

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS (*HEAT TRANSFER*)
KONDENSOR PADA UNIT 4 PLTU PT PLN (Persero) UNIT
PELAKSANA PEMBANGKITAN BELAWAN**

SKRIPSI

OLEH

DANI JULIUS NAPITUPULU

15.813.0029



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2019**

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 11/4/19

Access From (repository.uma.ac.id)

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS (*HEAT TRANSFER*) KONDENSOR PADA UNIT 4
PLTU PT PLN (Persero) UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN BELAWAN**


SKRIPSI

Oleh :

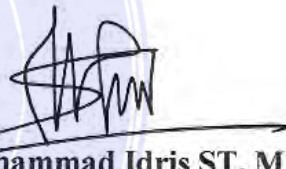
Dani Julius Napitupulu

15.813.0029

**Disetujui
Komisi Pembimbing :**



Ir. H. Amirsvan NST, MT
Pembimbing I



Muhammad Idris ST, MT
Pembimbing II



Dr. Faisal Amri Tanjung SST, MT
Dekan



Bobby Umroh ST, MT
Ketua Program Studi

Tanggal Lulus : 20 September 2019

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : DANI JULIUS NAPITUPULU

NPM : 15.813.0029

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Skripsi : Analisis Perpindahan Panas (*Heat Transfer*) Kondensor Pada Unit 4 Pltu Pt Pln (Persero) Unit Pelaksana Pembangunan Belawan.

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

Saya bersedia menerima sanksi-sanksi dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan,

2019



Document Accepted 11/4/19

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

Dani Julius Napitupulu

Accessed from <http://ejournal.uma.ac.id>

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

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dani Julius Napitupulu
NPM : 15.813.0029
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 Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Perpindahan Panas (*Heat Transfer*) Kondensor Pada Unit 4 PLTU PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangunan Belawan.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan 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 :

Yang Menyatakan



(Dani Julius Napitupulu)

Document Accepted 11/4/19

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Access From (repository.uma.ac.id)

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS (*HEAT TRANSFER*)
KONDENSOR PADA PT PLN (Persero) UNIT PELAKSANA
PEMBANGKITAN BELAWAN**

ABSTRAK

Kebutuhan listrik di Indonesia merupakan sesuatu yang vital bagi rakyat Indonesia terlebih di zaman globalisasi ini. Indonesia melaksanakan program percepatan pembangkitan listrik sebesar 10.000 MW dengan mendirikan beberapa pembangkit listrik terutama pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga uap (PLTU). Tujuan Penelitian Tugas Akhir ini adalah melakukan Analisis Perpindahan Panas Pada Kondensor di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan. Kondensor adalah salah satu jenis pesawat penukar kalor yang berfungsi mengkondensasikan uap bekas dari turbin, yaitu air laut. Jenis kondensor yang digunakan pada PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan adalah surface condenser.

Hasil yang didapat dari tugas akhir ini adalah nilai laju perpindahan panas dan efektivitas (ϵ) kondensor unit IV dari tanggal 13 Mei 2019 sampai 15 Mei 2019. diperoleh laju perpindahan panas sebesar 126 MW. Sedangkan effektivitas (ϵ), diperoleh 0.2524%. Dan Tekanan Vakum diperoleh 0.1492 Bar Hal ini menunjukkan bahwa keadaan kondensor masih cukup baik, dikarenakan steam dapat menuju kondensor, sehingga laju perpindahan panas dan effektivitas kondensor mampu mengkondensasi steam menjadi cair.

Kata Kunci : Kondensor, PLTU, Laju Perpindahan Panas, Effektivitas

Dani Julius Napitupulu. 158130029. “The Analysis of Heat Transfer in the Condenser at PT. PLN (Persero) Generating Unit Belawan”. Supervised by Ir. H. Amirsyam, M.T. and Muhammad Idris, S.T., M.T.

ABSTRACT

Electricity needs in Indonesia are vital for the people of Indonesia, especially in this globalization era. Indonesia is implementing an accelerated electricity generation program of 10,000 MW by establishing several power plants, especially power plants using steam power (PLTU). The purpose of this Final Project Research is to conduct a Heat Transfer Analysis on the Condenser in PT PLN (Persero) Belawan Generation Implementation Unit. Condenser is one type of heat exchanger that functions to condense used steam from turbines, which is sea water. The type of condenser used at PT PLN (Persero) Belawan's Generation Unit is a surface condenser.

The results obtained from this thesis are the value of the heat transfer rate and the effectiveness (ϵ) of unit IV condenser from 13 May 2019 to 15 May 2019. the heat transfer rate is 126 MW. While the effectiveness (ϵ), obtained 0.2524%. And the Vacuum Pressure is obtained 0.1492 Bar This shows that the condition of the condenser is still quite good, because steam can go to the condenser, so that the rate of heat transfer and the effectiveness of the condenser is able to condense steam into liquid.

Keywords: Condenser, PLTU, Heat Transfer Rate, Effectiveness

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Penulisan skripsi ini. Penelitian Tugas akhir (Skripsi) ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Adapun yang menjadi judul tugas akhir ini yaitu “Analisis Perpindahan Panas (*Heat Transfer*) Kondensor Pada PLTU PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama pelaksanaan Penelitian Tugas Akhir. Untuk itu, melalui pengantar ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Rektor Universitas Medan Area Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc.
2. Dekan Teknik Universitas Medan Area Dr. Faisal Amri Tanjung. SST, MT
3. Bapak Ir. H. Amirsyam, MT selaku Dosen Pembimbing I penulis di Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.
4. Bapak Muhammad Idris, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II penulis di Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.
5. Bapak Bobby Umroh, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.
6. Bapak Zulfikar, ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.
7. Orang Tua Penulis, P. Napitupulu dan H. br. Pasaribu yang tidak hentinya memberikan kasih yang begitu tulus melalui doa, keringat, dan restu yang menjadi motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.

8. Saudara Penulis, Tetty Sari Jayani Napitupulu dan Roy Sanjaya Napitupulu yang sudah memberikan semangat dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
9. Elyuni Fabe Tarigan yang sudah membantu dan selalu memberi dukungan serta motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Bapak/Ibu Staff Pengajar dan Pegawai di Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.
11. Semua Pegawai dan Staf PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangunan Belawan.
12. Teman-teman Stambuk 2015 yang memberi semangat dan motivasi sehingga penulis mempunyai semangat untuk menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini belum sempurna, baik segi teknik maupun segi materi. Oleh sebab itu, penulis juga mengharapkan kritik dan saran membangun demi terciptanya skripsi yang lebih baik di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Medan, 20 September 2019

Dani Napitupulu
Npm : 158130029

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Dasar Teori Kondensor pada PLTU	6
2.2. Perpindahan Panas	7
2.2.1. Persamaan Dasar Perpindahan Panas	7
2.2.2. Perpindahan Panas Secara Konduksi	9
2.2.3. Perpindahan Panas Secara Konveksi	10
2.2.4. Perpindahan Panas Akibat Aliran Fluida Di Dalam Pipa ..	11
2.2.5. Perpindahan Panas Akibat Aliran Fluida Di Luar Pipa	13
2.2.6. Koefisien Perpindahan Panas Pada Zona Kondensasi	18
2.2.7. Persamaan <i>Surface Temperature</i> atau Temperatur Dinding <i>Tube</i>	22
2.2.8. Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan	23
2.3. Analisa Perpindahan Panas	25

2.3.1.	Analisa Perpindahan Panas Dengan Metode LMTD (<i>Log Mean Temperature Different</i>).....	25
2.3.2.	Analisa Perpindahan Panas Dengan Dengan Metode <i>Effectiveness- NTU (Number Of Transfer Unit)</i>	29
BAB III METODE PENELITIAN.....		32
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	32
3.1.1	Tempat	32
3.1.2	Waktu.....	32
3.2	Alat dan Bahan	32
3.2.1	Alat	32
3.2.2	Bahan	33
3.3	Tahapan Litelatur.....	34
3.4	<i>Flow Chart</i> (Diagram Alir)	36
3.4.1	Metodologi Penyusunan Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Data Spesifikasi dan Data Aktual Pada Kondensor Unit IV PLTU BELAWAN	37
4.2	Perhitungan Nilai Koefisien Konveksi dalam <i>Tube</i> (h_i).....	39
4.3	Perhitungan Nilai Koefisien Konveksi Luar <i>Tube</i> (h_o)	45
4.4	Perhitungan <i>Overall Heat Transfer Coefficient</i>	54
4.5	Perhitungan dengan Metode <i>Log Mean Temperature Different</i> (LMTD)	56
4.6	Perhitungan Laju Perpindahan Panas	57
4.7	Perhitungan dengan Metode <i>Number of Transfer Unit (NTU) – Effectiveness</i>	58
4.7.1	Perhitungan Heat Capacity	58
4.7.2	Perhitungan Effectiveness – NTU	59
BAB V PENUTUP.....		62
5.1	Kesimpulan.....	62
5.2	Saran	62

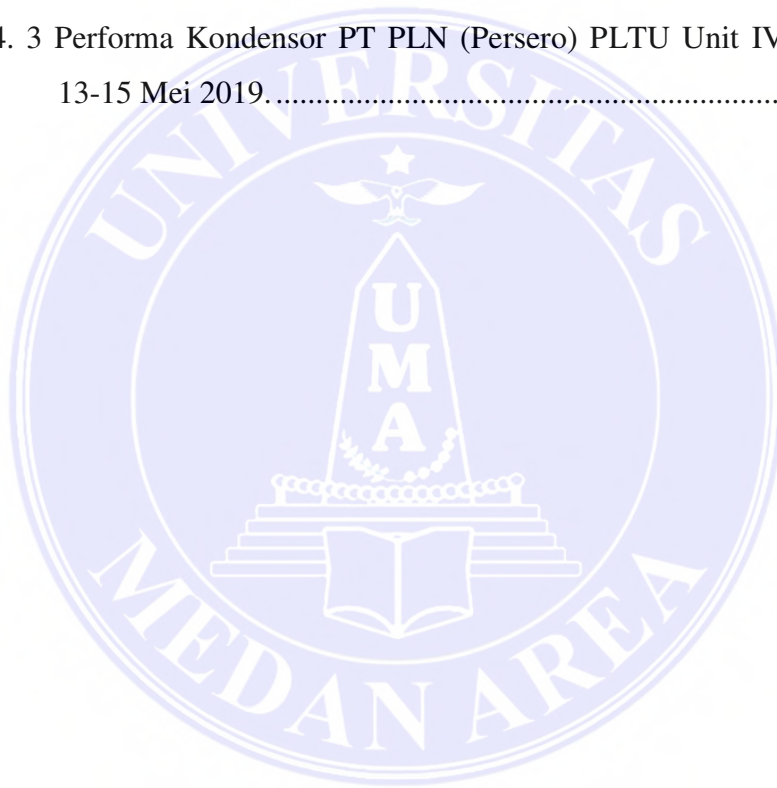
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	64



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2. 1 Nilai konstanta untuk persamaan (2.9a) pada susunan <i>tube</i>	17
Tabel 3. 1 Data Pengamatan Operasi Boiler Unit 4 Pltu Belawan.....	33
Tabel 4. 1 <i>condenser spesification design</i>	37
Tabel 4. 2 Data Aktual Kondensor (pada tanggal 13 Mei sampai 15 Mei 2019 pukul 09:00 WIB sampai pukul 16:00 WIB)	38
Tabel 4. 3 Performa Kondensor PT PLN (Persero) PLTU Unit IV pada tanggal 13-15 Mei 2019.....	61



