

**ANALISA DAMPAK PENURUNAN KINERJA
LUBE OIL COOLER PADA TURBIN DI PLTU BELAWAN**

SKRIPSI

**OLEH :
MUHAMMAD RIZAL
158130019**

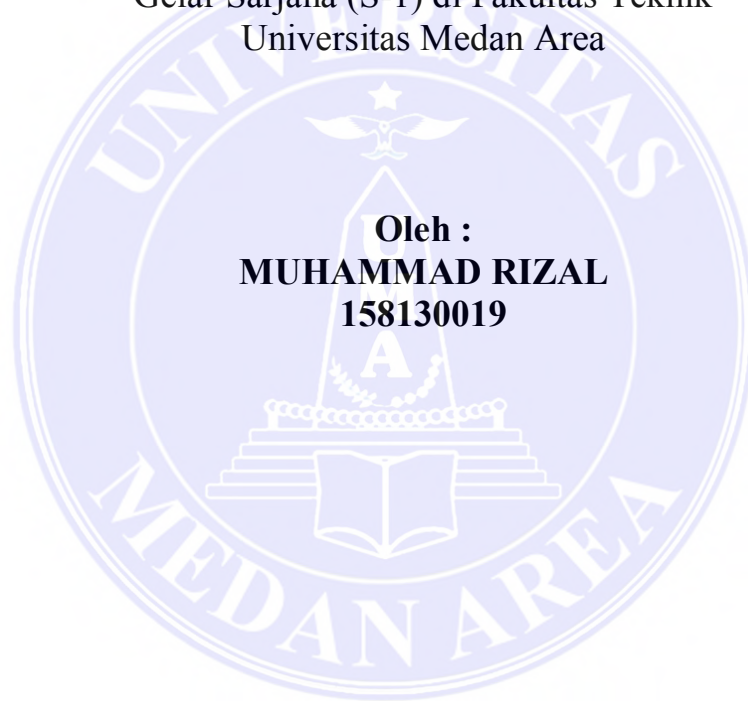


**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITASA MEDAN AREA
MEDAN
2017**

**ANALISA DAMPAK PENURUNAN KINERJA
LUBE OIL COOLER PADA TURBIN DI PLTU BELAWAN**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana (S-1) di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



**Oleh :
MUHAMMAD RIZAL
158130019**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITASA MEDAN AREA
MEDAN
2017**

HALAMAN ORISINALITAS

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana (S-1) merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya dengan jelas sesuai norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik dan sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 06 Desember 2017

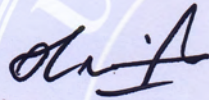


Muhammad Rizal
158130019

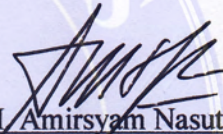
HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisa Dampak Penurunan Kinerja Lube Oil Cooler pada Turbin di PLTU Belawan
Nama : Muhammad Rizal
NPM : 158130019
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh,
Komisi Pembimbing



Ir. Husin Ibrahim, MT
Pembimbing I,



Ir. H. Amirsyam Nasution, MT
Pembimbing II

Mengetahui,



Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc
Dekan Fakultas Teknik



Bobby Omroh, ST.MT
Ketua Program Studi

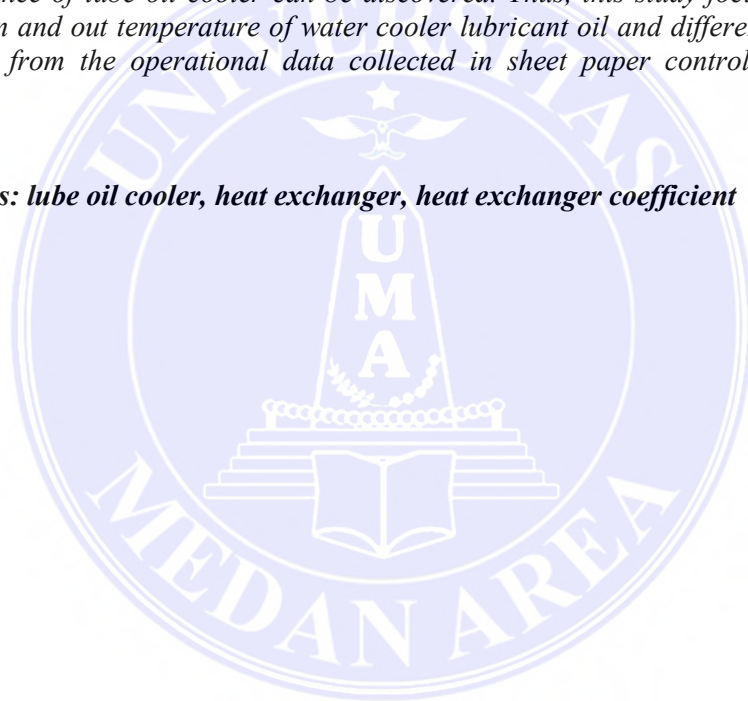
Tanggal Lulus : 06 Desember 2017

ABSTRACT

Muhammad Rizal. 158130019. "The Analysis of Impact in Decreasing Performance of Lube Oil Cooler in Turbines at Electric Steam Power Plant (PLTU) Belawan". Supervised by Ir. Husin Ibrahim, M.T. and Ir. H. Amirsyam Nasution, M.T.

Lube oil cooler is a cross flow compact heat exchanger which functions to release heat carried by lubricant oil streamed down through shell side to tube side with demineralized water cooler fluid where each liquid was separated inside the lube oil cooler. PT. PLN Generating Sector Belawan is one of the electric power plant unit in North Sumatera region which its performance and reliability has an important role in securing the continuity of electricity supply. Then, this study has been obtained the coefficient ratio of heat exchanger in shell side and tube pipe, also the effectiveness of heat exchanger occurred can be discovered by analysing the in and out temperature of water cooler flow and lubricant oil can be specified. Moreover, the impact and cause of decreasing performance of lube oil cooler can be discovered. Thus, this study focuses in analysing data of in and out temperature of water cooler lubricant oil and differential press which reflected from the operational data collected in sheet paper control room at PLTU Belawan.

Keywords: lube oil cooler, heat exchanger, heat exchanger coefficient

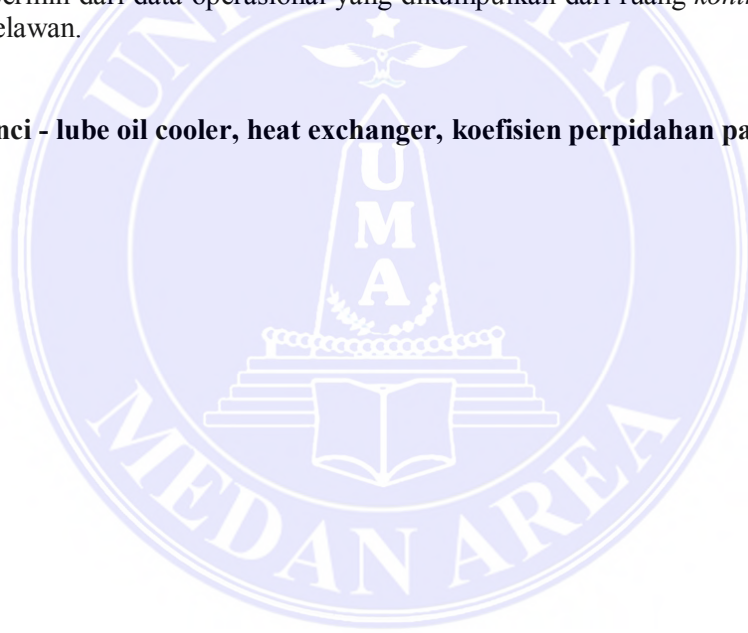


ABSTRAK

Muhammad Rizal. 158130019. “Analisa Dampak Penurunan Kinerja Lube Oil Cooler pada Turbin di PLTU Belawan”. Pembimbing Ir. Husin Ibrahim, M.T. dan Ir. H. Amirsyam Nasution, M.T.

Abstrak - *Lube oil cooler* adalah *cross flow compact heat exchanger* yang berfungsi untuk melepaskan panas yang dibawa oleh minyak pelumas dialirkan melalui sisi *shell* menuju sisi tube dengan fluida pendingin air demin dimana masing-masing cairan dipisahkan di dalam *lube oil cooler*. PT. PLN Sektor Pembangkit Belawan merupakan salah satu unit pembangkit tenaga listrik di wilayah Sumatera Utara yang kinerja dan keandalannya sangat penting untuk menjamin kelangsungan pasokan listrik. Dari penelitian ini, rasio koefisien perpindahan panas disisi shell dan pipa tube serta efektivitas perpindahan panas yang terjadi dapat diketahui dengan menganalisa temperatur masuk dan keluar aliran air pendingin dan minyak pelumas dapat ditentukan. Selain itu dampak dan penyebab penurunan kinerja *lube oil cooler* dapat diketahui. Penelitian ini berfokus pada analisis data temperatur masuk dan keluar pendingin minyak pelumas dan tekanan diferensial yang tercermin dari data operasional yang dikumpulkan dari ruang *kontrol lembar kertas* PLTU Belawan.

Kata kunci - lube oil cooler, heat exchanger, koefisien perpindahan panas



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur senantiasa kami limpahkan kepada pemilik alam semesta Allah SWT semata. Semoga keridhoanNya selalu menyertai hidupku, para Guruku, kedua orang tuaku dan keluargaku. Shalawat dan salam kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, semoga kelak kami mendapat safaatnya dan dipertemukan didalam JannahNya. Aamiin YRA...

Skripsi ini disusun sebagai syarat kelulusan untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana dengan Gelar Strata 1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area sesuai dengan kurikulum pendidikan tinggi yang berlaku. Dalam Skripsi ini penulis mengajukan judul “Analisa Dampak Penurunan Kinerja Lube Oil Cooler pada Turbin di PLTU Belawan” yang membahas tentang penelitian dan analisa prinsip kerja dari salah satu alat penukar kalor (*heat exchanger*) jenis *lube oil cooler* tipe *cooling water*. Selain itu penulis juga telah menganalisa/menghitung *heat exchanger* yang terjadi serta mengidentifikasi permasalahan dan penyelesaian masalah pada *lube oil cooler* sebagai dampak penurunan kinerja *lube oil cooler* pada Turbin di PLTU Unit-3 Belawan PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan.

Hingga penelitian dan penyusunan Skripsi ini selesai, penulis banyak mendapatkan pertolongan dari Allah SWT, bimbingan dan arahan dari para dosen pembimbing, dari teman’s penulis di PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan baik berupa proses penelitian, data-data yang dibutuhkan hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bpk. Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area;
2. Bpk. Ir. H. Darianto, M.Sc selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Medan Area;
3. Ibu Sherly Maulana, ST, MT selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Medan Area;
4. Bpk. Bobby Umroh, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area;

5. Bpk. Ir. Husin Ibrahim, MT selaku Pembimbing I dan Bpk. Ir. H. Amirsham Nasution, MT selaku Pembimbing II dalam memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis;
6. Terkhusus kepada keluarga tercinta Sumawarsih (istri) yang selalu mendampingi, memberikan semangat dan dukungan sejak awal penulis berniat melanjutkan jenjang pendidikan dari Diploma III Politeknik Negeri Medan th. 2006, mendaftar kuliah kembali th. 2015 hingga selesai & lulus Strata 1 Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area th. 2017. Ananda Muhammad Rifqi Al-Hafizh, Siti Aisyah (Almh.) & Muhammad Ar-Rayyan, Kedua Orang Tua Ibunda Sumiati, Ayahanda Wahyuddin, Kedua Mertua Ibu Surip, Bapak Subandi;
7. Kepada Kakak Delvi Andriani, Abang Ipar Ewin Arifin, Adik Siti Rahmawati, Adik Ipar Ansari Ginting, Adik-adikku Muhammad Affandi, Muhammad Arifin, Wardatul Jannah, Adik-adik Ipar Supri Awansyah dan Marlina Sari, Tri Rama Ginanda dan Julianti serta dukungan seluruh keluarga besarku yang tidak dapat dituliskan satu persatu;
8. Kepada teman-temanku di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan Syahriwan, Abdul Rahman, Haikal, dan Romi Septiawan di PT PLN (Persero) Sawahlunto, atas bantuannya selama pelaksanaan penelitian, pengambilan data, masukan & saran serta mohon do'akan agar hasil penulisan skripsi ini terus terjaga dan membawa manfaat bagi siapa saja yang membacanya dan yang terpeting mendapat Ridho Allah SWT. Aamiin YRA...

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih membutuhkan penyempurnaan tentunya dengan menyesuaikan perkembangan dinamika dan kemajuan teknologi industri pembangkit listrik berikutnya. Oleh sebab itu penulis tidak menutup kesempatan bagi setiap pihak untuk memberikan pendapat dan masukan yang membangun untuk kesempurnaan Skripsi ini.

Akhir kata semoga hasil penelitian dan skripsi ini dapat bermanfaat kepada kami maupun seluruh pembaca.

Penulis,
Medan, 06 Desember 2017
Muhammad Rizal

PE`RSEMBAHAN & PENGHARAPAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim...

*"...Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberikan ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan"
(Q.S. Al-Mujadillah : 11)*

"Yaa Allah..., lidungilah hambamu ini, jadikanlah semua ilmu yang Engkau berikan melalui para guru/dosenku bermanfaat bagiku. Ampunilah dosa kedua orang tuaku, para guru/dosenku dan para pemimpinku. Berikanlah kemudahan bagiku dalam mencari rezeki dimuka bumi ini yang halal lagi baik untukku dan keluargaku. Yaa Allah, Ridhoillah jalan hidup hambamu ini. Aamiin..."

Ku persembahkan Skripsi ini untuk kedua orang tuaku, para guru/dosenku dan keluargaku tercinta

*Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya kepada Tuhan-mu lah hendaknya kamu berharap"
(Q.S. Asy-Syarah : 6-8)*

Medan, 06 Desember 2017

Muhammad Rizal

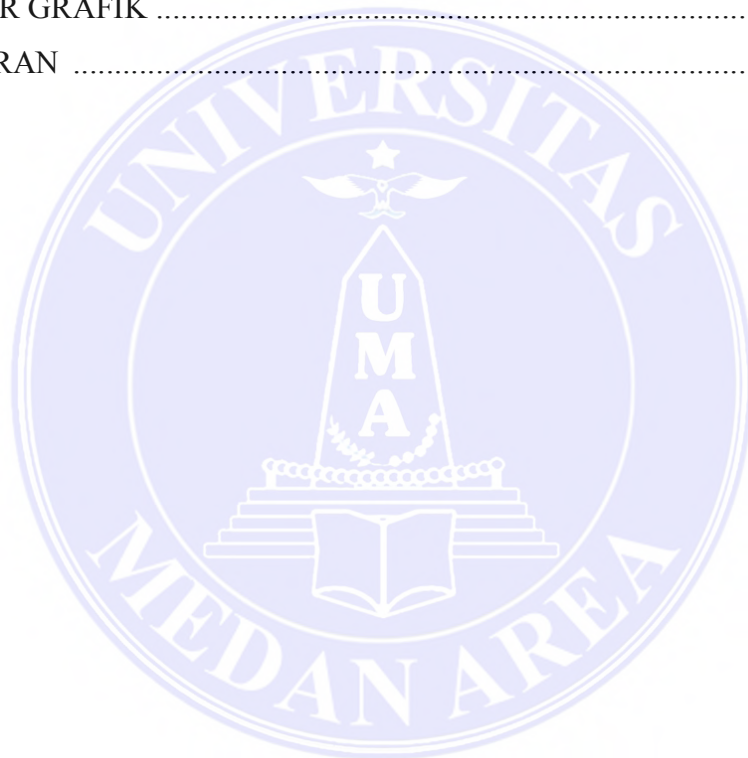


DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN ORISINALITAS	iv
KATA PENGANTAR	v
PERSEMBAHAN & PENGHARAPAN	vii
ABSTRACT (bahasa Inggris)	viii
ABSTRAK (bahasa Indonesia)	ix
DAFTAR ISI	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
2.1 Rumusan Masalah	3
3.1 Batasan Masalah	3
4.1 Tujuan Penelitian	4
5.1 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Teori	5
2.1.1. Perpindahan Panas Konduksi	5
2.1.2. Perpindahan Panas Konveksi	9
2.1.3. Perpindahan Panas Radiasi	12
2.1.4. Penukar Kalor (Heat Exchanger)	13
2.1.5. Klasifikasi penukar kalor berdasarkan susunan aliran fluida	13
2.1.6. Fouling Factor (Faktor Pengotoran)	18
2.1.7. Analisa Efektivitas Alat Penukar Kalor dengan Pendekatan LMTD	18
2.1.8. Analisa Metode NTU - Perpindahan Panas pada Alat Penukar Panas	19
2.1.9. High Pressure Water Heater	20

2.1.10. Simulasi Computational Fluid Dynamics	23
2.2 Siklus Kerja PLTU Belawan	25
2.3 Sistem Pelumasan pada PLTU Belawan	28
2.3.1 Prinsip dasar Pelumasan	28
2.3.2 Rotor Turbin PLTU dan Bantalan	32
2.3.3 Pemurnian Minyak Pelumas	34
2.3.4 Oil Conditioning	36
2.3.5 Siklus Pelumasan	39
2.3.6 Sistem Pelumasan pada PLTU Unit 3 Belawan	44
2.3.7 Pompa	48
2.4 Sistem Pendingin Pelumasan pada PLTU Belawan	54
BAB III METODE PENELITIAN	59
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	59
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	60
3.3 Proses Penelitian	63
3.4 Flow Chart Penelitian	65
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	68
4.1 Analisa Data	68
4.2 Analisa Perhitungan Temperatur pada Lube Oil dan Cooling Water berdasarkan Data Spesifikasi Unit	73
4.2.1 Perhitungan Unit di sisi Tube (Cooling Water)	78
4.2.2 Perhitungan unit disisi Shell (Lube Oil)	82
4.3 Analisa Perhitungan Temperatur pada Lube Oil dan Cooling Water berdasarkan Data Hasil Pengamatan	90
4.4 Hasil dan Pembahasan	99
4.4.1 Sketsa Alur Proses Kerja Lube Oil Cooler	100
4.4.2 Penyebab Turunnya Performance Lube Oil Cooler	101
4.4.3 Pemeliharaan Rutin Pada Lube Oil Cooler	103

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	105
5.1 Kesimpulan.....	105
5.2 Saran	107
 DAFTAR PUSTAKA	 108
 DAFTAR GAMBAR.....	 xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GRAFIK	xvii
LAMPIRAN	xviii



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Perpindahan Panas Konduksi pada Dinding	6
Gambar 2.2. Arah Aliran Panas dalam Skala Temperatur	7
Gambar 2.3. Perpindahan Panas Konveksi.....	9
Gambar 2.4. Perpindahan Panas Konveksi Paksa	10
Gambar 2.5. Perpindahan Kalor Secara Konveksi pada Suatu Plat Datar	11
Gambar 2.6. Perpindahan Panas Radiasi.....	12
Gambar 2.7. Pertukaran Panas dengan Aliran Searah (<i>Co-Current/Parallel Flow</i>)	14
Gambar 2.8. Pertukaran Panas Arah Aliran Berlawanan (<i>Counter Current/Flow</i>)	16
Gambar 2.9. Pertukaran Panas Aliran Silang (<i>Cross Flow</i>)	17
Gambar 2.10. Feedwater Heater dan Bagian-bagiannya	21
Gambar 2.11. Iso-surface Kontur Temperatur pada Kapasitas 50 Gpm untuk Susunan <i>Cooler</i> (a). Seri (b). Paralel	23
Gambar 2.12. Iso-surface Kontur Kecepatan pada Kapasitas 50 Gpm untuk Susunan <i>Cooler</i> (a). Seri (b). Paralel	24
Gambar 2.13. Proses Konversi Energi pada PLTU	25
Gambar 2.14. Skema Proses Kerja pada PLTU	27
Gambar 2.15. Diagram Siklus Aliran Air dan Uap pada PLTU Belawan	28
Gambar 2.16. Pergerakan Putaran Poros (<i>Shaft</i>) Turbin terhadap Bearing & Minyak Pelumas	29
Gambar 2.17. Pelumasan Batas (A) dan Pelumasan Film (B)	29
Gambar 2.18. Rotor Turbin PLTU	32
Gambar 2.19. Bearing Journal	33
Gambar 2.20. Bearing Aksial	34
Gambar 2.21. Sistem Penyaringan <i>Oil Sentrifugal</i>	35
Gambar 2.22. Saringan Minyak Pelumas	36
Gambar 2.23. <i>Oil Conditioning</i>	37
Gambar 2.24. Pemurnian Minyak Pelumas dengan Menggunakan Tangki Pengendap	38

Gambar 2.25. Sistem Pelumasan Utama	39
Gambar 2.26. Instalasi Unit <i>Lube Oil Cooler</i> dengan Fluida Pendingin Air Demin	42
Gambar 2.27. Diagram Proses Kerja <i>Lube Oil Cooler</i>	42
Gambar 2.28. Skema Lube Oil System pada PLTU Unit 3 Belawan	44
Gambar 2.29. Diagram Sistem Pelumasan pada PLTU Unit 3 Belawan	44
Gambar 2.30. Gland Seal Steam dan Perapat Labirin	47
Gambar 2.31. Pompa Roda Gigi Dalam	49
Gambar 2.32. Pompa Roda Gigi Luar	50
Gambar 2.33. Pompa-Pompa Ulir	50
Gambar 2.34. Pompa Piston dan Cam	51
Gambar 2.35. Pompa Lobe	51
Gambar 2.36. Pompa Sudu Luncur	52
Gambar 2.37. Pompa Sentrifugal Tipe Volute	53
Gambar 2.38. Pompa Sentrifugal dengan Diffuser	54
Gambar 2.39. <i>Lay Out Oil Cooler</i> pada Sistem Pelumasan	54
Gambar 2.40. Siklus Condensat	57
Gambar 2.41. <i>Heat Exchanger (HE)</i>	58
Gambar 2.42. Sistem Air Pendingin <i>Auxiliary</i>	58
Gambar 3.1. PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan	59
Gambar 3.2. <i>Lube Oil Cooler</i> pada PLTU Unit-3	60
Gambar 3.3. Monitor <i>Lube Oil Cooler</i> di Control Room pada PLTU Unit-3	61
Gambar 3.4. Digital Infrared Thermometer	62
Gambar 3.5. Pressure Gauges yang dipasang pada <i>Lube Oil Cooler</i>	62
Gambar 3.6. <i>Flow Chart</i> Penelitian (Diagram Alur Proses Penelitian)	65
Gambar 4.1. Instalasi Unit <i>Lube Oil Cooler</i> dari Beberapa Sisi dilokasi Terpasang	69
Gambar 4.2. Detail dan Dimensi <i>Lube Oil Cooler</i> Terpasang	70
Gambar 4.3. Detail Komponen <i>Lube Oil Cooler</i> Terpasang	70
Gambar 4.4. Diagram Alur Proses Kerja <i>Lube Oil Cooler</i>	73
Gambar 4.5. Aliran <i>Counter Flow</i> dan Profil Temperatur	73
Gambar 4.6. Dimensi <i>Tube</i> dan Arah Aliran <i>Lube Oil</i> didalam <i>Lube Oil</i>	

<i>Cooler</i>	82
Gambar 4.7. Dimensi Susunan Pipa Tube didalam Lube Oil Cooler	82
Gambar 4.8. Detail Perhitungan Dimensi dan Susunan Pipa Tube	83
Gambar 4.9. Penempatan Lube Oil Cooler pada Instalasi Lube Oil System Turbin Unit-3 Sektor Pembangkitan Belawan	99
Gambar 4.10. Alur Proses Kerja Fluida Masuk dan Keluar pada Lube Oil Cooler	101
Gambar 4.11. Permasalahan pada <i>Lube Oil Cooler</i> yang Umum Terjadi	102
Gambar 4.12. Pemeliharaan Rutin pada Lube Oil Cooler	104

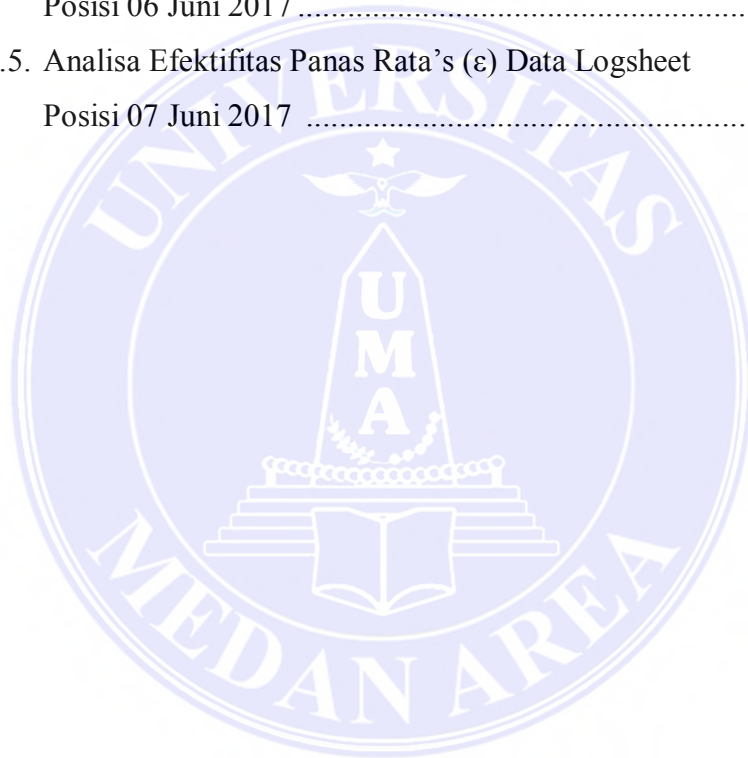


DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Konduktivitas Termal (<i>k</i>) Bahan pada 0 °C	8
Tabel 2.2. Analisis Termal terhadap <i>High Pressure Water Heater</i>	21
Tabel 2.3. <i>Pressure Drop</i> terhadap <i>High Pressure Water Heater</i>	22
Tabel 2.4. Nilai <i>Effectiveness</i> terhadap <i>High Pressure Water Heater</i>	22
Tabel 2.5. Sumbatan (<i>plugging</i>) terhadap <i>High Pressure Water Heater</i>	22
Tabel 4.1. Spesifikasi <i>Lube Oil Cooler</i> Berdasarkan Data Desing Terpasang.	71
Tabel 4.2. Dimensi <i>Lube Oil Cooler</i>	72
Tabel 4.3. Sifat-sifat Air (Cair Jenuh)	74
Tabel 4.4. <i>Thermophysical Properties Enggine Oil, Unused</i>	75
Tabel 4.5. Data Hasil Interpolasi Data Properties <i>Cooling Water & Lube Oil</i> .	76
Tabel 4.6. Data <i>Logsheets</i> Posisi 03 Juni 2017	90
Tabel 4.7. Data <i>Logsheets</i> Posisi 04 Juni 2017	92
Tabel 4.8. Data <i>Logsheets</i> Posisi 05 Juni 2017	93
Tabel 4.9. Data <i>Logsheets</i> Posisi 06 Juni 2017	95
Tabel 4.10. Data <i>Logsheets</i> Posisi 07 Juni 2017	96

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 4.1. Analisa Efektifitas Panas Rata's (ϵ) Data Logsheetsheet Posisi 03 Juni 2017	91
Grafik 4.2. Analisa Efektifitas Panas Rata's (ϵ) Data Logsheetsheet Posisi 04 Juni 2017	93
Grafik 4.3. Analisa Efektifitas Panas Rata's (ϵ) Data Logsheetsheet Posisi 05 Juni 2017	94
Grafik 4.4. Analisa Efektifitas Panas Rata's (ϵ) Data Logsheetsheet Posisi 06 Juni 2017	96
Grafik 4.5. Analisa Efektifitas Panas Rata's (ϵ) Data Logsheetsheet Posisi 07 Juni 2017	98



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan merupakan salah satu unit PT PLN (Persero) dibidang pembangkitan energi listrik yang beroperasi untuk ketersediaan pasokan energi listrik diwilayah Sumatera Bagian Utara. Mesin Pembangkitan listrik yang dioperasikan adalah PLTU dan PLTGU, oleh sebab itu keandalan kinerja unit Mesin Pembangkit tersebut sangatlah diharapkan.

