

**ANALISA PENYEBAB PENURUNAN PERFORMA VAKUM
KONDENSOR DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)
BELAWAN KAPASITAS 65 MW**

SKRIPSI

OLEH :

**FAUZY FIRDAUS FADHILLAH
15.813.0013**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITASA MEDAN AREA
MEDAN
2017**

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 10/9/20

Access From (repository.uma.ac.id)10/9/20

Judul Skripsi : Analisa Penyebab Penurunan Performa Vakum Kondensor di
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Belawan Kapasitas 65
MW

Nama : Fauzy Firdaus Fadhillah

NPM : 15.813.0013

Fakultas : Teknik

Jurusan : Mesin

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing



Ir. Husin Ibrahim, MT

Pembimbing I



Ir. H. Amirsyah Nasution, MT

Pembimbing II



Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng.M.Sc

Dekan



Bobby Umroh, ST, MT

Ka. Prodi

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 10/9/20

Dipindai dengan CamScanner

Access From (repository.uma.ac.id)10/9/20

LEMBAR PERNYATAAN

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

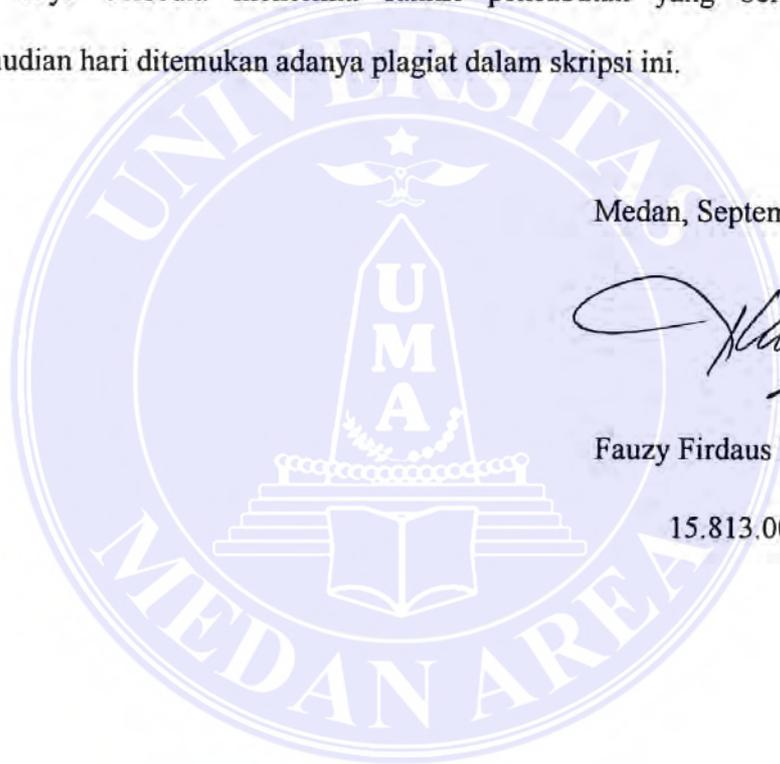
Saya bersedia menerima sanksi pencabutan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, September 2017



Fauzy Firdaus Fadhillah

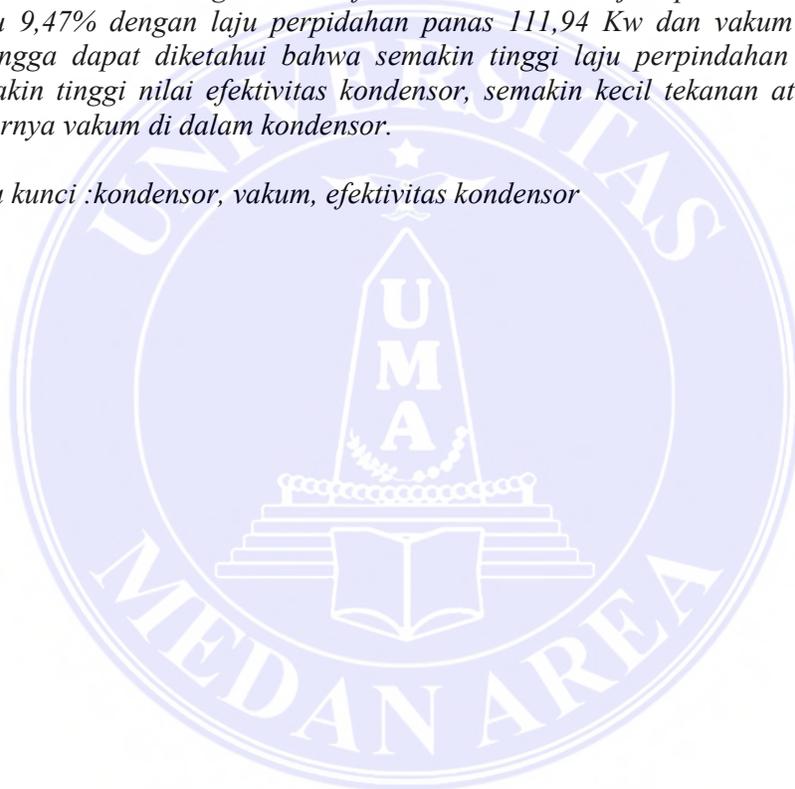
15.813.0013



ABSTRAK

Tujuan analisa penyebab penurunan performa vakum kondensor di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan adalah untuk mengetahui berapa besar nilai efektivitas kondensor yang dihasilkan kondensor dengan parameter yang tercatat dilapangan sehingga dapat diketahui parameter apa saja yang mempengaruhi naik turunnya vakum kondensor dan untuk mengetahui penyebab turunnya vakum dari segi peralatan dimulai dari water intake sampai ke kondensor. Metode yang digunakan untuk mencari nilai efektivitas kondensor adalah dengan metode perhitungan perpindahan panas NTU-effectiveness. Dari hasil analisa perhitungan didapat nilai efektivitas tertinggi terjadi pada commissioning 2013 yaitu 9,63% dengan laju perpindahan panas 145,68 Kw dan vakum 94 mbar sedangkan nilai efektivitas terendah terjadi pada Desember 2016 yaitu 9,47% dengan laju perpindahan panas 111,94 Kw dan vakum 145 mbar. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin tinggi laju perpindahan panas dan semakin tinggi nilai efektivitas kondensor, semakin kecil tekanan atau semakin besarnya vakum di dalam kondensor.

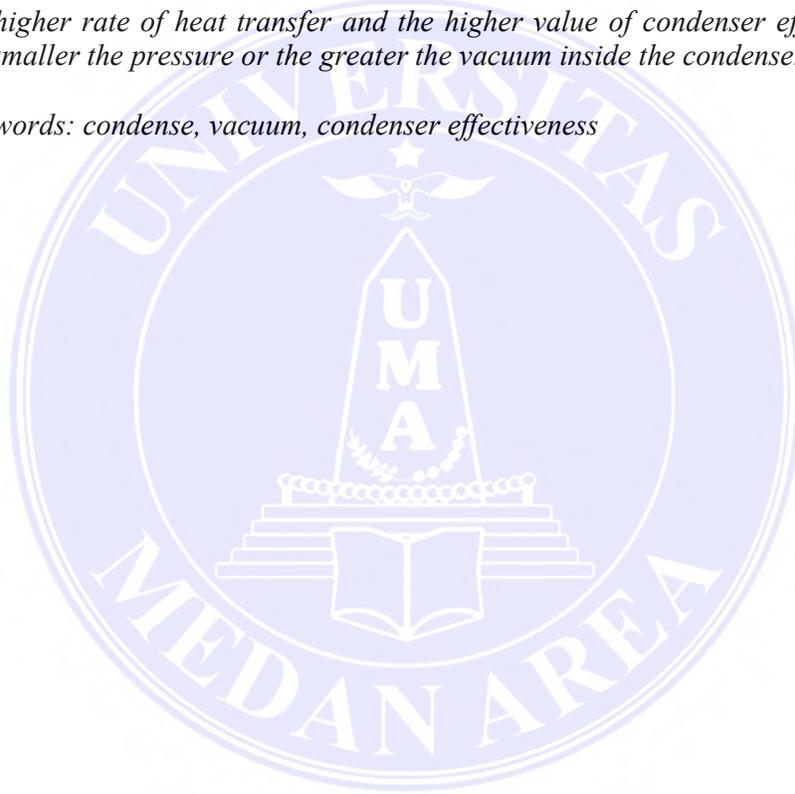
Kata kunci :kondensor, vakum, efektivitas kondensor



ABSTRACT

The purpose of analysis of the declines performance a vacuum condenser in PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan is to know how much condenser effectiveness value produced condenser with parameters recorded in the field so it can know what parameters affect the rise and fall of the condenser vacuum and to determine cause of the vacuum drop in terms of equipment starting from water intake to condenser. The method used to find the value of condenser effectiveness is by calculation method of heat transfer NTU-effectiveness. From result of calculation analysis got highest effectivity value happened at commissioning of 2013 that is 9,63% with heat transfer rate 145,68 Kw and vacuum 94 mbar whereas the lowest effectivity value happened on December 2016 that is 9,47% with heat extension rate 111,94 Kw and vacuum 145 mbar. So it can be seen that the higher rate of heat transfer and the higher value of condenser effectiveness, the smaller the pressure or the greater the vacuum inside the condenser.

Keywords: condense, vacuum, condenser effectiveness



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia NYA kepada kita semua, yang telah memberikan kekuatan, kesempatan serta kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi.

Skripsi ini adalah salah satu syarat Mahasiswa Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area untuk dapat menyelesaikan Tugas akhir, dimana sebagai syarat kelulusan sesuai dengan kurikulum yang berlaku.

Dalam hal ini penulis mengajukan judul tugas akhir yaitu “Analisa Penyebab Penurunan Performa Vakum kondensor di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Belawan Kapasitas 65 MW”.

Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan pembuatan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini karena masih terbatasnya pengetahuan penulis. Maka penulis mengharapkan koreksi, kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar skripsi ini menjadi lebih baik.

Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi saya sendiri dan umumnya bagi pembaca. Aamiin

Penulis

Fauzy Firdaus Fadhillah

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Siklus Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap	4
2.2 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap	5
2.2.1 Turbin Uap	5
2.2.2 Kondenser	6
2.2.3 Pompa	7
2.2.4 Ketel	7
2.3 Alat Penukar Kalor (<i>Heat Exchanger</i>)	8
2.4 Klasifikasi Alat Penukar Kalor	9
2.5 Kondensor dan Prinsip Kerjanya	13
2.5.1 Kondensor	13
2.5.2 Prinsip Kerja Kondensor	14
2.5.3 Air Pendingin Kondensor	17

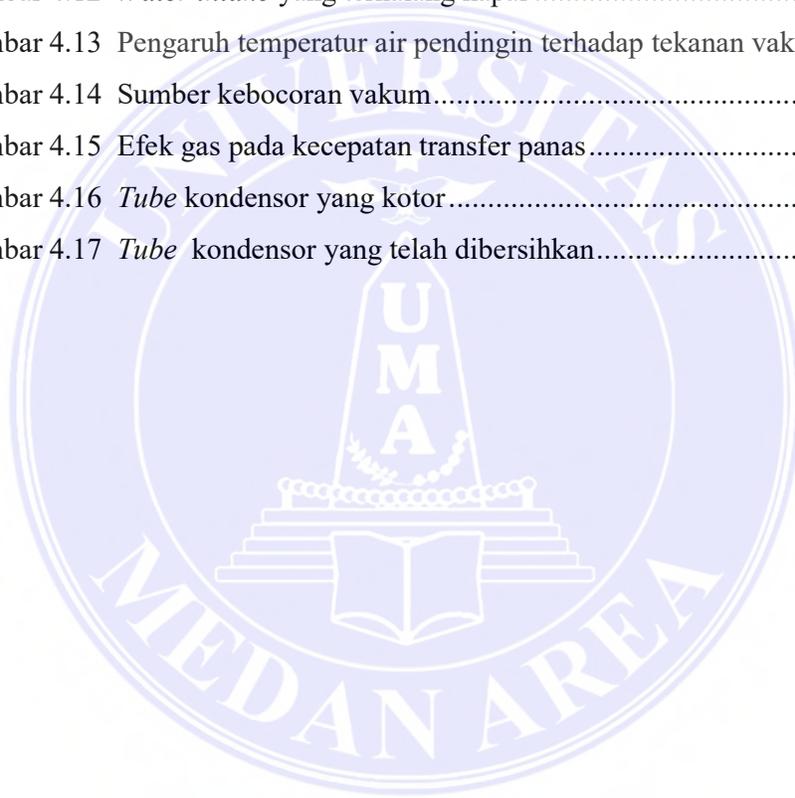
2.6	Konstruksi Kondensor.....	17
2.7	Macam - Macam Kondensor	18
2.7.1	Menurut Jenis Cooling Medium	18
2.7.2	Menurut Jenis Desain	23
2.8	Pengertian Tentang Perpindahan Panas	24
2.9	Laju Perpindahan Panas Secara Termodinamika.....	25
2.10	Beda Temperatur Rata-Rata Logaritma (ΔT_{LM})	26
2.11	Koefisien Perpindahan Panas Pada Bagian Luar <i>Tube</i> (h_o).....	26
2.12	Koefisien Perpindahan Panas Pada Bagian Dalam <i>Tube</i> (h_i)	27
2.13	Luas aliran pada Permukaan Sisi Tabung	29
2.14	Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U_o)	29
2.15	Efektivitas APK	30
BAB III METODOLOGI		
3.1	Tempat dan waktu pelaksanaan.....	32
3.1.1	Tempat Penelitian.....	32
3.1.2	Waktu Penelitian	32
3.2	Bahan & Alat Penelitian.....	32
3.2.1	Bahan Penelitian.....	32
3.2.2	Alat Penelitian.....	36
3.3	Prosedur Pengambilan Data.....	38
3.4	Jadwal Penelitian	39
3.3	Diagram Alir.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Tinjauan Umum	40
4.1.1	Data Hasil Pengamatan Desember 2016	41
4.1.2	Data Hasil Pengamatan <i>Commisioning</i> 2013.....	41
4.2	Perhitungan Alat Penukar Kalor	43
4.2.1	Fluida Panas (Uap Ekstraksi).....	43
4.2.2	Fluida Dingin (Air Kondensat)	44
4.2.3	LMTD (<i>Logaritmik Mean Suhu Diffrence</i>)	45

4.2.4 Koefisien Perpindahan Panas Di luar tabung (h_o).....	45
4.2.5 Koefisien Perpindahan Panas Dalam tabung (h_i).....	46
4.2.6 Luas aliran pada Permukaan Sisi Tabung.....	47
4.2.7 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U_o)	48
4.2.8 Perpindahan Panas Total (Q).....	48
4.2.9 Efektivitas APK (ε)	48
4.3 Hasil dan Pembahasan.....	50
4.3.1 Hubungan Laju Perpindahan Panas Kondensor terhadap Efektivitas Kondensor	51
4.3.2 Hubungan Efektivitas Kondensor terhadap Vakum Kondensor.....	52
4.4 Penyebab penurunan vakum kondensor.....	53
4.4.1 Kinerja sistem air pendingin	53
4.4.2 Kebocoran sistem vakum.....	61
4.4.3 Kotornya tube-tube kondensor.....	63
4.4.4 Kinerja peralatan vakum yang menurun.....	65
 BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	67
 DAFTAR PUSTAKA.....	 68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema Siklus Rankine Sederhana	4
Gambar 2.2 Diagram Temperatur – Entropi Siklus Rankine Ideal	5
Gambar 2.3 Skema Turbin Uap dan <i>Boiler Feed Pump</i>	6
Gambar 2.4 Skema Penukar Panas <i>Shell and Tube</i>	6
Gambar 2.5 Skema Pompa Sentrifugal.....	7
Gambar 2.6 Skema <i>La Mont Boiler</i>	8
Gambar 2.7 Bagian-bagian Alat Penukar Kalor Berdasarkan Standart TEMA	13
Gambar 2.8 <i>Shell and Tube Condensor</i>	14
Gambar 2.9 <i>Horizontal Condensor</i>	15
Gambar 2.10 <i>Vertikal Condensor</i>	16
Gambar 2.11 Kontruksi kondensor.....	18
Gambar 2.12 <i>Air Cooled Condenser</i>	18
Gambar 2.13 <i>Shell and Tube Condenser</i>	19
Gambar 2.14 <i>Shell and Coil Condenser</i>	21
Gambar 2.15 <i>Tube and Tubes Condenser</i>	22
Gambar 2.16 <i>Evaporatif Condenser</i>	23
Gambar 2.17 Kondensor Berbelit-Belit.....	23
Gambar 2.18 Kondensor Arus Pararel.....	24
Gambar 3.1 PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan.....	32
Gambar 3.2 Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap	33
Gambar 3.3 Siklus Sistem Air Pendingin	33
Gambar 3.4 Boiler	35
Gambar 3.5 Turbin.....	35
Gambar 3.6 <i>Condensor Tipe CV30+44-2-99-25250</i>	36
Gambar 3.7 Thermometer Infra Merah.....	36
Gambar 3.8 Komputer	37
Gambar 3.9 Diagram Alir	39
Gambar 4.1 Hubungan Laju Perpindahan Panas terhadap Efektivitas	51
Gambar 4.2 Hubungan efektivitas terhadap vakum	52
Gambar 4.3 Proses kondensasi dalam kondensor	54

Gambar 4.4 <i>Strainer plate</i>	55
Gambar 4.5 <i>Trash Rack</i> yang korosi	55
Gambar 4.6 <i>Trash Rack</i> yang kotor	56
Gambar 4.7 Pembersihan <i>Trash Rack</i>	56
Gambar 4.8 Kawat kasa penyaring yang rusak	57
Gambar 4.9 Spray air	57
Gambar 4.10 <i>Cooling Water Pump</i> (CWP).....	59
Gambar 4.11 Surut air laut di <i>water intake</i>	59
Gambar 4.12 <i>Water intake</i> yang terhalang kapal	60
Gambar 4.13 Pengaruh temperatur air pendingin terhadap tekanan vakum ...	61
Gambar 4.14 Sumber kebocoran vakum.....	62
Gambar 4.15 Efek gas pada kecepatan transfer panas.....	62
Gambar 4.16 <i>Tube</i> kondensor yang kotor.....	64
Gambar 4.17 <i>Tube</i> kondensor yang telah dibersihkan.....	64



DAFTAR TABEL

	Halaman
1 Spesifikasi PLTU.....	33
2 Spesifikasi Komponen Utama PLTU	34
3 Jadwal pelaksanaan kegiatan.....	39
4 Sifat-sifat Uap (Cair Jenuh)	43
5 Sifat-sifat Air (Cair Jenuh).....	44
6 Data hasil pengamatan Desember 2016.....	50
7 Data hasil pengamatan Commisioning 2013.....	51



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan merupakan salah satu unit PLN di bawah PT PLN (Persero) Pembangkitan Sumatera Bagian Utara yang bergerak dalam bidang pembangkitan energi listrik. Mesin Pembangkitan yang dioperasikan adalah PLTU dan PLTGU, oleh sebab itu keandalan unit Pembangkit PLTU dan PLTGU sangat diharapkan demi menjaga ketersediaan energi listrik di wilayah Sumatera Bagian Utara.

Salah satu mesin pembangkit yang dimiliki sektor pembangkitan Belawan adalah PLTU sebanyak 4 unit, dengan daya terpasang 4 x 65 MW. Bahan bakar yang dipakai untuk PLTU Unit 1 dan 2 adalah MFO (*Marine Fuel Oil*), sedangkan PLTU unit 3 & 4 memiliki desain dengan bahan bakar mix antara MFO dengan *Nature Gas*. Sebagaimana Umumnya PLTU dilengkapi dengan beberapa alat utama yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dari mesin pembangkit itu sendiri seperti : Kondensor, *Turbin*, *Boiler*, *Boiler Feed Pump* (BFP).

Kondensor merupakan peralatan yang berfungsi sebagai pendingin untuk mengkondensasikan uap bekas dari hasil memutar turbin dimana media pendinginnya berupa air laut yang dipompakan oleh *Cooling Water Pump* (CWP) dari *water intake* melalui beberapa proses penyaringan agar sampah dan biota laut tidak masuk ke kondensor. Sistem kerjanya yaitu air laut dipompakan kedalam *Tube* Kondensor sedangkan uap bekas dari hasil memutar turbin berada didalam *Shell* Kondensor. Air laut bertemperatur dingin masuk kedalam kondensor

bertemu dengan uap keluaran turbin yang bertemperatur tinggi sehingga terjadi proses kondensasi dari uap menjadi air. Air hasil kondensasi ditampung pada *Hotwell* Kondensor yang dipompakan kembali untuk air pengisi *Boiler*.

Proses kondensasi didalam kondensor menghasilkan efek vakum. Vakum ini akan membantu aliran uap keluaran turbin menuju *hotwell*, aliran uap keluaran turbin yang lancar ini berdampak meningkatnya efisiensi turbin. Naiknya efisiensi turbin akan meningkatkan efisiensi pembangkit.

Kondensor di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Belawan mengalami penurunan performa sehingga berdampak pada turunnya efisiensi turbin dan efisiensi pembangkit. Hal inilah yang menjadi pokok permasalahan yang melatar belakangi peneliti untuk memilih judul : “Analisa Penyebab Penurunan Performa Vakum Kondensor di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Belawan kapasitas 65 MW”.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah :

1. Menghitung efektivitas kondensor.
2. Mengidentifikasi hal-hal yang dapat menyebabkan penurunan sistem *vacuum* kondensor.
3. Mengidentifikasi dampak yang terjadi pada unit kerika sistem *vacuum* mengalami penurunan kinerja.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Belawan Unit 3 kapasitas 65 MW.
2. Pengambilan data dilakukan pada beban 40 Mw.
3. Fluida pendingin air laut & uap keluaran turbin diasumsikan sebagai fluida cair jenuh.
4. Faktor pengotor (*fouling factor*) diabaikan.

1.4 Tujuan

1. Mengetahui besarnya efektivitas kondensor.
2. Mengetahui penyebab penurunan vakum kondensor.
3. Mengetahui cara antisipasi permasalahan penurunan vakum kondensor.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui parameter operasi yang dapat mempengaruhi vakum kondensor.
2. Dapat mengetahui penyebab dari turunnya vakum kondensor
3. Dapat mengantisipasi dan memperbaiki permasalahan turunnya vakum apabila muncul dikemudian hari.