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 <i>Surface condenser</i>	7
Gambar 2. 2 Perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi	9
Gambar 2. 3 Aliran fluida melintasi (a) aligned dan (b) staggered tube.	14
Gambar 2. 4 Susunan tube (a) aligned (b) staggered.	15
Gambar 2. 5 Zona Kondensasi	18
Gambar 2. 6 <i>Film condensation on (a) a sphere (b) a single horizontal tube (c) a vertical tier of horizontal tubes with a continuous condensate sheet (d) with dripping condensation</i>	22
Gambar 2. 7 Distribusi temperatur untuk aliran parallel	27
Gambar 2. 8 Distribusi temperatur untuk aliran berlawanan arah	28
Gambar 3. 1 <i>Flow Chart</i> Penyusunan Penelitian	36

DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang (m^2)
C _p	= Kalor jenis (kJ/kg °C)
D	= Diameter (m)
h	= Koefisien perpindahan kalor ($W/m^2 °C$)
h _{f,g}	= Entalpi penguapan (kJ/kg)
k	= Konduktivitas thermal ($W/m °C$)
L	= Panjang (m)
m	= Massa aliran (kg/s)
Nu	= Bilangan Nusselt
p	= Tekanan (N/m^2), (Pa)
Pr	= Bilangan Prandtl
q	= Laju perpindahan kalor (W)
Re	= Bilangan Reynolds
T	= Temperatur (°C)
v	= Volume spesifik (m^3 /kg)
ρ	= Densitas (kg/m^3)
μ	= Viskositas dinamik (kg m/s)
c	= Cool
i	= Inlet
m	= mean
o	= Outlet

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan listrik di Indonesia merupakan sesuatu yang Vital bagi rakyat Indonesia terlebih di zaman globalisasi ini. Indonesia melaksanakan program percepatan pembangkitan listrik sebesar 10.000 MW dengan mendirikan beberapa pembangkit listrik terutama pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga uap. Kapasitas pembangkit listrik nasional (PLN dan non PLN) pada tahun 2016 mencapai 57,1 GW, dengan pangsa terbesar PLTU batubara sebesar 54% (30,8 GW). Adapun kapasitas pembangkit berbasis EBT (Energi Baru Terbarukan), seperti PLTM, PLTA, PLTP, PLTS, PLTB, dan *pump stroge* adalah sebesar 6,9 GW atau sekitar 12%. Sisanya merupakan pembangkit berbahan bakar gas dan BBM [1]. PLTU diprioritaskan sebagai energi listrik Karena menghasilkan daya yang relatif besar dan juga mudah mendapatkan fluida utamanya.

Siklus pembangkit Listrik Tenaga uap memiliki beberapa komponen seperti boiler, turbin, kondensor, dan pompa. Kondensor merupakan salah satu komponen utama pada sistem PLTU yang apabila mengalami masalah maka akan mengakibatkan menurunnya efisiensi pembangkit, hal itu tentu tidak diinginkan karena PLTU yang selalu beroperasi setiap hari secara terus menerus.

Kondensor adalah salah satu jenis mesin alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida kerja. Fungsi kondensor pada PLTU adalah untuk mendinginkan atau mengkondensasikan uap keluaran turbin tekanan rendah dengan menggunakan media air laut sebagai fluida

pendinginnya sehingga dapat dipompakan kembali ke boiler. Kondensor yang digunakan pada PLTU yaitu model selongsong dan tabung (*shell and tube*). Dimana fluida pendingin berupa air laut mengalir pada tabung-tabung, sedangkan fluida kerja sistem (fluida yang didinginkan) yaitu uap keluaran turbin tekanan rendah mengalir melalui selongsong / di luar tabung.

Satu masalah yang terjadi di kondensor adalah terjadi pengotoran pada jalur tube air pendingin yang disebabkan oleh kotoran yang terbawa oleh air pendingin sehingga suplai air pendingin pada kondensor dan kebocoran pada kondensor yang berdampak pada ketidakstabilan performa kondensor. Maka hal ini akan mengakibatkan berkurangnya proses perpindahan panas. Sehingga hal yang dilakukan saat melakukan perawatan pada kondensor adalah membersihkan *tube* air pendingin pada kondensor tersebut agar tidak terjadi pengendapan yang dapat mengganggu laju aliran air pendingin kondensor. [2] Untuk mengetahui kinerja kondensor digunakan metode perhitungan efektivitas-NTU. Kinerja kondensor dapat dilihat dari nilai efektivitas, laju perpindahan panas, dan tekanan vakum di dalam kondensor. Untuk itu penulis tertarik untuk mengambil judul “ANALISIS PERPINDAHAN PANAS (HEAT TRANSFER) KONDENSOR PADA UNIT 4 PLTU PT PLN (Persero) UNIT PEMBANGKITAN BELAWAN” untuk mengetahui kondisi kondensor tersebut baik atau tidak.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dapat penulis ambil beberapa rumusan masalah yang dihadapi tentang pengaruh dari laju perpindahan panas kondensor dengan menggunakan *metode log mean temperature different* (LMTD) dan

metode *Effectiveness* (ϵ) - *number of transfer unit* (NTU) yang dihasilkan setelah dilakukan analisis dari permasalahan di PLTU/PLTGU Belawan. Setelah mengetahui nilai dari laju perpindahan panas, *log mean temperature different* (LMTD), dan *effectiveness* (ϵ) - *number of transfer unit* (NTU) Untuk itu, selanjutnya akan mempengaruhi kinerja dari kondensor tersebut.

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak terlalu meluas penulis akan memberikan batasan permasalahan dan asumsi yang dapat diambil dari penelitian ini, sebagai berikut :

1. Analisa diambil berdasarkan data operasi kondensor.
2. Berada pada kondisi *steady state* dan *steady flow*.
3. *Fully developed internal flow* pada aliran pipa.
4. Perubahan energy kinetik dan potensial diabaikan.
5. Menganalisis laju perpindahan panas dari keluar steam *exhaust turbine end*, untuk kalor dari komponen-komponen lain yang terdapat pada kondensor diabaikan.
6. Pada kondensor hanya terdapat *condensing zone* untuk *desuperheat zone* dan *dry cooling* diabaikan.
7. Perpindahan kalor ditinjau secara konduksi dan konveksi dengan mengabaikan perpindahan kalor secara radiasi.
8. *Head losses* didalam dan diluar *tube* diabaikan
9. Analisa material diabaikan
10. Analisa korosi diabaikan

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah dalam penelitian ini, penulis mempunyai maksud dan tujuan, yaitu

1. menganalisis laju perpindahan kalor pada kondensor PLTU PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan, dengan menghitung menggunakan metode *log mean temperature different* (LMTD) dan metode *Effectiveness (ϵ) - number of transfer unit* (NTU).
2. Mendapatkan hubungan laju perpindahan perpindahan panas dengan tekanan vacuum kondensor.

1.5. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini, dikemukakan beberapa manfaat yaitu untuk Mengetahui pengaplikasian ilmu perpindahan panas (kalor) dalam permasalahan yang nyata yang terjadi pada suatu alat penukar kalor seperti kondensor pada PLTU dan mengetahui nilai dari perhitungan dengan metode *log mean temperature different* (LMTD) dan metode *effectiveness (ϵ) – number of transfer unit* (NTU) yang didapatkan. Dan dapat membantu Perusahaan dalam menyelesaikan masalah yang terjadi pada kondensor, dan juga sebagai referensi untuk penelitian yang berkaitan dengan laju perpindahan panas pada kondensor selanjutnya.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan yang bersifat umum sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang permasalahan penyusunan tugas akhir, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka yang menjadi dasar pembuatan tugas akhir ini, tentang perumusan analisa secara perpindahan panas.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang langkah-langkah apa saja yang akan dilakukan dalam mengolah data penelitian yang ada sehingga mendapatkan hasil yang diharapkan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai data spesifikasi, data aktual, dan hasil perhitungan yang telah didapatkan dari analisa yang telah diperoleh dari laju perpindahan panas.

BAB V : KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari apa yang telah dilakukan serta menyatakan pernyataan akhir dari uraian penjelasan sebelumnya dan saran-saran yang diberikan untuk pengembangan selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

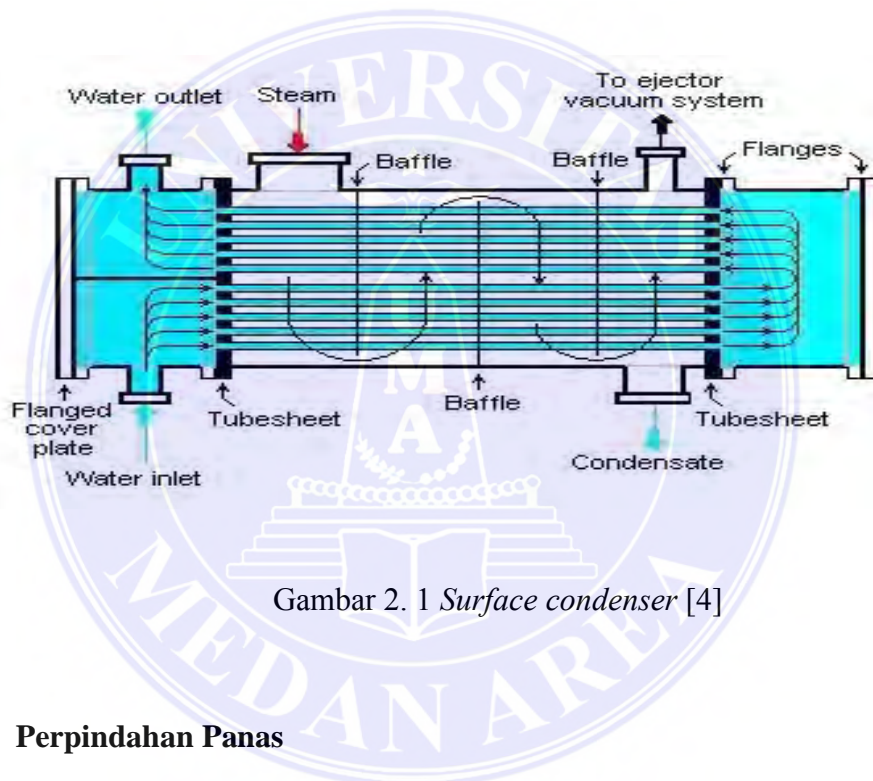
2.1. Dasar Teori Kondensor pada PLTU

Kondensor merupakan salah satu komponen alat penukar kalor yang fungsi utamanya adalah mengembunkan uap buang dari turbin menjadi fase cair melalui perpindahan panas dari uap ke air pendingin sehingga dihasilkan air umpan berkualitas tinggi untuk digunakan kembali dalam siklus [3].

Selain itu, untuk mencairkan uap jenuh yang mempunyai temperatur dan tekanan yang tinggi dengan jalan mendinginkan uap jenuh tersebut agar menjadi cair jenuh. Dengan tekanan yang rendah (vakum) pada LP Turbin, maka uap akan bergerak dengan mudah menuju kondensor. Proses pendinginan uap jenuh oleh air refrigerant yang berada dibagian dalam pipa-pipa kondensor ini terdapat dalam siklus *refrigerasi* yang dilakukan oleh kondensor.