Pada mesin Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang dimiliki sektor Pembangkitan Belawan terdapat 4 unit PLTU, dengan daya terpasang masing-masing 65 MW. Menggunakan bahan bakar MFO (*Marine Fuel Oil*) pada PLTU Unit 1 dan 2, dan pada PLTU unit 3 & 4 memiliki design berbeda dengan bahan bakar campuran (mixing) MFO dengan Nature Gas.

Pada turbin di PLTU Pembangkitan Belawan, terdapat banyak sekali bagian yang saling bersinggungan/kontak langsung antara satu dengan lainnya yang dapat menimbulkan gesekan dan panas saat beroperasi. Gesekan adalah gaya yang cenderung menghambat atau melawan gerakan/putaran suatu peralatan yang beroperasi dan dapat menimbulkan panas, keausan hingga kerusakan pada material mesin.

Lube oil cooler merupakan *cross flow compact heat exchanger* yang berfungsi untuk mendinginkan minyak pelumas yang akan didistribusikan pada bearing-bearing turbin dan generator. Proses pendinginan terjadi dengan cara minyak pelumas mengalir melalui sisi *shell* sedangkan aliran air pendingin

(*demin*) mengalir melalui sisi *tube* sehingga masing-masing fluida tidak bersinggungan langsung didalam *lube oil cooler*. Dengan demikian proses penyerapan panas dari minyak pelumas terjadi secara konveksi.

Dalam aplikasinya *lube oil cooler* terdiri dari 2 unit *cooler* namun yang bekerja salah satu dan yang satunya lagi pada posisi standby (apabila diperlukan pemeliharaan/perbaikan) maka dilakukan change over secara online (pada saat unit turbin sedang beroperasi).

Pemasangan *lube oil cooler* pada proses pendinginan minyak pelumas, diperlukan untuk meningkatkan *cooling load*. Untuk itu diperlukan pemasangan *lube oil cooler* yang sesuai untuk menghasilkan *cooling capacity* yang baik. Semakin seragam *flow rate* yang masuk dalam *tube* maka efektifitas perpindahan panas akan semakin baik.

Ketika unit turbin beroperasi, setiap gesekan dan juga kenaikan temperatur kerja turbin yang terjadi akan sangat mempengaruhi temperatur minyak pelumas dan juga performance turbin. Sistem pelumasan diperlukan untuk mensupply minyak pelumas bersih bertekanan dan suhu tertentu kedalam bearing turbin, bearing alternator, bearing kompresor, bearing Load Gear, sistem kontrol, sistem pengaman dan sebagainya. Selain untuk melumasi seluruh komponen mesin, minyak pelumas juga berfungsi sebagai media pendingin. Temperatur komponen akan diserap dan dibawa mengalir bersama dengan aliran minyak pelumas.

Dari latar belakang di atas, perlu diadakan penelitian yang berhubungan dengan kecepatan perpindahan panas (*heat transfer rate*) pada sistem Lube Oil Cooler, dengan judul “Analisa Dampak Penurunan Kinerja Lube Oil Cooler pada Turbin di PLTU Belawan”

1.2 Rumusan Masalah

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa *Lube Oil Cooler* berfungsi untuk mendinginkan minyak pelumas yang berada didalam *reservoir oil tank* untuk kemudian dialirkan kembali dalam operasional unit-unit yang membutuhkan.

Rumusan masalah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi analisa kinerja *Lube Oil Cooler* pada kondisi existing pada Turbin di PLTU Belawan.

Bagaimana efektifitas penyerapan/perpindahan panas (*heat transfer rate*) pada lube oil cooler, fluida pendingin yang digunakan dan dampak apa yang akan timbul bila kinerja *lube oil cooler* menurun/gagal menjalankan fungsinya.

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini meliputi :

1. Menganalisa proses kerja *lube oil cooler* dengan fluida pendingin air
2. Menghitung *heat transfer* pada *lube oil cooler*.
3. Mengidentifikasi permasalahan dan penyelesaian masalah pada *lube oil cooler* sebagai dampak penurunan kinerja *lube oil cooler*

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah agar pelaksanaan serta hasil yang diperoleh sesuai yang diharapkan. Adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian dilakukan di PLTU Pembangkitan Belawan, Sumatera Utara, Indonesia yang difokuskan pada sistem pendingin *lube oil cooler* pada unit PLTU kapasitas terpasang 65 MW dengan fluida pendingin *demin water* sedangkan fluida yang didinginkan adalah minyak pelumas turbin. Fluida yang

melewati pipa-pipa *tube* adalah *demin water* sedangkan fluida yang melewati *shell* adalah minyak pelumas.

- b. Menghitung *heat transfer* yang terjadi pada *lube oil cooler* dengan cara melakukan sampling data saat unit PLTU sedang beroperasi serta menganalisa faktor penyebab dan dampak yang akan terjadi apabila kinerja *Lube Oil Cooler* mengalami penurunan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penulis melalui hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu memberikan feedback kepada PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan khususnya di PLTU unit 3 & 4 dalam memonitoring kinerja Lube Oil Cooler pada turbin.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan pada penelitian ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan kepada penulis serta pihak yang terkait didalamnya, yaitu sebagai berikut :

- a. Bagi Penulis : mengetahui sistem kerja *lube oil cooler* dan menghitung *heat transfer* yang terjadi dan mengidentifikasi permasalahan pada *lube oil cooler*
- b. Bagi Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area : hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi tambahan bagi civitas akademik khususnya Program Studi Teknik Mesin.
- c. Bagi PT PLN unit PLTU Pembangkitan Belawan : mendapat *feedback* dalam memonitor kinerja *lube oil cooler* pada turbin di PLTU Belawan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

Hukum Kekekalan Energi (Hukum I Termodinamika) berbunyi : “*Energi dapat berubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi yang lain tetapi tidak bisa diciptakan atau dimusnahkan (konversi energi)*”. Sedangkan bila dalam sebuah sistem tertutup menyatakan bahwa “*jumlah energi tidak dapat berubah, ia akan tetap sama*”. misalnya merubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Energi listrik dapat dihasilkan oleh pusat-pusat pembangkit listrik. Dibutuhkan suatu alat yang dapat mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik, yang dikenal dengan sebutan *Generator*. Untuk menghasilkan energi listrik yang handal, generator harus bekerja sesuai dengan kapasitas dan spesifikasinya.

Proses perpindahan kalor/panas yang terjadi pada suatu kondisi tertentu menandakan adanya perpindahan energi karena perbedaan suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas atau lebih dikenal dengan laju perpindahan panas.

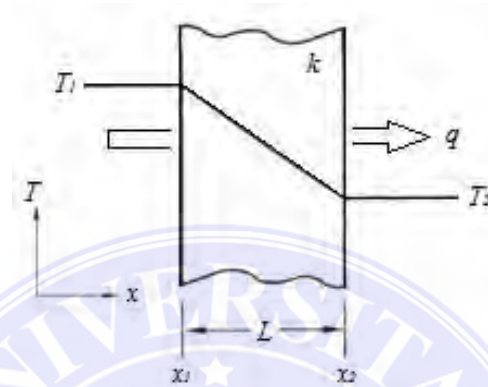
Dengan demikian perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat perbedaan temperatur pada daerah tersebut. terdapat tiga bentuk perpindahan panas yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

2.1.1. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas yang mengalir dari daerah bertemperatur tinggi ke daerah bertemperatur rendah dalam

suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum.

Gambar 2.1. Perpindahan Panas Konduksi pada Dinding



Sumber gambar J.P. Holman, 1994

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi berbanding lurus dengan gradien suhu normal yang dinyatakan dengan persamaan

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{J.P. Holman, 1994}) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

q : Laju Perpindahan Panas (kj/det W)

k : Konduktifitas Termal (W/m °C)

A : Luas Penampang (m²)

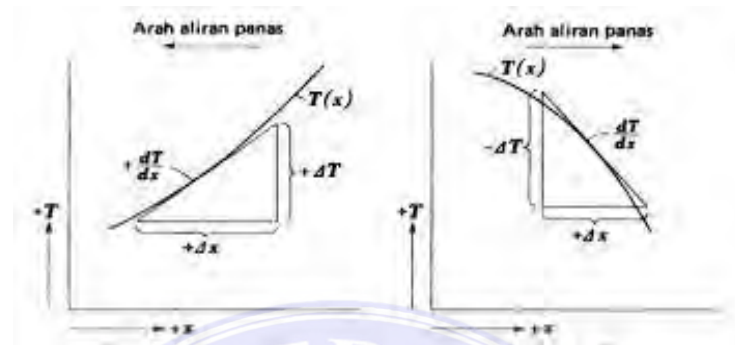
dT : Perbedaan Temperatur (°C, °F)

dx : Perbedaan Jarak (m/det)

dT/dx : gradient temperatur kearah perpindahan kalor, konstanta positif (k) disebut konduktifitas atau kehantaran termal benda. Tanda minus (-) disisipkan agar

memenuhi hukum II termodinamika, bahwa kalor mengalir ke arah tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur.

Gambar 2.2. Arah Aliran Panas dalam Skala Temperatur



Sumber gambar J.P. Holman, 1994

Hubungan aliran panas secara konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas pada permukaan *isothermal* dan *gradient* pada permukaan suatu dinding benda datar tersebut dalam setiap waktu atau dikenal dengan Hukum Fourier. Hal ini berlaku juga pada setiap titik suatu benda yang mengalami perpindahan panas. Penerapan Hukum Fourier jika diintegrasikan dengan (persamaan 2.1) maka akan diperoleh persamaan berikut :

$$q_k = - \frac{kA}{\Delta x} (T_2 - T_1) \quad (J.P. Holman, 1994) \dots\dots\dots (2.2)$$

Bila konduktivitas termal (*thermal conductivity*) dianggap tetap, tebal dinding adalah Δx , sedangkan T_1 dan T_2 adalah temperatur permukaan dinding, dan konduktivitas berubah menurut hubungan linear dengan temperatur $k = k_0(1) + \beta T$, maka persamaan aliran kalor menjadi :

$$q_k = - \frac{k_0 A}{\Delta x} \left[T_2 - T_1 + \frac{\beta}{2} (T_2^2 - T_1^2) \right] \quad (J.P. Holman, 1994) \dots\dots\dots (2.3)$$

Konduktivitas Termal

Tetapan kesebandingan (k) adalah sifat fisik bahan atau material yang disebut konduktivitas termal. Persamaan (2.1) merupakan persamaan dasar dalam

konduktivitas termal. Dengan menggunakan persamaan tersebut, maka dapat dilakukan percobaan pengukuran konduktifitas termal berbagai bahan pada temperatur 0 °C.

Tabel 2-1 Konduktivitas Termal (*k*) Bahan pada 0 °C

Bahan	<i>W/m. °C</i>	<i>Btu/h.ft.F</i>
<i>logam</i>		
perak (murni)	410	237
tembaga (murni)	385	223
aluminium (murni)	202	117
nikel (murni)	93	54
besi (murni)	73	42
Baja karbon, 1% C	43	25
Timbal (murni)	35	20,3
baja karbon-nikel (18% cr, 8% ni)	16,3	9,4
<i>bukan logam</i>		
magnesit	4,15	2,4
marmar	2,08 - 2,94	1,2 - 1,7
<i>Zat cair</i>		
Air	0,556	0,327
Amonia	0,540	0,312
Minyak pelumas, SAE 50	0,147	0,085
Freon 12, 22FCCI	0,073	0,042
<i>Gas</i>		
Hidrogen	0,175	0,101

Helium	0,141	0,081
Udara	0,024	0,0139
Uap air (jenuh)	0,0206	0,0119

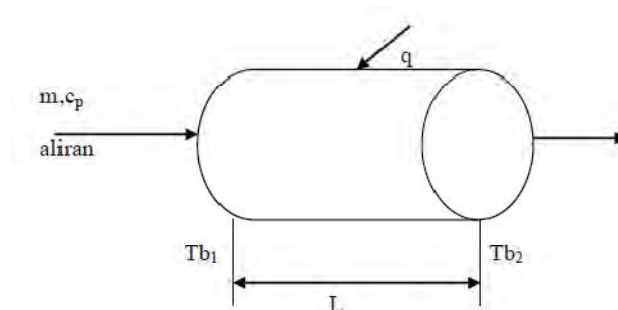
Sumber tabel J.P. Holman, 1994

2.1.2. Perpindahan Kalor Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi karena adanya gerakan/aliran/pencampuran dari bagian yang panas ke bagian yang dingin. Contoh yang sering kita jumpai yaitu pendinginan dari secangkir kopi panas, makanan panas, kehilangan panas dari radiator mobil, dll.

Perpindahan panas konveksi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis menurut cara gerakan alirannya, yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free/natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa/eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*).

Gambar 2.3. Perpindahan Panas Konveksi



Sumber gambar J.P. Holman, 1994

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

$$q_k = - hA(T_w - T_\infty) \quad (J.P. Holman, 1994) \dots\dots\dots (2.4)$$

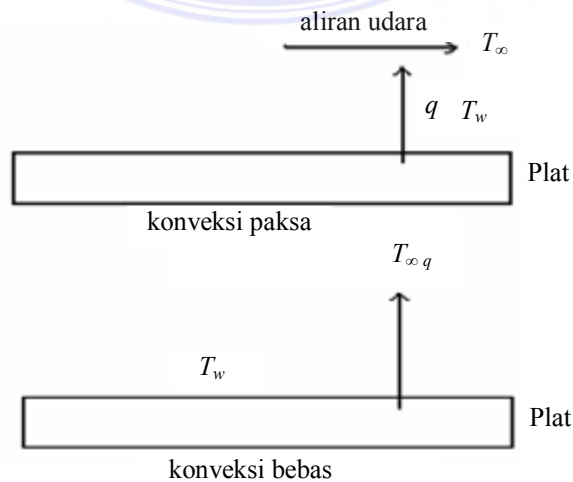
Keterangan :

- q : Laju perpindahan panas (kJ/s atau $Watt$)
- h : Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
- A : Luas bidang permukaan perpindahan panas (ft^2, m^2)
- T_w : Temperature dinding ($^\circ C, K$)
- T_∞ : Temperature sekeliling ($^\circ C, K$)

Tanda minus (-) digunakan untuk memenuhi hukum II termodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif (+).

Persamaan (2.4) mendefinisikan tahanan panas terhadap konveksi. Koefisien perpindahan panas permukaan h , bukanlah suatu sifat zat, melainkan besarnya laju perpindahan panas didaerah terdekat permukaan tersebut.

Gambar 2.4 Perpindahan Panas Konveksi Paksa



Sumber gambar J.P. Holman, 1994

Perpindahan panas konveksi paksa, dalam kenyataannya sering dijumpai karena dapat meningkatkan efisiensi pemanasan maupun pendinginan satu fluida dengan fluida yang lain.

Bilangan Reynolds

Transisi dari aliran laminar menjadi turbulen terjadi apabila :

$$\frac{X \cdot U_{\infty}}{\nu} = \frac{\rho \cdot X \cdot U_{\infty}}{\mu} > 5 \times 10^5$$

Keterangan :

U_{∞} : kecepatan aliran bebas

X : jarak dari tepi depan

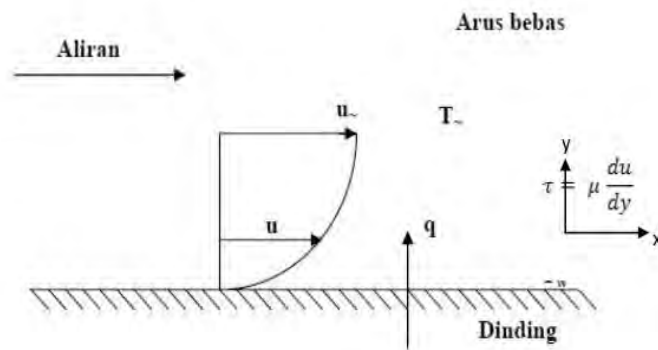
$\nu = \mu/\rho$: viskositas kinematik

Pengelompokan khas diatas disebut Bilangan Reynolds dan angka ini tidak berdimensi bila semua sifat-sifat diatas digunakan perangkat satuan yang konsisten.

$$Re_x = \frac{xU_{\infty}}{\nu} \quad (J.P. Holman, 1994) \dots\dots\dots (2.4)$$

Pada konveksi pelat rata akan mendingin lebih cepat dapat dilihat pada gambar berikut ini :

Gambar 2.5. Perpindahan Kalor Secara Konveksi pada Suatu Plat Datar



Sumber gambar J.P. Holman, 1994

Keterangan :

u : koefisien perpindahan panas ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

u_{\sim} : koefisien perpindahan panas menyeluruh ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

q : laju perpindahan panas (kj/det atau W)

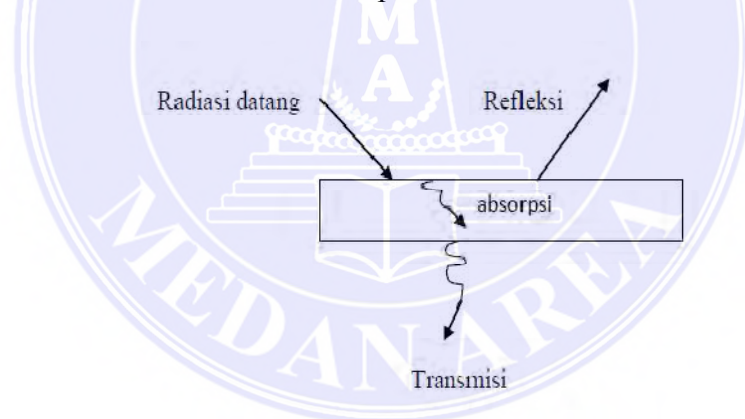
T_w : temperatur permukaan dinding ($^\circ C$, $^\circ K$)

T_{\sim} : temperatur sekeliling ($^\circ C$, $^\circ K$)

2.1.3. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses mengalirnya panas dari benda bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur rendah yang masing-masing benda berada di dalam ruang yang sama, bahkan jika terdapat diruang hampa diantara benda-benda tersebut.

Gambar 2.6. Perpindahan Panas Radiasi



Sumber gambar J.P. Holman, 1994

Energi/panas radiasi dipancarkan oleh benda karena temperatur tinggi, yang dipindahkan melalui ruang hantar dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bila energi radiasi mengenai suatu bahan, maka sebagian radiasi akan dipantulkan, sebagian lain diserap oleh bahan dan sebagian lainnya diteruskan kebagian yang lain seperti gambar 2.5.

Untuk menghitung besarnya energi radiasi dapat digunakan persamaan :

$$Q_{pancar} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (J.P. Holman, 1994) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

Q_{pancar} : laju perpindahan panas (*Watt*)

σ : konstanta boltzman ($5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

A : luas permukaan benda (m^2)

T : temperatur absolut benda (K)

2.1.4. Penukar Kalor (Heat Exchanger)

Penukar kalor/panas (*heat exchanger*) adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida atau lebih yang memiliki perbedaan temperatur. Temperatur panas fluida yang tinggi akan berpindah ke fluida yang bertemperatur rendah. Perpindahan panas tersebut dapat terjadi dengan cara kontak langsung maupun tidak langsung.

Pada *lube oil cooler* turbin unit-3 di PLTU Belawan, proses perpindahan panas terjadi secara tidak langsung yaitu menggunakan media perantara pipa-pipa *tube*. Fluida bertemperatur panas (minyak pelumas) akan didinginkan dengan cara dialirkan melalui sisi shell (menyelimuti sisi luar pipa-pipa *tube*) sedangkan fluida pendingin (air demin) dialirkan melalui sisi dalam pipa-pipa *tube*. Untuk meningkatkan efektivitas pertukaran energi, umumnya digunakan material pipa tube berbahan tembaga atau aluminium yang memiliki konduktivitas termal tinggi.

2.1.5. Klasifikasi penukar kalor berdasarkan susunan aliran fluida

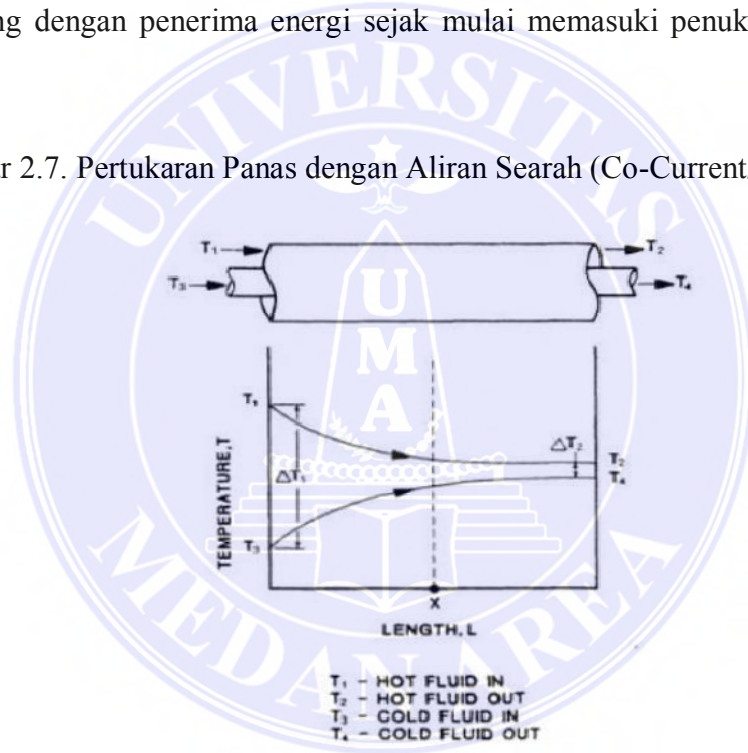
Susunan aliran fluida bertujuan untuk menentukan berapa kali suatu fluida mengalir di sepanjang penukar kalor sejak saat masuk hingga meninggalkannya

dan bagaimana arah aliran relatif antara kedua fluida (apakah sejajar/parallel, berlawanan arah/counter atau bersilangan/cross).

a. Pertukaran Panas dengan Aliran Searah (Co-Current/Parallel Flow)

Apabila arah aliran kedua fluida di dalam sistem penukar kalor mengalami arah aliran yang searah/sejajar. Kedua fluida masuk pada sisi yang satu dan keluar dari sisi yang lain dan mengalir dengan arah yang sama. Karakter penukar panas jenis ini, temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dibanding dengan penerima energi sejak mulai memasuki penukar kalor hingga keluar.

Gambar 2.7. Pertukaran Panas dengan Aliran Searah (Co-Current/Parallel Flow)



Sumber gambar J.P. Holman, 1994

Dari gambar diatas, laju perpindahan panas dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$q = \dot{m}.c.(T_1 - T_2) = \dot{m}.c.(T_4 - T_3) \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- q : laju perpindahan panas (*watt*)
- \dot{m} : laju alir massa fluida (*kg/s*)

c : kapasitas kalor spesifik ($J/kg.^{\circ}C$)

T : suhu fluida ($^{\circ}C$)

Dengan asumsi nilai kapasitas kalor spesifik (c_p) fluida dingin dan fluida panas adalah konstan, tidak ada kehilangan panas ke lingkungan serta dalam keadaan steady state, maka kalor yang dipindahkan :

$$q = U \cdot A \cdot T_{LMTD} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

U : koefisien perpindahan panas secara keseluruhan ($W/m^2.^{\circ}C$)

A : luas perpindahan panas (m^2)

Untuk menentukan nilai T_{LMTD} (*Log Mean Temperature Difference*) dinyatakan dengan persamaan berikut

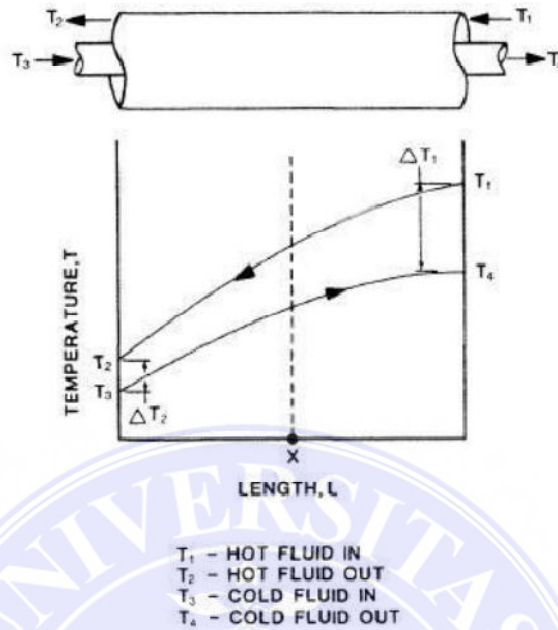
$$T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana : $\Delta T_2 = (T_2 - T_4)$, dan $\Delta T_1 = (T_1 - T_3)$

b. Pertukaran Panas Arah Aliran Berlawanan (*Counter Current/Flow*)

Kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan dan keluar pada sisi yang berlawanan pula. Tipe alat penukar kalor ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima panas (fluida pendingin) saat keluar penukar kalor (T_4) lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan panas (fluida panas) saat meninggalkan alat penukar kalor tersebut.