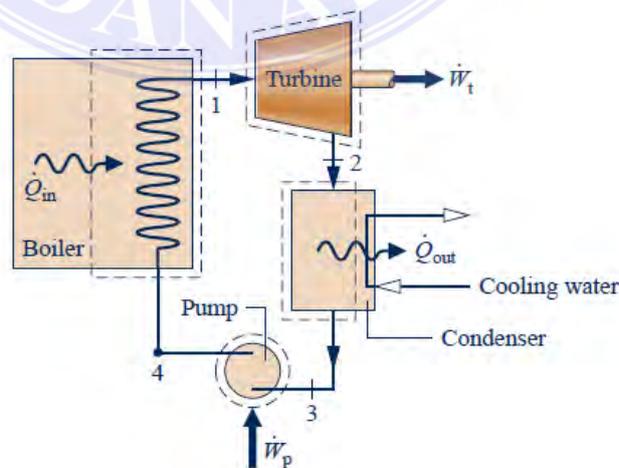
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Sistem pembangkit listrik tenaga uap didasarkan oleh siklus *Rankine*. Pada siklus ini fluida kerja yang biasanya air disirkulasikan melalui 4 komponen utama untuk menghasilkan energi. Komponen utama tersebut adalah turbin uap, pompa, kondensor dan ketel. Agar PLTU dapat menghasilkan energi, komponen pembentuk siklus ini haruslah bekerja secara bersamaan terus menerus.

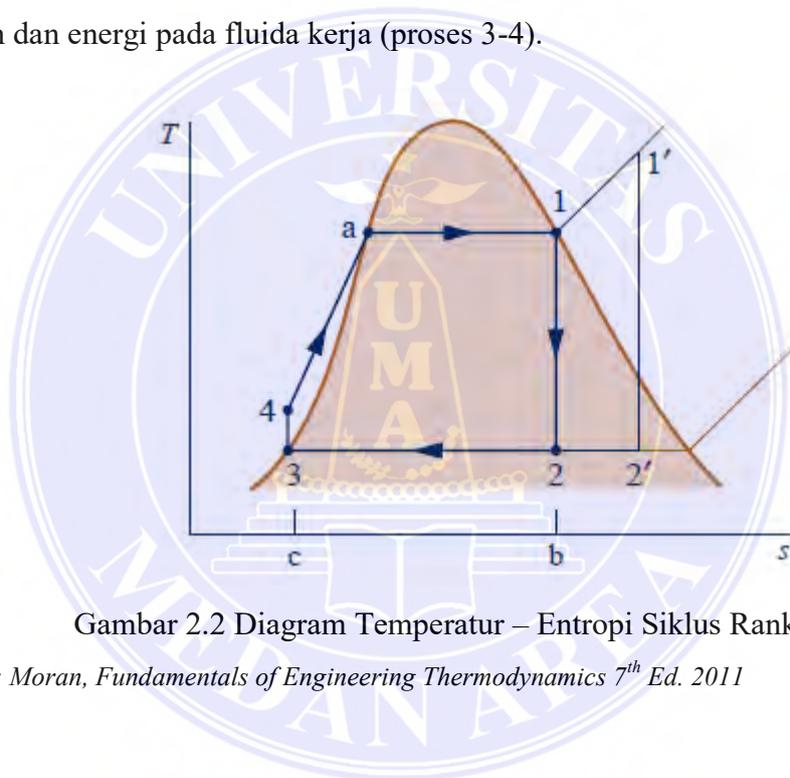
Prinsip utama dari siklus *Rankine* adalah memanfaatkan konservasi energi untuk menghasilkan kerja yang dapat dimanfaatkan. Siklusnya dapat dimulai dari air yang dipanaskan dengan ketel hingga mencapai tingkat keadaan uap jenuh atau uap panas lanjut, lalu uap tersebut dialirkan ke turbin sehingga memutar turbin. Energi putaran mekanik turbin digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya menghasilkan listrik. Uap air keluaran dari turbin lalu dikondensasikan dengan penukar panas hingga tingkat keadaannya cair. Lalu air tersebut dipompakan kembali ke ketel. Siklusnya pun terulang kembali.



Gambar 2.1 Skema Siklus Rankine Sederhana

Sumber : Moran, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 7th Ed.* 2011

Pada siklus ideal tersebut terjadi dua perpindahan panas dan kerja. Pada ketel terjadi perpindahan panas tekanan konstan pada air sehingga mengubah tingkat keadaan fluida kerja (proses 4-1). Pada kondensor terjadi perpindahan panas tekanan konstan dari uap air ke fluida pendingin, sehingga uap air terkondensasi (proses 2-1). Pada turbin terjadi kerja ekspansi isentropik pada sudu turbin sehingga energi yang terkandung pada fluida kerja turun (proses 1-2). Pada pompa fluida diberikan kerja kompresi isentropik sehingga dapat meningkatkan tekanan dan energi pada fluida kerja (proses 3-4).



Gambar 2.2 Diagram Temperatur – Entropi Siklus Rankine Ideal

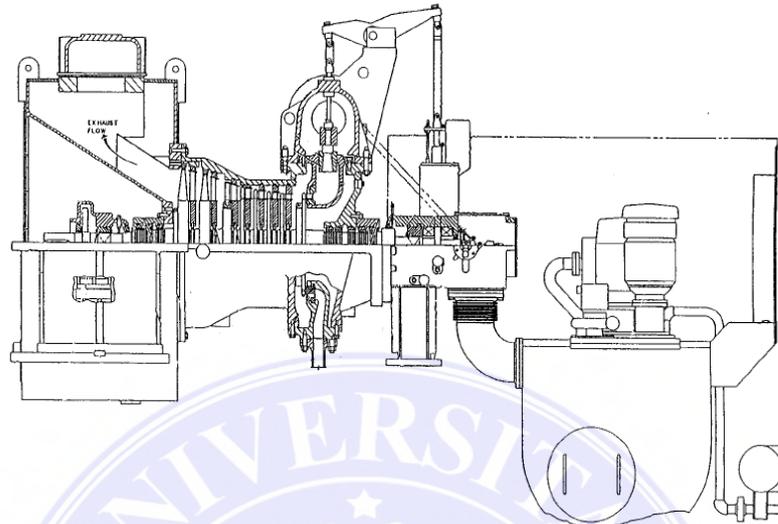
Sumber : Moran, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 7th Ed.* 2011

2.2 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap

2.2.1 Turbin uap

Turbin uap adalah suatu alat yang dapat mengubah energi dari fluida kerja menjadi kerja. Fluida kerja yang melewati turbin akan diekspansikan. Fluida kerja yang melewati turbin akan memutar sudu – sudu turbin. Tumbukan pada sudu turbin terjadi konversi energi yang dimiliki fluida kerja menjadi rotasi turbin.

Kerja yang dihasilkan oleh turbin diteruskan ke generator yang telah terhubung dengan poros turbin, sehingga menghasilkan daya listrik.

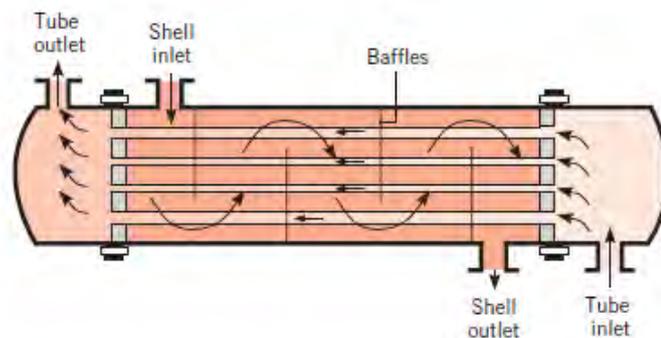


Gambar 2.3 Skema Turbin Uap dan *Boiler Feed Pump*

Sumber : Kreith, *Mechanical Engineering Handbook*, 2005

2.2.2 Kondensor

Kondensor adalah alat penukar panas yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap keluaran dari turbin uap ke tingkat keadaan cair jenuh sebelum dipompakan lagi ke ketel. Cara kerja kondensor adalah menggunakan aliran cairan pendingin. Cairan pendingin yang disirkulasikan akan menyerap panas dari uap keluaran turbin sehingga cairan pendingin memanas, sedangkan fluida kerja berubah fasa.

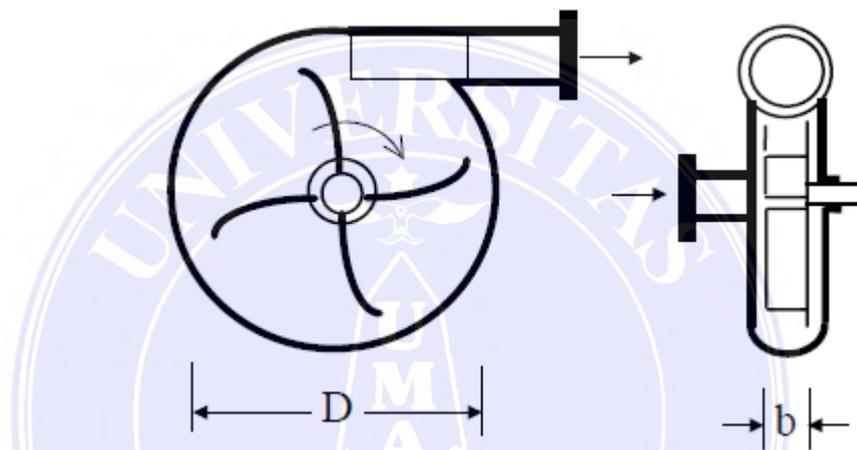


Gambar 2.4 Skema Penukar Panas *Shell and Tube*

Sumber : Incropera, *Introduction to Heat Transfer 6th Ed.*, 2011

2.2.3 Pompa

Pompa merupakan komponen yang menaikkan tekanan atau energi pada fluida kerja. Pompa membutuhkan kerja untuk menaikkan tekanan fluida. Sistem pembangkit menggunakan pompa untuk menaikkan tekanan dan mengalirkan fluida ke ketel sebelum masuk ke turbin. Selain itu pompa juga banyak digunakan pada komponen tambahan untuk mensirkulasikan pendingin atau oli.

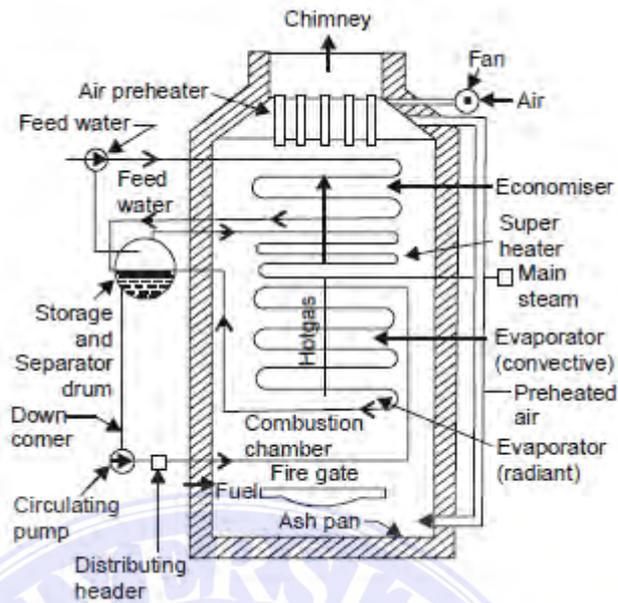


Gambar 2.5 Skema Pompa Sentrifugal

Sumber : Myer Kutz, *Mechanical Engineer's Handbook 4th Ed.*, 2006

2.2.4 Ketel

Ketel merupakan komponen pemanas yang berfungsi untuk memanaskan air menjadi uap untuk dimasukkan ke turbin. Air keluaran dari kondensor perlu melewati tiga tahap pemanasan. Tahap pertama merupakan pemanasan air dari kondisi keluaran pompa ke temperatur titik jenuh cair dari fluida kerja. Tahap kedua merupakan evaporasi, tahap ini membutuhkan energi paling besar dikarenakan proses perubahan fasa. Tahap ketiga merupakan pemanasan uap lanjut. Uap yang telah terbentuk dipanaskan ke temperatur lebih tinggi untuk meningkatkan energi yang terkandung.