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa kondensor yang dipakai pada PLTU Unit IV belawan adalah *surface condenser*. Tipe kondensor ini merupakan tipe yang paling banyak digunakan untuk instalasi pembangkit daya. Jenis *heat exchanger* ini bertipe *shell and tube* dengan perpindahan panasnya dalam bentuk pengkondensasian (pengembunan) uap jenuh pada sisi *shell* dan pemanasan secara konveksi paksa pada air yang bersirkulasi dalam *tube*. Prinsip kerja dari *surface condenser* ialah uap masuk melewati *steam inlet connection*, yang terletak dibagian atas kondensor, menuju sisi-sisi *shell* kondensor. Kemudian uap tersebut bersinggungan dengan *tube-tube* kondensor yang mempunyai temperatur rendah (vakum) sehingga temperatur dan tekanan uap turun, kemudian terkondensasi

dengan menghasilkan air kondensat yang terkumpul di *hotwell*. Menjaga temperatur air didalam tube agar tetap rendah (vakum) dengan cara mensirkulasikan air, yang menyerap kalor dari uap pada proses kondensasi, secara terus menerus. Kalor yang dimaksud ialah kalor laten atau kalor kondensasi atau *heat of condensation*. Air kondensat yang tertampung di hotwell, kemudian dipindahkan ke *low pressure heater* yang berfungsi untuk menghangatkan air kondensat yang berwujud cair lanjut, dengan menggunakan pompa kondensat



Gambar 2. 1 *Surface condenser* [4]

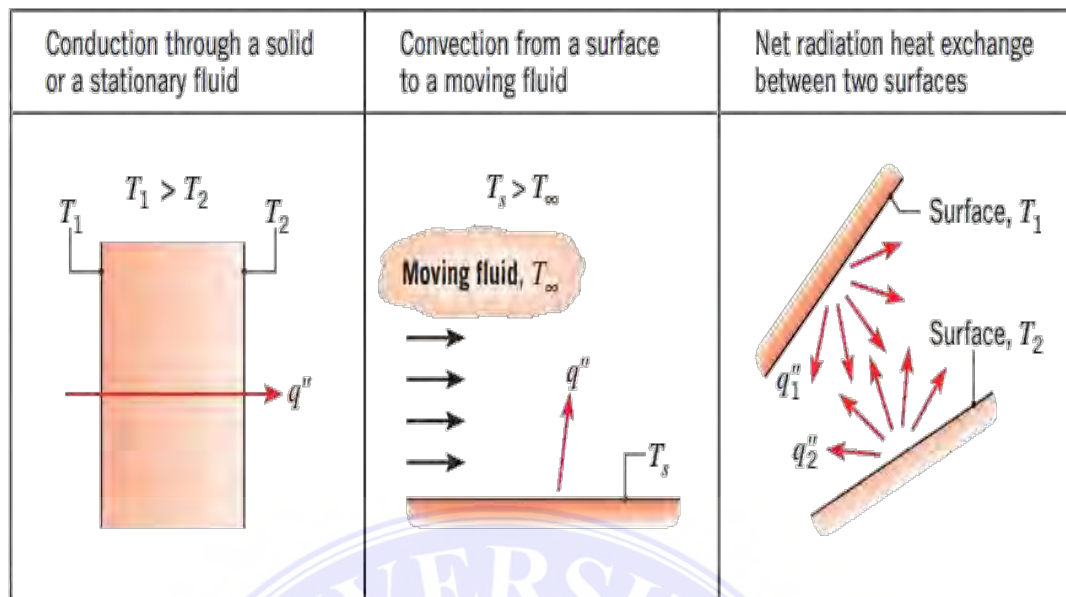
2.2. Perpindahan Panas

2.2.1. Persamaan Dasar Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Pehitungan laju perpindahan panas membutuhkan perhitungan total pada area permukaan yang terkena panas. Oleh karena itu, dibutuhkan beberapa data, seperti data temperatur fluida yang masuk

dan keluar, koefisien perpindahan panas total, laju perpindahan panas total, dan data-data lain yang mendukung untuk analisis pada permasalahan yang dibahas untuk tugas akhir ini. Data-data tersebut dianalisis dengan menggunakan metode *log mean temperature different* (LMTD) dan metode *effectivenesss* (ϵ) - *number of transfer unit* (NTU) dengan mengabaikan perpindahan panas secara radiasi yang terjadi ke lingkungan, berada pada kondisi *steady state*, dan aliran fluida dianggap dalam keadaan *steady flow*. 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.

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa ada tiga perpindahan panas yaitu perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi. Ketika gradien suhu ada dalam media *stasioner*, yang mungkin berupa padatan atau fluida, maka menggunakan istilah konduksi untuk merujuk pada perpindahan panas yang akan terjadi di seluruh media. Sebaliknya, istilah konveksi mengacu pada perpindahan panas yang akan terjadi antara permukaan dan cairan yang bergerak ketika mereka pada suhu yang berbeda. Mode ketiga dari perpindahan panas adalah disebut radiasi termal. Semua permukaan suhu terbatas mengeluarkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Oleh karena itu, dengan tidak adanya media *intervensi*, ada panas bersih ditransfer oleh radiasi antara dua permukaan pada temperatur yang berbeda.



Gambar 2. 2 Perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi [5]

2.2.2. 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 [6].

Ketika 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[7]. Untuk menghitung laju perpindahan diperlukan persamaan yang sesuai dengan mode dari perpindahan panas tersebut. Persamaan laju perpindahan panas konduksi satu

dimensi pada dinding datar dikenal dengan persamaan (hukum) *Fourier's Law*, yaitu:

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

Dimana :

q_x : laju perpindahan panas ke arah sumbu x positif

k : konduktivitas panas adalah karakteristik individu material dinding, ($\frac{W}{m^{\circ}k}$)

A : luasan penampang yang tegak lurus dengan arah perpindahan panas, (m^2)

$\frac{dT}{dx}$: *gradient temperature*

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

2.2.3. 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. Selain itu, perpindahan panas secara konveksi dikategorikan berdasarkan terjadinya aliran fluida. Jika aliran fluida disebabkan oleh faktor eksternal; seperti pompa dan *fan* atau *blower*; maka disebut konveksi paksa, dan jika aliran fluida dihasilkan oleh tarikan gaya *buoyancy* yang dihasilkan oleh adanya variasi massa jenis fluida maka disebut konveksi bebas.

Laju perpindahan panas konveksi secara didapat dengan menggunakan (hukum) *newton's law of cooling*, yaitu :

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

Dimana :

q : laju perpindahan panas konveksi, (*Watt*)

h : koefisien perpindahan panas konveksi, $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

A : luasan penampang yang tegak lurus dengan arah perpindahan panas, (m^2)

T_s : temperatur permukaan padat, (K)

T : temperatur rata-rata fluida, (K)

2.2.4. Perpindahan Panas Akibat Aliran Fluida Di Dalam Pipa

Perpindahan panas akibat aliran fluida yang terjadi di dalam pipa merupakan aliran internal dimana *boundary layer* tidak memungkinkan untuk berkembang dikarenakan dibatasi oleh *surface*. Ada perbedaan yang prinsip antara tube dengan pipa terutama diameter dan tebalnya.[8] Untuk menghitung nilai koefisien perpindahan panas secara konveksi didalam tube sama dengan menghitung nilai koefisien perpindahan panas secara konveksi didalam *tube*, dengan persamaan sebagai berikut,

$$h_i = \frac{N_{uD} \times K}{D} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

h_i : koefisien konveksi diluar *tube*, $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

N_{uD} : *nusselt number*

K : konduktifitas *thermal*, $\left(\frac{W}{mK}\right)$

D : diameter luar *tube*, (m)

Pada aliran internal ini terdapat 2 jenis aliran, yaitu:

1. Aliran Laminar

Aliran ini terjadi jika nilai dari $Re_D < 2300$. Perpindahan panas pada aliran ini dapat ditinjau dari *heat flux* permukaan konstan dan temperatur permukaan konstan. Pada saat aliran internal pada *tube* dengan karakteristik *uniform surface*, *heat flux*, dan *laminar fully develop conditions*; *nusselt number* konstan dan tidak bergantung pada Re_D , Pr , dan *axial location*. Untuk *nusselt number* didapat dari persamaan berikut,

$$N_{uD} = \frac{h_i x d}{K} = 4.36 \text{ (} q'' = \text{konstan)} \dots\dots\dots (2.4a)$$

Jika ΔT pada seluruh permukaan perpindahan panas sama

$$N_{uD} = \frac{h_i x d}{K} = 3.66 \text{ (} T_s = \text{konstan)} \dots\dots\dots (2.4b)$$

Jika T_s pada seluruh permukaan perpindahan panas sama dimana,

N_{uD} : *nusselt number*

h_i : koefisien konveksi diluar *tube*, $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

D : diameter luar *tube*, (m)

K : konduktifitas *thermal*, $\left(\frac{W}{mK}\right)$

2. Aliran Turbulen

Aliran ini terjadi jika nilai $Re_D \geq 2300$. Di dalam aliran ini untuk menghitung *nusselt number* dapat dicari dengan menggunakan persamaan *dittus-boelter*. Dengan pengaruh jenis perpindahan panas menjadi salah satu faktor yang diperhitungkan (*cooling atau heating*). Untuk *nusselt number* didapatkan dari persamaan berikut,

$$N_{uD} = 0.023 R_D^{\frac{4}{5}} Pr^n \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana,

N_{uD} : *nusselt number*

Re_D : *reynold number*

Pr : *prandtl number*

n : 0.4 untuk proses *heating* ($T_s > T_m$) dan 0.3 untuk proses *cooling*
 ($T_s < T_m$)

Dengan ketentuan, $\left[\begin{array}{l} 0.7 \leq Pr \leq 160 \\ Re_D \geq 10000 \\ \frac{L}{D} \geq 10 \end{array} \right]$

untuk membedakan kedua aliran tersebut, digunakan batasan dengan menggunakan *reynold number*.

$$Re_D = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

Re_D : *reynold number*

ρ : massa jenis aliran, $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

V : kecepatan aliran, $\left(\frac{m}{s}\right)$

D : diameter dalam *tube*, (m)

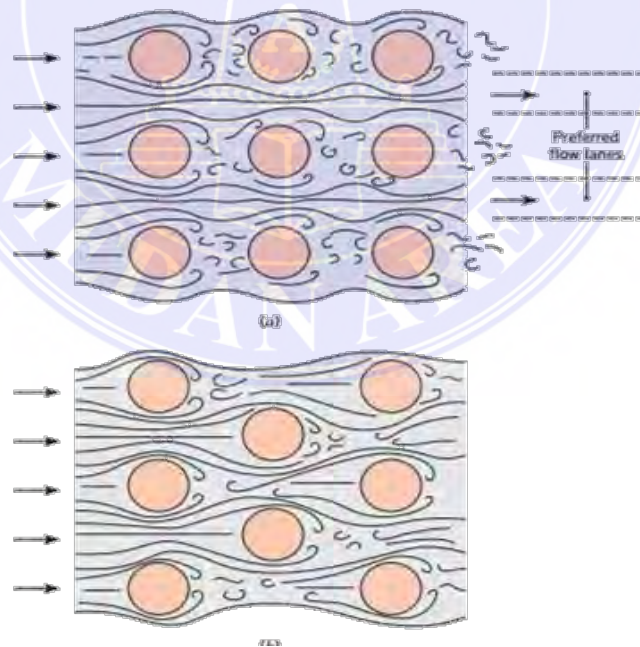
μ : *viskositas absolut*, $\left(\frac{Ns}{m^2}\right)$

2.2.5. Perpindahan Panas Akibat Aliran Fluida Di Luar Pipa

Perpindahan panas akibat aliran fluida yang terjadi di luar pipa dari *shell and tube heat exchanger* dianalisa berdasarkan analisa perpindahan panas secara konveksi yang melewati susunan *tube* pada *shell and tube heat exchanger*.