Gambar 2.8. Pertukaran Panas Arah Aliran Berlawanan (Counter Current/Flow)



Sumber gambar J.P. Holman, 1994

Dari gambar diatas, laju perpindahan panasnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$q = \dot{m}_h \cdot c_h \cdot (T_1 - T_2) = \dot{m}_c \cdot c_c \cdot (T_4 - T_3) \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

q : laju perpindahan panas (*watt*)

\dot{m}_h : laju alir massa fluida panas (*kg/s*)

c_h : kapasitas kalor spesifik fluida panas (*J/kg.°C*)

$T_1 - T_2$: temperatur fluida panas (*°C*)

\dot{m}_c : laju alir massa fluida pendingin (*kg/s*)

c_c : kapasitas kalor spesifik fluida pendingin (*J/kg.°C*)

$T_4 - T_3$: temperatur fluida pendingin (*°C*)

Untuk menentukan nilai T_{LMTD} (*Log Mean Temperature Difference*) dinyatakan dengan persamaan berikut

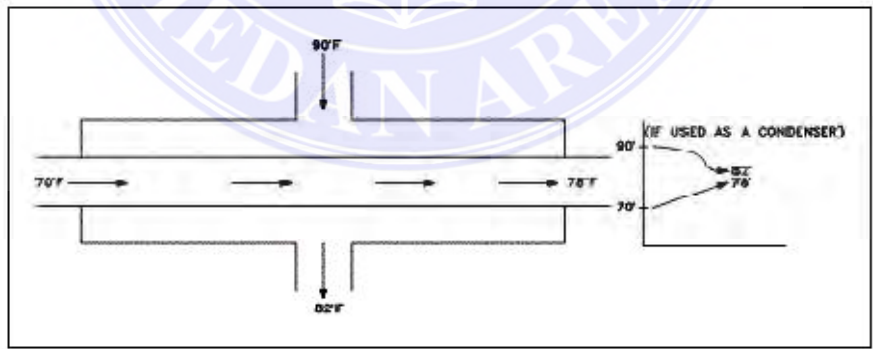
$$T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana : $\Delta T_1 = (T_1 - T_4)$ dan $\Delta T_2 = (T_2 - T_3)$

c. Pertukaran Panas Aliran Silang (*Cross Flow*)

Arah aliran kedua fluida saling bersilangan. Contoh yang sering kita lihat adalah radiator mobil, arah aliran air pendingin mesin yang melepaskan panasnya ke udara sekitar yang saling bersilangan. Ditinjau dari efektivitas pertukaran energi, penukar kalor jenis ini berada diantara kedua jenis di atas. Dalam kasus radiator mobil, udara melewati radiator dengan temperatur rata-rata udara sekitar, kemudian memperoleh panas dengan laju yang berbeda di setiap posisi yang berbeda untuk kemudian bercampur lagi setelah meninggalkan radiator sehingga akan mempunyai temperatur yang hampir seragam.

Gambar 2.9 Pertukaran Panas Aliran Silang (*Cross Flow*)



Sumber gambar J.P. Holman, 1994

Untuk menentukan nilai T_{LMTD} (*Log Mean Temperature Difference*) dinyatakan dengan persamaan berikut

$$T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana : $\Delta T_2 = (T_1 - T_4)$, dan $\Delta T_1 = (T_2 - T_3)$

2.1.6. Fouling Factor (Faktor Pengotoran)

Faktor pengotoran pada alat penukar kalor sangat mempengaruhi perpindahan panas pada *heat exchanger*. Pengotoran ini dapat berupa endapan dari fluida yang mengalir maupun korosi pada komponen heat exchanger akibat pengaruh jenis fluida yang dialirkan. Selama *heat exchanger* ini dioperasikan pengaruh pengotoran pasti akan terjadi. Yang dapat mengganggu atau mempengaruhi temperatur fluida mengalir dan juga dapat menurunkan koefisien perpindahan panas menyeluruh dari fluida tersebut.

Beberapa faktor yang dipengaruhi akibat pengotoran antara lain :

1. Temperatur fluida panas dan fluida dingin
2. Temperatur alat *heat exchanger*
3. Kecepatan aliran fluida panas dan fluida dingin
4. Kotoran yang terbawa mengalir oleh fluida ketika unit sedang beroperasi dan mengendap didalam *heat exchanger*

2.1.7. Analisa Efektivitas Alat Penukar Kalor dengan Pendekatan LMTD

Pendekatan LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) dalam analisis penukar kalor berguna jika temperatur masuk dan keluar diketahui sehingga LMTD dapat dihitung, aliran kalor, luas permukaan dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Metode efektifitas mempunyai beberapa keuntungan dalam

menganalisis serta memilih jenis yang terbaik. Efektivitas penukar kalor (*Heat Exchanger Effectivities*) didefinisikan sebagai :

$$Efektivitas = \epsilon = \frac{\text{perpindahan kalor nyata}}{\text{perpindahan kalor maksimum yang mungkin}}$$

Beda temperatur antara fluida panas dan fluida dingin ketika masuk dan keluar alat penukar kalor tidaklah sama, dan perlu menentukan nilai rata-rata untuk menentukan jumlah kalor yang dipindahkan dari fluida.

Sehingga untuk aliran searah,

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \left(\frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_2)} \right)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Untuk *heat exchanger* tipe 2 *pass* ataupun *multiple pass* maka nilai LMTD sebenarnya akan didapatkan dengan mengalikannya dengan *correction factor* (*F*). Nilai *F* dapat dicari dengan menentukan nilai *temperature efficiency* (*P*) dan *heat capacity rate ratio* (*R*).

$$P = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} \quad \text{dan} \quad R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} \dots\dots\dots (2.13)$$

2.1.8. Analisa Perpindahan Panas dengan Metode NTU

Penggunaan metode analisa NTU – berdasarkan pada efektifitas penukar sejumlah panas tertentu dan dapat juga menganalisa untuk memilih jenis alat penukar panas terbaik. Efektifitas penukar panas didefinisikan sebagai berikut

$$Efektivitas = \epsilon = \frac{\text{perpindahan kalor nyata}}{\text{perpindahan kalor maksimum yang mungkin}} = \frac{Q}{Q_{maks}}$$

(*J.P. Holman, 1994*)

Perpindahan panas dapat juga dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang diterima oleh fluida dingin dengan menggunakan persamaan berikut :

Penukar panas aliran searah :

$$Q = \dot{m}_h \cdot C_h \cdot (T_{h2} - T_{h1}) = \dot{m}_c \cdot C_c \cdot (T_{c2} - T_{c1}) \dots\dots\dots (2.14)$$

Penukar panas aliran lawan arah :

$$Q = \dot{m}_h \cdot C_h \cdot (T_{h1} - T_{h2}) = \dot{m}_c \cdot C_c \cdot (T_{c1} - T_{c2}) \dots\dots\dots (2.15)$$

Sedangkan perpindahan panas maksimum dinyatakan dengan :

$$Q_{maks} = (\dot{m} \cdot C)_{min} \cdot (T_{h1} - T_{c1}) \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

\dot{m}_h : laju alir massa fluida panas (kg/s)

\dot{m}_c : laju alir massa fluida dingin (kg/s)

c_h : panas spesifik fluida panas ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)

c_c : panas spesifik fluida dingin ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)

T_{h1} : temperatur fluida panas masuk ($^\circ C$)

T_{h2} : temperatur fluida panas keluar ($^\circ C$)

T_{c1} : temperatur fluida dingin masuk ($^\circ C$)

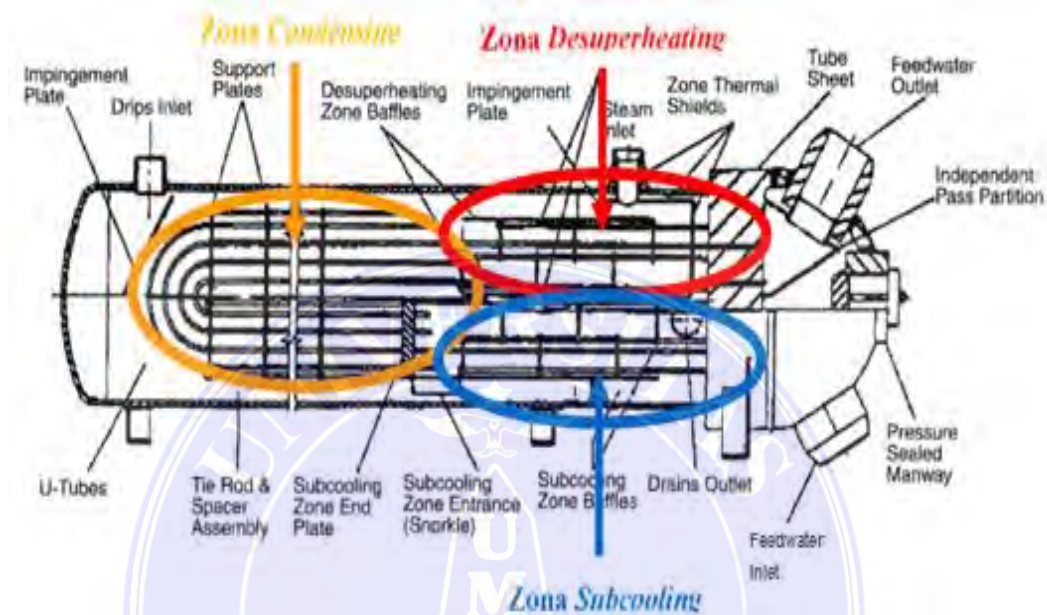
T_{c2} : temperatur fluida dingin keluar ($^\circ C$)

2.1.9. High Pressure Water Heater

Pada PLTU umumnya memiliki 3 (tiga) Zona Utama yaitu *Zona Desuperheating*, *Zona Condensing*, dan *Zona Subcooling*. *Zona Desuperheating* adalah zona uap panas lanjut yang masuk ke dalam HPH akan mengalami penurunan temperatur hingga mencapai temperatur uap jenuh. *Zona Condensing* merupakan zona uap jenuh yang mengalami perubahan fase dari uap jenuh menjadi cair jenuh. Pada zona ini uap tidak mengalami perubahan temperatur tetapi hanya mengalami perubahan fase menjadi cair

jenuh. *Zona Subcooling* merupakan zona penurunan temperatur cair jenuh hingga mencapai temperatur *subcool*. Selanjutnya dari drain zona *subcooling* ini akan dialirkan ke *feedwater heater* yang bertekanan lebih rendah.

Gambar 2.10. Feedwater Heater dan Bagian-bagiannya



Sumber gambar Jurnal Maria Ulfa Damayanti dan Budi Utomo Kukuh Widodo, 2016

Dari di atas dapat dilihat bagian dan posisi masing-masing zona yang terdapat pada *High Pressure Water Heater*.

Dari jurnal tersebut, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Analisis termal yang dilakukan berdasarkan data *heat balance* data operasi *High Pressure Heater* 6, 7, dan 8 pada pembebanan 100% diperoleh *effectiveness* tertinggi berikut :

Tabel 2.2. Analisis Termal terhadap *High Pressure Water Heater*

High Pressure Heater (pembebanan 100%)	Effectiveness Tertinggi		
	HPH 6	HPH 7	HPH 8
Data Design	0,83 Pa	0,82 Pa	0,85 Pa
Data Operasi	0,80 Pa	0,79 Pa	0,82 Pa

Sumber Jurnal Maria Ulfa Damayanti dan Budi Utomo Kukuh Widodo, 2016

- b. *Pressure drop* tertinggi di sisi *tube* pada pembebanan 105% diperoleh sebagai berikut :

Tabel 2.3. *Pressure Drop* terhadap *High Pressure Water Heater*

<i>Pressure Drop</i> (pembebanan 105%)	Tertinggi di sisi Tube		
	HPH 6	HPH 7	HPH 8
Data Design	231.445,40 Pa	185.488,81 Pa	0,8228 Pa
Data Operasi	219.693,09 Pa	176.198,28 Pa	173.933,48 Pa
Data Operasi	0,80 Pa	0,79 Pa	0,82 Pa

Sumber Jurnal Maria Ulfa Damayanti dan Budi Utomo Kukuh Widodo, 2016

- c. Nilai *Effectiveness* terbesar serta nilai *Pressure Drop* terkecil terjadi pada zona *Condensing* berikut :

Tabel 2.4. Nilai *Effectiveness* terhadap *High Pressure Water Heater*

<i>Pressure Drop</i> (pembebanan 105%)	Tertinggi di sisi Tube		
	HPH 6	HPH 7	HPH 8
Nilai <i>effectiveness</i> terbesar	0,89	0,87	0,89
<i>pressure drop</i> terkecil	382,82 Pa	392,50 Pa	11.400,53 Pa
Data Operasi	0,80 Pa	0,79 Pa	0,82 Pa

Sumber Jurnal Maria Ulfa Damayanti dan Budi Utomo Kukuh Widodo, 2016

- d. Sumbatan (*plugging*) sebesar 20% pada HPH akan menyebabkan penurunan nilai *effectiveness* dan kenaikan *pressure drop* sebesar sisi *tube* berikut :

Tabel 2.5. Sumbatan (*plugging*) terhadap *High Pressure Water Heater*

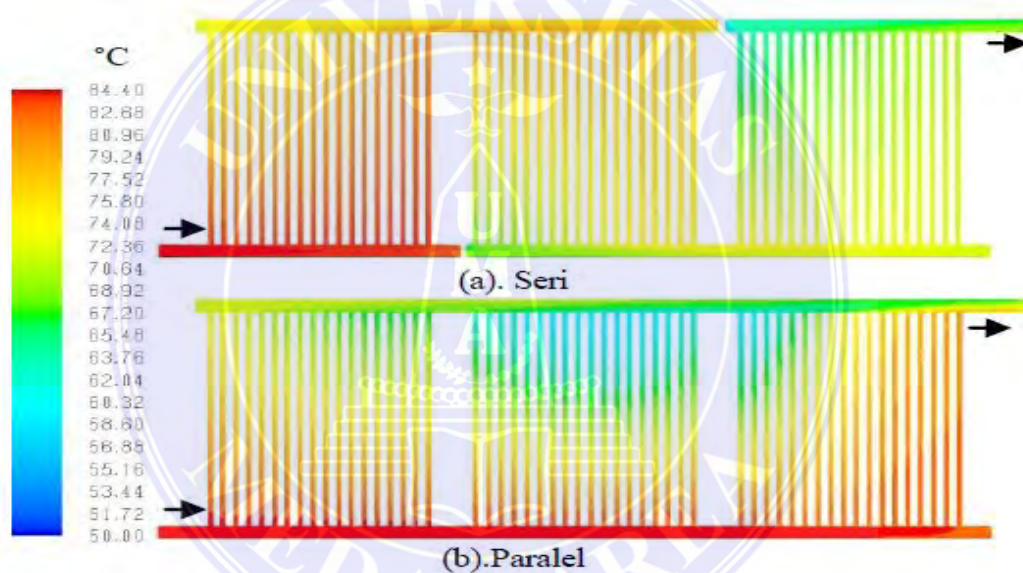
<i>Pressure Drop</i> (pembebanan 105%)	Tertinggi di sisi Tube		
	HPH 6	HPH 7	HPH 8
Penurunan <i>effectiveness</i>	10,15%	9,67%	9,5%
Kenaikan <i>pressure drop</i>	33,99%	34,01%	34,052%
Data Operasi	0,80 Pa	0,79 Pa	0,82 Pa

Sumber Jurnal Maria Ulfa Damayanti dan Budi Utomo Kukuh Widodo, 2016

2.1.10. Simulasi Computational Fluid Dynamics

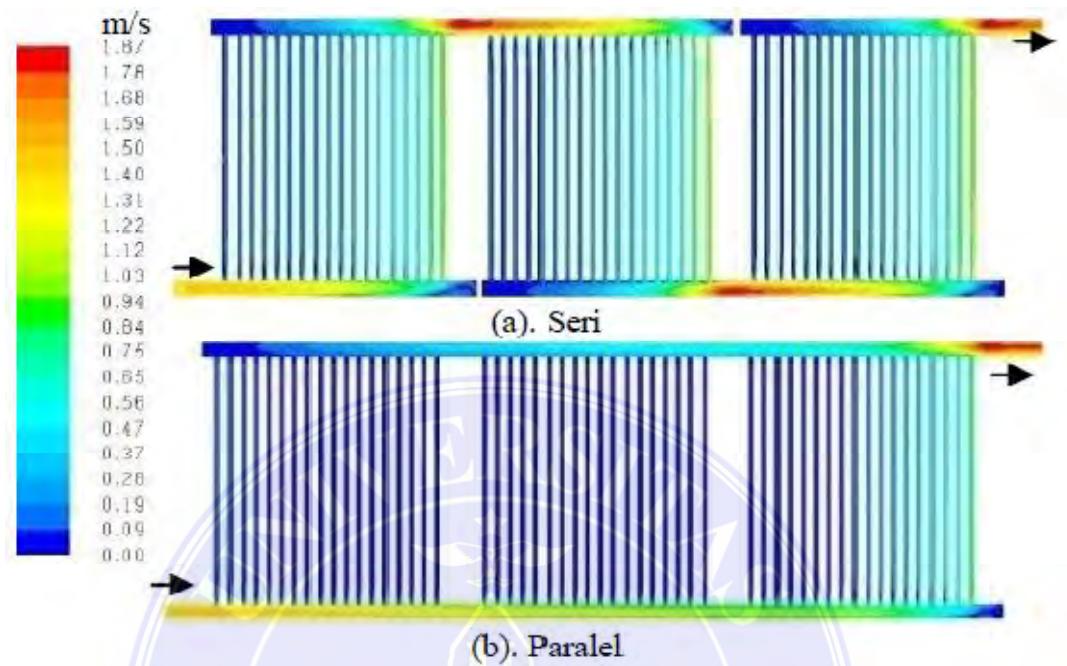
Pada susunan *lube oil cooler* secara seri dan paralel, diperoleh *cooler* yang disusun seri menghasilkan *cooling capacity* lebih besar dibandingkan susunan *cooler* paralel. Namun pada susunan seri memiliki *pressure drop* lebih tinggi. Semakin besar kapasitas *lube oil* maka temperatur keluaran *cooler* dan *pressure drop* yang terjadi akan semakin besar.

Gambar 2.11. *Iso-surface* Kontur Temperatur pada Kapasitas 50 Gpm untuk Susunan Cooler (a). Seri (b). Paralel



Sumber gambar Jurnal Annis Khoiri Wibowo dan Bambang Arip Dwiyanoro, 2014

Gambar 2.12. *Iso-surface* Kontur Kecepatan pada Kapasitas 50 Gpm untuk
Susunan Cooler (a). Seri (b). Paralel



Sumber gambar Jurnal Annis Khoiri Wibowo dan Bambang Arip Dwiyantoro, 2014

Dari hasil percobaan *Computational Fluid Dynamics* pada susunan *lube oil cooler* secara seri dan paralel diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

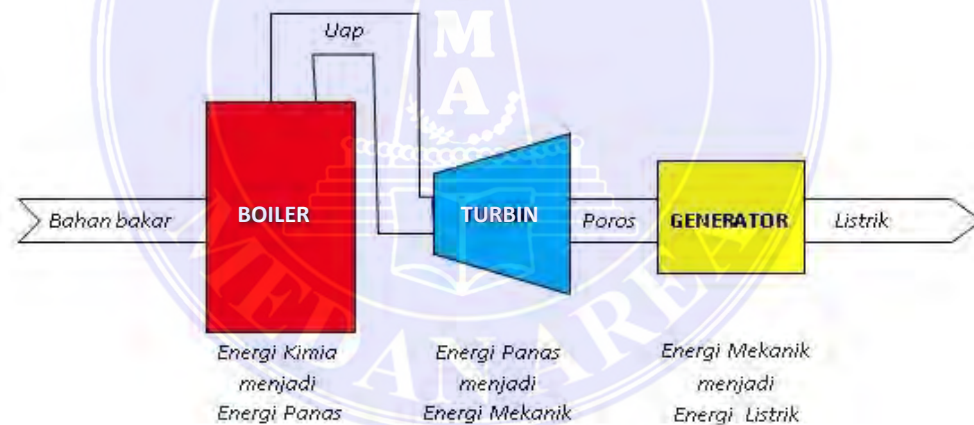
1. Susunan *cooler* yang dipasang seri menghasilkan *cooling capacity* lebih besar dibandingkan susunan *cooler* paralel. Namun pada susunan seri memiliki *pressure drop* lebih tinggi. Semakin besar kapasitas *lube oil* maka temperatur keluaran *cooler* dan *pressure drop* yang terjadi akan semakin besar.
2. Susunan *cooler* seri menghasilkan tingkat keseragaman *flow rate* yang lebih baik jika dibandingkan dengan susunan *cooler* paralel. Hal tersebut ditunjukkan dengan lebih kecilnya nilai standard deviasi dari *flow ratio*, sehingga dapat menghasilkan *cooling load* yang lebih besar.
3. Semakin besar kapasitas *lube oil* maka tingkat keseragaman *flow rate* pada masing-masing *tube* akan semakin rendah, begitu juga sebaliknya.

2.2. Siklus Kerja PLTU Belawan

PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan merupakan unit PLN yang bergerak dibidang pembangkitan energi listrik. Mesin Pembangkitan yang dioperasikan adalah PLTU dan PLTGU, namun penelitian akan lebih difokuskan pada unit pembangkitan PLTU saja.

PLTU adalah jenis pembangkit listrik tenaga termal, mampu memberikan nilai efisiensi baik, menggunakan bahan bakar yang mudah diperoleh sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang ekonomis. PLTU merupakan mesin konversi energi yang merubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik.

Gambar 2.13. Proses Konversi Energi pada PLTU

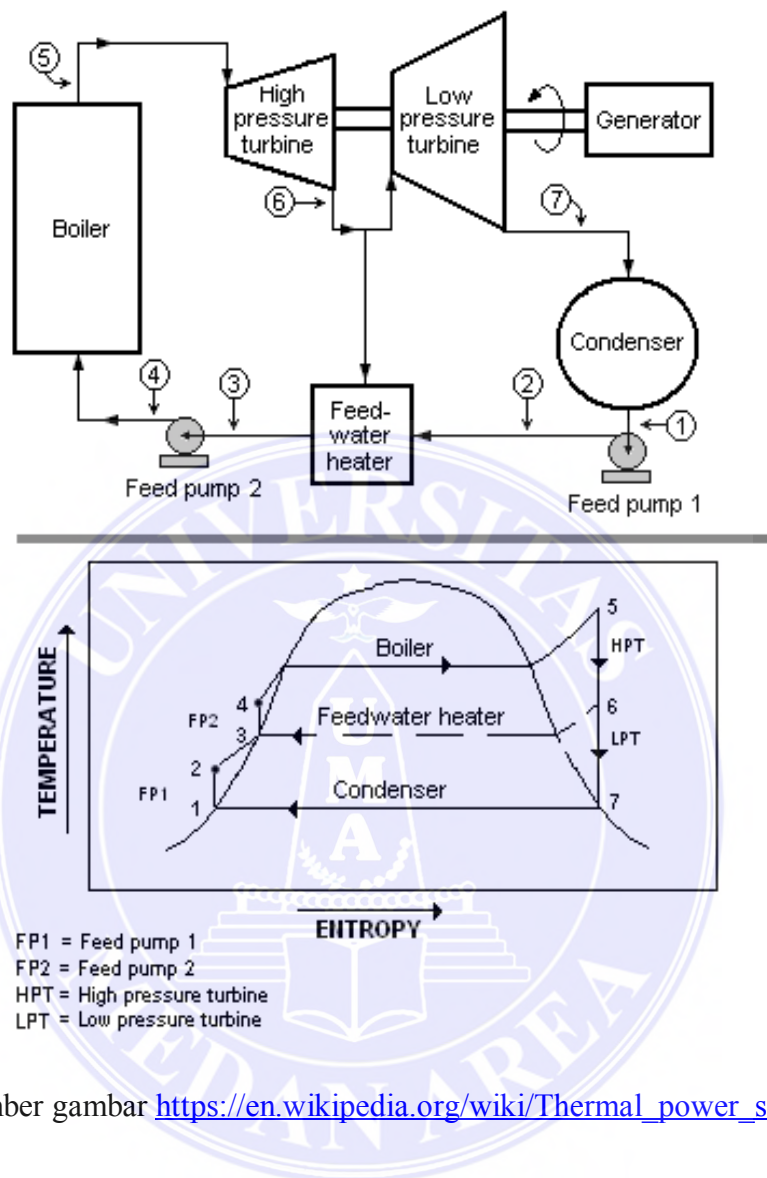


Sumber gambar <http://rakhman.net/power-plants/fungsi-dan-prinsip-kerja-pltu/>

Pada PLTU menggunakan fluida kerja air dan uap yang bersirkulasi secara tertutup, artinya menggunakan fluida kerja yang sama secara berulang-ulang. Secara sederhana, siklus proses kerja pada PLTU adalah sebagai berikut :

1. Air yang sudah dimurnikan dipompakan dengan *feed pump* 1 menuju *feed water heater* kemudian dipompakan kembali dengan *feed pump* 2 untuk diisikan ke dalam boiler sampai pada batas level air yang telah ditentukan.
2. Didalam boiler air kemudian dipanaskan dengan hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga air yang dipanaskan berubah wujud menjadi uap dalam hal ini diproduksi uap bertekanan dan temperatur tinggi.
3. Uap dari hasil produksi boiler kemudian diarahkan menuju turbin untuk memutar poros turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran pada poros turbin.
4. Putaran turbin kemudian akan memutar poros generator yang dikopel langsung dengan poros turbin sehingga ketika poros turbin berputar maka generator akan menghasilkan energi listrik dari terminal output generator sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan generator.
5. Uap bekas keluar dari turbin dengan bertekanan rendah kemudian diarahkan masuk ke dalam kondensor untuk didinginkan kembali dengan air pendingin dari laut sehingga uap bertekanan rendah tersebut akan terkondensasi dan berubah menjadi air. Air kondensat dari hasil kondensasi uap kemudian diarahkan masuk ke dalam *feed water heater*.
6. Selanjutnya dari *feed water heater*, air hasil kondensasi uap kemudian dipompakan ke boiler sebagai air pengisian boiler. Siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang.

Gambar 2.14. Skema Proses Kerja pada PLTU

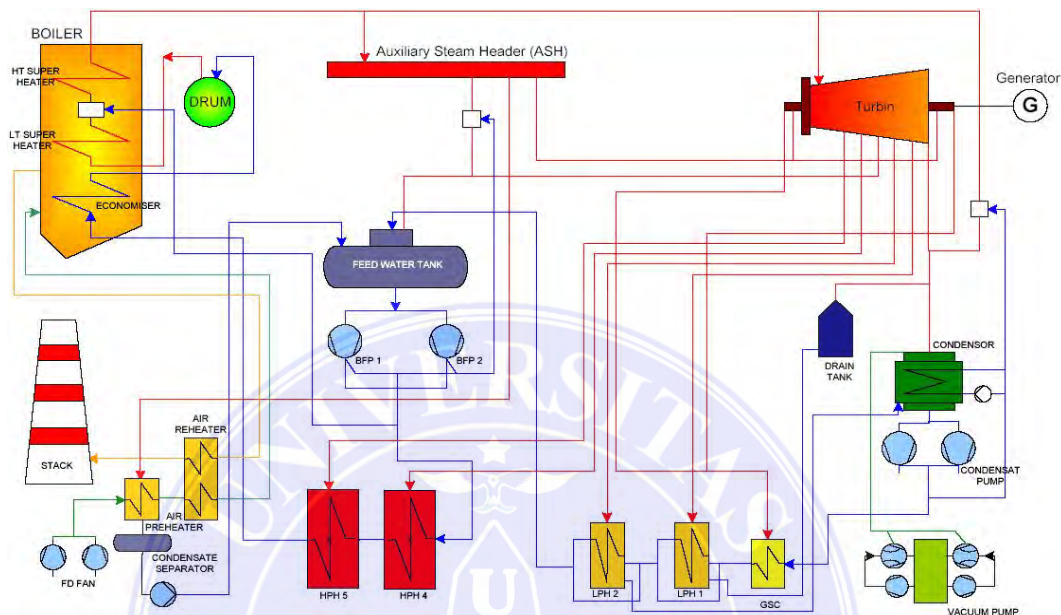


Sumber gambar https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station

Walaupun siklus fluida kerjanya merupakan siklus tertutup, namun volume air dalam siklus pada PLTU ini akan mengalami pengurangan. Pengurangan volume air ini dapat disebabkan oleh kebocoran-kebocoran pada instalasi pemipaan, safety valve akibat tekanan fluida berlebih, atau yang lainnya baik disengaja maupun tidak disengaja. Untuk mengganti volume air yang berkurang,

maka diperlukan penambahan air kedalam siklus. Kriteria air penambah (make up water) ini harus sama dengan air yang ada dalam siklus.