Gambar 2.6 Skema La Mont Boiler

Sumber : Raja, *Power Plant Engineering*, 2006

2.3 Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)

Heat exchanger adalah suatu peralatan yang digunakan untuk memindahkan atau mentransfer energi panas diantara suatu permukaan solid dan fluida atau antara partikel padat dan cairan pada suatu yang berbeda dan dalam kontak thermal. Aplikasi yang umum untuk penukar panas ini biasanya melibatkan evaporasi atau kondensasi dari satu atau multi aliran fluida.

Di industri khususnya industri pembangkitan, masalah perpindahan energi panas adalah hal yang biasa di lakukan. Perpindahan panas dilakukan dalam suatu alat penukar panas (*heat exchanger*), yaitu suatu peralatan mekanik yang di gunakan untuk memindahkan energi panas dari fluida yang bersuhu lebih tinggi ke fluida yang bersuhu lebih rendah, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Pada suatu pembangkit, alat penukar panas ini banyak di pergunakan, diantaranya sebagai alat pemanas dan atau pendingin fluida proses maupun

produk yang akan di simpan dalam tangki timbun. Dewasa ini sangat banyak alat penukar panas yang di kembangkan oleh industri dan manufaktur yang ada di dunia, namun untuk jenis *shell and tube*, ternyata lebih banyak di pergunakan di bandingkan dengan jenis lainnya. Hal ini disebabkan beberapa keuntungan yang di peroleh, antara lain :

- a. Memberikan luas permukaan perpindahan panas yang besar dengan bentuk atau volume yang kecil.
- b. Cukup baik untuk operasi bertekanan.
- c. Dibuat dengan berbagai jenis meterial,sesuai dengan fluida yang mengalir didalamnya, suhu dan tekanan operasi.
- d. Mudah dibersihkan.
- e. Konstruksinya sederhana dan pemakaian ruangan yang relatif kecil.
- f. Prosedur pengoperasiannya sangat mudah di mengerti oleh operator.
- g. Konstruksinya tidak merupakan sautu kesatuan yang utuh, sehingga pengangkutannya relatif mudah.

2.4 Klasifikasi Alat Penukar Kalor

Dikarenakan banyak sekali jenis alat penukar panas, shingga alat penukar panas diklasifikasikan berdasarkan bermacam – macam pertimbangan, antara lain:

- a. Klasifikasi berdasarkan proses perpindahan panas
 - a. Alat penukar panas tipe kontak langsung
 - b. Alat penukar panas tipe kontak tidak langsung
- b. Klasifikasi berdasarkan jumlah fluida yang mengalir
 - a. Dua jenis fluida
 - b. Tiga jenis fluida

- c. N jenis fluida
- c. Klasifikasi berdasarkan luas kompaknya permukaan
 - a. Tipe kompak (density luas permukaannya $> 700\text{m}^2/\text{m}^3$).
 - b. Tipe tidak kompak (density luas permukaannya $< 700\text{m}^2/\text{m}^3$).
- d. Klasifikasi berdasarkan konstruksi
 - a. Konstruksi tubular (*shell and tube*)
 - b. Konstruksi tipe pelat
 - c. Konstruksi dengan luas permukaan yang diperluas
- e. Klasifikasi berdasarkan pengaturan aliran
 - a. Aliran dengan satu pass
 - b. Aliran multi pass
- f. Klasifikasi alat penukar panas jenis *shell and tube* berdasarkan TEMA

Alat penukar panas jenis *shell and tube* yang digunakan pada dunia industri sangat banyak untuk mengklasifikasikannya pasti sangat sulit , untuk itu TEMA (*Tubular exchanger Manufacturing Association*) mengelompokkan alat penukar panas berdasarkan pemakaiannya menjadi 3 (tiga) kelompok (kelas) yaitu :

- a. Kelas R, TEMA kelas R, menentukan persyaratan desain dan fabrikasi untuk *heat exchanger type shell and tube* yang ada di lingkungan migas seperti *refinery, oil field* dan industri terkait lain nya.Kelas R umum nya di pilih oleh desainer untuk aplikasi dimana daya tahan dan factor keamanan menjadi factor utama.
- b. Kelas C, TEMA kelas C menentukan persyaratan desain dan fabrikasi untuk *heat exchanger type shell and tube* yang berada dalam lingkungan layanan komersial dan industri proses umum dengan tekanan dan temperatur

sedang serta fluida yang relatif tidak korosif. Peralatan yang di buat sesuai dengan kelas C persyaratan di rancang untuk nilai ekonomi yang maksimum.

- c. Kelas B, TEMA Kelas B menentukan persyaratan desain dan fabrikasi untuk *heat exchanger type shell and tube* yang ada di dalam proses industri kimia dimana banyak terdapat proses kimia, zat yang korosif atau fluida dengan suhu yang tinggi dan menggunakan alloy material construction. Kelas B mirip dengan kelas R sehubungan dengan persyaratan desain, tetapi lebih mendekati kelas C sehubungan dengan ketebalan minimum dan *corrosion allowance*.

- g. Klasifikasi berdasarkan fungsinya

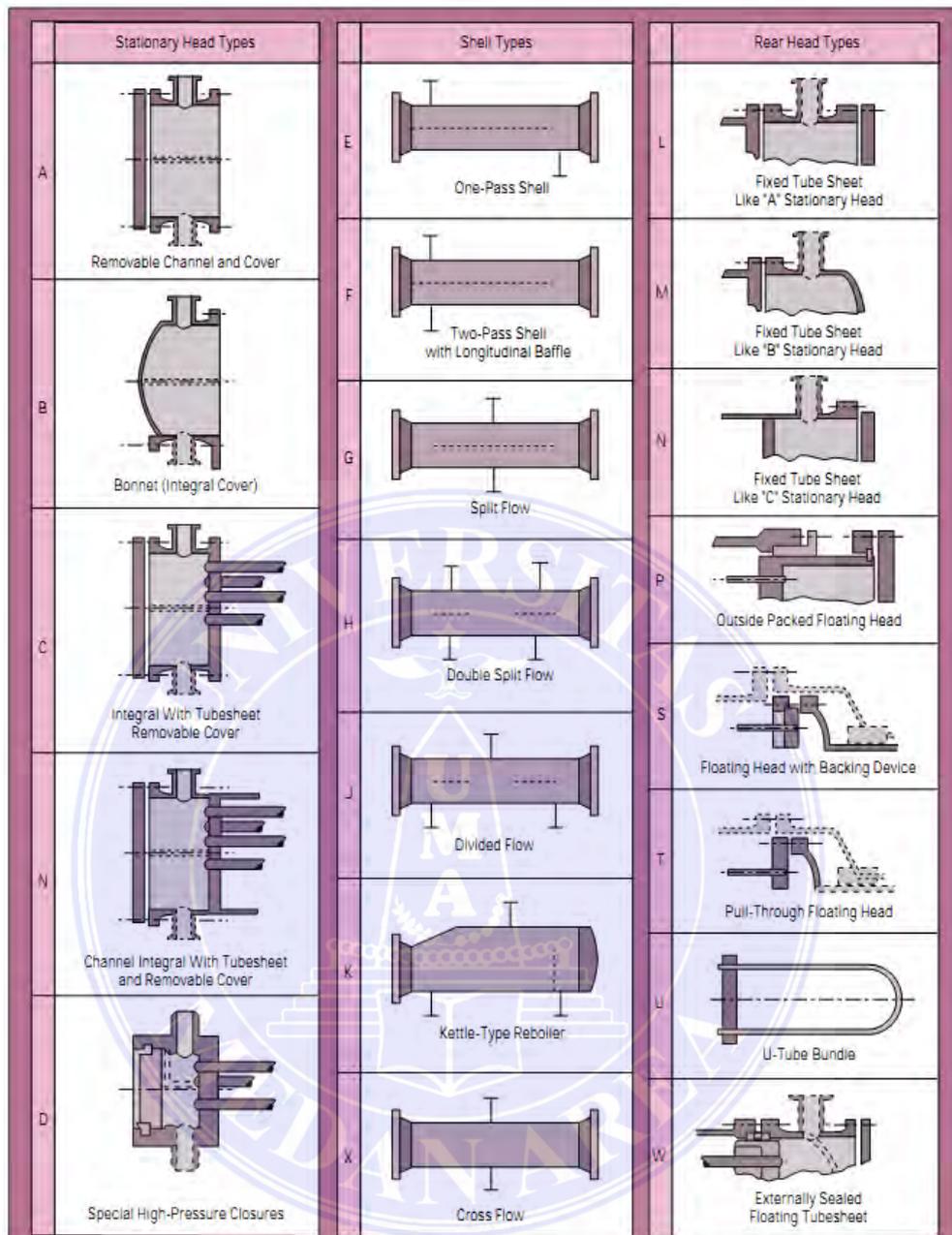
Klasifikasi alat penukar panas berdasar kan fungsinya dalam proses, dapat dibedakan antara lain menjadi :

- a. *Heat exchanger* adalah alat penukar panas dengan memanfaatkan suhu fluida untuk memanaskan fluida yang lain atau mendinginkan fluida panas dan memanaskan fluida dingin.
- b. *Cooler* adalah alat penukar panas yang berfungsi untuk mendinginkan suhu cairan atau gas dengan air sebagai media pendingin dan tanpa ada perubahan fase.
- c. Condenser berfungsi untuk mendinginkan atau mengembunkan uap atau campuran uap menjadi cairan. Media pendingin yang digunakan adalah air.
- d. *Heater* adalah alat penukar panas yang berfungsi untuk memanaskan fluida proses. Media pemanas yang digunakan adalah steam atau fluida panas lain.

- e. *Evaporator* adalah alat penukar panas yang berfungsi untuk mengubah uap cairan menjadi uap pekat / cairan. Media yang digunakan udara.
- f. *Chiller* adalah alat penukar panas yang berfungsi mendinginkan fluida pada temperatur sangat rendah. Media pendingin yang digunakan adalah amoniak.
- g. *Reboiler* berfungsi untuk memanaskan/mendidihkan kembali (*reboil*) dan menguapkan sebagian cairan yang diproses. Media pemanas yang digunakan adalah *steam* atau fluida panas yang sedang di proses itu sendiri.

Seperti yang dapat di lihat pada gambar 2.1. TEMA membuat pembagian berdasarkan tipe dari *stationary heat*, *tipe shell*, dan *tipe read-head*, TEMA menggunakan tiga huruf, yaitu:

- Huruf pertama, menyatakan bentuk “*front end stationary Heatd type*” atau *channel*, dengan menggunakan notasi huruf : A,B,C, dan D
- Huruf kedua, menyatakan bentuk dari *shell type* atau tabung, dengan menggunakan notasi huruf :E, F, G, H, J,dan K
- Huruf ketiga, menggunakan bentuk dari “*Rear End Head Type*” atau bagian belakang,dengan menggunakan notasi huruf :L, M, N, P, S, T, U dan W



Gambar 2.7 Bagian-bagian Alat Penukar Kalor Berdasarkan Standart TEMA

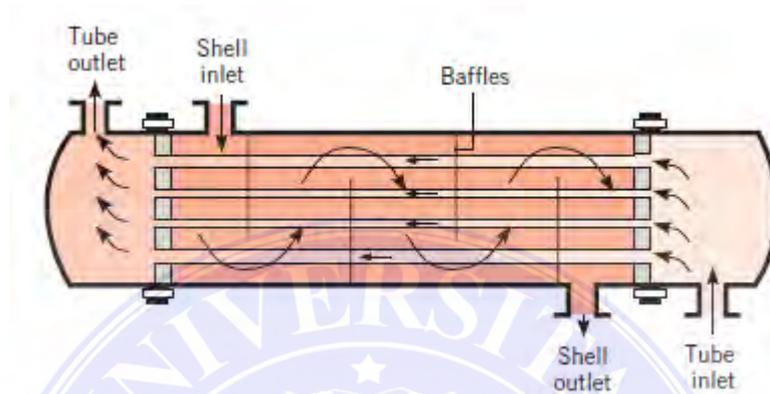
Sumber : Tunggul M. Sitompul, *Alat Penukar Kalor*, 1993

2.5 Kondensor dan Prinsip Kerjanya

2.5.1 Kondensor

Kondensor adalah suatu alat yang terdiri dari jaringan pipa dan digunakan untuk mengubah uap menjadi zat cair (air). dapat juga diartikan sebagai alat

penukar kalor (panas) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida. Dalam penggunaannya kondensator diletakkan diluar ruangan yang sedang didinginkan supaya panas yang keluar saat pengoprasiannya dapat dibuang keluar sehingga tidak mengganggu proses pendinginan.