Besarnya koefisien perpindahan panas secara konveksi sangat dipengaruhi oleh tingkat turbulensi aliran dan jumlah baris pada tiap *tube*. Tingkat *turbulensi* pada aliran dapat ditingkatkan dengan mengatur susunan-susunan *tube*. Ada dua jenis susunan *tube* yaitu susunan *aligned* dan *staggered*. Pada kondensor ini memakai susunan *tube staggered*, dikarenakan memiliki koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi karena bentuknya berliku-liku, sehingga semakin banyak bagian *tube* teraliri fluida.

Aliran di sekitar tabung di baris pertama dari tabung penyusun mirip dengan silinder (terisolasi) tunggal dalam aliran silang. Sejalan dengan itu, koefisien perpindahan panas untuk tabung di baris pertama kira-kira sama dengan untuk satu tabung dalam aliran silang. Untuk baris hilir, kondisi aliran sangat bergantung pada pengaturan penyusun tabung seperti terlihat pada (Gambar 2.3).



Gambar 2. 3 Aliran fluida melintasi (a) aligned dan (b) staggered tube. [5]

Jenis aliran dapat dicari dengan mengetahui Re_D

$$Re_D = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

R_{eD} : reynold number

ρ : massa jenis aliran, $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

V : kecepatan aliran, $\left(\frac{m}{s}\right)$

D : diameter dalam tube, (m)

μ : viskositas absolut, $\left(\frac{Ns}{m^2}\right)$

Untuk mencari V_{max} , dengan menggunakan perumusan,

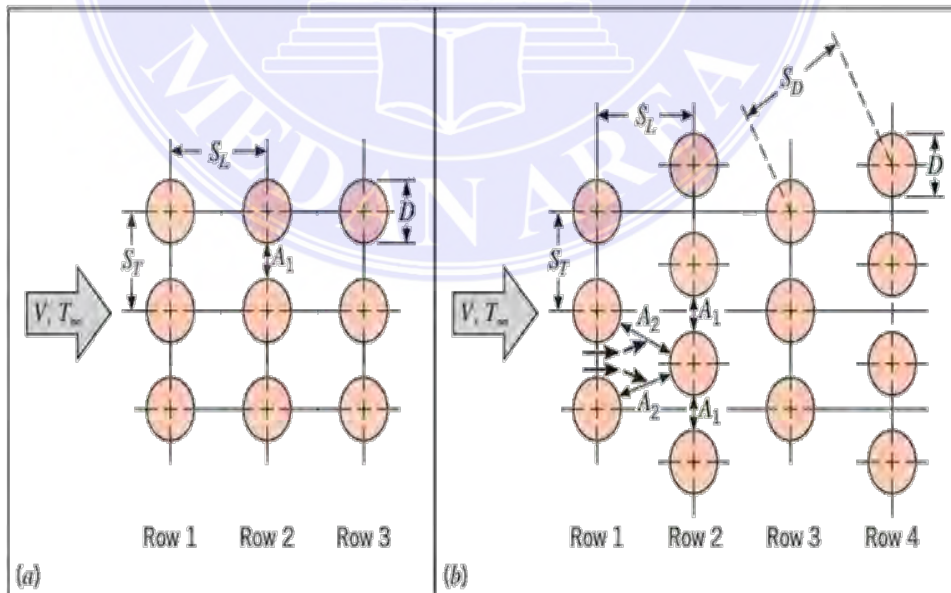
$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} \times V \dots\dots\dots (2.8a)$$

Dengan Syarat $(S_T - D) < 2(S_D - D)$ atau dengan perumusan lain,

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_D - D} \times V \dots\dots\dots (2.8b)$$

Dengan syarat $(S_T - D) > 2(S_D - D)$

Syarat – syarat tersebut dapat dilihat dari susunan tube berikut :



Gambar 2. 4 Susunan tube (a) aligned (b) staggered. [5]

Baris tabung dari tepi dapat disejajarkan atau dipindahkan menuju kecepatan fluida V seperti yang ditunjukkan (Gambar 2.4). Konfigurasi dicirikan oleh diameter tabung D dan oleh ST dan SL *transversal longitudinal* diukur antara pusat tabung. Kondisi aliran di dalam penyusun didominasi oleh efek pemisahan lapisan batas dan oleh interaksi bangun, yang pada gilirannya mempengaruhi perpindahan panas konveksi.

Setelah menemukan harga Re_D maka dapat diketahui *prandtl number*, sehingga mampu menghitung *Nusselt Number*.

$$N_{uD} = C_1 R_{eD}^m Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4} \dots \dots \dots (2.9a)$$

Dimana :

N_{uD} : *nusselt number*

C : harga konstanta C

Re_D : *reynold number*

m : harga konstanta m

Pr : *prandtl number*

Pr_s : *prandtl number* pada bagian *surface*

Dengan ketentuan, $\left[\begin{array}{c} N_L > 20 \\ 0.7 < Pr < 500 \\ 1000 < Re_D^{max} < 2 \times 10^6 \end{array} \right]$

Dimana N_L : jumlah kolom atau jajaran tube atau dengan persamaan lain,

$$N_{uD} = C_1 R_{eD}^m \max \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/3} \dots \dots \dots (2.9b)$$

Dimana :

N_{uD} : *nusselt number*

C : harga konstanta C

Re_D : *reynold number*

m : harga konstanta m

Pr : *prandtl number*

Pr_s : *prandtl number* pada bagian *surface*

Dengan ketentuan, $\left[\begin{array}{l} N_L > 10 \\ Pr < 0.7 \\ 2000 < Re_{D,max} < 4000 \end{array} \right]$

untuk mengetahui nilai konstanta C_1 dan m , dapat dilihat pada tabel C_1 dan m dibawah ini,

Tabel 2. 1 Nilai konstanta untuk persamaan (2.9a) pada susunan *tube*

Configuration	$Re_{D,max}$	C_1	m
Aligned	$10-10^2$	0.80	0.40
Staggered	$10-10^2$	0.90	0.40
Aligned	10^2-10^3 } Staggered	Approximate as a single (isolated) cylinder	
Aligned	$10^3-2 \times 10^5$	0.27	0.63
($S_T/S_L > 0.7$) ^a			
Staggered	$10^3-2 \times 10^5$	$0.35(S_T/S_L)^{1/5}$	0.60
($S_T/S_L < 2$)			
Staggered	$10^3-2 \times 10^5$	0.40	0.60
($S_T/S_L > 2$)			
Aligned	$2 \times 10^5-2 \times 10^6$	0.021	0.84
Staggered	$2 \times 10^5-2 \times 10^6$	0.022	0.84

^aFor $S_T/S_L < 0.7$, heat transfer is inefficient and aligned tubes should not be used.

setelah itu dapat dihitung nilai koefisien perpindahan panas secara konveksi diluar *tube*,

$$h_0 = \frac{Nu_D \times K}{D} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

h_0 : koefisien konveksi di luar *tube*, $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

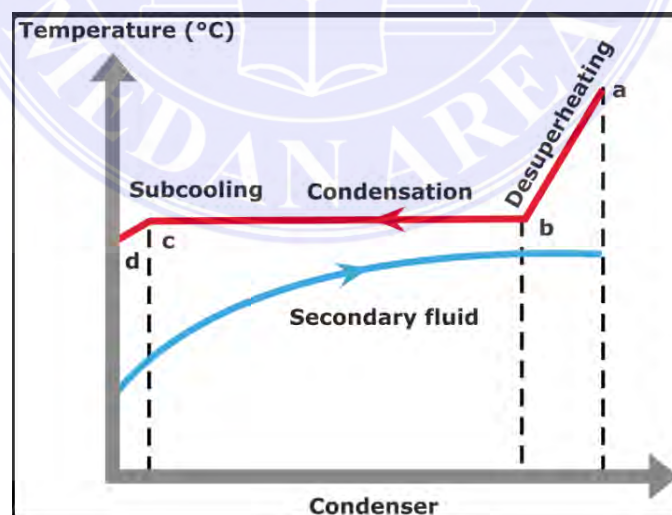
Nu_D : *nusselt number*

K : konduktifitas *Thermal* $\left(\frac{W}{m \times K}\right)$

D : diameter luar *tube*, (m)

2.2.6. Koefisien Perpindahan Panas Pada Zona Kondensasi

Zona kondensasi adalah daerah didalam kondensor dimana terjadinya perubahan fase dari uap jenuh menjadi cair jenuh. Perpindahan panas pada daerah kondensasi dapat dianalisa melalui lapisan *tube* yang terkondensasi pada sistem *radial* pada *horizontal tube*. Temperatur berkurang selama proses *desuperheating* dan *sub-cooling*, tetapi tetap konstan selama proses kondensasi seperti terlihat pada (Gambar 2.5). Energi yang ditolak dari pendingin memanaskan media sekunder, yang suhunya meningkat. Tekanan berubah sedikit dari *desuperheating* ke *subcooling*. Dalam cara yang mirip dengan penguapan, satu-satunya perbedaan tekanan antara pintu masuk dan keluar dari penukar panas adalah penurunan tekanan. Karena kecepatan aliran dalam kondensor berkurang, penurunan tekanan yang diinduksi jauh lebih rendah.



Gambar 2. 5 Zona Kondensasi [9]

Pada tugas akhir ini hanya membahas tentang zona kondensasi yang berada di kondensor. Proses kondensasi berlangsung apabila uap jenuh

bersinggungan dengan permukaan yang mempunyai suhu lebih rendah. *Steam* yang masuk ke dalam kondensor setelah keluar dari *low pressure (LP) turbine* berupa uap jenuh. Kemudian, *steam* ini dikondensasikan hingga keadaanya menjadi *saturated liquid*. *Liquid* hasil kondensasi akan terkumpul pada permukaan *tube* dan jatuh karena adanya gravitasi atau dikarenakan terseret oleh pergerakan *steam*. Proses kondensasi yang paling umum ialah adanya kondensasi film pada *liquid* yang tipis dan terbentuk di seluruh permukaan film. Di proses ini, kalor yang dilepas oleh *steam* tidak membuat temperaturnya berubah, tetapi terjadi perubahan fase atau kalor laten. Sedangkan kalor yang diterima oleh air pendingin mengalami perubahan *temperature* dengan tidak terjadinya perubahan fase atau kalor *sensibel*. Kondensasi yang terjadi didalam kondensor dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

a. *Film Condensation*

Pada kondensasi jenis ini, kondensasi berbentuk tipis menyelubungi dinding *tube*, semakin lama seakin tebal. Pengaruh gaya gravitasi dan gaya berat yang menyebabkan lapisan kondensasi tipis tersebut jatuh kebawah dan nantinya menjad air kondensat.

b. *Dropwise Condensation*

Pada kondensasi jenis ini, kondensasi berbentuk bintik- bintik embun yang nantinya akan menetes secara terus- menerus dikarenakan gaya gravitasi dan gaya berat. Kondensasi jenis ini hanya akan terjadi pada lapisan permukaan *tube* yang tipis. Pengebunan yang diharapkan terjadi pada tube kondensor adalah *dropwise condensation*, tetapi dikarenakan dalam *dropwise condensation* dinding pipa tidak diselubungi oleh bintik-bintik embun, maka uap dapat berkontak langsung dengan

tube pendingin secara kontinu. Ini dapat menyebabkan nilai koefisien perpindahan panasnya menjadi besar.