Gambar 2.15. Diagram Siklus Aliran Air dan Uap pada PLTU Belawan



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

2.3. Sistem Pelumasan pada PLTU Belawan

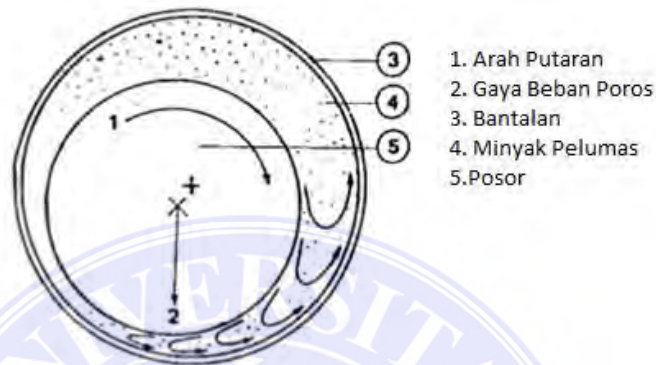
2.3.1. Prinsip Dasar Pelumasan

Apabila terdapat dua benda yang permukaannya saling bersinggungan antara satu dengan lainnya maka akan menimbulkan gesekan. Gesekan adalah gaya yang cenderung menghambat atau melawan gerakan utama komponen mesin yang dapat menimbulkan panas, keausan material, hingga kerusakan material (trip). Gesekan pada turbin yang umum terjadi seperti gesekan antara poros dengan bantalan, dll.

Besarnya gesekan dan keausan material dapat dikurangi dengan mengurangi besarnya gaya akibat gesekan yaitu dengan cara menghindari terjadinya kontak langsung antara dua permukaan benda yang bersinggungan yaitu dengan

memberikan minyak pelumas diantara kedua benda tersebut. Cara ini dinamakan “melumasi” atau memberi pelumasan.

Gambar 2.16. Pergerakan Putaran Poros (*Shaft*) Turbin terhadap Bearing & Minyak Pelumas

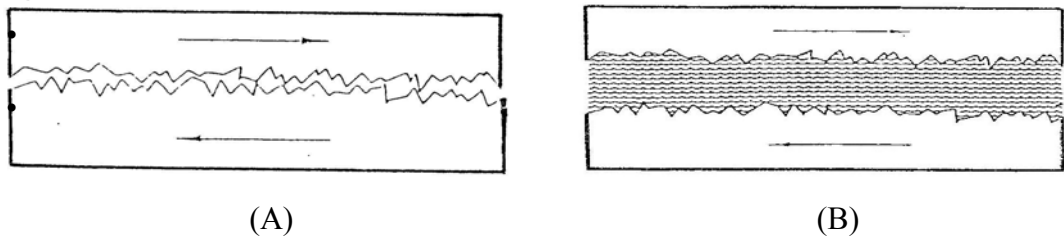


Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

Prinsip pelumasan dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu :

- *Pelumasan Batas* adalah pelumasan pada permukaan kedua benda yang bergesekan dipisahkan oleh lapisan pelumas yang sangat tipis namun pada beberapa lokasi masih dapat terjadi gesekan antara kedua benda tersebut.
- *Pelumasan Film* adalah dengan memberikan lapisan minyak pelumas yang lebih tebal (berupa film) diantara kedua benda yang bergesekan. Prinsip pelumasan film ini sangat cocok dan baik digunakan karena gesekan antara kedua benda tersebut tidak akan terjadi lagi.

Gambar 2.17. Pelumasan Batas (A) dan Pelumasan Film (B)



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

Selain sebagai pelumas komponen mesin, minyak pelumas juga memiliki fungsi lain diantaranya sebagai berikut :

No	Fungsi lain	Penjelasan
1	Sebagai pendingin	Setiap gesekan yang terjadi akan cenderung menimbulkan panas yang apabila temperaturnya terus meningkat dapat menimbulkan kerusakan material (trip). Minyak pelumas dapat berfungsi sebagai penyerap panas tersebut dan membawanya ke sistem pendingin minyak pelumas atau ke udara luar.
2	Sebagai Perapat	Pelumas dapat difungsikan sebagai perapat, misalnya untuk mencegah bocornya hydrogen dari poros alternator ke udara luar.
3	Mencegah korosi	Pelumas dapat mengurangi laju korosi karena minyak pelumas akan membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam sehingga kontak langsung antara zat penyebab korosi dengan permukaan logam dapat dihindari atau dikurangi.
4	Peredam Kejut	Beban kejut dapat terjadi pada komponen mesin, diantaranya pada roda gigi. Lapisan minyak pelumas akan memperkecil benturan diantara permukaan roda gigi yang saling bersinggungan, sehingga dapat meredam getaran dan noise.

Karakteristik minyak pelumas merupakan gambaran dari sifat-sifat minyak pelumas yang penting diketahui antara lain :

No	Fungsi lain	Penjelasan
1	Viskositas (Viscosity) Atau kekentakan	Merupakan ukuran yang menyatakan ketahanan cairan terhadap aliran, atau kemampuan cairan untuk mengalir. Viskositasnya akan tergantung dari temperatur minyak pelumas itu sendiri. Apabila temperaturnya naik, maka viskositasnya akan menurun. Angka SAE pada minyak pelumas menunjukkan tingkat kekentalan minyak pelumas. Semakin tinggi angka SAE maka akan semakin tinggi juga viskositasnya (semakin kental).
2	Indek Viskositas (Viscosity Index)	Merupakan ukuran laju perubahan kekentalan minyak pelumas terhadap perubahan temperatur. Indek Viskositas dinyatakan dengan angka 0 sampai 100 angka yang lebih kecil berarti minyak pelumas tersebut akan lebih cepat mengalami perubahan viskositasnya bila temperaturnya berubah.
3	Titik Tuang (Pour Point)	Menunjukkan nilai temperatur tertinggi minyak pelumas mulai membeku bila temperaturnya diturunkan. Minyak pelumas yang digunakan pada temperatur rendah harus memiliki Titik Tuang yang rendah.
4	Titik Nyala (Flash Point)	Menunjukkan temperatur terendah minyak pelumas untuk menguap dan terbakar bila diberi sumber panas terus menerus. Pembakaran berhenti bila sumber

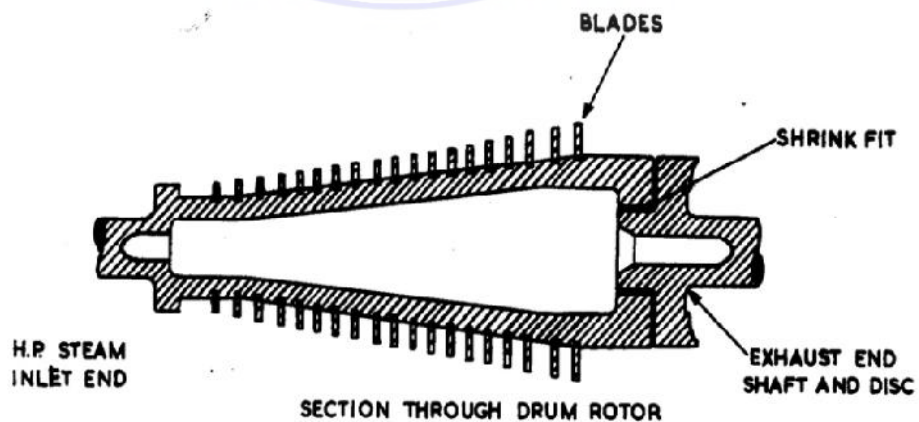
		panasnya dihilangkan. Minyak pelumas harus memiliki titik nyala yang rendah agar tidak mudah menguap dan terbakar.
5	Titik Bakar (Fire Point),	Menunjukkan temperatur terendah minyak pelumas untuk menguap dan terbakar dengan sendirinya dan terus terbakar walaupun sudah tidak diberi sumber panas dari luar.

2.3.2. Rotor Turbin PLTU dan Bantalan

a. Rotor Turbin PLTU

Rotor merupakan komponen utama turbin yang berputar, terdiri dari poros (shaft) dan sudu-sudu gerak yang terpasang mengelilingi rotor. Jumlah baris sudu gerak pada rotor sama dengan jumlah baris sudu diam pada casing. Pasangan antara sudu diam dan sudu gerak disebut tingkat (stage). Sudu gerak berfungsi untuk merubah energi kinetik uap menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin yang dikopel bersama dengan poros generator.

Gambar 2.18. Rotor Turbin PLTU

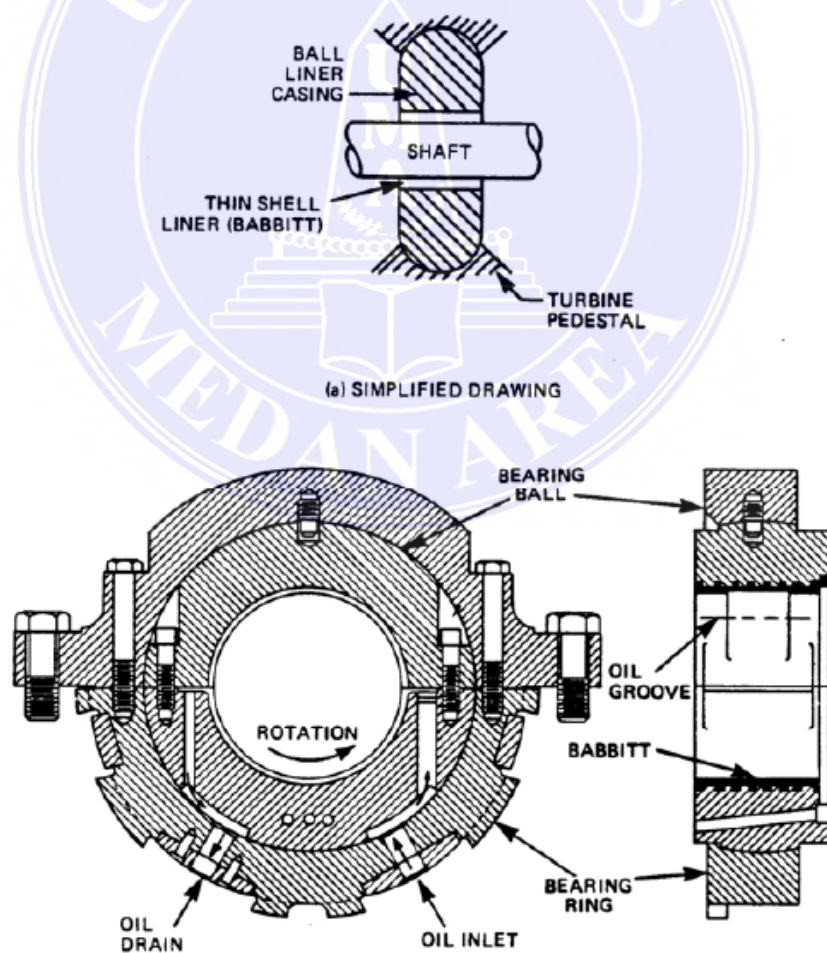


Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

b. Bantalan (Bearing)

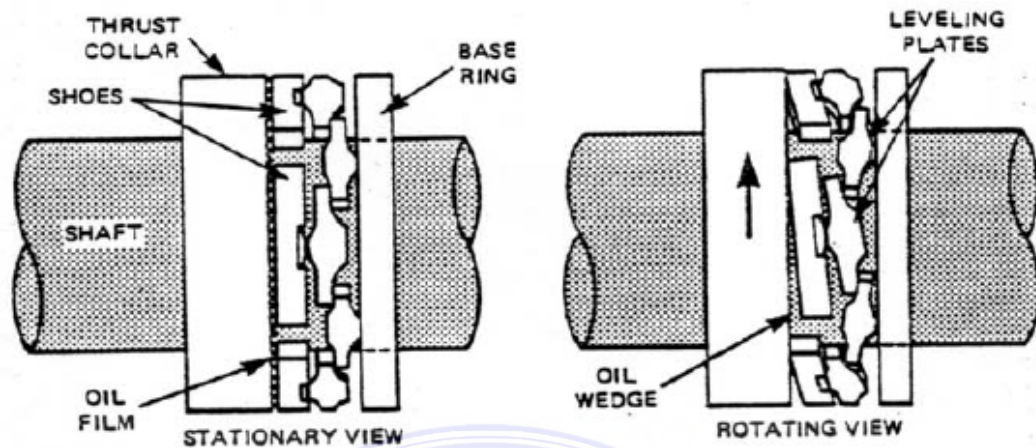
Bantalan (bearing) berfungsi menopang dan menjaga rotor turbin agar tetap pada posisi normalnya. Ada dua macam bearing pada turbin, yaitu bearing *journal* yang berfungsi untuk menopang dan mencegah poros turbin dari pergeseran arah radial dan bearing aksial (*thrust bearing*) yang berfungsi untuk mencegah turbin bergeser kearah aksial. Didalam bearing kemungkinan dapat terjadi kontak (gesekan) antara bagian yang berputar dengan bagian yang diam. Untuk mengurangi gesekan, maka pada bearing diberikan minyak pelumas bertekanan.

Gambar 2.19. Bearing Journal



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

Gambar 2.20. Bearing Aksial



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

2.3.3. Pemurnian Minyak Pelumas

Pada sistem pelumasan selalu terbuka kemungkinan tercemarnya minyak pelumas oleh kontaminasi sehingga kondisi minyak pelumas menjadi menurun. Agar kondisi minyak pelumas tetap baik sehingga masa pakainya menjadi relatif panjang maka minyak pelumas harus diberikan treatment/perawatan pemurnian yang baik.

Metode pemurnian minyak pelumas yang umum dilakukan adalah :

- a. Penggantian sebagian minyak pelumas secara periodik

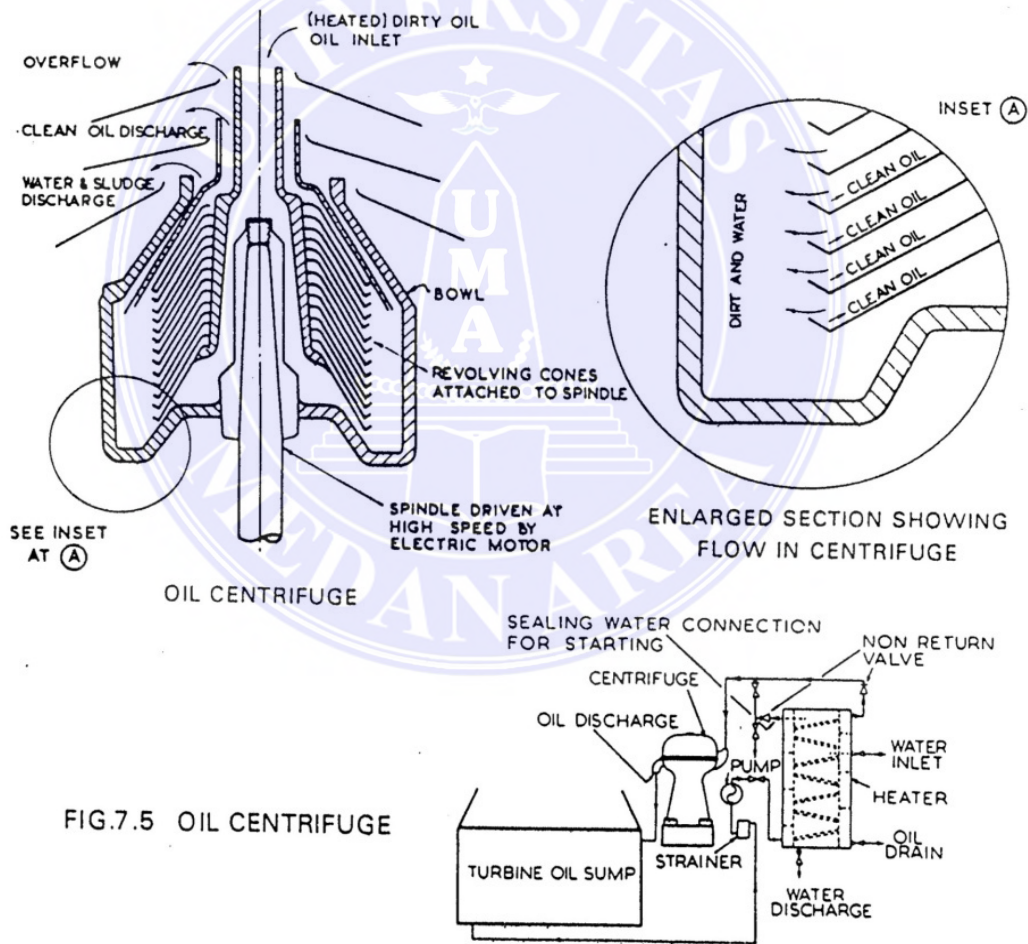
Cara ini dilakukan dengan mengambil sample atau sebagian minyak pelumas ($\pm 10\%$) dari dalam sistem pelumasan atau melalui reservoir oil tank kemudian menggantinya dengan yang baru. Cara ini efisien untuk mesin-mesin kecil yang menggunakan volume minyak pelumas sedikit, namun akan menjadi boros bila dilakukan untuk sistem besar dengan kapasitas volume minyak pelumas

yang banyak. Metode ini juga kurang efektif untuk minyak pelumas yang sudah teroksidasi.

b. Filtrasi

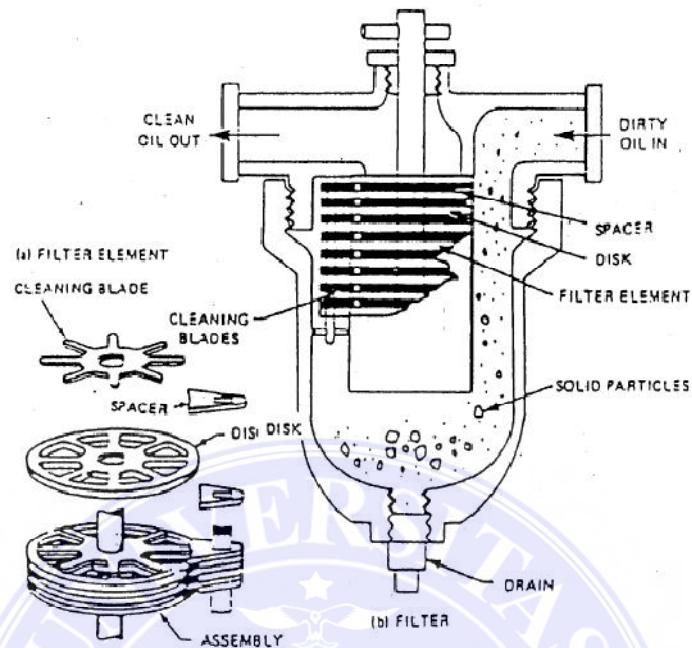
Metode ini dilakukan dengan cara mengeluarkan seluruh minyak pelumas dari dalam sistem pelumasan untuk selanjutnya sistem diisi minyak pelumas baru atau minyak pelumas lama yang sudah difiltrasi. Kerugian cara ini adalah mesin harus dimatikan ketika dilakukan penggantian minyak pelumas.

Gambar 2.21. Sistem Penyaringan Oil Sentrifugal



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

Gambar 2.22. Saringan Minyak Pelumas



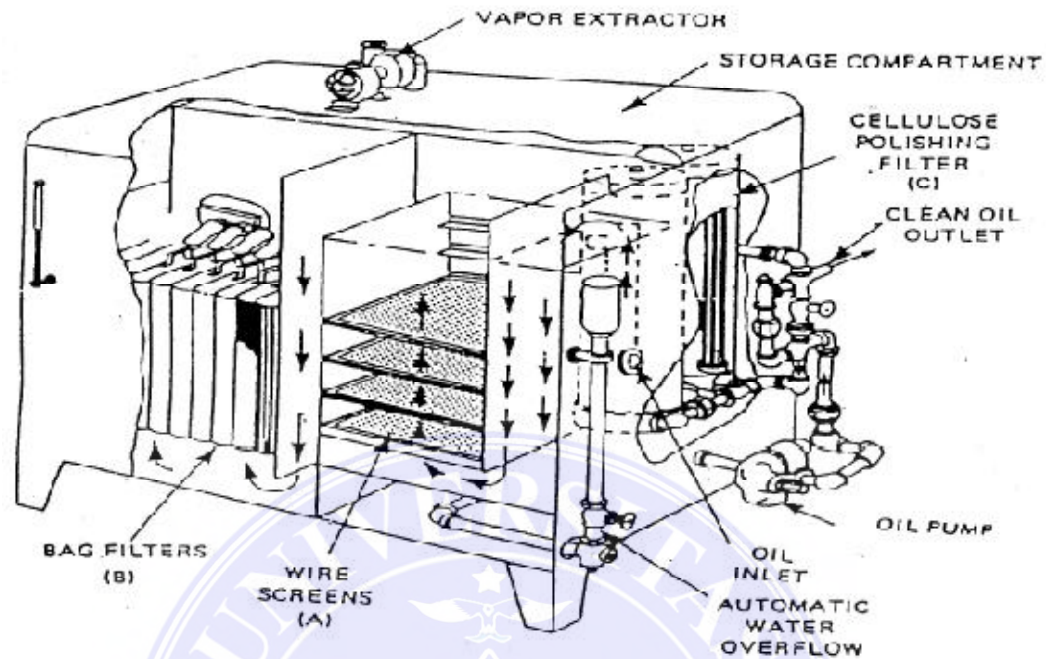
Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

2.3.4. Oil Conditioning

Oil Conditioning menggunakan Oil Conditioner berupa instalasi pemulih kondisi minyak pelumas. Instalasi ini dapat terpasang secara tetap dan merupakan bagian dari sistem pelumasan, atau dapat juga berupa instalasi mobile (dapat dipindahkan). Perlengkapan yang dibutuhkan pada instalasi Oil Conditioner diantaranya Pompa sirkulasi, Mesh Filter, Magnetic Filter, Heater, Gas Extractor dan Centrifuges.

Instalasi Oil Conditioner dihubungkan dengan tangki minyak pelumas. Secara kontinyu, sebagian kecil minyak pelumas disirkulasikan melalui instalasi Oil Conditioner. Minyak pelumas yang sudah bersih langsung dikembalikan ke tangki atau disimpan di dalam tangki cadangan. Bila level minyak pelumas di dalam tangki turun/berkurang maka dapat ditambahkan minyak pelumas baru atau minyak pelumas yang sudah dimurnikan sebelumnya.

Gambar 2.23. Oil Conditioning



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

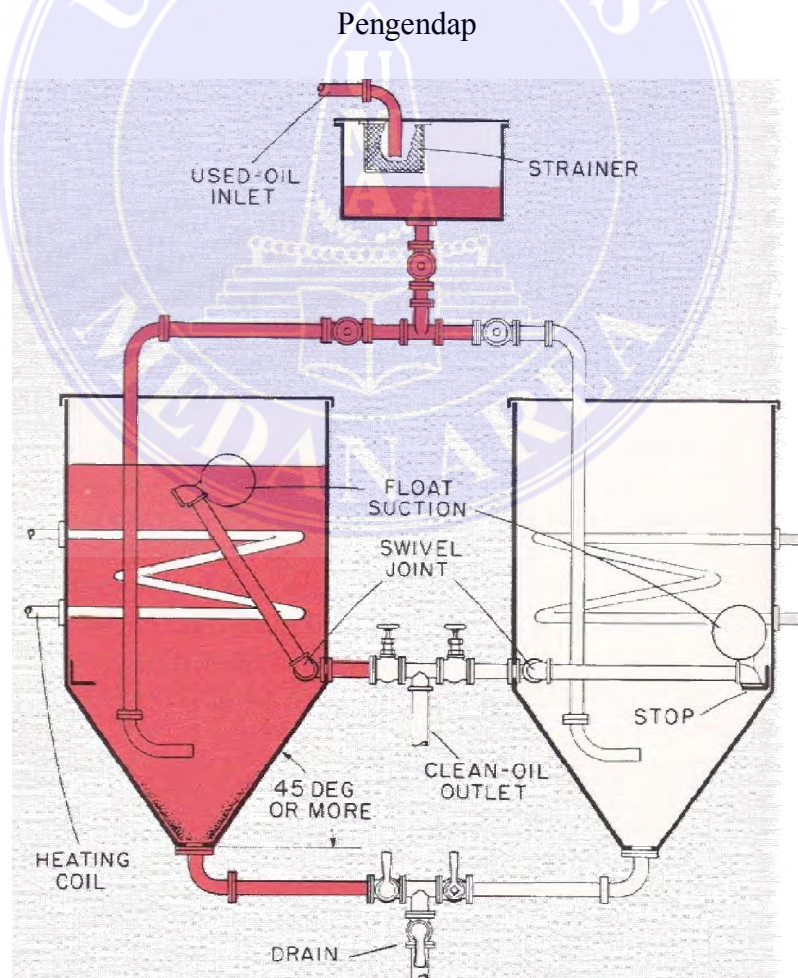
Pemurnian minyak pelumas dapat juga dilakukan dengan menggunakan tangki pengendap. Minyak pelumas kotor masuk dari atas melalui strainer kemudian ditampung pada tangki penampungan minyak kotor. Kemudian dipanaskan dengan *heating coil* sehingga kotoran dengan berat jenisnya sendiri akan bergerak turun dan mengendap ke bagian bawah tangki sedangkan minyak bersih di bagian atas tangki akan dipompakan kembali ke sistem pelumasan melalui saluran oil outlet.

Pada bagian ujung pipa yang mengarah ke saluran *oil outlet* dilengkapi dengan *float suction* agar minyak bersih yang akan dipompakan ke sistem pelumasan diperoleh minyak bersih di bagian atas tangki. *Float suction* ini juga berfungsi mengatur level volume tangki agar tidak berlebih. Ketika volume tangki pertama telah penuh, maka secara otomatis akan menutup valve minyak ke tangki pertama dan membuka valve ke tangki kedua sehingga minyak kotor akan

mengalir memasuki tangki minyak kedua. Seperti pada tangki minyak pertama, pada tangki minyak kedua juga dilengkapi dengan *heating coil* sehingga kotoran pada minyak pelumas juga dapat bergerak turun dan memisahkan diri ke bagian bawah tangki.