Gambar 2.8 *Shell and Tube condenser*

Sumber : Incropera, *Introduction to Heat Transfer 6th Ed.*, 2011

2.5.2 Prinsip Kerja Kondensator

Prinsip kerja kondensator tergantung dari jenis kondensator tersebut, secara umum terdapat dua jenis kondensator yaitu surface condenser dan direct contact condenser. Berikut klasifikasi kedua jenis kondensator tersebut:

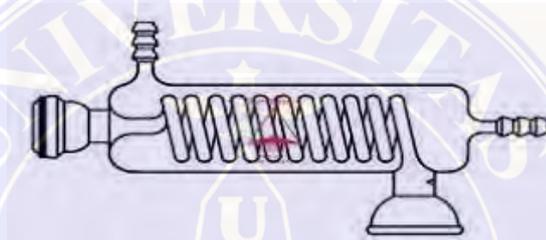
a. Surface Condenser

Cara kerja dari jenis alat ini ialah proses perubahan dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam ruangan yang berisi susunan pipa dan uap tersebut akan memenuhi permukaan luar pipa sedangkan air yang berfungsi sebagai pendingin akan mengalir di dalam pipa (tube side), maka akan terjadi kontak antara keduanya dimana uap yang memiliki temperatur panas akan bersinggungan dengan air pendingin yang berfungsi untuk menyerap kalor dari uap tersebut,

sehingga temperatur steam (uap) akan turun dan terkondensasi. Surface condenser terdiri dari dua jenis yang dibedakan oleh cara masuknya uap dan air pendingin, berikut jenis-jenisnya:

1. Type Horizontal Condenser

Pada type kondensor ini, air pendingin masuk melalui bagian bawah, kemudian masuk kedalam pipa (tube) dan akan keluar pada bagian atas, sedangkan uap akan masuk pada bagian tengah kondensor dan akan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah.



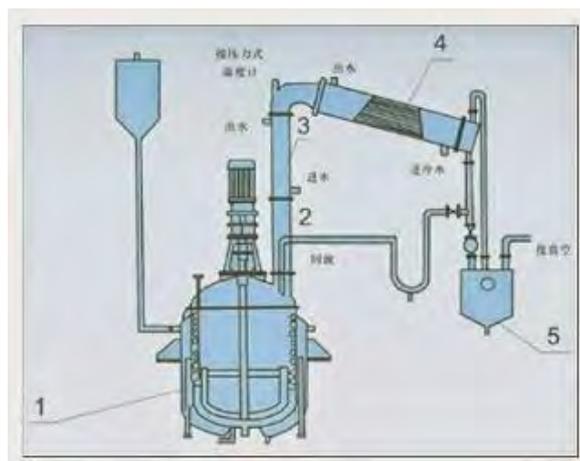
Gambar 2.9 *Horizontal Condensor*

Kelebihan Kondensor horizontal adalah :

- Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip sehingga relatif berukuran kecil dan ringan
- Pipa pendingin dapat dibuat dengan mudah
- Bentuk sederhana dan mudah pemasangannya
- Pipa pendingin mudah dibersihkan

2. Type Vertical condenser

Pada jenis kondensor ini, tempat masuknya air pendingin melalui bagian bawah dan akan mengalir di dalam pipa selanjutnya akan keluar pada bagian atas kondensor, sedangkan steam akan masuk pada bagian atas dan air kondensat akan keluar pada bagian bawah.



Gambar 2.10 *Vertikal Condensor*

Keterangan :

1. *Esterification reactor*
2. *Vertical fractional column*
3. *Vertical Condenser*
4. *Horizontal Condenser*
5. *Storage device*

Kelebihan Kondensor vertical adalah :

- Harganya murah karena mudah pembuatannya.
- Kompak karena posisinya yang vertikal dan mudah pemasangan
- Bisa dikatakan tidak mungkin mengganti pipa pendingin, pembersihan harus dilakukan dengan menggunakan deterjen.

b. Direct Contact Condenser

Cara kerja dari kondensor jenis ini yaitu proses kondensasi dilakukan dengan cara mencampurkan air pendingin dan uap secara langsung. Jenis dari kondensor ini disebut spray condenser, pada alat ini proses pencampuran dilakukan dengan menyemprotkan air pendingin ke arah uap. Sehingga steam akan menempel pada butiran-butiran air pendingin tersebut dan akan mengalami kontak temperatur,

selanjutnya uap akan terkondensasi dan tercampur dengan air pendingin yang mendekati fase saturated (basah).

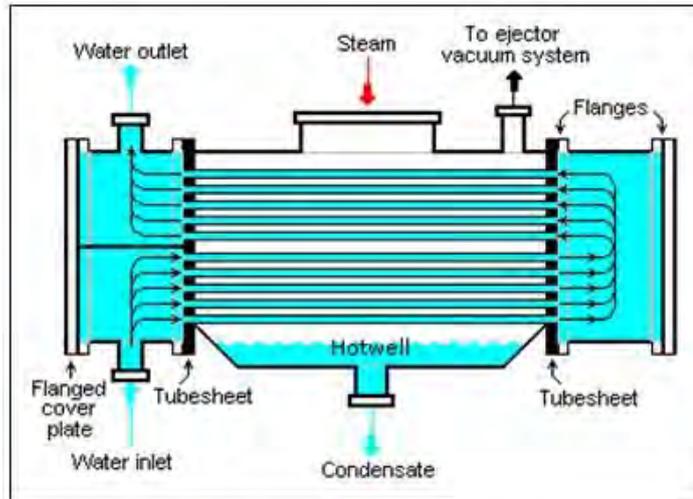
Perlu kita ketahui, bahwa setiap industri terkadang memiliki cara kerja pertukaran panas yang berbeda-beda, misalnya saja pada industri migas, fraksi yang panas akan mengalir melalui pipa sedangkan minyak mentah (dingin) akan mengalir diluar pipa. Hal ini dikarenakan fraksi yang mengalir di dalam pipa merupakan hasil yang telah diolah pada menara destilasi sehingga memiliki temperatur yang panas, panas dari fraksi inilah yang dimanfaatkan untuk memanaskan minyak mentah yang akan dimasukkan kedalam kolom destilasi.

2.5.3 Air Pendingin Kondensor

Air pendingin dalam kondensor sangat memiliki peranan penting dalam proses kondensasi uap menjadi condensat water. Bahan baku air pendingin biasanya didapatkan dari danau dan air laut (sea water, dalam proses pengambilannya biasanya digunakan alat sejenis jaring yang berfungsi untuk menjaring kotoran serta benda-benda padat lainnya agar tidak terikut kedalam hisapan pompa yang tentunya dapat mengganggu kinerja kondensor bahkan kerusakan pada peralatan.

2.6 Konstruksi Kondensor

Aliran air pendingin ada dua macam, yaitu satu lintasan (*single pass*) atau dua lintasan (*double pass*). Untuk mengeluarkan udara yang terjebak pada water box (sisi air pendingin), dipasang *venting pump* atau *priming pump*. Udara dan *non condensable gas* pada sisi uap dikeluarkan dari kondensor dengan ejector atau pompa vakum.



Gambar 2.11 Kontruksi kondensor

2.7 Macam - Macam Kondensor

2.7.1 Menurut Jenis Cooling Medium

Menurut jenis cooling mediumnya kondensor dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

- a. *Air Cooled Condenser* (menggunakan udara sebagai *cooling mediumnya*)

Air Cooled Kondensor mengkondensasikan pembuangan uap dari turbin uap dan kembali kondensat (cairan yang sudah terkondensasi) ke boiler tanpa kehilangan air.



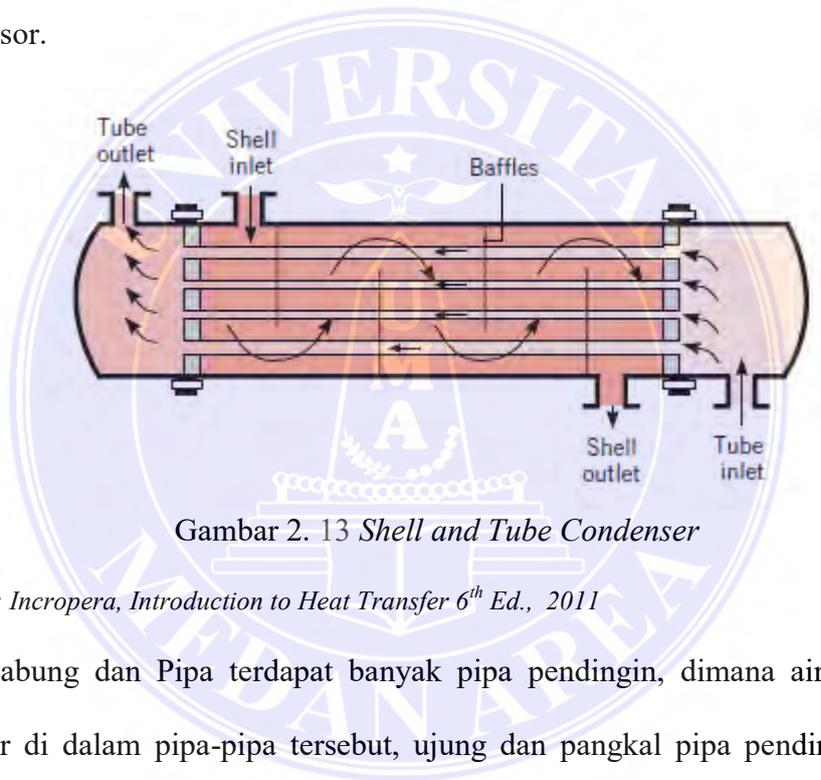
Gambar 2.12 *Air Cooled Condenser*

b. Water Cooled Condenser (menggunakan air sebagai cooling mediumnya)

Water Cooled Condenser yang paling banyak digunakan yaitu :

- ***Shell and Tube Condenser***

Shell and Tube Condenser atau Kondensor tipe Tabung dan Pipa digunakan pada kondensor berukuran kecil sampai besar. biasa digunakan untuk air pendingin berupa ammonia dan freon. Seperti terlihat pada gambar didalam kondensor.



Gambar 2. 13 *Shell and Tube Condenser*

Sumber : Incropera, *Introduction to Heat Transfer 6th Ed.*, 2011

Tabung dan Pipa terdapat banyak pipa pendingin, dimana air pendingin pengalir di dalam pipa-pipa tersebut, ujung dan pangkal pipa pendingin terikat pada pelat pipa, sedangkan diantara pelat pipa dan tutup tabung dipasang sekat-sekat untuk membagi aliran air yang melewati pipapipa dan mengatur agar kecepatannya cukup tinggi, yaitu 1,5 – 2 m/detik.