Selama proses pengembunan berlangsung, hampr selalu dipastikan bawa kondensasi yang terjadi adalah *film condensation*, ini disebabkan karena kondensasi akan menetes pada permukaan yang benar-benar licin saja. Oleh karena itu, untuk perhitungan koefisien perpindahan panas pada zona kondensasi yang terjadi adalah *film condensation*, dengan persamaan sebagai berikut

$$N_{uD} = \frac{h_0 D_0}{K_f} = C \left[\frac{g \times \rho_f \times (\rho_f - \rho_g) \times h_{fg} \times D_0^3}{\mu_f \times K_f \times (T_{sat} - T_s)} \right]^{1/4} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

N_{uD} : *nusselt number*

h_0 : koefisien konveksi di luar *tube*, $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

D_0 : diameter luar *tube*, (m)

K_f : *thermal conductivity*, $\left(\frac{W}{m \times K}\right)$

C : *the constant for vertical tubes* = 0.729

g : *acceleration due to gravity*, $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

ρ_f : *density fluida*

h_{fg} : kalor laten penguapan, $\left(\frac{J}{kg}\right)$

D_0 : diameter luar *tube*, (m)

μ_f : *viscosity*, $\left(\frac{N.s}{m^2}\right)$

T_{sat} : *saturation temperature* (°C)

T_s : *surface temperature* (°C)

Dengan $C : 0.862$ untuk bola dan $C : 0.729$ untuk *tube*. Untuk penggunaan persamaan diatas, semua *liquid properties* didapat dari *film temperature* (T_f) = $\frac{T_{sat}-T_s}{2}$ sedangkan untuk massa jenis *vapour* (v) dan kalor laten penguapan (h_{fg}) didapat dari T_{sat} .

Untuk *tube* yang disusun bertingkat secara horizontal tanpa *fin* dengan banyak *tube* adalah N , maka koefisien rata-ratanya adalah :

$$h_o \cdot N = h_o \times N^n \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana,

$h_o \cdot N$: koefisien konveksi rata-rata dar semua *tube* secara horizontal
kebawah $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

h_o : koefisien konveksi aliran diluar *tube* $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

N : Jumlah *tube*

n : nilai empiris yang diunakan untuk menentukan ketebalan lapisan *film* dari *tube* = $-\frac{1}{6}$ (dikarenakan nilai empiris ini lebih tepat digunakan dalam perhitungan.

Harga untuk kalor laten penguapan h_{fg} dicari dengan menggunakan persamaan

Jacob number (Ja), yaitu,

$$Ja = \frac{c_{p,f} \times (T_{sat}-T_s)}{h_{fg}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana,

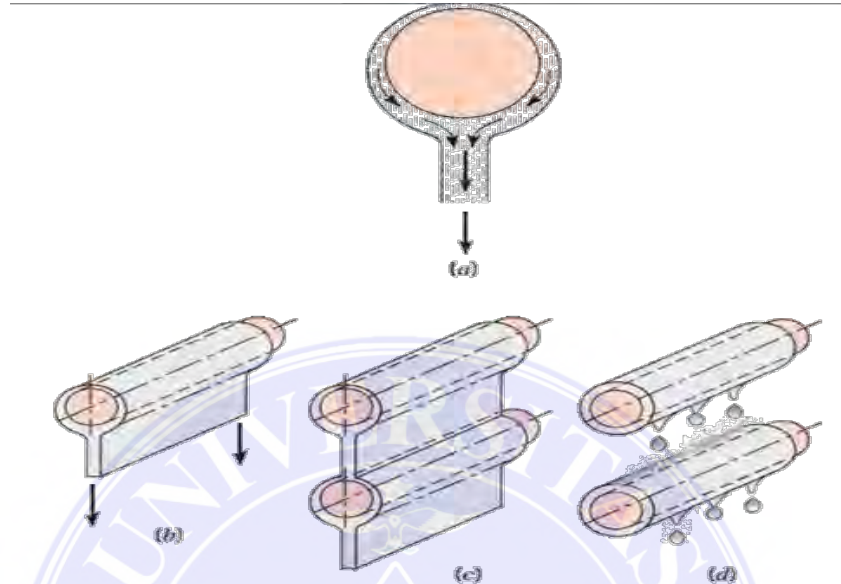
Ja : *Jacob number*

$c_{p,f}$: *Spesific heat*, $\frac{KJ}{kg.K}$

T_{sat} : *saturation temperature* ($^{\circ}C$)

T_s : surface temperature ($^{\circ}\text{C}$)

h_{fg} : heat of vaporization, $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{kg}}\right)$



Gambar 2. 6 *Film condensation on (a) a sphere (b) a single horizontal tube (c) a vertical tier of horizontal tubes with a continuous condensate sheet (d) with dripping condensation* [5]

Ketika antarmuka cairan-uap melengkung, seperti terlihat pada (Gambar 2.6) perbedaan tekanan ditetapkan di seluruh antarmuka oleh efek dari tegangan permukaan. tekanan pada sisi cair antarmuka tidak seragam, mempengaruhi distribusi kecepatan dalam cairan dan laju perpindahan panas.

2.2.7. Persamaan *Surface Temperature* atau Temperatur Dinding *Tube*

Untuk mencari temperatur dari dinding pipa digunakan metode iterasi, yaitu metode yang digunakan secara berulang-ulang dalam menyelesaikan suatu masalah. Sedangkan harga koefisien konveksi perpindahan panas secara paksa dan koefisien konveksi perpindahan panas secara kondensasi diketahui dari

temperatur dinding atau *surface* (T_s) asumsi. Kemudian harga temperatur dinding pipa hasil perhitungan dibandingkan dengan temperatur dinding pipa asumsi. Dari hasil perbandingan tersebut, didapatkan besar penyimpangan yang terjadi.

Beda temperatur pada *tube* yang bersilangan atau *cross* T_c - T_s diabaikan dan dianggap temperatur pada seluruh *tube* sebagai temperatur luar dinding *tube* T_{sat} (*saturation temperature*).

$$q = \frac{\Delta T}{\sum R} = \frac{T_{sat}-T_c}{R_o-R_i} = \frac{T_s-T_c}{R_i} = \frac{T_{sat}-T_c}{\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i \frac{D_i}{D_o}}} = \frac{T_s-T_c}{\frac{1}{h_i \frac{D_i}{D_o}}} \dots\dots\dots(2.14)$$

maka temperatur dinding *tube* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut,

$$T_s = T_{mean} + \frac{h_o}{h_i \frac{D_i}{D_o} + h_o} \times (T_{sat} - T_{mean}) \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana,

T_s = *surface temperature* (°K atau °C)

T_{mean} = temperatur rata-rata (°C)

h_o = koefisien konveksi aliran diluar *tube* , $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

h_i = koefisien konveksi aliran didalam *tube* , $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

D_i = diameter dalam *tube* (m)

D_o = diameter luar *tube* (m)

T_{sat} = *saturation temperature* (°C)

2.2.8. Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan

Koefisien perpindahan panas keseluruhan merupakan tahanan *thermal* keseluruhan diantara dua fluida (fluida dingin ke fluida panas) yang terjadi perpindahan panas, termasuk adanya faktor kerak (*fouling factor*) yang mungkin

terjadi sesudah alat penukar kalor digunakan. *Overall heat transfer coefficient* dapat dihitung dengan menjumlahkan tahanan *thermal* akibat konduksi dan konveksi diantara dua fluida yang dibatasi oleh dinding silinder. Persamaan umum untuk menghitung *overall heat transfer coefficient* yaitu,

$$R_{tot} = \frac{1}{U.A} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana

R_{tot} : *total resistant*

U : *overall heat transfer coefficient* $\left(\frac{W}{m K}\right)$

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

Tahanan *thermal* melibatkan tahanan konveksi aliran didalam silinder tahanan konduksi pada material silinder dan tahanan konveksi aliran diluar silinder, sehingga dapat diambil persamaan berikut,

$$R_{tot} = \frac{1}{h_o z x r_o L} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2 kL} + \frac{1}{h_i z r_i L} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana,

R_{tot} : *resistant total*

h_o : koefisien konveksi di luar *tube* , $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

r_o : jari-jari dalam *tube* (m)

L : panjang *tube* (m)

r_i : jari-jari dalam *tube* (m)

k : konduktifitas *thermal* , $\left(\frac{W}{m K}\right)$

h_i : koefisien konveksi di dalam *tube* , $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

2.3. Analisa Perpindahan Panas

2.3.1. Analisa Perpindahan Panas Dengan Metode LMTD (*Log Mean Temperature Different*)

Metode ini digunakan untuk mencari temperatur rata-rata, yaitu dari temperatur *inlet* dan *outlet* dari fluida, pada pesawat penukar kalor. Maka untuk mendapatkan laju perpindahan panas, digunakan perumusan sebagai berikut:

$$q = U \cdot A \Delta T_{LM} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana,

q : laju perpindahan panas (W)

U : *overall heat transfer coefficient*

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

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

Rumus ΔT_{LM} adalah :

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana

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

ΔT_1 : $T_i - t_o$

ΔT_2 : $T_o - t_i$

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)

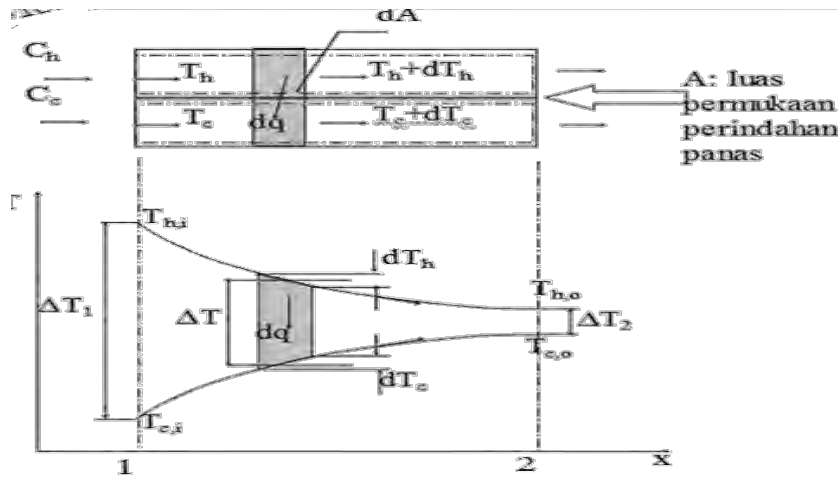
sebelum menentukan LMTD, terlebih dahulu mengetahui jenis alirannya.

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

a. Aliran parallel

Distribusi suhu cairan rata-rata panas dan dingin yang terkait dengan penukar panas aliran parallel ditunjukkan pada (Gambar 2.7). 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. seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 2.7). Neraca energi dan analisis selanjutnya adalah subjek dengan asumsi berikut.

1. Penukar panas terisolasi dari lingkungannya, dalam hal ini satu-satunya pertukaran panas antara cairan panas dan dingin.
2. Konduksi aksial sepanjang tabung dapat diabaikan.
3. Perubahan energi potensial dan kinetik dapat diabaikan.
4. Pemanasan spesifik fluida konstan.
5. Koefisien perpindahan panas keseluruhan adalah konstan.