Masing-masing tangki minyak tersebut terhubung dengan satu saluran oil outlet, sehingga minyak bersih dapat mengalir melalui tangki pertama dan tangki kedua. Begitu juga dengan saluran drain/pembuangan kotoran, terhubung pada kedua tangki sehingga kotoran minyak pelumas dapat dikeluarkan dari masing-masing tangki.

Gambar 2.24. Pemurnian Minyak Pelumas dengan Menggunakan Tangki

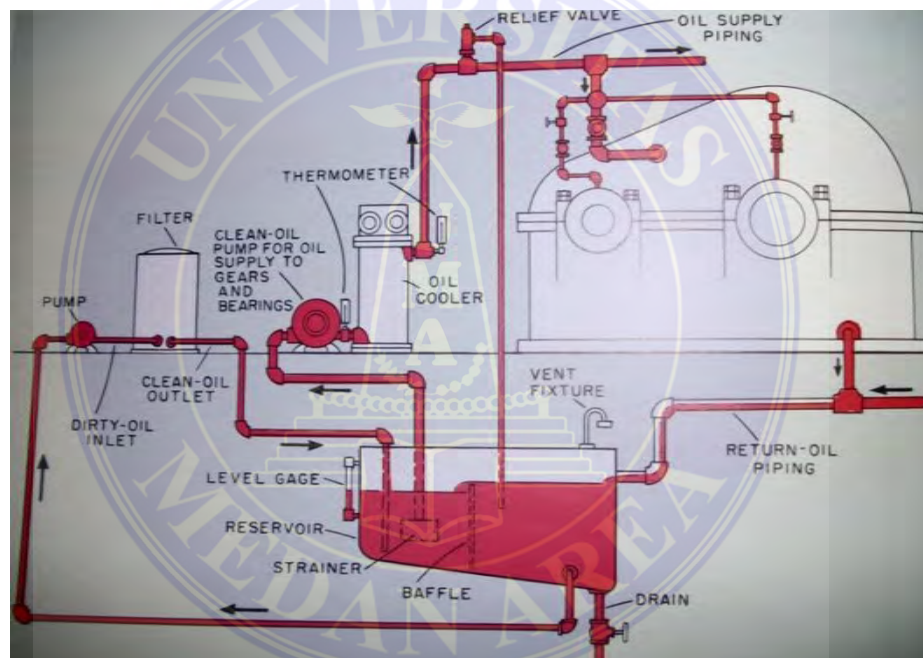


Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

2.3.5. Siklus Pelumasan

Sistem pelumasan diperlukan untuk mensupply minyak pelumas bersih dengan tekanan dan suhu tertentu kedalam bearing turbin, bearing alternator, bearing kompresor, bearing load gear, sistem kontrol, sistem pengaman dan peralatan lainnya. Starting Packages (misalnya Starting Diesel beserta perlengkapannya) ada yang memiliki sistem pelumasan tersendiri dan ada juga yang menggunakan sistem pelumasan menyatu dengan Sistem Pelumasan Utama.

Gambar 2.25. Sistem Pelumasan Utama



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

Beberapa peralatan sistem pelumasan yang umum dipasang pada Engine Bedplate, terdiri dari :

1. Lube Oil Reservoir (Main Oil Tank) : Tangki penampung minyak pelumas utama. Reservoir ini berukuran cukup besar agar minyak pelumas dapat diam sesaat didalam tanki untuk mengendapkan kotoran-

kotoran dan membuang gas-gas yang terkandung didalam minyak pelumas.

Temperatur minyak pelumas akan selalu dimonitor diposisi batasan temperatur yang ditetapkan sehingga proses pelumasan dapat berjalan dengan baik.

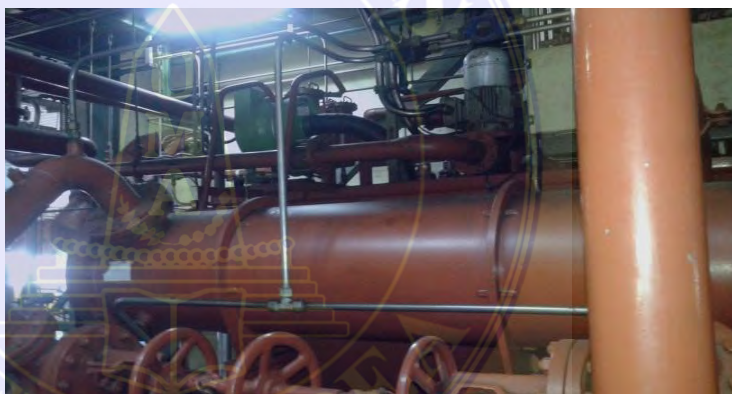
Suhu minyak pelumasan di dalam Reservoir juga tidak boleh terlalu rendah karena akan menghambat pemompaan. Bila suhunya terlalu rendah maka secara otomatis alat pemanas yang dipasang didalam tangki akan bekerja hingga temperatur minyak pelumas mencapai temperatur operasi normal.

2. Primary Lube Oil Pump Atau Main Lube Oil Pump (Pompa Minyak Pelumas Utama) : Pompa minyak pelumas utama diputar langsung oleh poros turbin, atau dapat juga diputar oleh motor listrik yang ditempatkan didalam reservoir minyak pelumas sedangkan motor listriknya berada diatas tutup reservoir. Pompa ini harus mampu mensupply kebutuhan minyak pelumas dalam keadaan operasi normal. Umumnya kapasitas Primary Lube Oil Pump sebesar 2.800 liter/menit dengan tekanan 6 bar.
3. Secondary Lube Oil Pump atau Auxilliary Lube Oil Pump atau Back-up Lube Oil : Untuk Primary Lube Oil Pump-nya diputar langsung oleh poros turbin, maka Secondary Lube Oil Pump akan bekerja ketika putaran turbin masih rendah (saat start-up dan shut-down) dimana tekanan minyak pelumas dari Primary Lube Oil Pump belum mencukupi. Bila putaran

- Pump turbin sudah cukup tinggi, maka secara otomatis Secondary Lube Oil Pump akan stop. Pada turbin yang Primary Lube Oil Pump diputar oleh motor listrik, maka Secondary Lube Oil Pump berfungsi sebagai cadangan. Secondary Lube Oil Pump juga akan bekerja secara otomatis bila tekanan minyak pelumas menurun mencapai batas yang ditetapkan.
4. Emergency Lube Oil Pump : Pemasangan pompa ini sama seperti pemasangan Secondary Lube Oil Pump yang diputar oleh motor listrik DC dan bekerja bila tegangan listrik AC hilang dan atau tekanan minyak pelumas turun mencapai batas yang ditetapkan. Baik kapasitas maupun tekanan minyak pelumas dari Emergency Lube Oil Pump lebih rendah dibanding dari Primary Lube Oil Pump, maka hasil pemompaannya akan langsung dialirkan kedalam bantalan-bearing tanpa melalui Lube Oil Cooler. Emergency Lube Oil Pump pada umumnya hanya digunakan apabila turbin tidak dibebani serta putarannya sangat rendah (diputar turning gear/Ratchet).
5. Lube Oil Cooler (Pendingin Minyak Pelumas) : *Lube Oil Cooler* berfungsi untuk mendinginkan minyak pelumas yang sudah ditampung didalam *reservoir oil tank* dan kemudian akan dialirkan kembali ke seluruh bearing poros dan operasional unit yang membutuhkan. Umumnya *Lube Oil Cooler* ini dipasang dua unit, namun

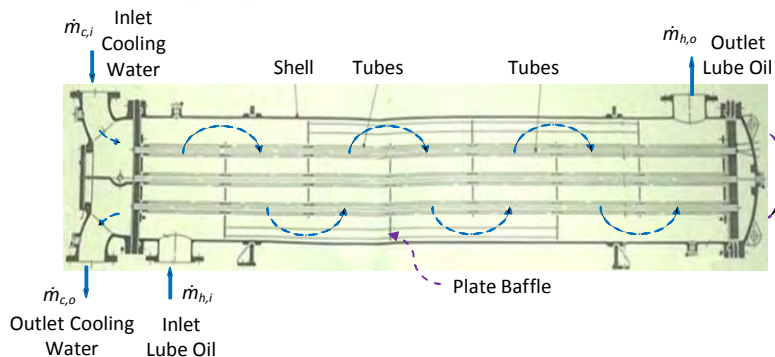
hanya salah satunya yang beroperasi sedang yang lainnya dalam posisi *stand-by* apabila dalam proses *maintenance*. Fluida pendingin yang digunakan pada PLTU Belawan adalah Air Demineralisasi (air laut yang sudah dimurnikan). *Lube Oil Cooler* jenis ini umumnya berukuran lebih kecil dibandingkan dengan yang menggunakan udara, sehingga penggunaan ruangan/tempat instalasi akan lebih sedikit dan efisien.

Gambar 2.26. Instalasi Unit *Lube Oil Cooler* dengan Fluida Pendingin Air Demin



Sumber gambar foto penelitian di PLTU Unit 3 Belawan

Gambar 2.27. Diagram Proses Kerja *Lube Oil Cooler*



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor

Pembangkitan Belawan

6.Vapor Extractor : Sejenis exhaust fan yang berfungsi untuk menghisap/mengeluarkan gas-gas yang terkandung didalam reservoir tank minyak pelumas dan membuat sedikit kevakuman didalam reservoir. Kondisi vakum ini juga bertujuan untuk mencegah kebocoran minyak pelumas dari celah labirin pada ujung bearing dan mempercepat penguapan gas.

7.Detektor Suhu, : Untuk memonitor suhu, tekanan dan level minyak
 Detektor Tekanan pelumas sesuai dengan yang ditetapkan. Selain itu
 dan Detektor dilengkapi juga dengan signal alarm dan peralatan trip.
 Level Berikut batasan suhu dan tekanan pada sistem pelumasan
 sebagai berikut :

Parame ter Kete rangan	Temp. minyak pelumas didalam reservoir	Temp. minyak pelumas masuk bantalan	Temp. minyak pelumas keluar bantalan	Tekanan minyak pelumas masuk bantalan
Maks.	-	70°C	90°C	-
Norm	-	45-65°C	-	1,5 Bar
Min.	27°C	-	-	1,0 Bar
Alarm/ Trip	-	-	-	0,8 Bar

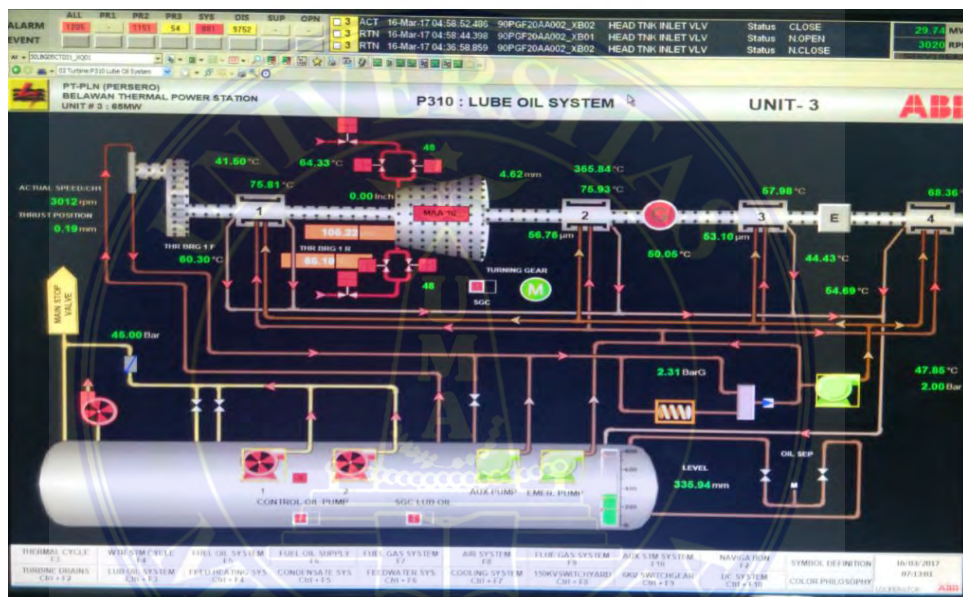
Sumber tabel Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan

Belawan

2.3.6. Sistem Pelumasan pada PLTU Unit 3 Belawan

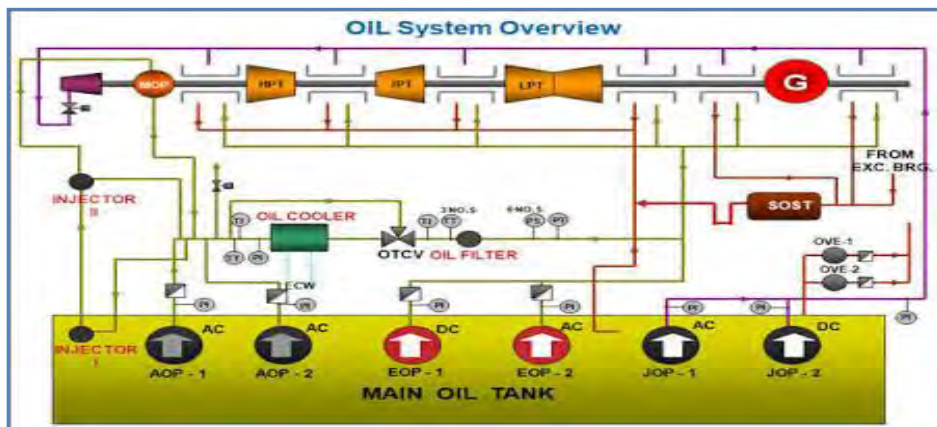
Sistem pelumasan pada turbin PLTU unit 3 Belawan sangat penting dimonitor kinerjanya, oleh karenanya turbin tidak boleh dioperasikan tanpa adanya pelumasan. Gambar berikut menunjukkan skema dan diagram sistem pelumasan PLTU unit 3 PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan pada saat unit sedang beroperasi normal.

Gambar 2.28. Skema *Lube Oil System* pada PLTU Unit 3 Belawan



Sumber gambar foto penelitian di *control room* PLTU Unit 3 Belawan

Gambar 2.29. Diagram Sistem Pelumasan pada PLTU Unit 3 Belawan



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

Parameter utama dari sistem pelumasan adalah tekanan. Untuk itu menjamin tekanan minyak pelumas agar tetap konstan pada turbin hal yang sangat penting. Terdapat beberapa komponen utama pada sistem pelumasan yang diperlukan diantaranya :

a. Main Oil Tank

Main Oil Tank berfungsi sebagai tempat penampung seluruh minyak pelumas pada sistem pelumasan turbin. Terpasang padanya Auxiliary Oil Pump (AOP), Emergency Oil Pump (EOP), Vapor Extractor, Mainhole, Pipa Supply dan Return, Sisi Hisap MOP/Oil Ejector dan pembuangan.

b. Oil Pump

Sedikitnya terdapat 7 unit *Oil Pump* pada instalasi turbin PLTU Unit 3 Belawan dengan jenis dan fungsi kerja berdasarkan kegunaannya, diantaranya :

1. Main Oil Pump (MOP)

Main oil pump adalah pompa pelumas utama yang terpasang dan digerakan oleh poros turbin. Main oil pump akan berfungsi ketika putaran turbin telah mencapai ± 3000 rpm.

2. Auxiliary Oil Pump (AOP)

Auxiliary oil pump adalah pompa yang digerakkan dengan menggunakan motor listrik AC (arus bolak-balik). Pompa ini berfungsi ketika unit turbin pada posisi *start up* dan *shut down* dan juga sebagai *backup* apabila *supply* tekanan minyak pelumas dari MOP mengalami penurunan.

3. Emergency Oil Pump (EOP)

Emergency oil pump adalah pompa yang digerakkan dengan menggunakan

motor listrik DC (arus searah/batterai) dan digunakan sebagai pompa cadangan atau darurat ketika power listrik AC hilang.

4. Jacking Oil Pump (JOP)

Pada unit Turbin berkapasitas besar, akan memiliki bobot berat rotor yang besar pula sehingga dalam keadaan belum beroperasi (diam) shaft poros turbin akan menyingkirkan lapisan minyak pelumas dari permukaan poros dengan bantalan. Dalam keadaan seperti ini permukaan bearing dan poros akan rusak bila diputar. Untuk itu digunakan sistem jacking oil pump yang berfungsi mengangkat poros turbin dengan menggunakan minyak pelumas bertekanan tinggi.

5. Turning Gear

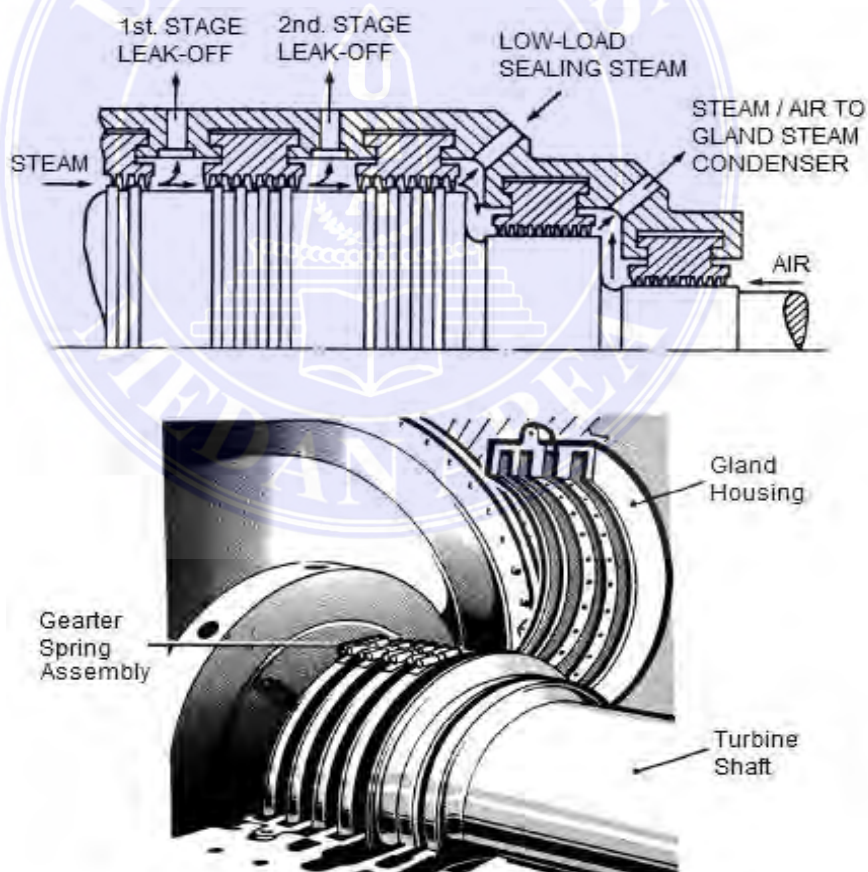
Poros turbin yang berat dan panjang apabila dibiarkan diam (tidak beroperasi) dalam waktu yang relatif lama dapat mengakibatkan terjadinya lendutan. Pelendutan akan menjadi lebih nyata apabila dari kondisi operasi yang panas langsung berhenti. Bila dibiarkan begitu saja, maka akan berakibat terjadinya vibrasi pada turbin hingga unit turbin menjadi trip (berhenti). Untuk mencegah terjadinya pelendutan, maka rotor harus diputar perlahan secara kontinyu atau berkala. Untuk itu digunakanlah turning gear atau barring gear yang digerakkan dengan motor listrik melalui roda gigi dengan kecepatan putar antara 3 – 40 rpm. Turning gear juga berfungsi untuk memberikan torsi pemutar awal ketika turbin *startup*.

Turning gear umumnya dipasang pada sisi turbin bertekanan rendah atau diantara turbin dan generator.

6. Sistem Perapat Poros

Celah diantara casing (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang berputar) turbin menyebabkan terjadinya kebocoran uap keluar atau udara masuk pada turbin. Untuk mencegah kebocoran pada celah tersebut dipasang sistem perapat poros. Sistem perapat poros ini dilakukan dengan memasang labirin (sirip-sirip) pada casing maupun rotor secara berderet. Tetapi perapat yang hanya menggunakan labirin masih memungkinkan terjadinya kebocoran. Untuk itu pada labirin diberikan fluida uap sebagai media perapat (*gland seal steam*).

Gambar 2.30. Gland Seal Steam dan Perapat Labirin



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

7. Sistem Proteksi

Turbin uap merupakan komponen PLTU yang penting dan mahal, oleh karena itu turbin dilengkapi dengan peralatan proteksi (Turbin Protective Device) yang berfungsi untuk mengamankan turbin dari kemungkinan terjadinya kerusakan yang fatal. Kerja sistem proteksi turbin adalah menutup katup penutup cepat (MSV) turbin yang merupakan katup isolasi uap masuk. Sistem proteksi akan membuat unit turbin menjadi trip bila salah satu hal berikut ini terjadi :

- Putaran turbin berlebih (overspeed)
- Tekanan minyak pelumas pada bearing rendah (low bearing oil press)
- Keausan bearing aksial tinggi (hing thrust wear)
- Vakum kondensor rendah (low vacuum condenser)
- Tombol trip turbin ditekan (emergency)

2.3.7. Pompa

1. Fungsi dan Prinsip Kerja

Pompa adalah mesin yang digunakan untuk memompakan suatu fluida kerja. Lebih lanjut dapat dikatakan bahwa pompa dan kompresor adalah mesin yang berfungsi menaikkan energi suatu fluida kerja. Bila suatu fluida kerja mempunyai energi yang cukup besarnya, maka fluida tersebut akan mampu mengalir (berpindah) menuju suatu tempat yang lain, atau dapat memberikan energinya kepada instalasi lainnya. Dalam hal lain, pompa berfungsi untuk menaikkan energi potensial dan energi kinetik fluida, sedangkan kompresor untuk menaikkan energi potensial, kinetik dan energi kalor.

2. Jenis dan Sifat-Sifat

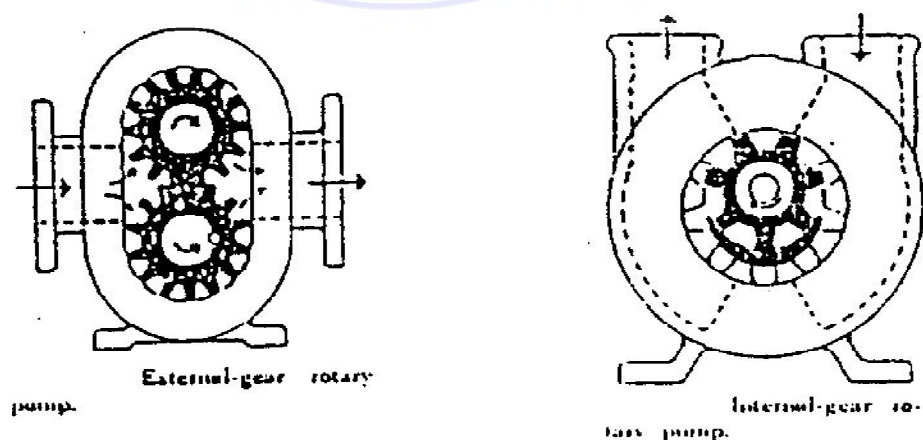
2.1. Pompa Positive Displacement

Berdasarkan tipenya, Pompa Positive Displacement dapat dibedakan atas : Pompa *Rotary* dan Pompa *Reciprocating*.

a) Pompa *Rotary* : adalah pompa yang bekerja dengan adanya perubahan volume celah akibat gerak putar relatif atau bagian yang bergerak dari pompa dengan bagian yang diam. Unjuk kerja pompa jenis ini ditentukan dengan jarak bebas (*clearance*) antara bagian yang berputar dengan casing pompa yang sangat presisi. Yang termasuk pompa *rotary* antara lain :

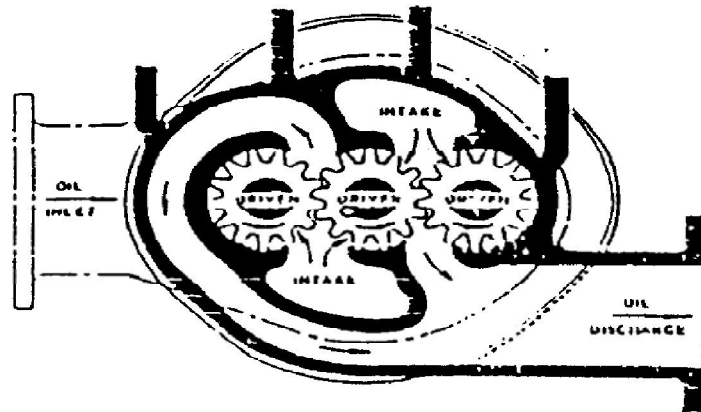
- 1) Pompa roda gigi : Pompa ini termasuk jenis pompa rotari yang paling sederhana terdiri dari casing yang didalamnya terdapat 2 atau 3 buah roda gigi. Bila roda gigi berputar, maka fluida dari sisi hisap pompa akan terperangkap dalam ruang diantara roda gigi pompa dengan casing dan terdorong kearah sisi tekan pompa. Pompa ini dibedakan menjadi pompa roda gigi luar dan pompa roda gigi dalam seperti terlihat pada gambar berikut.

Gambar 2.31. Pompa Roda Gigi Dalam



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

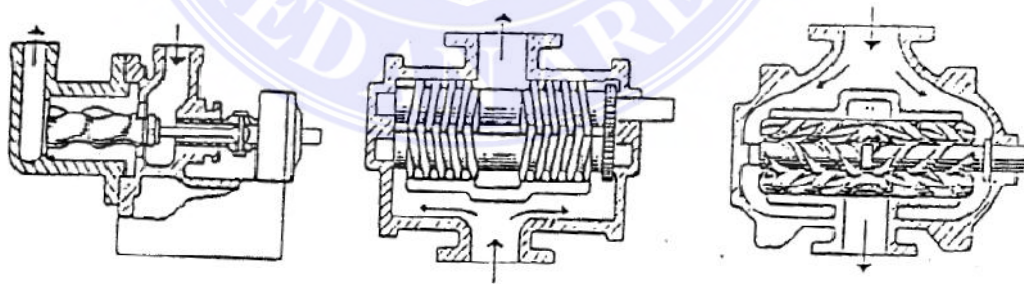
Gambar 2.32. Pompa Roda Gigi Luar



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

- 2) Pompa Ulir : Prinsipnya hampir sama dengan pompa roda gigi yaitu dengan cara menjebak fluida. Fluida yang masuk dari sisi hisap akan terperangkap pada rongga diantara sirif-sirif ulir dan selanjutnya mengalir mengikuti bentuk ulir sepanjang poros menuju sisi tekan pompa. Pompa jenis ini dapat terdiri dari 1, 2 atau 3 buah poros berulir.