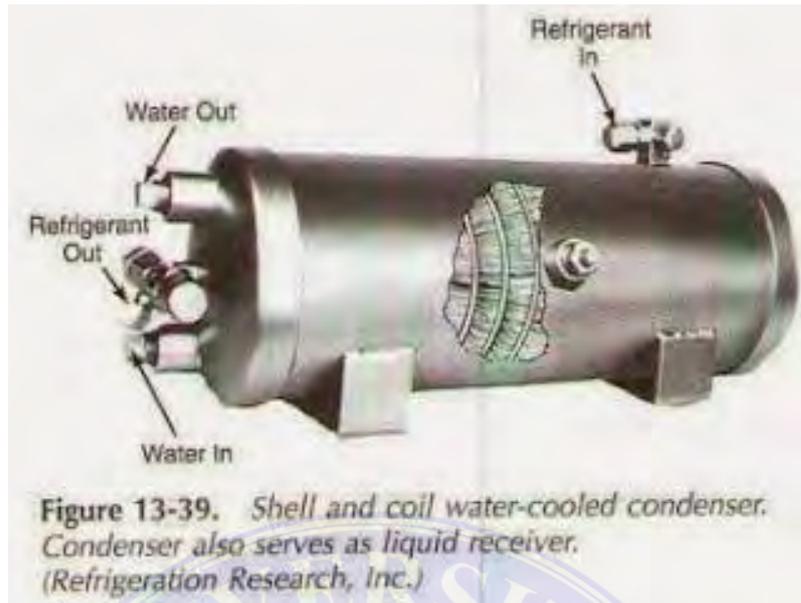
Air pendingin masuk melalui pipa bagian bawah kemudian keluar melalui pipa bagian atas. Jumlah saluran maksimum yang dapat digunakan sebanyak 12, semakin banyak jumlah saluran yang digunakan maka semakin besar tahanan

aliran air pendingin. Pipa pendingin amonia biasa terbuat dari baja sedangkan untuk freon biasa terbuat dari pipa tembaga. Jika menginginkan pipa yang tahan terhadap korosi bisa menggunakan pipa kuningan datau pipa cupro nikel. ciri-ciri kondensor tabung dan pipa adalah :

- Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip sehingga ukurannya relatif lebih kecil dan ringan.
- Pipa dapat dibuat dengan mudah.
- Bantuk yang sederhana dan mudah pemasangannya.
- Pipa pendingin mudah dibersihkan.

- ***Shell and Coil Condenser***

Kondensor tabung dan koil banyak digunakan pada unit pendingin dengan Freon refrigerant berkapasitas lebih kecil, misalnya untuk penyejar udara, pendingin air, dan sebagainya. Seperti gambar dibawah ini, Kondensor tabung dan koil dengan tabung pipa pendingin di dalam tabung yang dipasang pada posisi vertical. Koil pipa pendingin tersebut biasanya dibuat dari tembaga, berbentuk tanpa sirip maupun dengan sirip. Pipa tersebut mudah dibuat dan murah harganya. Pada Kondensor tabung dan koil, aliran air mengalir di dalam koil pipa pendingin. Disini, endapan dan kerak yang terbentuk di dalam pipa harus dibersihkan menggunakan zat kimia (*detergent*).



Gambar 2.14 *Shell and Coil Condenser*

Adapun ciri-ciri Kondensor tabung dan koil sebagai berikut :

- Harganya murah karena mudah dalam pembuatannya.
- Kompak karena posisinya yang vertical dan mudah dalam pemasangannya.
- Tidak perlu mengganti pipa pendingin, tetapi hanya perlu pembersihan dengan menggunakan detergen

- ***Tube and Tubes Condenser***

Kondensor jenis pipa ganda merupakan susunan dari dua pipa koaksial dimana refrigerant mengalir melalui saluran yang terbentuk antara pipa dalam dan pipa luar yang melintang dari atas ke bawah. Sedangkan air pendingin mengalir di dalam pipa dalam arah berlawanan, yaitu refrigerant mengalir dari atas ke bawah. Pada mesin pendingin berkapasitas rendah dengan Freon sebagai refrigerant, pipa dalam dan pipa luarnya terbuat dari tembaga.

Gambar dibawah ini menunjukkan Kondensor jenis pipa ganda, dalam bentuk koil. Pipa dalam dapat dibuat bersirip atau tanpa sirip.



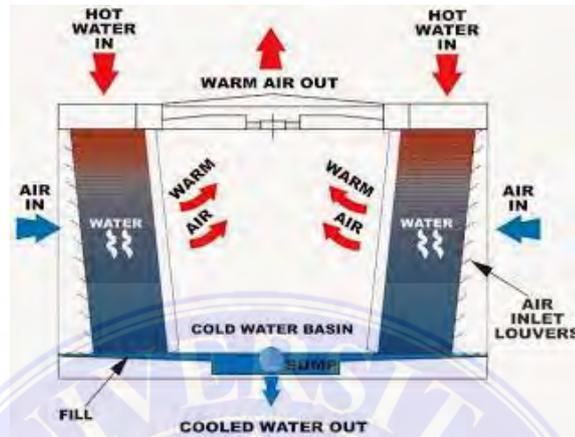
Gambar 2. 15 *Tube and Tubes Condenser*

Kecepatan aliran di dalam pipa pendingin kira-kira antara 1-2 m/detik. Sedangkan perbedaan temperature air keluar dan masuk pipa pendingin (kenaikan temperature air pendingin di dalam kondensor) kira-kira mencapai suhu 10°C. Laju perpindahan kalornya relative besar. Adapun cirri-ciri Kondensor jenis pipa ganda adalah sebagai berikut:

- Konstruksi sederhana dengan harga yang memadai.
- Dapat mencapai kondisi yang super dingin karena arah aliran refrigerant dan air pendingin yang berlawanan.
- Penggunaan air pendingin relative kecil.
- Sulit dalam membersihkan pipa, harus menggunakan detergen.
- Pemeriksaan terhadap korosi dan kerusakan pipa tidak mungkin dilaksanakan. Penggantian pipanya pun juga sulit dilakukan.

c. *Evaporatif Condenser* (menggunakan kombinasi udara dan air sebagai cooling mediumnya).

Kombinasi dari kondensor berpendingin air dan kondensor berpendingin udara, menggunakan prinsip penolakan panas oleh penguapan air menjadi aliran udara menjadi kumparan kondensasi.

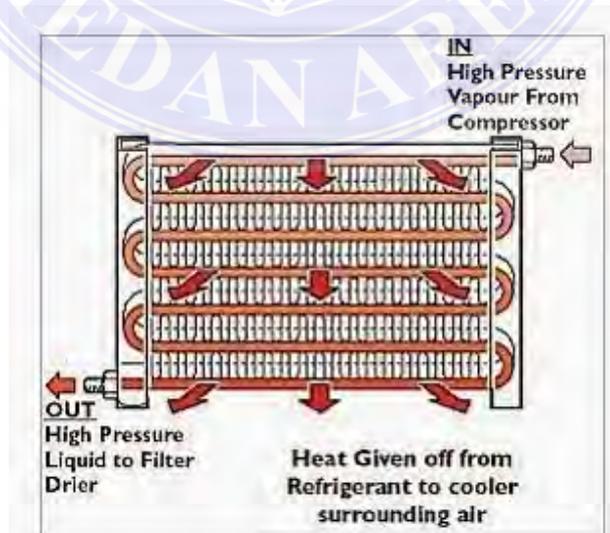


Gambar 2. 16 *Evaporatif Condenser*

2.7.2 Menurut Jenis Desain

a. Berbelit-Belit

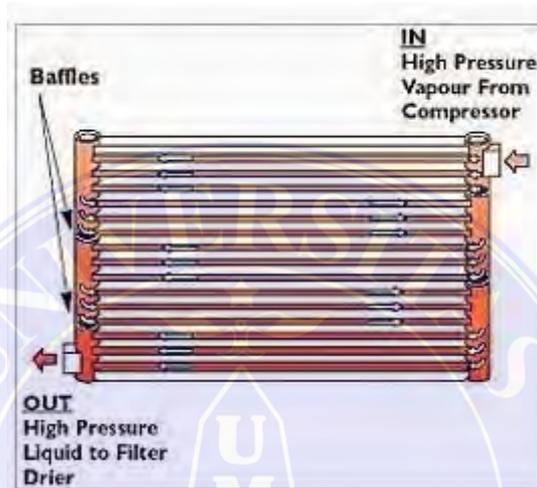
Jenis kondensor terdiri dari satu tabung panjang yang digulung berakhir dan kembali pada dirinya sendiri dengan sirip pendingin ditambahkan di antara tabung.



Gambar 2.17 Kondensor Berbelit-Belit

b. Arus Pararel

Desain ini sangat mirip dengan radiator aliran silang. Alih-alih bepegian refrigeran melalui satu bagian (seperti tipe serpentine) sekarang dapat melakukan perjalanan di berbagai bagian. Ini akan memberi luas permukaan yang lebih besar untuk udara ambien dingin untuk kontak.



Gambar 2.18 Kondensator Arus Pararel

2.8 Pengertian Tentang Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau kalor (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi akibat adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Panas dapat berpindah dari suatu benda ke benda yang lain, panas dapat berpindah dari suatu zat yang lebih panas ke zat yang lebih dingin, atau dengan lain panas hanya dapat berpindah dari suatu benda ke benda yang lain apabila terdapat perbedaan temperatur diantara kedua benda tersebut. Maka dapat kita simpulkan bahwa perbedaan temperatur merupakan potensial pendorong bagi proses perpindahan panas.

Perpindahan panas pada umumnya mengenal 3 (tiga) cara, adapun cara perpindahan panas tersebut adalah :

- Perpindahan Panas Konduksi
- Perpindahan Panas Konveksi
- Perpindahan Panas Radiasi

2.9 Laju Perpindahan Panas Secara Termodinamika

Besarnya panas yang diserap fluida dingin

$$Q = U.A. \Delta T \text{ lmtd}.F \quad (2.1)$$

Dimana :

Q = Perpindahan Panas Total (W)

U = Koefisien Perpindahan Panas total ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

$\Delta T \text{ lmtd}$ = Perbedaan suhu rata-rata ($^\circ\text{C}$)

F = Faktor koreksi

Suhu rata-rata fluida dingin (*Air Condensate*) secara termodinamika (t)

$$t = \frac{t_i + t_o}{2} \quad (2.2)$$

Dimana :

t = Suhu rata-rata air condensate ($^\circ\text{C}$)

t_i = Suhu air condensate masuk ($^\circ\text{C}$)

t_o = Suhu air condensate keluar ($^\circ\text{C}$)

Temperatur rata-rata fluida panas (Uap Bekas) secara termodinamika (T)

$$T = \frac{T_i + T_o}{2} \quad (2.3)$$

Dimana :

T = Suhu rata-rata uap ($^\circ\text{C}$)

T_i = Suhu uap masuk ($^\circ\text{C}$)

T_o = Suhu uap keluar ($^\circ\text{C}$)

2.10 Beda Temperatur Rata-Rata Logaritma (ΔT_{LM})

Seperti yang telah diterangkan sebelumnya bahwa temperatur fluida tersebut tidak tetap pada setiap keadaan, tetapi selalu ada perbedaan. Untuk menghitung beda temperatur rata-rata logaritma tersebut sebagai berikut :

$$\Delta T_{lmtd} = \frac{(T_i - t_o) - (T_o - t_i)}{\ln \frac{(T_i - t_o)}{(T_o - t_i)}} \quad (2.4)$$

