0.07998	959.11	2603.1	962.11	1841.0	2803.1	2.5547	6.2575	25.0
30.0	233.9	1.2165	0.06668	1004.8	2604.1	1008.4	1795.7	2804.2	2.6457	6.1869	30.0
35.0	242.6	1.2347	0.05707	1045.4	2603.7	1049.8	1753.7	2803.4	2.7253	6.1253	35.0
40.0	250.4	1.2522	0.04978	1082.3	2602.3	1087.3	1714.1	2801.4	2.7964	6.0701	40.0
45.0	257.5	1.2692	0.04406	1116.2	2600.1	1121.9	1676.4	2798.3	2.8610	6.0199	45.0
50.0	264.0	1.2859	0.03944	1147.8	2597.1	1154.2	1640.1	2794.3	2.9202	5.9734	50.0
60.0	275.6	1.3187	0.03244	1205.4	2589.7	1213.4	1571.0	2784.3	3.0267	5.8892	60.0
70.0	285.9	1.3513	0.02737	1257.6	2580.5	1267.0	1505.1	2772.1	3.1211	5.8133	70.0
80.0	295.1	1.3842	0.02352	1305.6	2569.8	1316.6	1441.3	2758.0	3.2068	5.7432	80.0
90.0	303.4	1.4178	0.02048	1350.5	2557.8	1363.3	1378.9	2742.1	3.2858	5.6772	90.0
100.	311.1	1.4524	0.01803	1393.0	2544.4	1407.6	1317.1	2724.7	3.3596	5.6141	100.
110.	318.2	1.4886	0.01599	1433.7	2529.8	1450.1	1255.5	2705.6	3.4295	5.5527	110.