Gambar 2.33. Pompa-Pompa Ulir



Single Screw Pump

Two Screw Pump

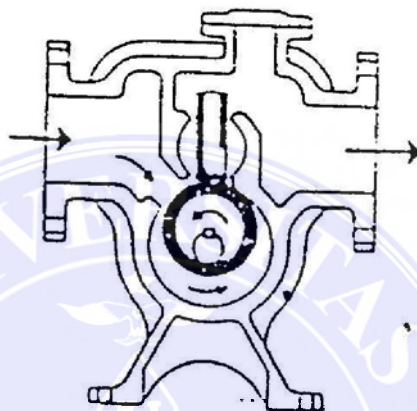
Three Screw Pump

Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

- 3) Pompa Piston dan Cam : Pompa jenis ini terdiri dari casing yang didalamnya terdapat poros eksentrik serta plunger yang dibagian

tengahnya berlubang. Plunger ini akan bergerak turun naik apabila poros eksentrik berputar. Ketika poros eksentrik berada pada sisi paling bawah, fluida ditekan oleh poros eksentrik akan mengalir melalui rongga ditengah plunger menuju saluran tekan.

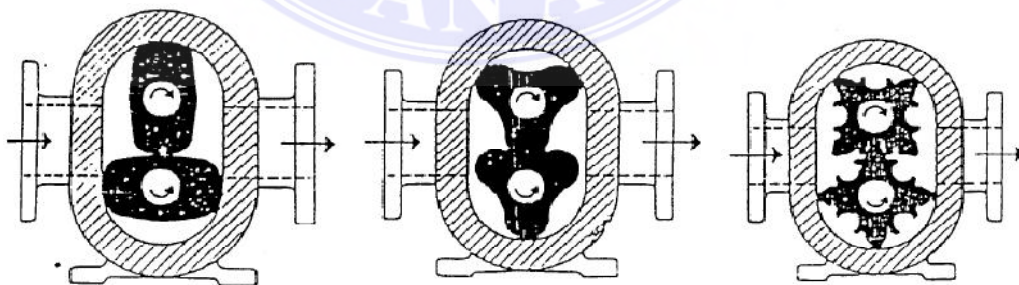
Gambar 2.34. Pompa Piston dan Cam



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

- 4) Pompa Lobe : Prinsip kerjanya sama dengan pompa roda gigi namun jumlah gigi-giginya lebih sedikit. Karena itu bentuk gigi diubah menjadi bentuk lobe. Pompa ini dapat terdiri dari 2, 3 atau 4 buah lobe.

Gambar 2.35. Pompa Lobe



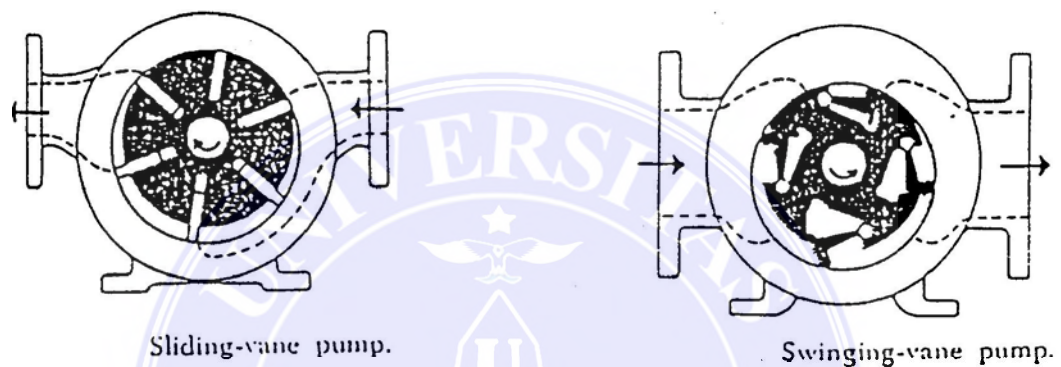
Two Lobe Rotary Pump Three Lobe Rotary Pump Four Lobe Rotary Pump

Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

- 5) Pompa Sudu Luncur : Pompa ini terdiri dari casing dan rotor yang tidak sesumbu. Disekeliling rotor dibuat alur secara radial. Pada alur-alur

tersebut ditempatkan sudu (Vane) yang dapat bergerak bebas dalam arah radial. Ketika poros berputar, efek gaya sentrifugal akan melempar sudu ke arah radial poros. Sudu ini akan menyembur dari poros sehingga merupakan suatu perangkat menjerat fluida dari sisi hisap pompa. Fluida yang terperangkap ini selanjutnya dialirkan ke sisi tekan pompa.

Gambar 2.36. Pompa Sudu Luncur



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

2.2. Pompa Rotodinamik (*Non Positive Displacement*)

Pompa rotodinamik ini dapat dibedakan atas dari 3 tipe yaitu :

- Pompa aliran radial (sentrifugal)
- Pompa aliran aksial
- Pompa aliran campuran (mixed flow)

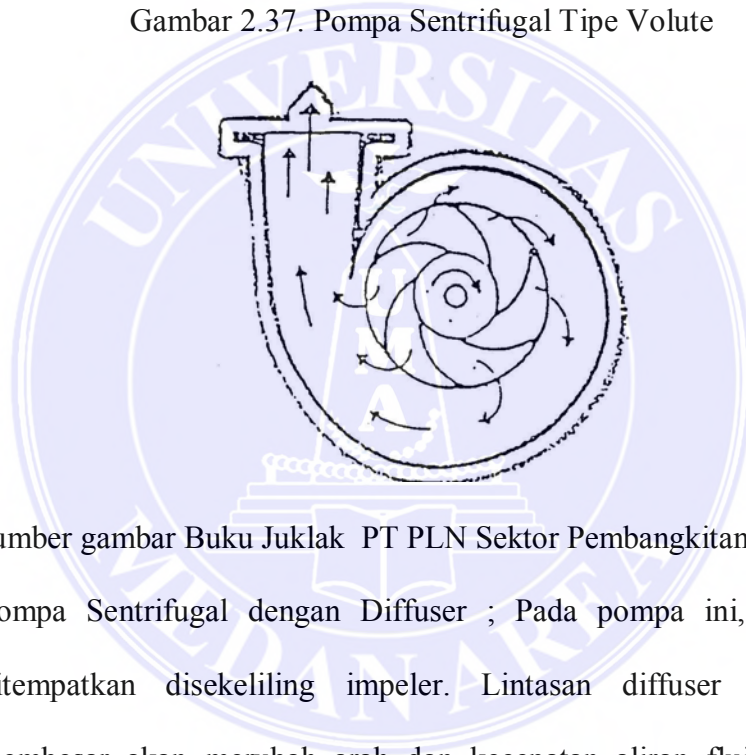
Pompa-pompa tersebut dapat dibedakan menurut :

- Jumlah Tingkat yaitu : single stage atau multi stage.
- Tipe Casing yaitu : volume, circular atau difluiser
- Posisi Poros yaitu : horizontal atau vertikal
- Sisi Hisap yaitu : single suction atau double suction

a. Pompa Aliran Radial (Pompa Sentrifugal)

- 1) Pompa Sentrifugal ; Pada pompa ini, gaya sentrifugal yang diterima oleh fluida dari gerakan impeller diubah menjadi kecepatan. Fluida ini selanjutnya mengalir dalam ruang (casing) yang semakin membesar (berbentuk rumah siput), mengakibatkan kecepatan fluida menjadi berkurang. Hal ini bertujuan untuk mentransformasikan energi kinetik fluida menjadi energi tekanan.

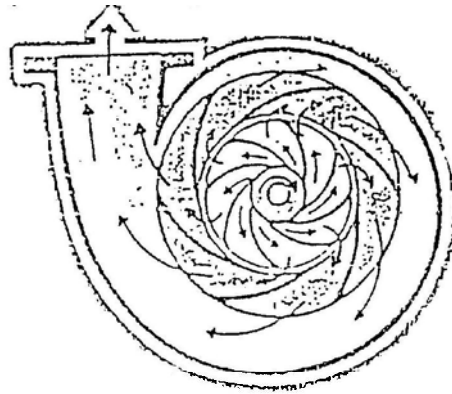
Gambar 2.37. Pompa Sentrifugal Tipe Volute



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

- 2) Pompa Sentrifugal dengan Diffuser ; Pada pompa ini, diffuser statis ditempatkan disekeliling impeler. Lintasan diffuser yang semakin membesar akan merubah arah dan kecepatan aliran fluida. Karena itu energi kinetic pada fluida diubah menjadi tekanan pada diffuser dan sebagian lagi pada rumah siput. Diffuser dapat mengurangi gaya pada poros pompa.

Gambar 2.38. Pompa Sentrifugal dengan Diffuser

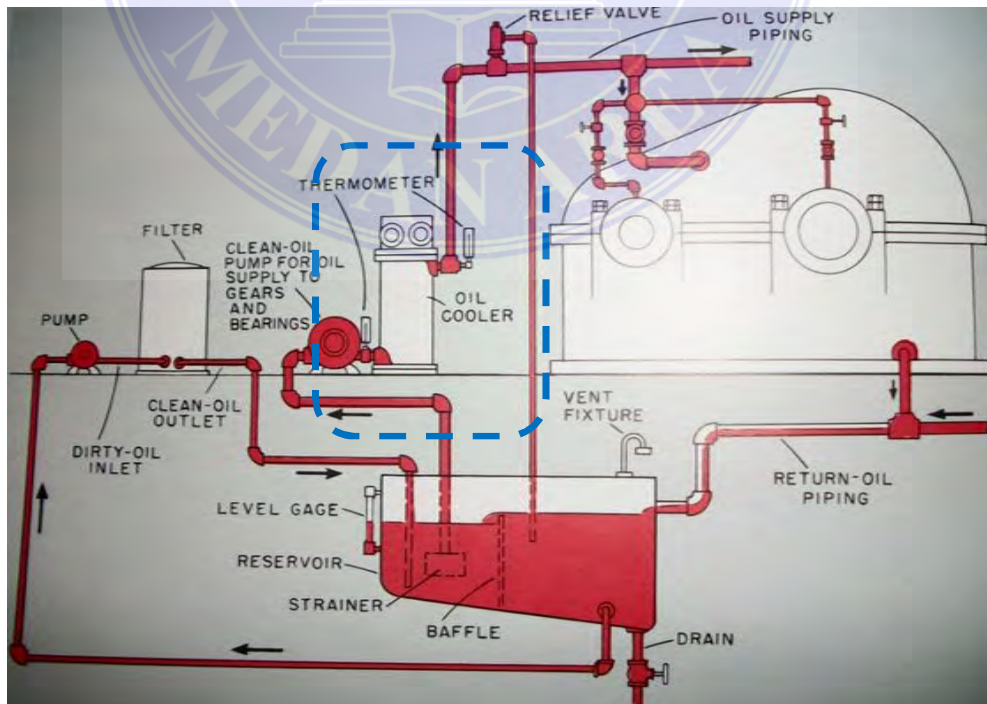


Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

2.4. Sistem Pendingin Pelumasan pada PLTU Unit 3 Belawan

Fungsi sistem pendingin pelumasan bertujuan untuk mempertahankan temperatur minyak pelumas saat unit sedang beroperasi pada kondisi konstan, sehingga kinerjanya menjadi optimal. *Oil cooler* dipasang pada *discharge* pompa sebelum masuk ke *bearing*. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut.

Gambar 2.39. Lay Out Oil Cooler pada Sistem Pelumasan



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor Pembangkitan Belawan

Umumnya pendingin pelumas dipasang dua buah yang beroperasi 100% dan bergantian. Bila salah satu dari pendingin tersebut dalam pemeliharaan, maka yang lain masih tetap dapat beroperasi walaupun dengan beban penuh. Pendingin ini dipasang secara paralel yang terletak diantara pompa pelumas dan bantalan.

Pada sebuah unit pembangkit *termal*, sistem pendingin mutlak sangat diperlukan untuk mengatur penyerapan dan pembuangan panas yang tidak diinginkan dan menjaga kestabilan temperatur dan tekanan pada unit ketika beroperasi dengan beban penuh.

Secara garis besar, sistem pendingin pelumasan terdiri dari 4 alat utama yaitu :

1. CWP (Circulate Water Pump)
2. Kondensor.
3. Heat Exchanger
4. Auxiliary Cooling Water (ACW) Pump

Berikut detail peralatan dan fungsinya pada sistem pendingin PLTU :

1. CWP (Circulate Water Pump) : Merupakan bagian pertama dari sistem pendingin. Pompa ini bertugas untuk mengambil air pendingin dari laut, biasanya terletak pada areal *Water Intake*. Pompa CWP ini berbentuk vertical dengan *suction*-nya berada pada kedalaman laut yang cukup dalam, sehingga diperoleh air pendingin yang maksimal. Dari CWP, air pendingin dipompakan menuju dua alat pendingin lainnya yakni Kondensor dan *Heat Exchanger*.

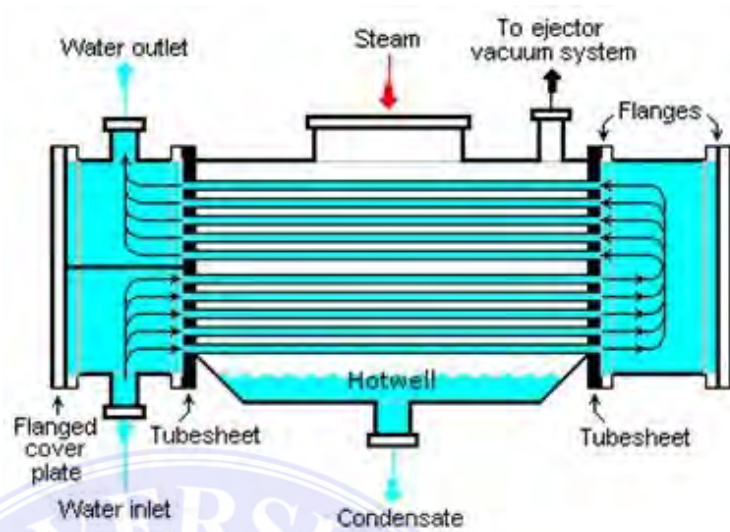
2.Kondensor : Berfungsi sebagai pengubah/mengembunkan uap keluaran turbin untuk kemudian dijadikan air kembali yang akan digunakan untuk siklus selanjutnya. Kondensor ini terdiri dari dua bagian, ada yang menyebutnya sisi A dan sisi B, sisi Barat dan sisi Timur, atau juga sisi Utara dan Selatan.

Pada kondensor terdapat tube-tube kecil melintang yang dialirkan air pendingin dari laut untuk menyerap panas uap, sedangkan uapnya mengalir dari bagian atas kondensor menuju bagian bawah hingga mengalami kondensasi atau pengembunan. Pada sisi bagian bawah kondensor, uap yang terkondensasi menjadi air akan ditampung pada bak *Hotwell*.

Agar temperatur uap yang dikondensasi ini dapat bergerak turun dengan baik pada sudu terakhir LP Turbin, maka kevakuman kondensor harus dijaga pada batas yang ditentukan. Vakum adalah tekanan negatif pada kondensor yang harus selalu dijaga, karena jika terlalu rendah maka akan terjadi back pressure pada turbin yang dapat menyebabkan turbin mengalami trip/rusak.

Vakum minimal yang diperkenankan sekitar 500 mmHg, namun vakum maksimal yang bisa dicapai berkisar 710-720 mmHg.

Gambar 2.40. Siklus Condensat



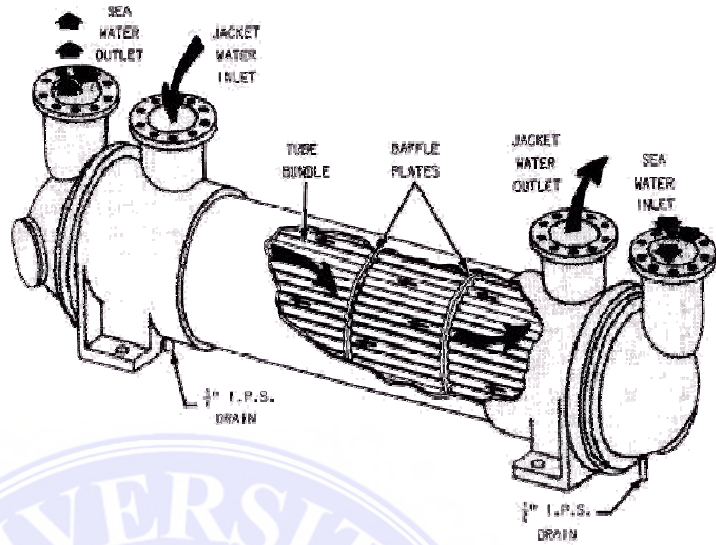
Sumber gambar <http://rakhman.net/power-plants/prinsip-kerja-kondensor/>

3.Heat Exchanger : Seperti halnya pada kondensor, alat pendingin *Heat Exchanger* (HE) ini menggunakan pendingin air laut. Air yang didinginkan di HE adalah air tawar yang juga berfungsi sebagai air pendingin. Air tawar ini selanjutnya difungsikan untuk mendinginkan :

- Gas H₂ pendingin generator
- Minyak pelumas turbin
- Minyak pelumas peralatan-peralatan unit lainnya seperti Pompa, *FD Fan*, dll.

Gambar berikut memperlihatkan cara kerja HE. Air laut mengalir melalui *tube-tube* HE, sedangkan air tawar yang didinginkan berputar mengelilingi diluar *tube-tube* yang bergerak berlawanan arah.

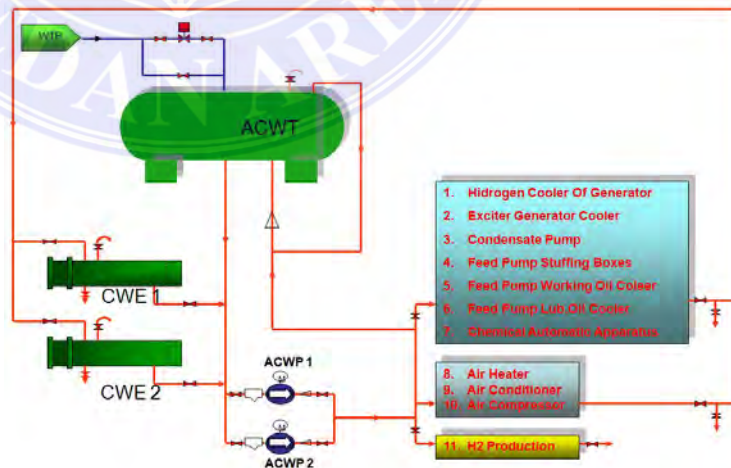
Gambar 2.41. Heat Exchanger (HE)



Sumber gambar <http://www.tpub.com/engine3/en32-19.htm>

4.ACW (Auxiliary Cooling Water) : Alat terakhir pada sistem pendingin adalah *ACW Pump* (*Auxiliary Cooling Water Pump*) berfungsi untuk mendistribusikan air tawar yang sudah didinginkan oleh HE ke seluruh peralatan di unit.

Gambar 2.42. Sistem Air Pendingin Auxiliary



Sumber gambar Buku Juklak PT PLN Sektor
Pembangkitan Belawan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dan pengamatan ini berlokasi di (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan Jl. Pulau Sicanang No. 1 Belawan - Sumatera Utara.

Gambar 3.1. PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan



Sumber gambar dokumentasi PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan

Waktu penelitian ini di mulai dari persetujuan judul skripsi dari ketua program studi Teknik Mesin Universitas Medan Area, pengambilan data, pengolahan data, analisa data, hingga penyusunan skripsi dinyatakan selesai oleh komisi pembimbing.

Dari hasil penelitian dan pengamatan ini kemudian dilakukan pengumpulan data berupa data *logsheet harian* berdasarkan operasional unit di *control room*

PLTU milik PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan. Data tersebut berupa temperatur keluar dan masuk dari media pendingin *lube oil cooler* serta tekanan *differensial* yang terjadi pada *Seal Oil System*.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

a. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam pengambilan data terdiri dari :

1. *Lube oil cooler*, berfungsi sebagai alat perpindahan panas yang akan dilakukan penelitian. Alat ini merupakan objek utama penelitian ini dan dilengkapi dengan *pressure gauges* untuk mengetahui tekanan fluida minyak pelumas dan air pendingin yang bekerja pada *lube oil cooler*.

Gambar 3.2. *Lube Oil Cooler* pada PLTU Unit-3

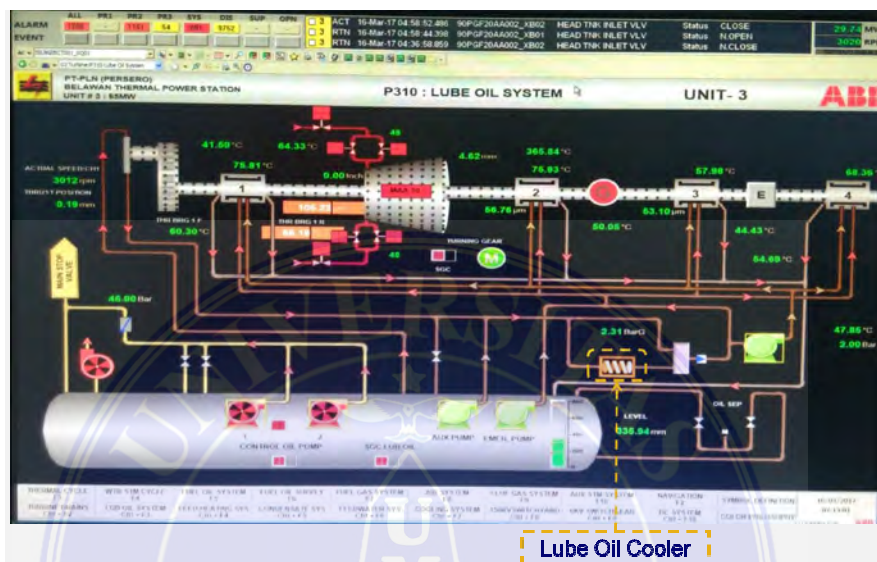


Sumber gambar Dokumentasi penulis di PLTU unit-3 PT PLN Belawan

2. Komputer/Alat pengolah data, berfungsi untuk membaca, mengumpulkan dan mengolah data yang dikirim dari *thermometer* dan *pressure gauges* yang terpasang pada unit lube oil cooler. Pada penelitian ini komputer digunakan untuk memonitor seluruh parameter alat ukur yang terpasang pada unit

pembangkit PLTU termasuk *lube oil cooler* pada saat beroperasi untuk menjaga dan memastikan bahwa kondisi pembangkit berada dalam performa terbaik dan handal.

Gambar 3.3. Monitor *Lube Oil Cooler* di *Control Room* pada PLTU Unit-3



Sumber Dokumentasi penulis di PLTU unit-3 PT PLN Belawan

3. *Digital Infrared Thermometer*, digunakan secara manual untuk mengukur temperatur fluida minyak pelumas dan fluida pendingin dititik masuk dan keluar dilokasi *lube oil cooler* terpasang. Hal ini dilakukan apabila akan membandingkan hasil pengukuran dilokasi *lube oil cooler* terpasang dengan hasil pembacaan pada panel diruang *control room*. *Digital Infrared Thermometer* ini dapat memberikan hasil pengukuran yang akurat dan cepat pada objek yang diukur dari jarak jauh maupun berada di lingkungan yang bahaya tanpa harus bersentuhan langsung.

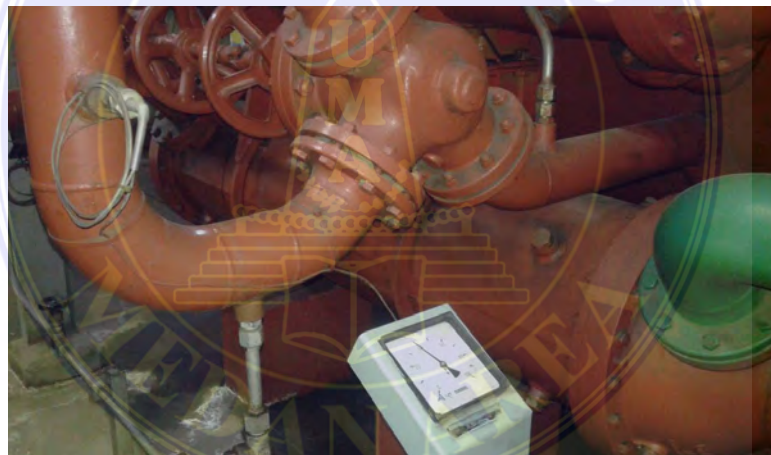
Gambar 3.4. *Digital Infrared Thermometer*



Sumber gambar dokumentasi penulis di PLTU unit-3 PT PLN Belawan

4. *Pressure gauges*, berfungsi untuk mengetahui tekanan *differensial* pada fluida minyak pelumas dan air pendingin yang bekerja didalam *lube oil cooler*

Gambar 3.5. *Pressure Gauges* yang dipasang pada *Lube Oil Cooler*



Sumber gambar dokumentasi penulis di PLTU unit-3 PT PLN Belawan

b. Bahan

Bahan yang menjadi objek pada penelitian ini terdiri dari :

1. Air demin yang berfungsi sebagai fluida pendingin.
2. Minyak pelumas turbin (*Oli*) yang berfungsi sebagai fluida pelumasan turbin yang merupakan fluida panas yang akan dipindahkan sebagian panasnya ke fluida pendingin.

3.3. Proses Penelitian

Proses yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Observasi

Observasi merupakan proses pertama yang dilakukan pada penelitian ini karena penelitian ini termasuk ragam penelitian empiris dimana terdapat studi kasus dan studi lapangan. Observasi penelitian ini dilakukan di PLTU milik PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan. Dengan objek observasi sistem kerja lube oil cooler pada turbin yang merupakan salah satu komponen pendingin minyak pelumas pada turbin, dengan menggunakan air demin dari laut sebagai fluida pendinginnya.

b. Studi Literatur

Teori serta konsep penelitian yang dikembangkan dan berkaitan dengan masalah yang dihadapi lapangan sebagai dasar menuju tahapan selanjutnya. Dalam hal ini, studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori – teori yang akan digunakan untuk mencapai tujuan penelitian yang hendak dicapai. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber antara lain bahan teori dasar PLN, Laporan Statistik Ketenagalistrikan yang diterbitkan oleh Ditjen Ketenagalistrikan Kementerian ESDM, beberapa jurnal dan buku yang sesuai.

c. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan prosedur yang sistematis dan standar untuk memperoleh data yang diperlukan. Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah dengan mencatat suhu - suhu yang menjadi objek penelitian. Data - data yang diperlukan antara lain :

1. Temperatur minyak pelumas ketika masuk kedalam lube oil cooler (T_{in})
2. Temperatur minyak pelumas setelah keluar dari lube oil cooler (T_{out})
3. Temperatur air pendingin ketika masuk lobe oil cooler (t_{in})
4. Temperatur air pendingin setelah keluar dari lube oil cooler (t_{out})
5. Temperatur permukaan lube oil cooler (T_{∞})
6. Temperatur sekitar ruangan (T_s)
7. Koefisien panas air laut ($h_{air\ laut}$)
8. Koefisien panas udara (h_{udara})
9. Luas permukaan lube oil cooler (A)
10. Emmisivitas permukaan lube oil cooler (ε)
11. Koefisien radiasi ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
12. Data lain yang mendukung sesuai kebutuhan

d. Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah agar dapat digunakan dalam penelitian. Metode perhitungan kecepatan perpindahan panas *heat transfer rate* (Q_{total}) yang digunakan pada pengolahan data adalah sebagai berikut :

1. Laju perpindahan panas konveksi : $Q_c = - h.A(T_{out} - T_{in})$
2. Laju perpindahan panas radiasi : $Q_r = \sigma.A.\varepsilon(T_s^4 - T_{\infty}^4)$
3. Laju perpindahan panas total : $Q_{total} = Q_c + Q_r$

e. Analisis Data

Analisis data adalah proses pengaturan data, mengelompokkannya ke dalam suatu pola, kategori dan satuan uraian dasar. Teknik analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah teknik analisis data secara deskriptif dimana penyajian

data *heat transfer rate* yang telah diolah sebelumnya disajikan dalam bentuk grafik, tabel, presentasi atau pun diagram.