2.11 Koefisien Perpindahan Panas Pada Bagian Luar Tube (h_o).

Untuk mencari h_o dengan menghitung koefisien pada dinding luar tabung yang terjadi sebagian dari uap air mengembun menjadi kondensat. Perhitungan h_o dapat dilakukan dengan rumus berikut ini:

$$h_o = Nu \frac{k}{x} \quad (2.5)$$

Dimana :

h_o = koefisien perpindahan panas pada luar tube ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Nu = Nusselt Number

K = konduktivitas thermal uap air ($W/m \cdot ^\circ C$)

X = panjang kondensor yang dilalui uap air (m)

Jenis aliran *shell* dapat ditentukan dari bilangan reynold (R_e) :

$$R^e = \frac{v \cdot x \cdot \rho}{\mu} \quad (2.6)$$

Dimana:

R^e = Bilangan reynold sisi shell

V = Kecepatan aliran fluida uap (m/s)

ρ = Berat jenis fluida uap (kg/m^3)

μ = Koefisien gesek uap (kg/m.s)

Kecepatan aliran fluida uap dapat diketahui dengan rumus :

$$v = \frac{Q}{A_s} \quad (2.7)$$

Dimana :

Q = Debit fluida uap (m^3/s)

A_s = Luas Permukaan masuk shell (m^2)

Debit fluida dapat diketahui dengan rumus :

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (2.8)$$

Dimana :

\dot{m} = Laju aliran massa uap (Kg/s)

Luas permukaan masuk shell dapat diketahui dengan rumus:

$$A_s = P \cdot L \quad (2.9)$$

Dimana :

P = Panjang Condensor (m)

L = Lebar condenser (m)

Setelah bilangan reynold diketahui maka Nusselt number bisa dicari

Nusselt untuk aliran turbulen pada *shell*

$$N_{ux} = 0,332 \cdot \text{Pr}^{1/3} \cdot \text{Re}^{1/2} [1 - (x_o/x)^{3/4}]^{-1/3} \quad (2.10)$$

2.12 Koefisien Perpindahan Panas Pada Bagian Dalam Tube (h_i)

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas pada bagian dalam tabung (h_i), dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

Mencari terlebih dahulu angka Reynold, dengan rumus :

$$R^e = \frac{v \cdot d_i \cdot \rho}{\mu} \quad (2.11)$$

Dimana :

R^e = Bilangan reynold sisi tube

V = Kecepatan aliran fluida air (m/s)

ρ = Berat jenis fluida air (kg/m³)

μ = Koefisien gesek air (kg/m.s)

d_i = Diameter dalam tube (m)

Kecepatan aliran fluida air dapat diketahui dengan rumus :

$$v = \frac{Q}{A_t} \quad (2.12)$$

Dimana :

Q = Debit fluida air (m³/s)

A_t = Luas Permukaan dalam tube (m²)

Luas permukaan dalam tube dapat diketahui dengan rumus:

$$A_t = \pi \cdot d_i \cdot L \quad (2.13)$$

Dimana :

L = Panjang tube (m)

Setelah bilangan reynold diketahui maka Nusselt number bisa dicari

Nusselt untuk aliran turbulen pada *tube* adalah :

$$N_{ud} = 0,023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3} (\mu/\mu_w)^{0,14} \quad (2.14)$$

Koefisien perpindahan panas pada bagian dalam tabung (h_i)

$$h_i = Nu \frac{k}{d_i} \quad (2.15)$$

Dimana :

h_i = Koefisien perpindahan panas dalam tube ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

K = konduktivitas thermal air ($W/m \cdot ^\circ C$)

2.13 Luas aliran pada Permukaan Sisi Tabung

Luas aliran pada permukaan sisi tabung terjadi pada dalam dan luar tabung.

Dibawah ini perhitungan untuk luas aliran permukaan sisi tabung.

Luas aliran pada permukaan sisi luar tabung dapat dihitung dengan rumus :

$$A_o = \pi \cdot L \cdot d_o \cdot N \quad (2.16)$$

Dimana :

A_o = Luas permukaan luar tabung (m^2)

L = Panjang tube (m)

d_o = Diameter luar tabung (m)

N = Banyak tabung

Luas aliran pada permukaan sisi dalam tabung dapat dihitung dengan rumus :

$$A_i = \pi \cdot L \cdot d_i \cdot N \quad (2.17)$$

Dimana :

A_i = Luas permukaan dalam tabung (m^2)

d_i = Diameter dalam tabung (m)

2.14 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U_o)

Koefisien perpindahan panas menyeluruh adalah merupakan kebalikan dari tahanan keseluruhan. Tahanan ini meliputi tahanan konveksi, konduksi dan tahanan akibat kotoran. Koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dihitung sebagai berikut :

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i} + \frac{A_o \ln(d_o/d_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o}} \quad (2.18)$$

Dimana:

U_o = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m^2)

k = konduktivitas thermal bahan tube ($W/m.k$)

2.15 Efektivitas APK

Pendekatan ΔT_m dalam analisa penukar kalor berguna bila temperatur masuk dan keluar dari fluida diketahui. Bila kita harus menentukan masuk dan keluar, analisa kita akan melibatkan prosedur iterasi, karena ΔT_{LM} itu merupakan suatu fungsi logaritma. Dalam hal demikian, analisa akan lebih mudah dilakukan dengan menggunakan metode efektivitas APK. Metode ini mempunyai beberapa keuntungan untuk analisa soal-soal dimana kita harus membandingkan jenis APK yang terbaik untuk digunakan. Efektivitas penukar-kalor (*heat-exchanger effectiveness*) aliran silang dengan C maks tak campur, C min campur didefinisikan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\text{Perpindahan kalor nyata}}{\text{Perpindahan Kalor maksimum yang mungkin}} \quad (2.19)$$

$$\varepsilon = 1 - \exp\left\{-\left(1/C\right)\left[1 - \exp(-NC)\right]\right\} \quad (2.20)$$

Dimana persamaan-persamaan Efektivitas penukar kalor adalah :

$$N = NTU = \frac{UA}{C_{\min}} \quad (2.21)$$

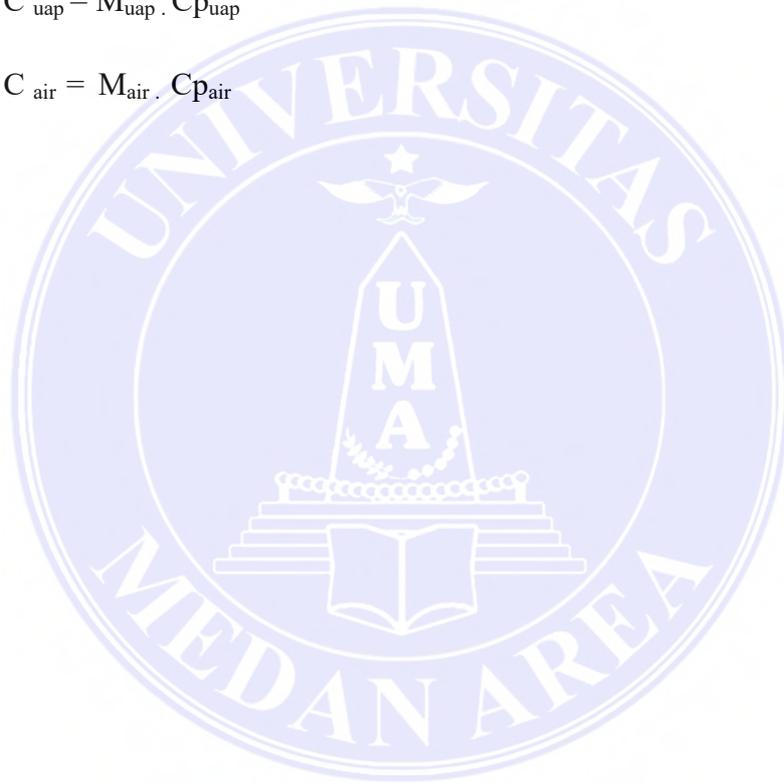
$$n = N^{-0,22} \quad (2.22)$$

$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \quad (2.23)$$

Dimana fluida minimum berupa media yang memberi panas (uap) sedangkan fluida maksimum adalah media yang menyerap panas (air). Maka untuk menentukan hasil fluida minimum dan maksimum di dapatkan dari:

$$C_{\text{uap}} = M_{\text{uap}} \cdot C_{p\text{uap}} \quad (2.24)$$

$$C_{\text{air}} = M_{\text{air}} \cdot C_{p\text{air}} \quad (2.25)$$



BAB III

METODOLOGI

3.1 Tempat dan waktu pelaksanaan

3.1.1 Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan dan pengujian dilakukan di PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan Jl Sicanang No. 1 Belawan



Gambar 3.1 PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan

Sumber : PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian di mulai dari persetujuan judul skripsi yang diberikan oleh ketua program studi, pengambilan data, pengolahan data, hingga penyusunan skripsi dinyatakan selesai.

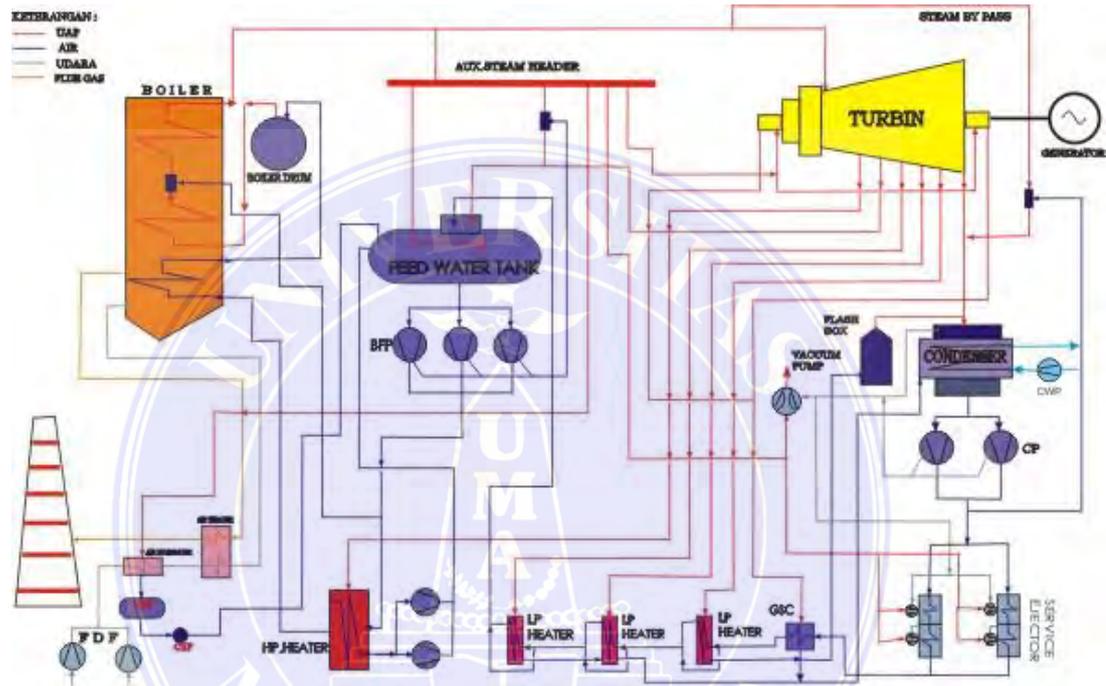
3.2 Bahan & Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan- bahan penelitian bersumber dari manual book dan pengamatan langsung dilapangan PT PLN (persero) Sektor Pemmbangkitan Belawan.