Gambar 2. 7 Distribusi temperatur untuk aliran parallel [5]

Dapat dilihat dari gambar 2.7 bahwa untuk aliran parallel,

$$\Delta T_1: T_{h,i} - T_{c,i} \dots\dots\dots (2.21a)$$

$$\Delta T_2 : T_{h,o} - T_{c,o} \dots\dots\dots (2.21b)$$

Dimana

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

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

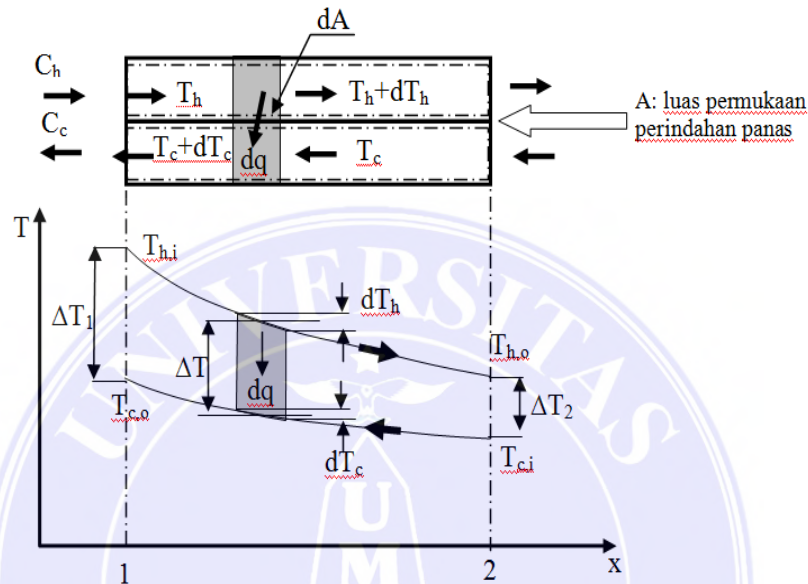
$T_{h,o}$ adalah temperature keluar fluida panas (K)

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

b. Aliran berlawanan arah

Pada 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 2.8). 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 Distribusi temperatur untuk aliran berlawanan arah [5]

Dapat dilihat dari gambar 2.8 bahwa untuk aliran berlawanan arah,

$$\Delta T_1 : T_{h,i} - T_{c,o} \dots\dots\dots(2.22a)$$

$$\Delta T_2 : T_{h,o} - T_{c,i} \dots\dots\dots(2.22b)$$

dimana,

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

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

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

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

c. Aliran *multipasses* dan silang

Tipe aliran ini membutuhkan faktor koreksi dengan hasil perhitungan yang tepat.

$$\Delta T_{LM} = F \Delta T_{LM,CF} \dots \dots \dots (2.23)$$

Dimana

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

F : faktor koreksi

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

2.3.2. Analisa Perpindahan Panas Dengan Dengan 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 dari NTU sebagai berikut,

$$NTU = \frac{U.A}{C_{min}} \dots \dots \dots (2.24)$$

Dimana

NTU : *number of transfer unit*

U : *overall heat transfer coefficient*

A : luasan total bidang permukaan perpindahan panas (m²)

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

Keterangan :

$$C_c = \dot{m}_c \times Cp_c \dots\dots\dots(2.25a)$$

$$C_h = \dot{m}_h \times Cp_h \dots\dots\dots(2.25b)$$

Dimana

C_c : *heat capacity rate* untuk fluida dingin, $\left(\frac{W}{K}\right)$

\dot{m}_c : laju aliran massa fluida dingin, $\left(\frac{W}{K}\right)$

Cp_c : kalor spesifik fluida dingin, $\left(\frac{J}{kg.K}\right)$

C_h : *heat capacity rate* untuk fluida panas, $\left(\frac{W}{K}\right)$

\dot{m}_h : laju aliran massa fluida panas, $\left(\frac{W}{K}\right)$

Cp_h : kalor spesifik fluida panas, $\left(\frac{J}{kg.K}\right)$

Selanjutnya nilai NTU dari berbagai jenis *heat exchanger* dapat dicari dari grafik. Untuk analisis perhitungan kondensor menggunakan grafik *single-pass, cross-flow heat exchanger with one fluid mixed and the other unmixed* pada buku “*fundamentals of heat and mass transfer*” oleh *Frank P. Incropera*. Untuk kondensor tipe *shell and tube* dengan *a shell and two passes*, maka digunakan perumusan NTU sebagai berikut,

$$\text{Jika } C_c < C_h, \text{ maka } q_{\text{maks}} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i}) \dots\dots\dots(2.26a)$$

$$\text{Jika } C_h < C_c, \text{ maka } q_{\text{maks}} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i}) \dots\dots\dots(2.26b)$$

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 $0 < 1$. Untuk perumusan *Effectiveness*, data dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = f \left[NTU \frac{C_{min}}{C_{max}} \right] \dots \dots \dots (2.27)$$

Dimana

- ε : *Effectiveness*
- f : faktor kerak (*fouling factor*)
- $C_{min} : C_h$: *heat capacity rate* untuk fluida panas
- $C_{max} : C_c$: *heat capacity rate* untuk fluida dingin

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

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + C_r + (1 + C_r^2)^{\frac{1}{2}} \times \frac{1 + \exp \left[(-NTU)_1 (1 + C_r^2)^{\frac{1}{2}} \right]}{1 - \exp \left[(-NTU)_1 (1 + C_r^2)^{\frac{1}{2}} \right]} \right\} \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana

- ε : *Effectiveness*
- C_r : *specific heat ratio*
- NTU : *number of transfer unit*

BAB III

METODE PENELITIAN

Adapun data tugas akhir ini dilakukan di PLTU Belawan untuk mendapatkan pengetahuan dan pemahaman mengenai kondensor dan laju perpindahan panas pada suatu kondensor. Dengan studi literatur dan survey lapangan, diharapkan memperoleh data yang akurat untuk perhitungan laju perpindahan panas dengan metode *log mean temperature different* (LMTD) dan *Effectiveness (ϵ) – number of transfer unit* (NTU).

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di PT PLN (persero) UPK Pembangkitan Belawan.

3.1.2 Waktu

Dimulai dari tanggal 13 s/d 17 mei 2019 setelah dilaksanakannya seminar proposal. Dalam jangka waktu itu sudah cukup untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk menganalisis untuk mendapatkan hasil dari penulisan tugas akhir ini.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

a. Pressure Gauge

adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan fluida (gas atau liquid) dalam tabung tertutup. Satuan dari alat ukur tekanan ini berupa psi

(pound per square inch), psf (pound per square foot), mmHg (millimeter of mercury), inHg (inch of mercury), bar, ataupun atm (atmosphere).

b. Termometer

adalah alat yang dapat digunakan dalam mengukur suhu atau temperatur pada perubahan suhu. Istilah pada termometer berasal dari bahasa Latin yang berarti thermo, artinya panas dan meter artinya untuk mengukur.

c. Flow Meter

Flow meter adalah alat yang digunakan untuk mengetahui adanya suatu aliran material (liquid, gas, powder) dalam suatu jalur aliran, dengan segala aspek aliran itu sendiri yaitu kecepatan aliran atau flow rate dan total massa atau volume dari material yang mengalir dalam jangka waktu tertentu atau sering disebut dengan istilah totalizer.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah data yang diperoleh dari tempat penelitian yang meliputi data pengamatan kondensor. Contoh bahan tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Data Pengamatan Operasi Boiler Unit 4 Pltu Belawan

No	Parameter	Pengamatan	Satuan
1	Kapasitas <i>condeser</i>	9781	m ³ /jam
2	Jumlah kondensor	2 set atau 1 unit	-
3	Tekanan absolut	648.0533	mmHg
4	<i>Steam inlet temperature (Thi)</i>	55.91	°C

5	Steam outlet temperature (T_{ho})	53.70	°C
6	Steam flow	167137.2	t/h
7	Velocity in tube (V)	2.36	m/s
8	Sea water inlet temperature (T_{ci})	30	°C
9	Sea water outlet temperature (T_{co})	40	Ton/jam
10	Cooling water flow rate (Q)	23778	$\frac{m^3}{h}$

Sumber : PT PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan

3.3 Tahapan Litelatur

Teknik pengumpulan data merupakan langkah yang paling strategis dalam penelitian, karena tujuan utama dari penelitian adalah mendapatkan data. Dengan menggunakan teknik pengumpulan data, maka peneliti akan mendapatkan data yang memenuhi standar data yang di tetapkan [10]. Pengambilan data dilakukan berdasarkan pada data-data yang dibutuhkan dalam analisa laju perpindahan panas. Kegiatan tersebut meliputi:

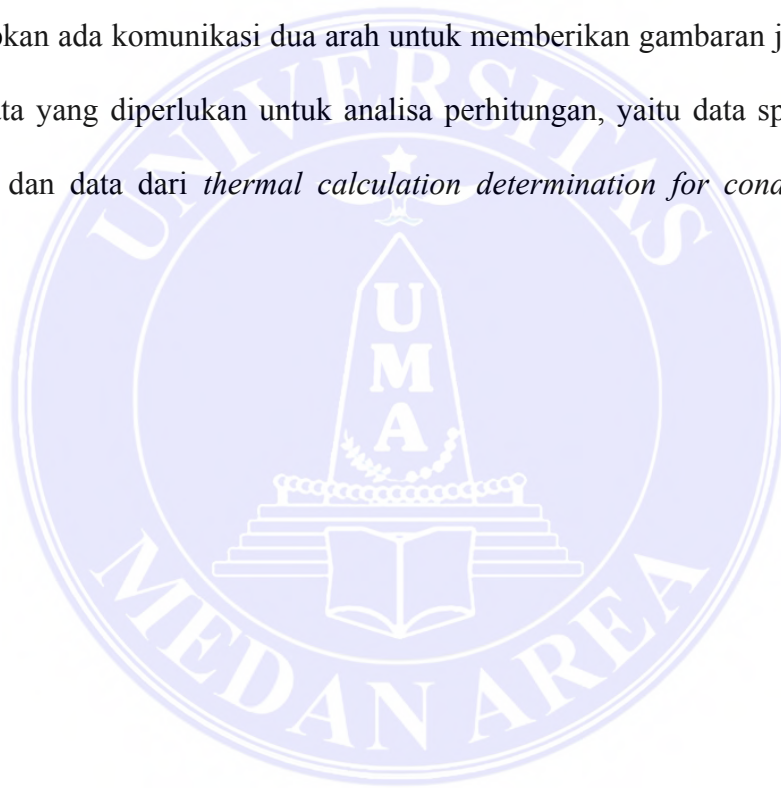
1. Studi Literatur

Dalam studi literatur ini, penulis mempelajari buku-buku yang menjadi referensi dalam pemahaman mengenai kondensor, terutama mengenai laju perpindahan panas dalam heat exchanger. Literatur yang didapat berasal dari beberapa buku mata kuliah yang berhubungan dengan langkah-langkah perhitungan yang diambil dari text book “*Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seventh Edition*” karangan *Theodore L. Bergman, Ladrine S. Lavine, F. P Incropera*, dan *D. P. Dewwit*; “*Fundamental of Engineering Thermodynamics*

fifth edition” karangan *Michael J. Moran dan Howard Saphiro*; “*Heat and Mass Transfer*” karangan *F. Kreith dan R. F. Boehm*; serta didapat dari sumber-sumber lainnya.