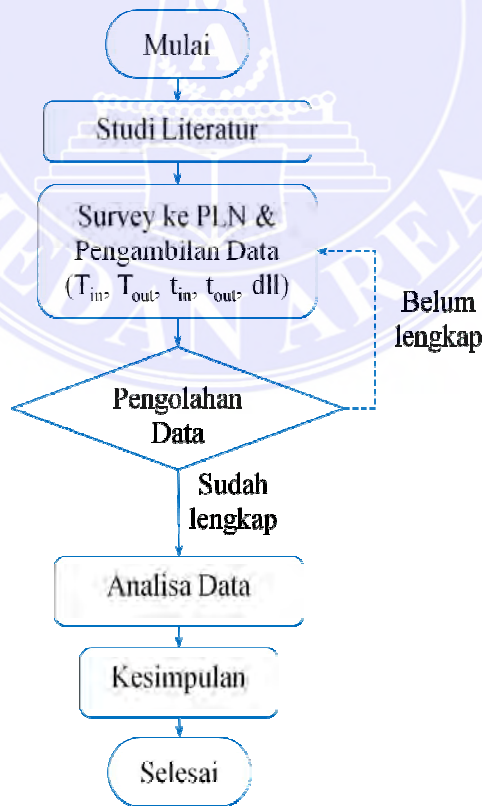
f. Kesimpulan

Kesimpulan yang diharapkan dari penelitian ini adalah hasil perbandingan nilai *heat transfer rate* antara air sebagai fluida pendingin dengan minyak pelumas sebagai fluida panas pada sistem *lube oil cooler*.

3.4. Flow Chart Penelitian

Tahapan yang perlu dilakukan pada penelitian ini disajikan dalam bentuk Flow Chart Penelitian yang merupakan diagram alur proses penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

Gambar 3.6. Flow Chart Penelitian (Diagram Alur Proses Penelitian)



Sumber gambar dokumentasi penulis

Tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut :

a. Persiapan Alat dan Bahan

Sebagai tahapan awal pada penelitian ini ialah mempersiapkan alat dan bahan yang akan diperlukan antara lain :

1. Perakatan instalasi *Lube Oil Cooler*
2. Komputer / Alat pengolah data pada *Main Control Room*
3. *Digital Infrared Thermometer*
4. *Pressure Gauges*
5. Air demin sebagai media pendingin
6. Minyak pelumas sebagai media yang akan didinginkan

b. Pengukuran Temperatur

Langkah kedua yang harus dilakukan adalah pengukuran temperatur dengan menggunakan *thermocople* pada 6 titik yaitu berikut :

1. Temperatur minyak pelumas pada sisi *oil inlet lube oil cooler (T_{in})*, untuk mengetahui temperatur minyak pelumas yang masuk kedalam lube oil cooler/yang akan didinginkan
2. Temperatur minyak pelumas pada sisi *oil outlet lube oil cooler (T_{out})*, untuk mengetahui temperatur minyak pelumas yang keluar dari lube oil cooler/setelah pendinginan
3. Temperatur air pendingin pada sisi *water inlet lube oil cooler (t_{in})*, untuk mengetahui temperatur air pendingin yang masuk kedalam lube oil cooler
4. Temperatur air pendingin pada sisi *water outlet lube oil cooler (t_{out})*, untuk mengetahui temperatur air pendingin yang keluar dari lube oil cooler/setelah menyerap panas dari minyak pelumas

5. Temperatur permukaan *lube oil cooler* (T_{∞}), untuk mengetahui besarnya penambahan panas yang berasal dari permukaan *lube oil cooler*
6. Temperatur sekitar ruangan (T_s), untuk mengetahui besarnya radiasi udara panas yang berasal dari sekitar ruangan
7. Temperatur turbin, untuk mengetahui temperatur rata - rata pada turbin dan temperatur minyak pelumas keluaran dari turbin

c. Pengukuran Tekanan

Langkah ketiga yang harus dilakukan adalah pengukuran tekanan dengan menggunakan alat *pressure switch*. Objek yang diukur adalah tekanan minyak pelumas dan tekanan air pending yang akan digunakan untuk menghitung tekanan differensial untuk dijadikan indikator heat transfer yang terjadi.

d. Pengukuran Dimensi/Spesifikasi *Lube Oil Cooler*

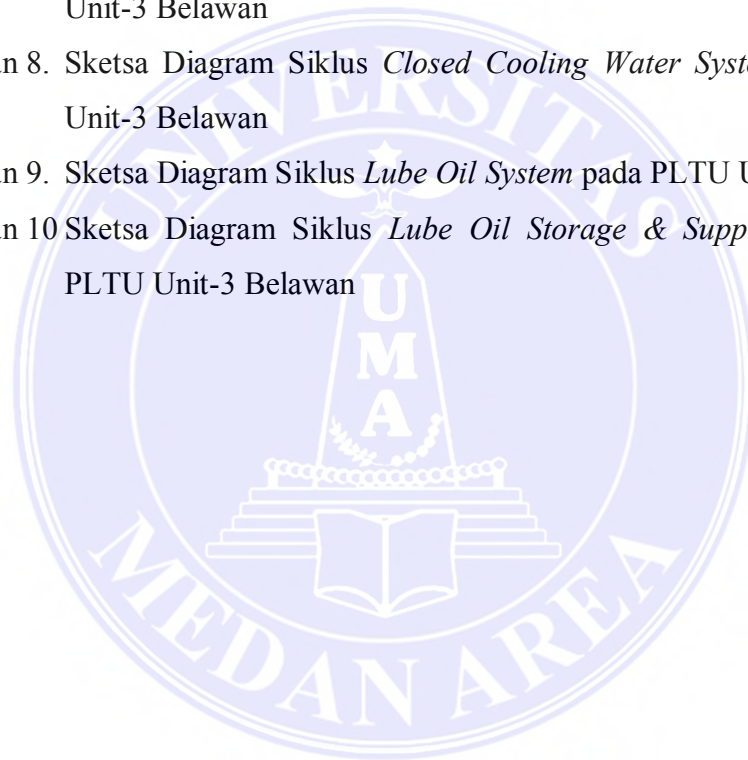
Langkah keempat yang harus dilakukan adalah pengambilan data dimensi/spesifikasi *lube oil cooler* dengan fluida pendingin air, misalnya Tipe DT Series. Data ini dapat diperoleh melalui data spesifikasi pada buku manual *lube oil cooler*, plat label spesifikasi yang terpasang di *lube oil cooler* dan juga dari komputer/alat pengolah data yang terdapat di *main control room*. Selanjutnya dari seluruh data yang telah terkumpul, akan dilakukan perhitungan yang sesuai, pembahasan dan analisa untuk mengetahui kinerja *lube oil cooler* tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Tunggul M. Sitompul. (1993), *Alat Penukar Kalor*, edisi 1, Cet . 1. Jakarta: Rajawali Pers
- Holman, J.P. (1994), *Perpindahan Kalor*, Jakarta: Erlangga
- Donald R. Pitts, Ph.D dan Leighton E. Sissom, Ph.D.,P.E. (2011), *Perpindahan Kalor*, edisi kedua, Jakarta: Erlangga
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan, (2010), *Heat Exchanger*, PT. PLN (Persero)
- Dwi Senjaya F., H. Napitupulu F. (2013), *Analisa Pengaruh Water Wash Terhadap Performansi Turbin Gas Pada PLTG Unit 7 Paya Pasir PT. PLN Sektor Pembangkitan Medan*, Medan: Volume 7, No.3, Jurnal Ilmu
- Gatot Sumarno F., Priyoatmojo S., 2015, *Perpindahan Panas Pada Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger di Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon*, Medan: Volume 11, No.3, Jurnal Ilmu
- Khoiri Wibowo A., Arip Dwiyantoro B., 2014, *Studi Numerik Peningkatan Cooling Performace pada Lube Oil Cooler Gas Turbine yang Disusun Secara Seri dan Paralel dengan Variasi Kapasitas Aliran Lube Oil*, Medan: Volume 3, No.2, Jurnal Ilmu

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Parameter Pengukuran
- Lampiran 2. Turbin Generator Logsheet Control Room & Lokal tgl. 3 Juni 2017
- Lampiran 3. Turbin Generator Logsheet Control Room & Lokal tgl. 4 Juni 2017
- Lampiran 4. Turbin Generator Logsheet Control Room & Lokal tgl. 5 Juni 2017
- Lampiran 5. Turbin Generator Logsheet Control Room & Lokal tgl. 6 Juni 2017
- Lampiran 6. Turbin Generator Logsheet Control Room & Lokal tgl. 7 Juni 2017
- Lampiran 7. Sketsa Diagram Siklus *Steam and Water System Turbin* pada PLTU
Unit-3 Belawan
- Lampiran 8. Sketsa Diagram Siklus *Closed Cooling Water System* pada PLTU
Unit-3 Belawan
- Lampiran 9. Sketsa Diagram Siklus *Lube Oil System* pada PLTU Unit-3 Belawan
- Lampiran 10 Sketsa Diagram Siklus *Lube Oil Storage & Supply System* pada
PLTU Unit-3 Belawan



Lampiran 1. Parameter Pengukuran

PARAMETER PENGUKURAN			SATUAN	DATA RATA-RATA HASIL PENGUKURAN					Σ RATA-RATA SAMPLING	
				03/06/17	04/06/17	05/06/17	06/06/17	07/06/17		
LEVEL 5.2 AREA (LOCAL)	LO PRESS	BEFORE FILTER	BAR	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	
		AFTER FILTER	BAR	1.95	1.95	1.95	1.95	1.94	1.95	
	LO TEMP. OIL	AFTER FILTER	°C	52.26	51.70	51.53	52.70	53.06	52.25	
		BEFORE COOLER	°C	60.84	61.18	60.95	61.74	62.18	61.38	
		AFTER COOLER	°C	49.42	49.58	49.45	50.44	50.70	49.92	
	CONTROL OIL PRESS			BAR	42.32	43.00	43.00	43.00	43.00	42.86
	TEMP. CCW L.O. SIDE	INLET COOLING	°C	32.00	32.00	32.00	32.00	33.04	32.21	
		OUTLET COOLING 1	°C	32.74	34.84	34.43	34.58	35.52	34.42	
		OUTLET COOLING 2	°C	-	-	-	-	-	-	
	LUBE OIL TANK			%	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
	GLAND ST. TEMP.	BEFORE BEARING	°C	162.24	161.24	160.30	163.00	163.52	162.06	
		AFTER BEARING	°C	125.32	126.24	125.70	131.84	131.56	128.13	
COND. PRESS AFTER			BAR	21.01	21.08	21.20	21.10	20.10	20.90	
LEVEL0. 90	GEN COOL T.	BEFORE COOLING	°C	34.88	34.86	35.05	35.40	36.28	35.29	
		AFTER COOLING	°C	41.48	41.46	42.00	42.00	42.28	41.84	

Lampiran 1. Parameter Pengukuran

PARAMETER PENGUKURAN			HASIL PENGUKURAN															KESIMPULAN			
			03 Juni 2017			4 Juni 2017			5 Juni 2017			6 Juni 2017			7 Juni 2017						
			Max	Rata2	Min	Max	Rata2	Min	Max	Rata2	Min	Max	Rata2	Min	Max	Rata2	Min				Max
LEVEL 5.2 AREA (LOCAL)	LO PRESS	BEFORE FILTER	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
		AFTER FILTER	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.94	1.93	1.95	1.95	1.93	
	LO TEMP. OIL	AFTER FILTER	53.00	52.26	52.00	52.00	51.70	51.50	52.50	51.53	51.00	53.00	52.70	52.50	53.50	53.06	52.50	53.50	52.25	51.00	
		BEFORE COOLER	62.00	60.84	60.50	62.00	61.18	60.50	61.50	60.95	60.50	62.00	61.74	61.50	62.50	62.18	62.00	62.50	61.38	60.50	
		AFTER COOLER	51.00	49.42	49.00	50.00	49.58	49.00	50.00	49.45	49.00	51.00	50.44	50.00	51.50	50.70	50.00	51.50	49.92	49.00	
		CONTROL OIL PRESS	43.00	42.32	42.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	42.86	42.00
		INLET COOLING	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	34.00	33.04	32.00	34.00	32.21	32.00	
		TEMP. CCW L.O. SIDE	OUTLET COOLING 1	34.50	32.74	32.00	35.00	34.84	34.50	34.50	34.43	34.00	35.50	34.58	34.50	36.00	35.52	35.00	36.00	34.42	32.00
			OUTLET COOLING 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			LUBE OIL TANK	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
		GLAND ST. TEMP.	BEFORE BEARING	163.00	162.24	161.00	162.00	161.24	160.00	163.00	160.30	160.00	163.00	163.00	163.00	164.00	163.52	163.00	164.00	162.06	160.00
			AFTER BEARING	126.00	125.32	125.00	127.00	126.24	125.00	132.00	125.70	125.00	132.00	131.84	130.00	133.00	131.56	130.00	133.00	128.13	125.00
		COND. PRESS AFTER	21.20	21.01	21.00	21.20	21.08	21.00	21.20	21.20	21.20	21.20	21.10	20.00	20.20	20.10	20.00	21.20	20.90	20.00	
LEVEL 0.90	GEN COOL T.	BEFORE COOLING	36.00	34.88	34.50	35.50	34.86	34.50	35.50	35.05	35.00	36.00	35.40	35.00	37.00	36.28	36.00	37.00	35.29	34.50	
		AFTER COOLING	43.00	41.48	41.00	42.50	41.46	41.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	43.00	42.28	42.00	43.00	41.84	41.00	



No. Dok	: FOR /OPR/PROD/040
No. Revisi	: 00
Tgl. Berlaku	: 15 - 4 - 2004
Hal	: VI



PT PLN (PERSERO)
KIT SUMBAGUT
SEKTOR PEMBANGKITAN BELAWAN

TURBIN GENERATOR LOG SHEET CONTROL ROOM & LOKAL

LEMBAR KE : 1

UNIT : 3

TANGGAL : 04 Juni 2017

ITEM	TIME	TURBIN - SPEED	GENERATOR POWER	LUBE OIL (CONTROL ROOM)			LEVEL 5.2 AREA (LOCAL)											LEVEL 0.90		VIBRATION			TEMPERATURE								CC W			
				LUBE OIL PRESSURE BEFORE COOLER	LUBE OIL PRESSURE AFTER FILTER	CONTROL FLUID PRESSURE	LO PRESS		LO TEMP. OIL			CONTROL OIL PRESS AFTER FILTER	TEMP. CCW L.O. SIDE			LUBE OIL TANK LEVEL	GLAND ST. TEMP.		COND. PRESS AFTER STEAM CONDENSATE	GEN COOL T.		SHAFT VIBRATION BEARING 1	SHAFT VIBRATION BEARING 2	SHAFT VIBRATION BEARING 3	METAL TEMPERATURE BEARING 1	METAL TEMPERATURE BEARING 2	METAL TEMPERATURE BEARING 3	METAL TEMPERATURE BEARING 4	METAL TEMP. THRUST BEARING FRONT	METAL TEMP. THRUST BEARING REAR	RAW WATER FLOW	TANK LEVEL	OUTLET COOLER TEMPERATURE	
							BEFORE FILTER	AFTER FILTER	AFTER FILTER	BEFORE COOLER	AFTER COOLER		$T_{c in}$	$T_{c out}$	$T_{c in}$		$T_{c out}$	BEFORE BEARING		AFTER BEARING	BEFORE COOLING													AFTER COOLING
				BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	°C	°C	°C	BAR	°C	°C	°C	%	°C	°C	BAR	°C	°C	um	um	um	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	M ³ /H	M	°C
LIMIT	Max	-	65	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	92	300	-	-	-	-	82	80	80	95	115	90	80	78	78	-	-	80	
	Nm	3,000	-	2.4	2.1	39	2.3	2	41	59	40	38	34	40	40	50	200	150	24	36	40	68	28	50	78	98	78	68	65	61	-	-	1.5	32
	Min	-	-	-	0.9	36	-	0.9	15	-	-	36	-	-	-	37	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0
	0:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	52	60.5	49	43	32	35	60	161	126	21.2	35	42	91.3	32.4	42.1	76.7	74.3	56.4	67.9	31.4	64.0	-	-	1.19	33	
	1:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	52	60.5	49	43	32	35	60	161	126	21.2	35	42	90.5	32.3	41.9	76.2	74.1	55.5	66.8	31.8	65.6	-	-	1.32	33	
	2:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	52	60.5	49	43	32	35	60	161	126	21	35	42.5	91.2	32.9	42.7	77.1	74.8	56.8	68.1	31.4	64.2	-	-	1.38	33	
	3:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	60.5	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	89.4	32.2	42.1	77.3	75.2	56.9	67.8	29.8	64.5	-	-	1.3	33	
	4:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	60.5	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	89.5	33.4	43.5	77.8	75.3	57.2	68	29.6	64.9	-	-	1.2	33	
	5:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	96.6	34.6	44.8	78	75.5	57.6	68.2	29.4	65.3	-	-	1.18	34	
	6:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	95.3	35.2	43.9	77.6	75.4	57.6	68.3	29.5	65.1	-	-	1.48	34	
	7:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	94.8	34.1	43.9	77.5	75.3	57.2	68.3	29.7	65.3	-	-	1.39	34	
	8:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	95.3	33.2	43.7	77.8	75.6	57.6	67.9	28.5	64.7	-	-	1.3	33	
	9:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	94.7	33.8	42.9	77.1	75	56.7	67.7	31.3	64	-	-	1.36	33	
	10:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	94.7	33.8	42.9	77.1	75	56.7	67.7	31.3	64.2	-	-	1.18	33	
	11:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	90	47	41.3	75.5	73.1	55	67.7	31.7	62.8	-	-	1.4	31	
	12:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	90.3	47	41.3	75.3	73.1	55	67.3	31.7	62.8	-	-	1.3	33	
	13:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	90.3	47	41.3	75.3	73.1	55	67.5	31.7	62.8	-	-	1.25	32	
	14:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	90.3	47	41.3	75.3	73.1	55	67.5	31.7	62.8	-	-	1.18	32	
	15:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	91.2	48.3	44	76.2	73.1	55.1	67	34.7	63.8	-	-	1.4	32	
	16:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	35	60	161	126	21	34.5	41	94	48	44	76.1	73.1	56.1	67	34.7	63.8	-	-	1.3	32	
	17:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	52	62	50	43	32	34.5	60	162	127	21.2	35.5	42	96.9	48.9	45.1	76.1	73.4	55.6	68.4	34.7	66.4	-	-	1.3	33	
	18:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	52	62	50	43	32	34.5	60	162	127	21.2	35.5	42	89.3	46.1	42.9	76.1	73	55.3	67.9	34.1	66.4	-	-	1.22	33	
	19:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	52	62	50	43	32	34.5	60	162	127	21.2	35.5	42	89.3	45.9	42.9	76.2	73.5	55.8	67.5	34.1	66.1	40	1.35	33		
	20:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	52	62	50	43	32	34.5	60	162	127	21.2	35.5	42	89.2	45.8	42.9	76.6	74.1	56.4	68.2	34.3	66.1	40	1.48	33		
	21:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	52	62	50	43	32	34.5	60	162	127	21.2	35.5	42	86.9	43.8	43.7	73.2	74.8	57.1	67.3	30.1	65.9	40	1.38	33		
	22:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	52	62	50	43	32	34.5	60	162	127	21.2	35.5	42	87.7	44.9	43.2	77.1	74.7	57.1	67.5	29.6	65.6	40	1.3	33		
	23:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	52	62	50	43	32	34.5	60	162	127	21.2	35.5	42	93.5	46.2	43.4	77.7	75.2	57.3	67.9	29.7	64.7	40	1.2	34		
	24:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5	60	160	125	21.2	35	42	92.5	46.2	43.4	77.6	75.4	57.5	67.9	30.2	64.8	40	1.18	33		
REALISASI	Max	3000	40	2.30	2.00	45.00	2.09	2.0	52.0	62.0	50.0	43.0	32.0	35.0	0.0	60.0	162.0	127.0	21.2	35.5	42.5	96.90	48.90	45.10	78.00	75.60	57.60	68.40	34.70	66.40	40.00	1.48	34.00	
	Rata2	3000	40	2.30	2.00	45.00	2.09	2.0	51.7	61.2	49.6	43.0	32.0	34.8	0.0	60.0	161.2	126.2	21.1	34.9	41.5	91.79	40.80	43.00	76.58	74.33	56.38	67.73	31.47	64.66	40.00	1.30	32.92	
	Min	3000	40	2.30	2.00	45.00	2.09	2.0	51.5	60.5	49.0	43.0	32.0	34.5	0.0	60.0	160.0	125.0	21.0	34.5	41.0	86.90	32.20	41.30	73.20	73.00	55.00	66.80	28.50	62.80	40.00	1.18	31.00	

No. Dok	: FOR /OPR/PROD/040
No. Revisi	: 00
Tgl. Berlaku	: 15 - 4 - 2004
Hal	: VI



PT PLN (PERSERO)
KIT SUMBAGUT
SEKTOR PEMBANGKITAN BELAWAN

TURBIN GENERATOR LOG SHEET CONTROL ROOM & LOKAL

LEMBAR KE : 1

UNIT : 3
 TANGGAL : 05 Juni 2017

ITEM	TURBIN - SPEED	GENERATOR POWER	LUBE OIL (CONTROL ROOM)			LEVEL 5.2 AREA (LOCAL)											LEVEL 0.90		VIBRATION			TEMPERATURE								CC W				
			LUBE OIL PRESSURE BEFORE COOLER	LUBE OIL PRESSURE AFTER FILTER	CONTROL FLUID PRESSURE	LO PRESS		LO TEMP. OIL			TEMP. CCW L.O. SIDE			LUBE OIL TANK LEVEL	GLAND ST. TEMP.		COND. PRESS. AFTER STEAM CONDENSATE		GEN COOL T.		SHAFT VIBRATION BEARING 1	SHAFT VIBRATION BEARING 2	SHAFT VIBRATION BEARING 3	METAL TEMPERATURE BEARING 1	METAL TEMPERATURE BEARING 2	METAL TEMPERATURE BEARING 3	METAL TEMPERATURE BEARING 4	METAL TEMP. THRUST BEARING FRONT	METAL TEMP. THRUST BEARING REAR	RAW WATER FLOW	TANK LEVEL	OUTLET COOLER TEMPERATURE		
TIME	RPM	MW	BAR	BAR	BAR	$P_{in\ turb}$	BAR	BAR	°C	°C	°C	BAR	°C	°C	°C	%	°C	°C	BAR	°C	°C	um	um	um	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	M ³ /H	M	°C
LIMIT	Max	-	65	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	92	300	-	-	-	-	82	80	80	95	115	90	80	78	78	-	-	80	
	Nm	3,000	-	2.4	2.1	39	2.3	2	41	59	40	38	34	40	40	50	200	150	24	36	40	68	28	50	78	98	78	68	65	61	-	-	1.5	32
	Min	-	-	-	0.9	36	-	0.9	15	-	-	36	-	-	-	37	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-
0:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5	S T A N D B Y	60	160	125	21.2	35	42	92.5	46.2	43.4	77.6	75.4	57.5	67.9	30.2	64.8	40	1.18	33		
1:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	93.1	46.4	43.2	77.9	75.6	57.7	68.1	30.1	65.4	40	1.2	33		
2:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	93.5	46.5	43.8	78.4	75.9	57.9	68.8	29.9	65.7	40	1.32	33		
3:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51	60.5	49	43	32	34		60	160	125	21.2	35	42	95.9	47.6	44.5	78.3	75.7	57.8	68.6	29.7	65.3	40	1.25	33		
4:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51	60.5	49	43	32	34		60	160	125	21.2	35	42	94.6	47.1	43.4	77.6	75.2	57.3	67.9	29.1	64.7	40	1.18	33		
5:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51	60.5	49	43	32	34		60	160	125	21.2	35	42	95.7	43.8	43.2	76.7	74.7	56.6	67.5	28.3	64	39	1.43	33		
6:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	60.5	49	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	95	45	43.7	77.2	74.9	57	67.1	28	64.3	39	1.4	34		
7:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	97.5	45.1	45.7	77.6	75.2	57.6	67.9	28.2	65	40	1.3	34		
8:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	86.1	42.2	41.8	76.7	74.5	56.6	67.5	27.9	64	40	1.21	34		
9:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	92.6	43.7	43.8	76.7	74.3	56.4	67.8	29.7	64	40	1.21	35		
10:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	85.8	42.7	41.7	75.8	73.3	55.5	68.2	31.6	63.3	40	1.39	32		
11:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	85.8	42.4	40.4	75.2	72.6	54.8	67.5	31.7	62.6	41	1.39	32		
12:00	3000	40	2.3	2	45																													
13:00	3000	40																																
14:00																																		
15:00	3000	40	2.3	2	45																	90.5	46.3	40.8	76.6	73.6	55.3	67.7	33.2	64	40	1.39	35	
16:00	3000	40	2.3	2	45																	90.5	46.3	40.8	76.6	73.6	55.3	67.7	33.2	64	40	1.39	35	
17:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	93.5	46.2	44	76.1	74.3	56.4	67.7	30	64	40	1.3	35		
18:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	93.5	46.2	44	76.1	74.3	56.6	67.7	30	64	40	1.25	35		
19:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	94.2	46	44	78	73.6	55.9	68	32.8	65	40	1.2	35		
20:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	94.2	46	43	77	73.6	56	68	30	62	39	1.12	34		
21:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	94.2	42.1	43	77	73.6	56	68	30	62	39	1.42	34		
22:00	3000	40	2.3	2	45	2.09	1.95	51.5	61	49.5	43	32	34.5		60	160	125	21.2	35	42	94.2	42.1	43	77	73.6	56	68	30	62	39	1.3	34		
23:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5		60	163	132	21.2	35.5	42	95.3	42.1	44.3	76.9	73.3	55.6	67.7	27.8	67.1	40	1.28	34		
24:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	95.3	42.8	44.5	77.1	73.4	55.9	67.7	27.8	67.1	40	1.2	34			
REALISASI	Max	3000	40	2.30	2.00	45.00	2.09	2.0	52.5	61.5	50.0	43.0	32.0	34.5	0.0	60.0	163.0	132.0	21.2	35.5	42.0	97.50	47.60	45.70	78.40	75.90	57.90	68.80	33.50	67.10	41.00	1.43	35.00	
	Rata2	3000	40	2.30	2.00	45.00	2.09	2.0	51.0	61.0	49.5	43.0	32.0	34.4	0.0	60.0	160.3	125.7	21.2	35.1	42.0	92.90	44.79	43.11	76.94	74.23	56.39	67.87	30.12	64.23	39.87	1.29	33.74	
	Min	3000	40	2.30	1.95	45.00	2.09	2.0	51.0	60.5	49.0	43.0	32.0	34.0	0.0	60.0	160.0	125.0	21.2	35.0	42.0	85.80	42.10	40.40	75.20	72.60	54.80	67.10	27.80	62.00	39.00	1.12	32.00	