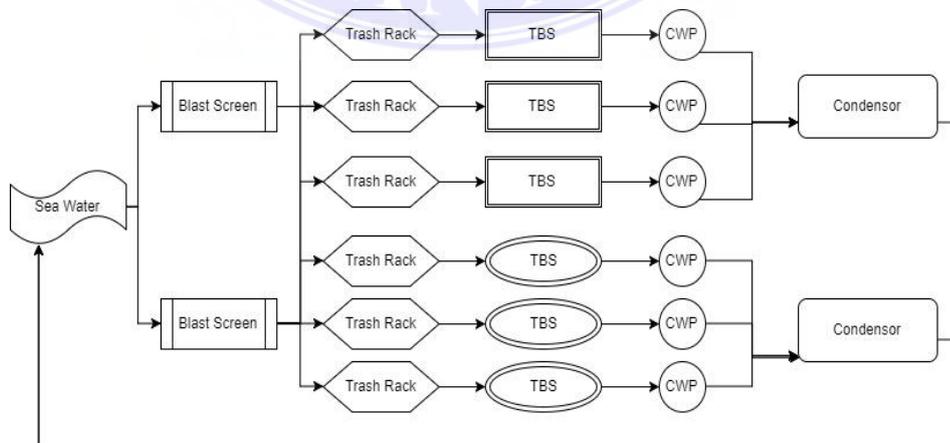
Tabel 1 Spesifikasi PLTU

Spesifikasi	Unit 1 & 2	Unit 3 & 4
Daya Terpasang	65 MW	65 MW
Bahan Bakar	Minyak Residu	Minyak Residu
Bahan Bakar Awal	Minyak Solar	Minyak Solar



Gambar 3.2 Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Sumber : PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan



Gambar 3.3 Siklus Sistem Air Pendingin

Sumber : Dokumentasi Penulis

Tabel 2 Spesifikasi Komponen utama PLTU

Spesifikasi	Unit 1 & 2	Unit 3 & 4
Boiler		
Tipe	Radiasi, sirkulasi alam	Radiasi, sirkulasi alam
Pabrik Pembuat	Stein Industrie, Perancis	Sulzer AG, Swiss
Kapasitas	260 Ton / Jam	246 Ton / Jam
Tekanan Uap	90 Bar	89 Bar
Temperatur Uap	513 °C	513 °C
Temperatur Air Masuk	205 °C	209 °C
Sistem Udara Bakar	Kipas Tekan Paksa	Kipas Tekan Paksa
Turbin		
Tipe	Single silinder, non reheat	Single silinder, non reheat
Pabrik Pembuat	ABB, Jerman	ABB, Swiss
Putaran	3000 rpm	3000 rpm
Jumlah Tingkat Sudu	31 tingkat	43 tingkat
Tekanan Uap	88 Bar	86 Bar
Temperatur Uap	510 °C	510 °C
Jumlah Ekstraksi	5	5
Kondensor		
Tipe	Surface	CV30.44 – 2 – 99 – 2820
Pabrik Pembuat	Delas GEC Alsthom, Perancis	ABB, Swiss
Kapasitas Sirkulasi Air	9400 m ³ / Jam	9550 m ³ / Jam
Temperatur Air Masuk	30 °C	30°C
Jumlah Pipa	7966 buah	5040 buah
Diameter Luar Pipa, Tebal	22 x 0.5 mm	24 x 0.7 mm
Bahan Pipa	Titanium	Titanium



Gambar 3.4 Boiler

Sumber : Dokumentasi penulis



Gambar 3.5 Turbin

Sumber : Dokumentasi penulis



Gambar 3.6 *Condensor Tipe CV30+44-2-99-25250*

Sumber : Dokumentasi penulis

3.2.2 Alat Penelitian

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Digital Infrared Thermometer (Termometer Infra Merah)

Digital Infrared Thermometer menggunakan metode pengukuran suhu yang sangat cepat, tepat dan akurat pada objek yang diukur dari jarak jauh dan tanpa disentuh atau kontak langsung, sangat ideal untuk mengukur pada situasi dimana objek bergerak sangat cepat, sangat panas, dan jauh letaknya, dan berada di lingkungan yang berbahaya. Gambar 3.2 di bawah ini merupakan salah satu jenis thermometer yang digunakan pada temperatur tinggi



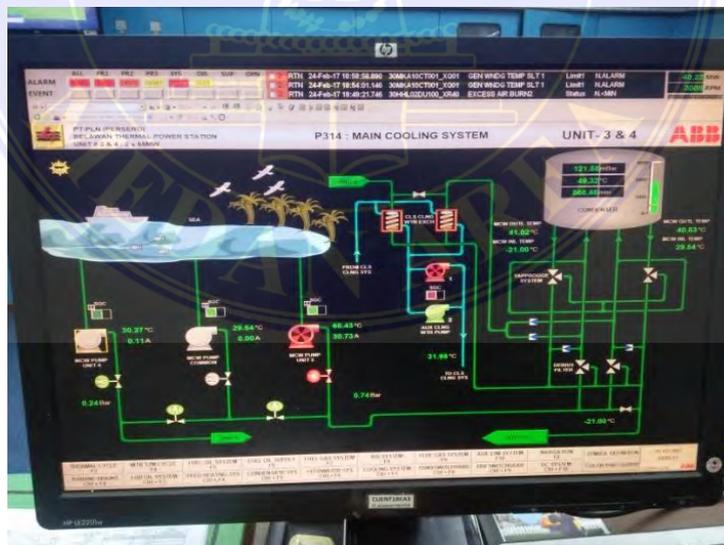
Gambar 3.7 *Thermometer Infra Merah*

Sumber : Dokumentasi Penulis

Digital Infrared Thermometer mengukur suhu menggunakan radiasi kotak hitam (biasanya infra merah) yang dipancarkan objek. Kadang disebut termometer laser atau tembak karena menggunakan laser untuk membantu pekerjaan pengukuran, atau termometer tanpa sentuhan untuk menggambarkan kemampuan alat mengukur suhu dari jarak jauh. Dengan mengetahui jumlah energi inframerah yang dipancarkan oleh objek dan emisinya, maka temperatur objek dapat dibedakan

2. Komputer

Komputer merupakan alat yang dapat digunakan untuk menghitung, mengolah data dan menganalisa suatu objek. Pada penelitian ini komputer digunakan untuk memonitor parameter pembangkit yang sedang operasi guna menjaga keandalan pembangkit tetap dalam performa terbaik. Gambar dibawah ini merupakan komputer yang dipergunakan untuk memonitor parameter pembangkit.



Gambar 3.8 Komputer

Sumber : Dokumentasi Penulis

3.3 Prosedur Pengambilan Data

Beberapa Metode yang digunakan untuk pengambilan data dalam menyusun Tugas Akhir ini adalah :

1. Metode Observasi

Yaitu metode pengumpulan data langsung mendatangi PLTU Unit sektor pembangkitan Belawan serta melihat kegiatan operasional unit condenser dan mencari data-data yang diperlukan.

2. Metode Wawancara

Yaitu metode pengumpulan data dengan cara mengadakan Tanya jawab kepada operator, teknisi ataupun supervisor serta bagian yang terkait dalam proses operasional *Condensor* untuk memperoleh data yang diperlukan.

3. Diskusi

Diskusi dilakukan dengan pembimbing, teman kerja praktek untuk memperoleh pengetahuan tentang analisa yang dilakukan.

4. Analisis Permasalahan

Analisis dilakukan dengan arahan pembimbing sehingga analisis dapat diambil kesimpulan dan saran perbaikan yang sesuai dengan disiplin ilmu teknik mesin.

5. Metode Kepustakaan

Yaitu metode pengumpulan data dengan cara studi literatur, seperti dokumen-dokumen dan manual book dari mesin yang digunakan dalam proses produksi. Dengan metode ini dapat menunjang data-data yang didapat melalui kedua metode di atas.

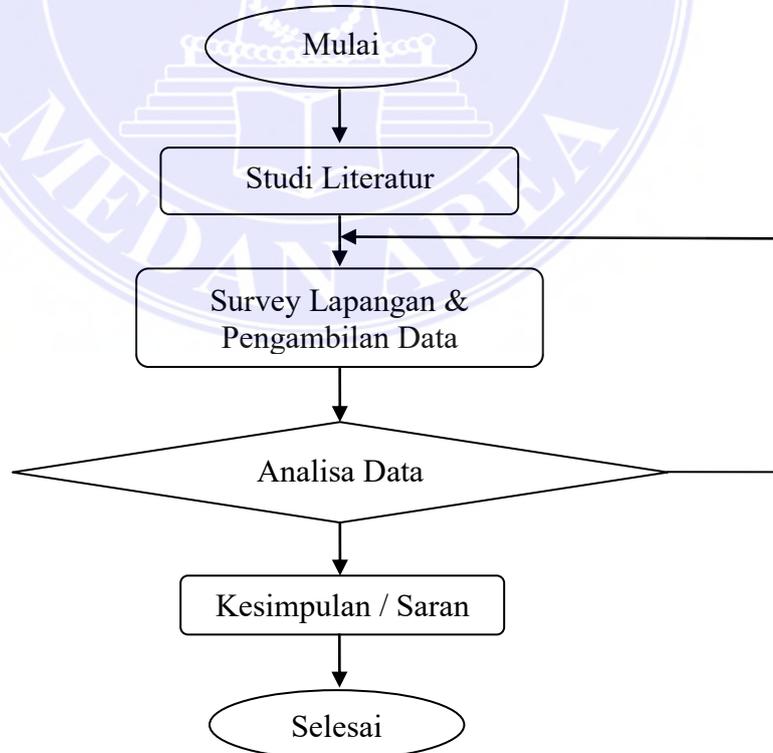
3.4 Jadwal Penelitian

Adapun jadwal kegiatan untuk pelaksanaan penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3 jadwal pelaksanaan kegiatan

No	Uraian	Bulan ke 1				Bulan ke 2				Bulan ke 3			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pembuatan Proposal	■	■										
2	Seminar Proposal			■									
3	Studi Pustaka			■	■								
4	Studi Data			■	■								
5	Perhitungan					■	■						
6	Penyusunan Skripsi					■	■	■	■				
7	Seminar hasil skripsi									■			
8	Perbaikan										■		
9	Sidang												■

3.3 Diagram Alir



Gambar 3.9 Diagram Alir

DAFTAR PUSTAKA

- Tunggul M. Sitompul. (1993), *Alat Penukar Kalor*, edisi 1. Cet . 1. Rajawali Pers, Jakarta
- Holman, J.P. (1986). *Perpindahan Kalor*. Erlangga, Jakarta
- Mauzalana F, Bono dan Wiwik Purwati W, (2014), *Analisa kinerja kondensor terhadap perubahan tekanan vakum di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon*, Jurnal Teknik energi Vol 10 No. 1 Januari 2014; 29-34
- Anggun Sukarno, Bono dan Budhi Prasetyo, (2014), *Analisa Perubahan Tekanan Vakum Kondensor terhadap Kinerja Kondensor di PLTU Tanjung Jati B unit 1*, Jurnal Teknik Energi Vol 10 No.2 Mei 2014;65-71
- Sert Robert W, (2007). *Process Heat Transfer Principles and Applications*
- D.Q. KERN, (1950), *Proses Heat Transfer*. Mc Grawill Book Company, Inc New York
- Mukherjee Rajiv, (1998), *Effectivity Design Shell and Tube Heat Exchanger*, Chem, Eng . Progress
- Taborek, J. (1982), *Shell and tube heat exchanger single phase flow*, In *heat Exchanger Design handbook*, section 3.3 Hemisphere, New York
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan, (2010), *Heat Exchanger*. PT. Perusahaan Listrik Negara (PERSERO)
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan, (2011), *Effisiensi*. PT. Perusahaan Listrik Negara (PERSERO)
- VDI- Verlag GmbH, (1983). *Heat Exchanger Design Hand Book*. Hemisphere Publishing Corporation, Washington.