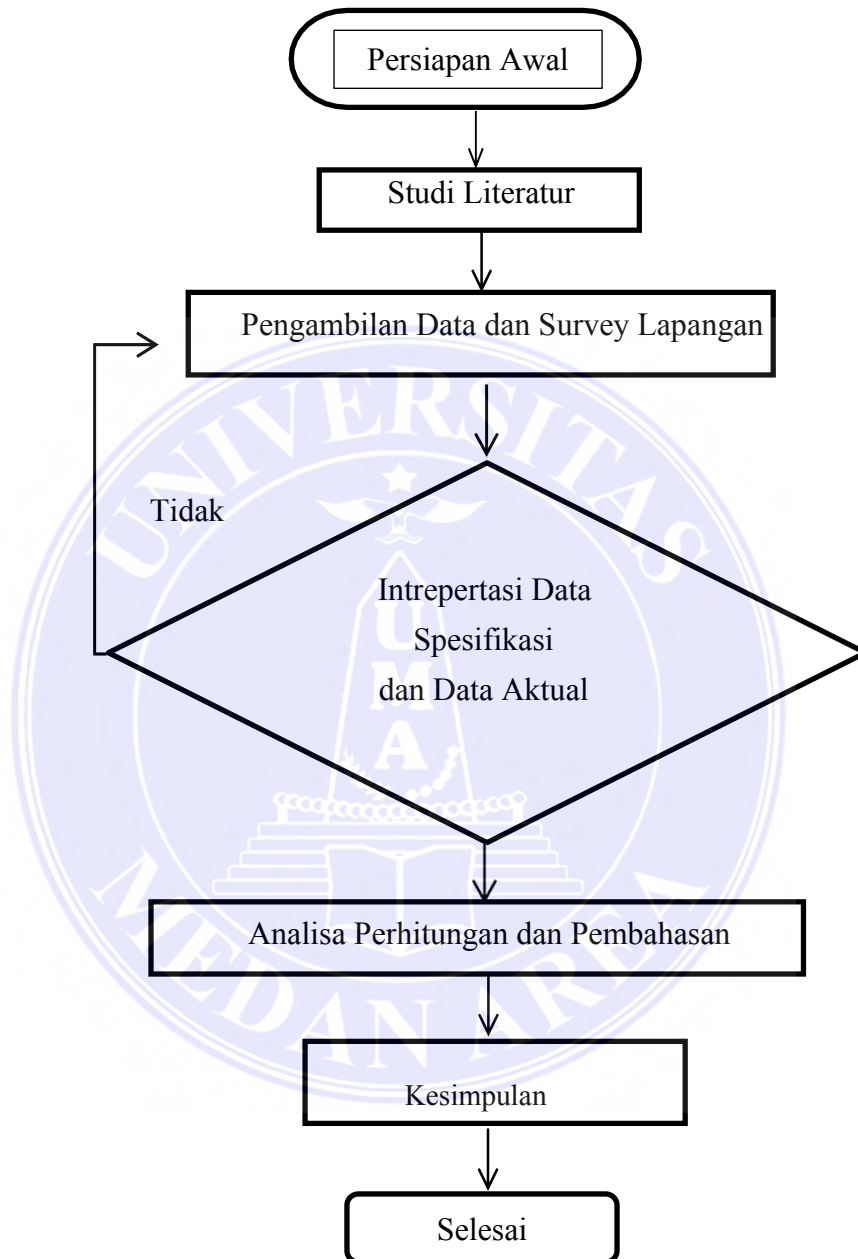
2. Survey Lapangan

Kegiatan ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi nyata instalasi serta jenis peralatan yang digunakan. Dengan didampingi pembimbing lapangan, diharapkan ada komunikasi dua arah untuk memberikan gambaran jelas mengenai data-data yang diperlukan untuk analisa perhitungan, yaitu data spesifikasi, data aktual, dan data dari *thermal calculation determination for condensor surface area*.



3.4 Flow Chart (Diagram Alir)

3.4.1 Metodologi Penyusunan Penelitian



Gambar 3. 1 *Flow Chart* Penyusunan Penelitian

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis perhitungan, dapat di tarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis di atas maka didapat data actual kondensor dari perhitungan yang sudah dilakukan yaitu : Tekanan vakum kondensor : 0.1492 Bar, Laju perpindahan Panas : 126 MW *Effectiveness* (ϵ) :

0.2524

2. Laju perpindahan panas pada kondensor dipengaruhi oleh kondisi kevakuman kondensor. Dari perhitungan data aktual kondensor, diketahui bahwa semakin tinggi tekanan kevakuman kondensor, maka laju perpindahan panas semakin meningkat dan nilai efektivitas suatu kondensor akan semakin kecil.

5.2 Saran

Pada perhitungan laju perpindahan panas dan efektifitas kondensor PLTU unit IV ini belum begitu sempurna. Ini dikarenakan beberapa parameter yang tidak diikutkan dalam perhitungan, seperti pressure drop, plugging factor, dan beberapa zona yang terdapat di kondensor. Semoga pada analisis kondensor PLTU unit IV selanjutnya mampu memberikan hasil yang lebih akurat. Selain itu, semoga tugas akhir ini mampu menjadi referensi kepada peneliti lain untuk menganalisis performa kondensor pada PT PLN (Persero) PLTU Belawan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPPT, *Indonesia Energy Outlook 2018 (Sustainable Energy for Land Transportation)*. 2018.
- [2] A. Suardi, N. Chairat, F. Muhammad, T. B. Impak, and B. Tekuk, "PowerPlant," no. 4, 2017.
- [3] E. Prihastuty and C. Soekardi, "Analisis Kinerja Kondensor pada Instalasi PLTU Kilang Minyak Kaitannya dengan Kebocoran Tube," pp. 6–9.
- [4] Prayudi, Sudirmanto, and D. I. Wijaya, "ANALISIS KINERJA KONDENSOR SEBELUM DAN SESUDAH OVERHOUL DI," *J. Power Plant*, vol. 4, no. 2, pp. 60–68, 2016.
- [5] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 6th Edition*. 2007.
- [6] C. Soekardi, *Teknik Perpindahan Energi Panas*. 2019.
- [7] J. P. Holman, *J.P. Holman*. .
- [8] M. S. Ir. Tunggal M. Sitompul, S.E., *alat penukar kalor*. 1993.
- [9] A. C. Snell, A. Culler, and H. S. Kuhn, "the Field of Industrial Ophthalmology," *J. Am. Med. Assoc.*, vol. 118, no. 8, p. 610, 2011.
- [10] Sugiyono, "Metode Penelitian Bisnis. Pendekatan Kuantitatif, kualitatif dan R & D," *Bandung Alf*, 2010.

LAMPIRAN

Lampiran 1

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water^a

Temperature, <i>T</i> (K)	Pressure, <i>p</i> (bars) ^b	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vaporization, <i>h_{fg}</i> (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, <i>σ_f</i> · 10 ³ (N/m)	Expansion Coefficient, <i>β_f</i> · 10 ⁶ (K ⁻¹)	Temperature, <i>T</i> (K)
		<i>v_f</i> · 10 ⁶	<i>v_g</i>		<i>c_{p,f}</i>	<i>c_{p,g}</i>	<i>μ_f</i> · 10 ⁶	<i>μ_g</i> · 10 ⁶	<i>k_f</i> · 10 ³	<i>k_g</i> · 10 ³	<i>Pr_f</i>	<i>Pr_g</i>			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	679.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2	1070	430

Appendix A ■ Thermophysical Properties of Matter

1003

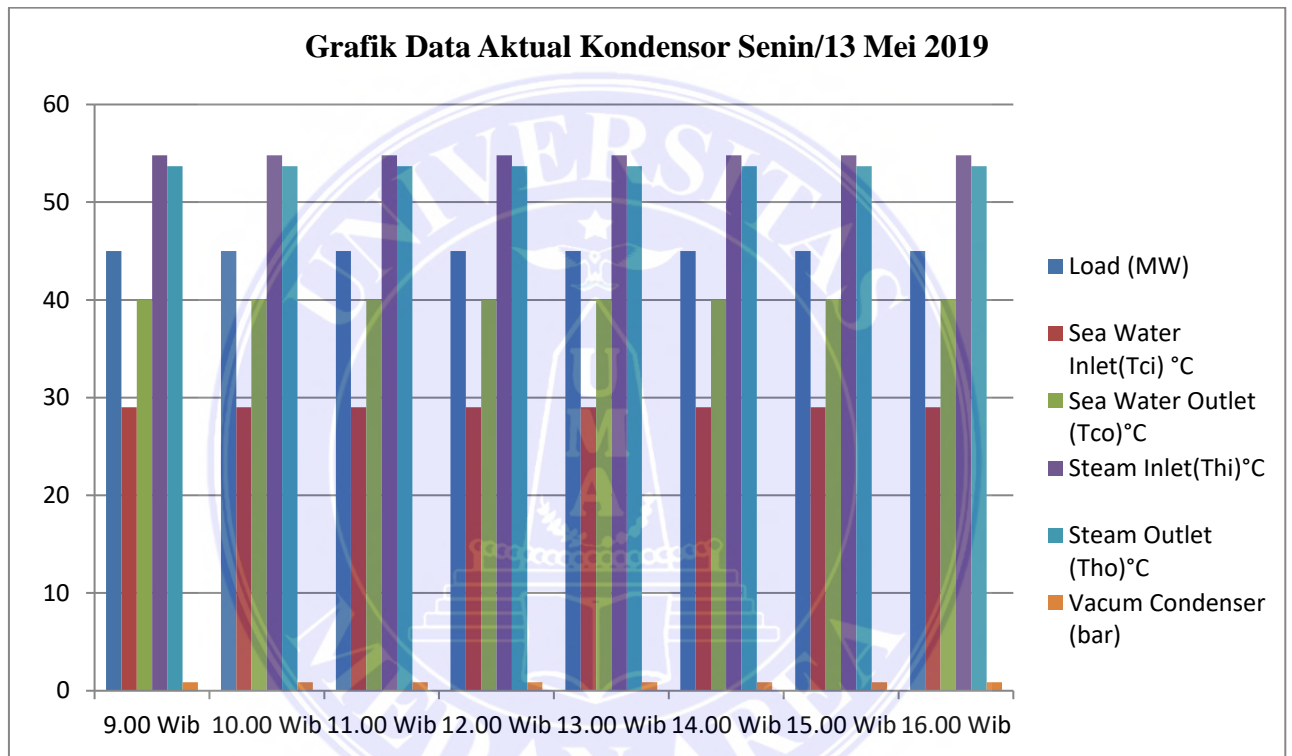
Lampiran 2

TABLE 11.1 Representative Fouling Factors [1]

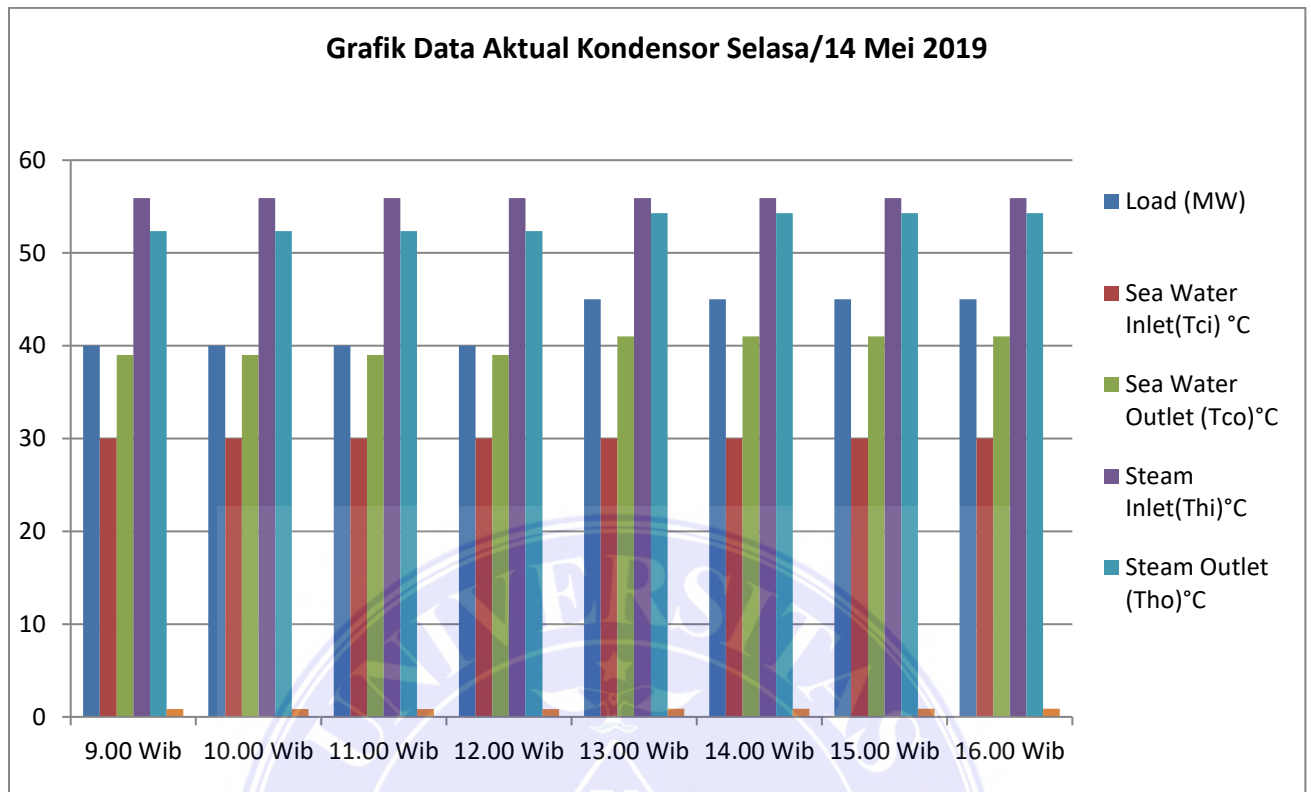
Fluid	R'' ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
Seawater and treated boiler feedwater (below 50°C)	0.0001
Seawater and treated boiler feedwater (above 50°C)	0.0002
River water (below 50°C)	0.0002–0.001
Fuel oil	0.0009
Refrigerating liquids	0.0002
Steam (nonoil bearing)	0.0001