No. Dok	: FOR /OPR/PROD/040
No. Revisi	: 00
Tgl. Berlaku	: 15 - 4 - 2004
Hal	: VI



PT PLN (PERSERO)
KIT SUMBAGUT
SEKTOR PEMBANGKITAN BELAWAN

TURBIN GENERATOR LOG SHEET CONTROL ROOM & LOKAL

LEMBAR KE : 1

UNIT : 3

TANGGAL : 06 Juni 2017

ITEM	TIME	TURBIN - SPEED	GENERATOR POWER	LUBE OIL (CONTROL ROOM)			LEVEL 5.2 AREA (LOCAL)											LEVEL.0.90		VIBRATION			TEMPERATURE								CC W				
				LUBE OIL PRESSURE BEFORE COOLER	LUBE OIL PRESSURE AFTER FILTER	CONTROL FLUID PRESSURE	LO PRESS		LO TEMP. OIL			CONTROL OIL PRESS AFTER FILTER		TEMP. CCW L.O. SIDE			LUBE OIL TANK LEVEL	GLAND ST. TEMP.		COND. PRESS AFTER STEAM CONDENSATE		GEN COOL T.		SHAFT VIBRATION BEARING 1	SHAFT VIBRATION BEARING 2	SHAFT VIBRATION BEARING 3	METAL TEMPERATURE BEARING 1	METAL TEMPERATURE BEARING 2	METAL TEMPERATURE BEARING 3	METAL TEMPERATURE BEARING 4	METAL TEMP. THRUST BEARING FRONT	METAL TEMP. THRUST BEARING REAR	RAW WATER FLOW	TANK LEVEL	OUTLET COOLER TEMPERATURE
				BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	°C	°C	°C	BAR	°C	°C	°C	%	°C	°C	BAR	°C	°C	um	um	um	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	M ³ /H	M	°C	
LIMIT	Max	-	65	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	92	300	-	-	-	-	82	80	80	95	115	90	80	78	78	-	-	80		
	Nm	3,000	-	2.4	2.1	39	2.3	2	41	59	40	38	34	40	40	50	200	150	24	36	40	68	28	50	78	98	78	68	65	61	-	-	1.5	32	
	Min	-	-	-	0.9	36	-	0.9	15	-	-	36	-	-	-	37	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-
	0:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	94.3	43.8	44.5	77.1	73.4	55.9	67.7	27.8	67.1	40	1.2	34			
1:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	95.2	44.3	44.7	78.2	74.2	56.2	68.2	28	66.8	40	1.15	33				
2:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	95.9	45.4	45	79	75.6	57.8	69	28.2	66.6	40	1.42	33				
3:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35	42	96.1	44.1	45.6	77.1	73.4	55.7	66.8	26.1	66.4	37	1.35	33				
4:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35	42	98.5	44.9	45.4	78.9	75.4	57.6	68.6	28.2	66.2	37	1.3	33				
5:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35	42	99.8	47.4	46.7	78.8	75.2	57.5	67.4	29	66.2	38	1.21	33				
6:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35	42	99.2	47.1	46.2	78.6	75.3	57.6	67.5	26.3	66.8	40	1.2	33				
7:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35	42	96.6	45.7	44.5	78.6	75.5	57.7	68.3	25.5	67.1	40	1.45	34				
8:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35	42	97.2	46.1	45.8	77.8	76.2	57.8	68.5	26.2	67.2	40	1.4	34				
9:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35	42	87.1	50.4	41.3	75.6	73	55	66.5	23.6	63.1	40	1.3	34				
10:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	88.9	42.3	42.7	77.3	74.1	56.4	67.9	28.4	64.9	40	1.2	34				
11:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	91.2	41.4	41.2	76.1	72.8	55	67.9	30.5	63.6	40	1.7	34				
12:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	52.5	61.5	50	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	94.7	42.4	41.5	76	72.8	54.8	67.8	30.4	63.6	40	1.25	33				
13:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	53	62	51	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	91.3	48.2	42.7	76	72.8	54.8	67.5	32.7	63.6	40	1.4	33				
14:00	3000	40	2.3	1.95	45	2.09	1.95	53	62	51	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	94.4	45.8	41.7	76.2	72.7	54.9	67.5	32.7	63.6	40	1.3	33				
15:00	3000	40	2.3	1.95	44	2.09	1.95	53	62	51	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	94	47.9	42.9	76.2	72.8	54.9	67.5	32.7	63.6	40	1.3	33				
16:00	3000	40	2.3	1.95	44	2.09	1.95	53	62	51	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	94.5	49	42.9	76.2	72.8	54.9	67.3	32.5	63.6	40	1.3	33				
17:00	3000	40	2.3	1.95	44	2.09	1.95	53	62	51	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	94.5	45	42.8	76.7	73.4	55.7	68.5	33.9	63.6	40	1.4	33				
18:00	3000	40	2.3	1.95	44	2.09	1.95	53	62	51	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	94.1	46	42.8	76.7	73.4	55.7	68.3	33.1	63.6	40	1.3	33				
19:00	3000	40	2.3	1.95	44	2.09	1.95	53	62	51	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	94.1	46	42.8	76.7	73.4	55.7	68.3	33.9	63.6	40	1.2	33				
20:00	3000	40	2.3	1.95	44	2.09	1.95	53	62	51	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	94.1	46	42.8	76.7	73.4	55.7	68.3	33.9	63.6	40	1.18	33				
21:00	3000	40	2.3	1.95	44	2.09	1.95	53	62	51	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	94.1	46	42.8	76.7	73.2	55.7	68.3	33.9	63.6	40	1.3	33				
22:00	3000	40	2.3	1.95	44	2.09	1.95	53	62	51	43	32	34.5	60	163	132	21.2	35.5	42	94.2	45.7	43.7	77	73.2	55.7	68.3	31.4	64.7	40	1.4	33				
23:00	3000	40	2.3	1.95	44.5	2.09	1.95	52.5	62	50.5	43	32	35.5	60	163	130	20	36	42	98.2	46.5	44.2	76.8	73.8	56.2	67.9	32.2	67.1	40	1.3	33				
24:00	3000	40	2.3	1.95	44.5	2.09	1.95	52.5	62	50.5	43	32	35.5	60	163	130	20	36	42	99.6	48.1	45.6	76.7	73.4	55.6	67.7	32.1	67.3	40	1.2	33				
REALISASI	Max	3000	40	2.30	1.95	45.00	2.09	2.0	53.0	62.0	51.0	43.0	32.0	35.5	0.0	60.0	163.0	132.0	21.2	36.0	42.0	99.80	50.40	46.70	79.00	76.20	57.80	69.00	33.90	67.30	40.00	1.70	34.00		
	Rata2	3000	40	2.30	1.95	44.64	2.09	2.0	52.7	61.7	50.4	43.0	32.0	34.6	0.0	60.0	163.0	131.8	21.1	35.4	42.0	94.87	45.82	43.71	77.11	73.81	56.02	67.90	30.13	65.08	39.68	1.31	33.24		
	Min	3000	40	2.30	1.95	44.00	2.09	2.0	52.5	61.5	50.0	43.0	32.0	34.5	0.0	60.0	163.0	130.0	20.0	35.0	42.0	87.10	41.40	41.20	75.60	72.70	54.80	66.50	23.60	63.10	37.00	1.15	33.00		

No. Dok	: FOR /OPR/PROD/040
No. Revisi	: 00
Tgl. Berlaku	: 15 - 4 - 2004
Hal	: VI



PT PLN (PERSERO)
KIT SUMBAGUT
SEKTOR PEMBANGKITAN BELAWAN

TURBIN GENERATOR LOG SHEET CONTROL ROOM & LOKAL

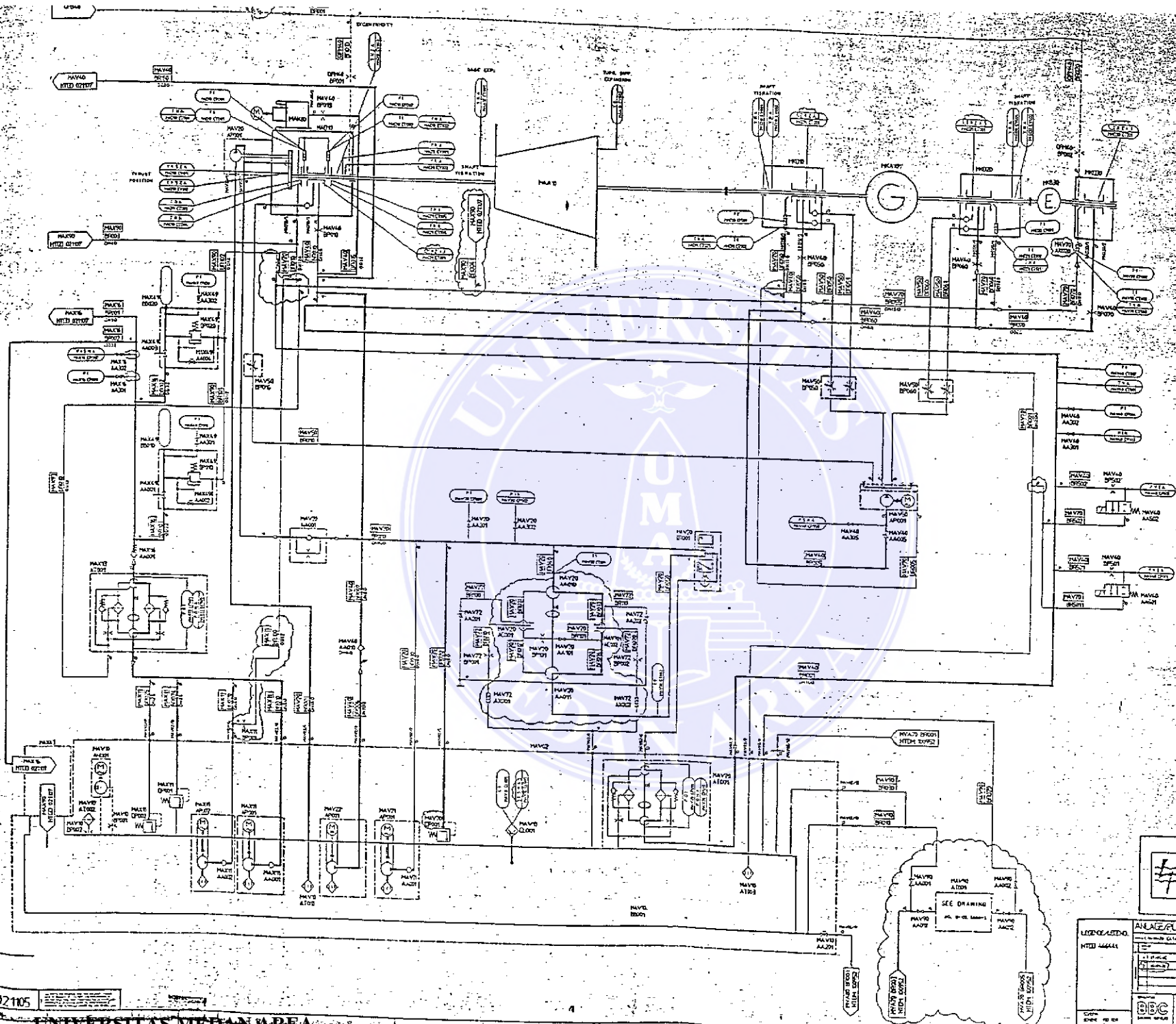
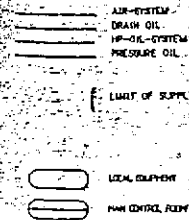
LEMBAR KE : 1

UNIT : 3

TANGGAL : 07 Juni 2017

ITEM	TIME	TURBIN - SPEED	GENERATOR POWER	LUBE OIL (CONTROL ROOM)			LEVEL 5.2 AREA (LOCAL)											LEVEL.0.90		VIBRATION			TEMPERATURE								CC W			
				LUBE OIL PRESSURE BEFORE COOLER	LUBE OIL PRESSURE AFTER FILTER	CONTROL FLUID PRESSURE	LO PRESS		LO TEMP. OIL			CONTROL OIL PRESS AFTER FILTER	TEMP. CCW L.O. SIDE			LUBE OIL TANK LEVEL	GLAND ST. TEMP.		COND. PRESS AFTER STEAM CONDENSATE	GEN COOL T.		SHAFT VIBRATION BEARING 1	SHAFT VIBRATION BEARING 2	SHAFT VIBRATION BEARING 3	METAL TEMPERATURE BEARING 1	METAL TEMPERATURE BEARING 2	METAL TEMPERATURE BEARING 3	METAL TEMPERATURE BEARING 4	METAL TEMP. THRUST BEARING FRONT	METAL TEMP. THRUST BEARING REAR	RAW WATER FLOW	TANK LEVEL	OUTLET COOLER TEMPERATURE	
				BAR	BAR	BAR	BAR	BAR	°C	°C	°C	BAR	°C	°C	°C	%	°C	°C	BAR	°C	°C	um	um	um	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	M ³ /H	M	°C
LIMIT	Max	-	65	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	92	300	-	-	-	-	82	80	80	95	115	90	80	78	78	-	-	80	
	Nm	3,000	-	2.4	2.1	39	2.3	2	41	59	40	38	34	40	40	50	200	150	24	36	40	68	28	50	78	98	78	68	65	61	-	-	1.5	32
	Min	-	-	-	0.9	36	-	0.9	15	-	-	36	-	-	-	37	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-
	0:00	3000	40	2.3	1.95	44.5	2.09	1.95	52.5	62	50.5	43	32	35.5	60	163	130	20	36	42	99.6	48.1	45.6	76.7	73.4	55.6	67.7	32.1	67.3	40	1.2	33		
1:00	3000	40	2.3	1.95	44.5	2.09	1.95	52.5	62	50.5	43	32	35.5	60	163	130	20	36	42	94.4	46.3	43.1	77.5	75.1	57.3	67.8	32.1	65.5	38	1.15	33			
2:00	3000	40	2.3	1.95	44.5	2.09	1.95	52.5	62	50.5	43	32	35.5	60	163	130	20	36	42	93.2	46.5	42.9	77.6	75.1	57.5	67.9	32.1	65.6	40	1.42	33			
3:00	3000	40	2.3	1.95	44.5	2.09	1.95	52.5	62	50	43	32	35	60	163	130	20	36	42	89.9	44.6	42.9	78.3	75.9	57.5	68.2	29.7	65.8	39	1.32	33			
4:00	3000	40	2.3	1.95	44.5	2.09	1.95	52.5	62	50	43	32	35	60	163	130	20	36	42	96.4	46.3	45.2	78.8	75.9	57.9	68.6	31.2	66.2	39	1.28	34			
5:00	3000	40	2.3	1.95	44.5	2.09	1.95	52.5	62	50	43	32	35	60	163	130	20	36	42	93.3	46.8	45.7	77.7	74.3	56.5	67.9	29.5	64.9	39	1.2	34			
6:00	3000	40	2.3	1.95	44.5	2.09	1.95	52.5	62	50	43	32	35	60	163	130	20	36	42	96.5	46.5	45.2	77.7	74.1	56.3	67.8	29.2	67.3	39	1.42	34			
7:00	3000	40	2.3	1.95	44.5	2.09	1.95	52.5	62	50	43	32	35	60	163	130	20	36	42	98.7	46.1	45.5	77.6	73.7	56.2	67.2	28.9	67.1	39	1.42	34			
8:00	3000	40	2.3	1.95	44.5	2.09	1.95	52.5	62	50	43	32	35	60	163	130	20	36	42	95.3	47.1	44.9	77.8	75.2	57.3	67.2	30.1	67.1	39	1.32	34			
9:00	3000	40	2.3	1.98	44.5	2.09	1.95	53	62	50	43	33	35	60	163	130	20	36	42	95.7	50.6	44.1	76.5	73.7	56.1	67.7	28.9	64.3	39	1.22	34			
10:00	3000	40	2.3	1.98	44.5	2.09	1.95	53	62	50.5	43	33	35	60	163	130	20	36	42	93.2	45.4	43.7	76.9	73.6	56	68.1	29	64.3	40	1.15	34			
11:00	3000	40	2.3	1.98	44.5	2.09	1.95	53	62	50.5	43	33	35	60	163	130	20.2	36	42	91.4	46.6	41.2	76.5	73.1	55.3	67.8	31.7	64	40	1.45	34			
12:00	3000	40	2.3	1.98	44.5	2.09	1.95	53	62	50.5	43	33.5	35.5	60	164	133	20.2	36	42	98.6	49.3	42.7	76.7	73.4	55.7	67.9	34.9	64.7	40	1.3	34			
13:00	3000	40	2.3	1.98	44.5	2.09	1.95	53.5	62.5	51	43	33.5	35.5	60	164	133	20.2	36.5	42.5	82.4	43	38.5	76.4	73.7	55.9	68.2	39.7	64.7	40	1.18	34			
14:00	3000	40	2.3	1.98	44.5	2.09	1.93	53.5	62.5	51	43	33.5	35.5	60	164	133	20.2	36.5	42.5	93.2	39.1	40.6	76.9	73.3	55.4	67.7	41.8	64.3	40	1.3	34			
15:00	3000	40	2.3	1.98	44.5	2.09	1.93	53.5	62.5	51.5	43	34	36	60	164	133	20.2	36.5	42.5	98.5	44.9	43.7	76.5	73.4	55.5	67.9	41.9	64.5	39	1.38	34			
16:00	3000	40	2.3	1.98	44.5	2.09	1.93	53.5	62.5	51.5	43	34	36	60	164	133	20.2	36.5	42.5	93.5	43.3	42.2	76.2	73	55.3	67.5	41.3	63.9	39	1.28	34			
17:00	3000	40	2.3	1.98	44	2.09	1.93	53.5	62.5	51.5	43	34	36	60	164	133	20.2	36.5	42.5	92.6	41.3	42.2	76.4	73.8	55.7	67.8	40.4	64.3	36	1.42	34			
18:00	3000	40	2.3	1.98	44	2.09	1.93	53.5	62.5	51.5	43	34	36	60	164	133	20.2	36.5	42.5	92.3	44.3	42.8	76.4	73.2	55.7	67.7	40.1	64.3	36	1.42	34			
19:00	3000	40	2.3	1.98	44	2.09	1.93	53.5	62.5	51.5	43	34	36	60	164	133	20.2	36.5	42.5	95.1	37.8	43.9	76.2	73	55.5	67.6	36.7	64	36	1.42	34			
20:00	3000	40	2.3	1.98	44	2.09	1.93	53.5	62.5	51	43	33.5	36	60	164	133	20.2	36.5	42.5	92.1	39.7	44.3	76	73	55.4	67.7	36.8	64	36	1.42	34			
21:00	3000	40	2.3	1.98	44	2.09	1.93	53.5	62.5	51	43	33.5	36	60	164	133	20.2	36.5	42.5	95.5	40.2	44.1	76.1	73	55.5	67.6	36.6	64	37	1.42	34			
22:00	3000	40	2.2	1.98	44	2.09	1.93	53.5	62	51	43	33.5	36	60	164	133	20.2	36.5	42.5	94.9	36.7	44.1	76	73	55.2	67.6	36.7	64	37	1.42	34			
23:00	3000	40	2.2	1.98	44	2.09	1.93	53.5	62	51	43	34	36	60	164	133	20	37	43	95.1	37.4	44	77	74.1	56.4	67.9	32.5	64.8	37	1.28	34			
24:00	3000	40	2.2	1.98	44	2.09	1.93	53.5	62	51	43	34	36	60	164	133	20	37	43	95.1	37.4	44	77	74.1	56.5	67.9	32.5	64.8	37	1.18	34			
REALISASI	Max	3000	40	2.30	1.98	44.50	2.09	2.0	53.5	62.5	51.5	43.0	34.0	36.0	0.0	60.0	164.0	133.0	20.2	37.0	43.0	99.60	50.60	45.70	78.80	75.90	57.90	68.60	41.90	67.30	40.00	1.45	34.00	
	Rata2	3000	40	2.29	1.97	44.34	2.09	1.9	53.1	62.2	50.7	43.0	33.0	35.5	0.0	60.0	163.5	131.6	20.1	36.3	42.3	94.44	43.81	43.48	76.94	73.88	56.13	67.80	34.26	65.03	38.44	1.32	33.84	
	Min	3000	40	2.20	1.95	44.00	2.09	1.9	52.5	62.0	50.0	43.0	32.0	35.0	0.0	60.0	163.0	130.0	20.0	36.0	42.0	82.40	36.70	38.50	76.00	73.00	55.20	67.20	28.90	63.90	36.00	1.15	33.00	

LINE LEGEND

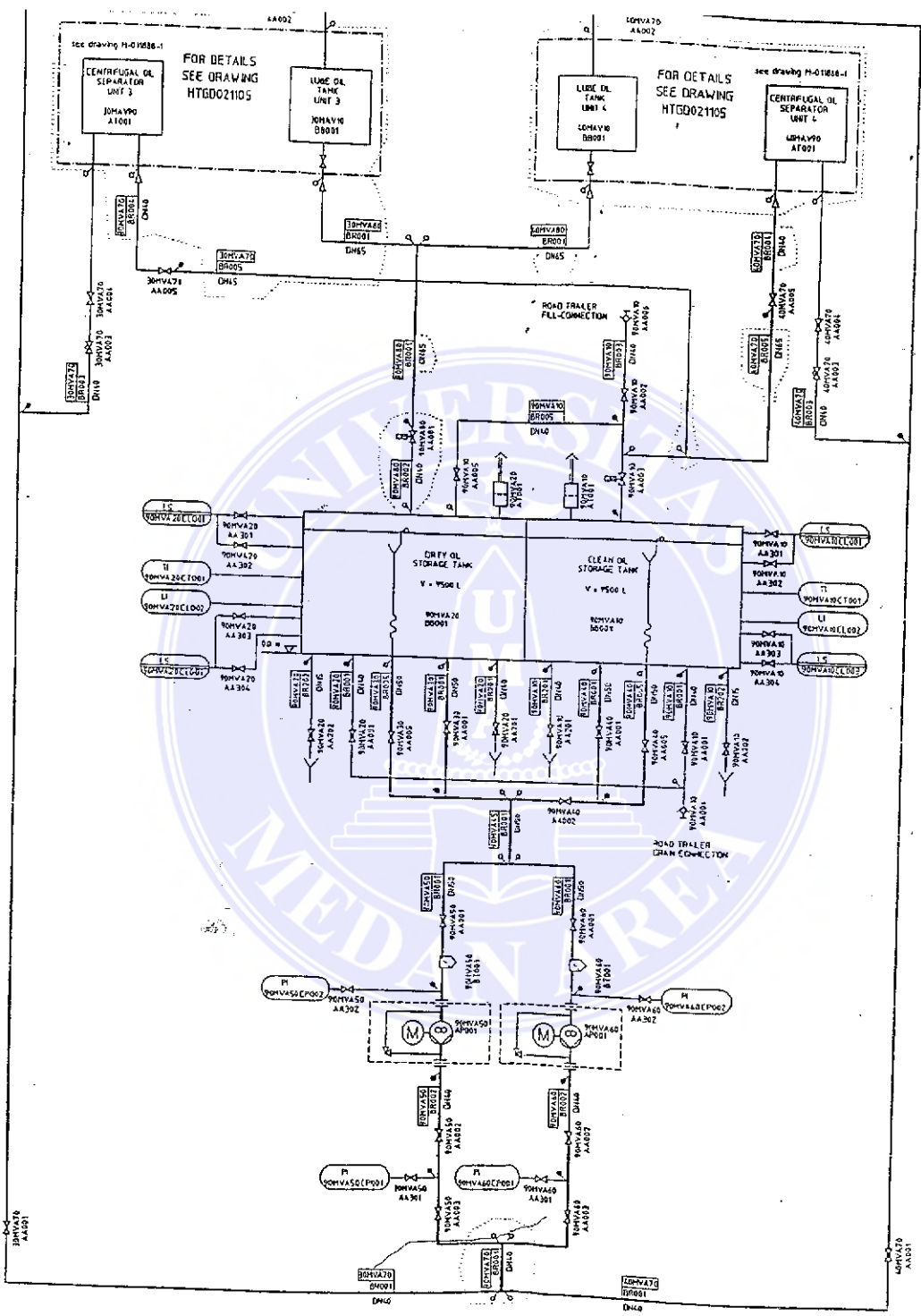


APPROVED FOR CONSTRUCTION

BELAWAN STEAM POWER PLANT
 UNIT 1 & 2
 BELAWAN STEAM POWER PLANT
 UNIT 1 & 2
 PROJECT NO. P-488/PST/85

DATE: 02/11/85	SCALE: 1:1	PROJECT: BELAWAN 85
DESIGNER: [Signature]	CHECKED: [Signature]	APPROVED: [Signature]
DATE: 02/11/85	SCALE: 1:1	PROJECT: BELAWAN 85
DESIGNER: [Signature]	CHECKED: [Signature]	APPROVED: [Signature]
DATE: 02/11/85	SCALE: 1:1	PROJECT: BELAWAN 85
DESIGNER: [Signature]	CHECKED: [Signature]	APPROVED: [Signature]

021105



NOT TO BE USED
 EXTENDED USED
 WITH A CHANGE
 RETURNED FOR CONNECTION

Approved PLN
 Approved by PLN
 Date: 18.03.2005

PERBANKAN LAKSI LISTRIK NEGARA
 AGENCY OF THE MINISTRY OF MINES AND ENERGY
 OF THE GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF INDONESIA
BELAWAN STEAM POWER PLANT
 UNIT 3+4
 2 x 88 MW
 Contract No. P3 406/PST/88

07-02-25 AM	07-03-02 S01	07-03-02 20	07-03-02 SL
A 07-11-25	B 06-01-07	C 08-04-20	

CONSORTIUM
BBC
 BINA BANGUNAN
 SUIZLER
 MEGA ELTRA

Lube oil storage & supply system
 P3 406/ST/88

No. 1
 P. BELA MWZADI
 A | E | I | I

HTDM100952

*LOKUS - DOZ.SHSR
 *LOKUS - DOZ.M.SI
 *LOKUS - ZI. Ma Ni

1100952

UNIVERSITAS MEDAN AREA