Lampiran 3

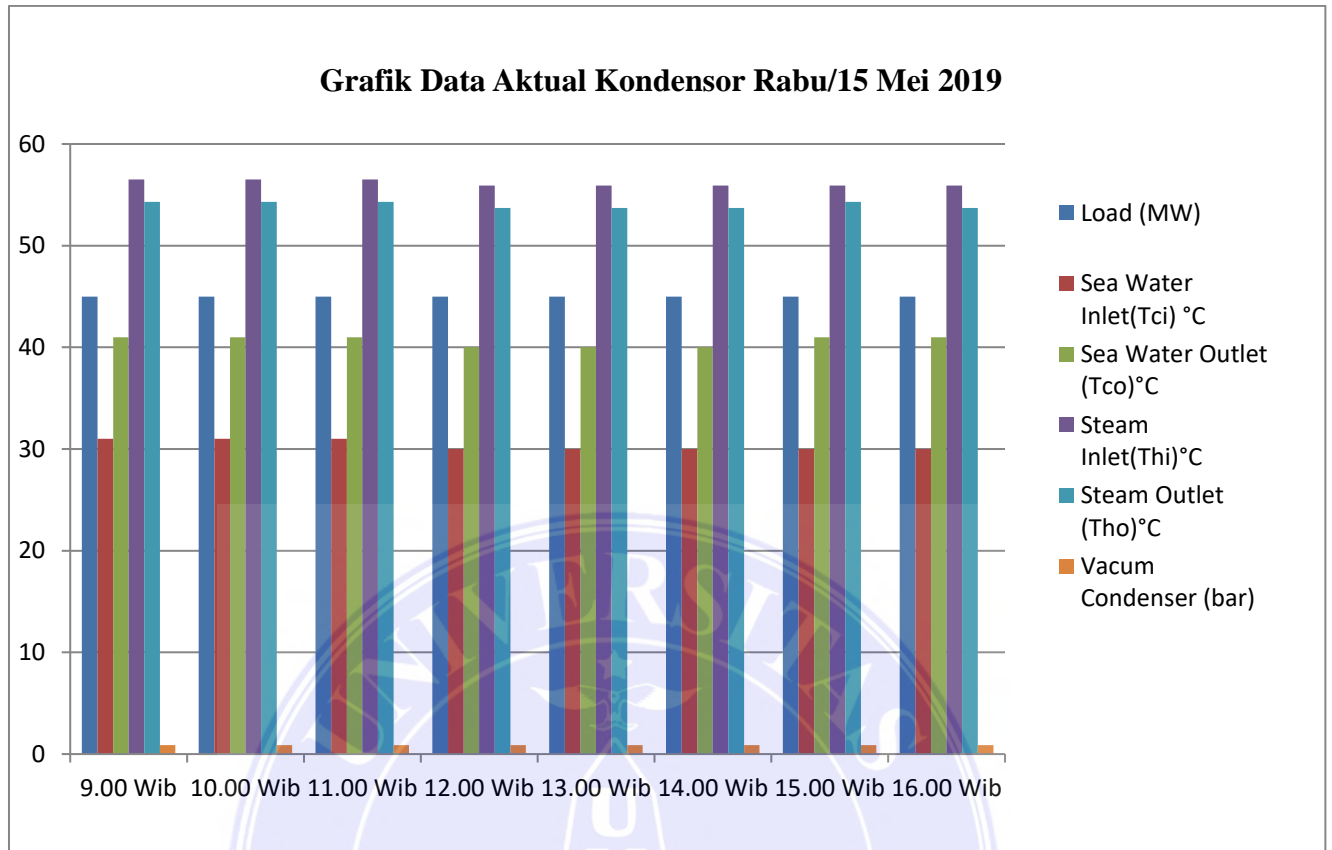
Grafik Data Aktual Kondensor PLTU Belawan Unit IV Tanggal 13 Mei sampai
15 Mei 2019



Sumber : PT PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan



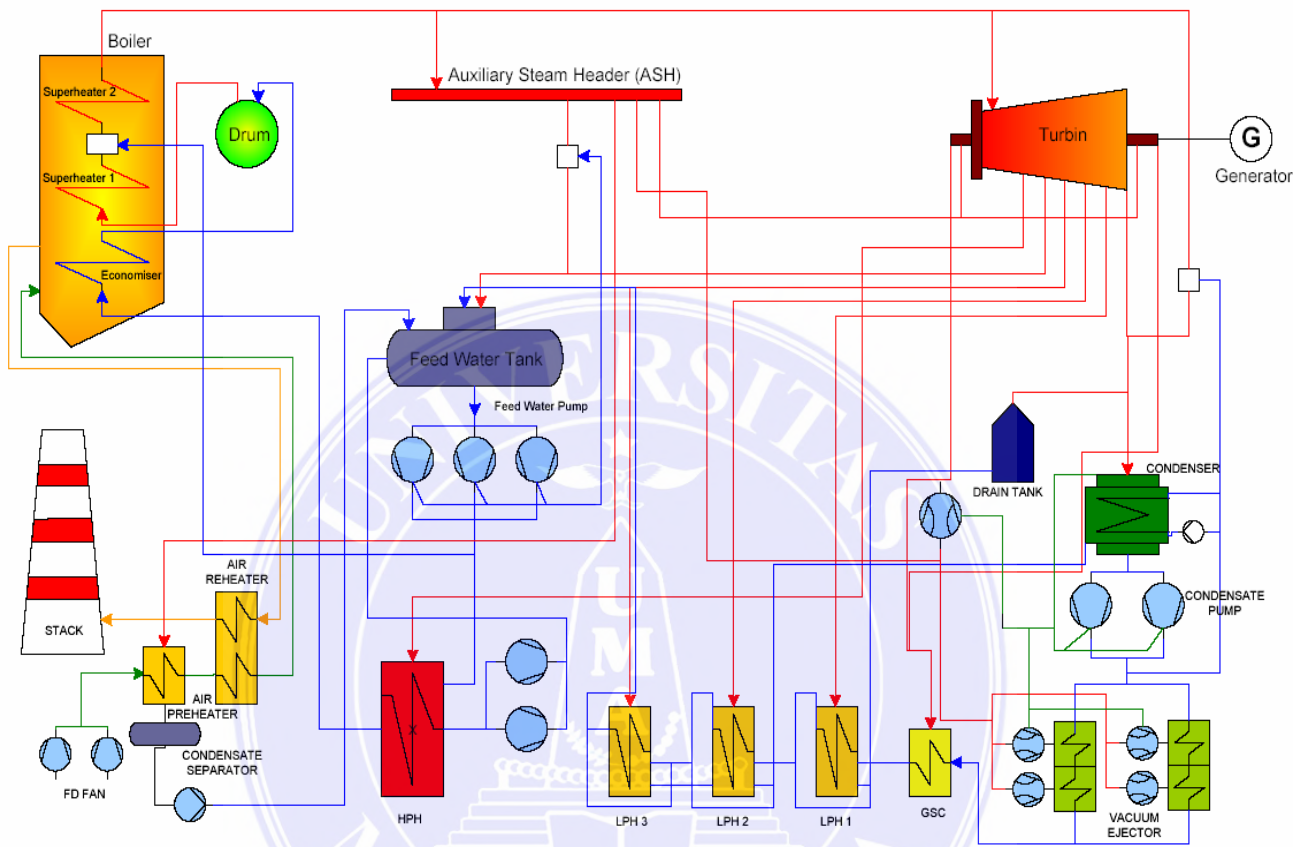
Sumber : PT PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan



Sumber : PT PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan

Lampiran 4

Diagram Proses Air dan Uap pada PLTU Unit 4



Sumber : PT PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan

Lampiran 5

Order No.	1 344 203		<input type="checkbox"/> Auxiliary		Condenser	
Plant	Belawan 3+4		<input checked="" type="checkbox"/> Main			
Designation in drawing HTDM 000 940			KKS-No. 30 MAG01 AC001 40 MAG01 AC001			
Make	ABB		Type	CV 30+44-2-99-2520		
Total no. of tubes	5040		No. of condensers/passes	1	2	
Total surface area	m ²	3739	Bundle tubes O.D. × s × L	mm	24x0.7x9900	
Support plate spacing	mm	785	Outer tubes O.D. × s × L	mm	24x0.7x9900	
Net hotwell contents	m ³	7.3	Air cooler tubes O.D. × s × L	mm	24x0.7x9900	
Cooling water system						
<input type="checkbox"/> River water <input type="checkbox"/> Lake water <input checked="" type="checkbox"/> Sea water						
<input type="checkbox"/> Wet cooling tower <input type="checkbox"/> Dry cooling tower						
<input checked="" type="checkbox"/> Siphon operation <input type="checkbox"/> Pressure operation						
Operating data (with 100% turbine load)						
Turbine exhaust flow	kg/s	46.727	Cooling water flow	m ³ /h	2.3778	
Vacuum	bar	0.867	Water velocity in tubes	m/s	2.36	
Cooling water temp.	°C	30	Pressure drop	bar	0.6	
Min. cooling water temp.	°C	27	Max. cooling water temp.	°C	32	
O₂ content for operation without makeup water						
O ₂ content	ppb	≤15	at turbine load	%	100-50	
O ₂ content	ppb	≤30	at turbine load	%	50-30	
Design data			Water side	Steam side		
Test pressure before erection	bar	3.75 gauge	-			
Test pressure after erection	bar	3.75 gauge	0.3 gauge			
Materials (according to DIN)						
Bundle tubes	Titan		Tubesheet	H II (mild steel)		
Outer tubes	Titan		Tubesheet cladding	Stainless steel		
Waterbox			<input checked="" type="checkbox"/> Rubber lined	<input type="checkbox"/> Coated		
Additional measures			Tube cleaning			
<input type="checkbox"/> FeSO ₄ dosing <input checked="" type="checkbox"/> Debris filter			<input checked="" type="checkbox"/> Sponge ball <input type="checkbox"/> Brush			
* with additional BBC requirements						
Documentation						
Description	HTDM 604 870		Sectional drawings	HTDM 001 299 HTDM 001 300		

P 6101

HTDM 604 870 E
Y 1

Sumber : PT PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan

Lampiran 6



Sumber : PT PLN (Persero) Unit Pembangkitan Belawan

