

TUGAS AKHIR
ANALISIS EFISIENSI KINERJA KONDENSOR PADA UNIT 1
DI PT. PLN NUSANTARA POWER UP INDRAMAYU



Aprilia Kartiningsih

NPM : 021200019

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2023



Laporan Tugas Akhir
PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit
Indramayu



HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR
ANALISIS EFISIENSI KINERJA KONDENSOR PADA UNIT 1
DI PT. NUSANTARA POWER UP INDRAMAYU

Disusun oleh :

Aprilia Kartiningsih

021200019

Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan oleh :

Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Susanti Rina Nugraheni, S.T., M.Eng.
NIP. 19830922 202121 2 004

Pada tanggal :

9/8-23



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelengkapan studi Diploma-3 di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan karena adanya pihak yang membantu dan membimbing dalam menyelesaikan laporan ini, terutama kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang telah mendukung penulis baik secara finansial maupun doa.
2. Dr. Adi Ilcham, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, UPN “Veteran” Yogyakarta.
3. Susanti Rina Nugraheni, S.T., M.Eng., selaku Koordinator Program Studi D3 Teknik Kimia dan Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Achmad Musyaddad Azzuhri, selaku Pembimbing Lapangan.
5. Saiful Hadi Chuderi, selaku Supervisor.
6. Staff dan karyawan PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama pelaksanaan kerja praktik.
7. Rekan-rekan penulis yang telah memberi dorongan sehingga terselesaikannya laporan ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, maka dari itu diharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini bermanfaat untuk menggali informasi mengenai efisiensi pada kondensor.

Yogyakarta, 21 Agustus 2023
Penulis



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
ABSTRAK	x
BAB I PROFIL PERUSAHAAN	1
1.1 Profil Perusahaan	1
1.1.1 Sejarah Perusahaan	1
1.1.2 Identitas Perusahaan.....	2
1.1.3 Visi dan Misi Perusahaan.....	3
1.1.4 Struktur Perusahaan	4
1.1.5 Letak Perusahaan	4
1.2 Sistem Produksi	5
1.2.1 Teori Dasar PLTU.....	5
1.2.2 Siklus pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	7
1.2.3 Identifikasi Pemilihan Bahan Baku	13
1.2.4 Sistem Pengendalian Proses dan Penjaminan Mutu Produk.....	16
1.2.5 Utilitas.....	19
1.2.6 Penanganan Limbah.....	28
BAB II TUGAS KHUSUS	35
2.1 Latar Belakang	35
2.2 Tujuan	36
2.3 Tinjauan Pustaka	36
2.3.1 Kondensor	36
2.3.2 Unit Pendingin	42
2.3.3 Komponen Kondensor	43
2.3.4 Peralatan Penunjang Kondensor	44
2.3.5 Sistem Pengoperasian Kondensor.....	46



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



2.3.6 Pemeliharaan Kondensor	47
2.3.7 Parameter Kinerja Kondensor	49
2.4 Metodologi	51
2.4.1 Metode Literatur	51
2.4.2 Metode Interview	51
2.4.3 Metode Observasi	51
2.5 Data Lapangan	52
2.6 Langkah Perhitungan	55
2.6.1 Melakukan Studi Literatur	55
2.6.2 Melakukan Pengumpulan Data	55
2.6.3 Melakukan Pengolahan Data	55
2.6.4 Menyusun Pembahasan	61
2.7 Hasil Pengolahan Data dan Pembahasan	61
2.7.1 Hasil Pengolahan Data	61
2.7.2 Pembahasan	63
BAB III PENUTUP	68
3.1 Kesimpulan	68
3.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	70



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Logo Perusahaan PJB UBJOM Indramayu.....	1
Gambar 1.2 Logo PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu	2
Gambar 1.3 Struktur Organisasi Perusahaan	4
Gambar 1.4 Peta Layout PLTU Indramayu	5
Gambar 1.5 Siklus Air dan Uap di PLTU Indramayu.....	7
Gambar 1.6 Siklus Bahan Bakar di PLTU Indramayu.....	10
Gambar 1.7 <i>Sea Water Reverse Osmosis</i>	19
Gambar 1.8 <i>Brackish Water Reverse Osmosis</i>	20
Gambar 1.9 Diagram Alir Sederhana Proses pada <i>Cation Bed</i>	21
Gambar 1.10 Diagram Alir Sederhana Proses pada <i>Anion Bed</i>	22
Gambar 1.11 Diagram Alir Sederhana Proses pada <i>Mixed Bed</i>	22
Gambar 1.12 Diagram Proses <i>Wastewater Treatment Plant</i>	25
Gambar 1.13 Bagan Proses <i>Wastewater Treatment Plant</i>	30
Gambar 2.14 <i>Horizontal Condensor</i>	37
Gambar 2.15 <i>Vertical Condenser</i>	38
Gambar 2.16 <i>Condensor Single Flow</i>	38
Gambar 2.17 <i>Condensor Double Flow</i>	39
Gambar 2.18 <i>Spray Condensor</i>	39
Gambar 2.19 <i>Barometric Condensor</i>	40
Gambar 2.20 <i>Jet Condensor</i>	40
Gambar 2.21 <i>Shell and Tube Condensor</i>	41
Gambar 2.22 <i>Shell and Coil Condensor</i>	42
Gambar 2.23 Sketsa Kondensor PLTU Indramayu.....	52
Gambar 2.24 Hubungan <i>Flow Rate</i> (Laju Alir) Air Pendingin dengan Tekanan Kondensor.....	65
Gambar 2.25 <i>Fouling Factor</i> pada Berbagai Fluida	67
Gambar 2.26 Proses Pembersihan pada Tube Kondensor	67



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kualitas Air Laut di Indonesia	14
Tabel 2.2 Data Lapangan Kondensor PLTU Indramayu	53
Tabel 2.3 Spesifikasi Air Demineralisasi.....	53
Tabel 2.4 Spesifikasi Air Laut	53
Tabel 2.5 Data Aktual Kondensor Unit 1 Bulan Desember.....	61
Tabel 2.6 Neraca Massa Kondensor.....	62
Tabel 2.7 Neraca Panas Kondensor	62
Tabel 2.8 Evaluasi Kinerja Kondensor	63



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Magang dari Fakultas	70
Lampiran 2. Surat Pelaksanaan Magang dari Perusahaan.....	71
Lampiran 3. Flow Chart Sistem Produksi	72
Lampiran 4. Gambar Alat Kondensor Unit 1	73
Lampiran 5. Perhitungan	75
Lampiran 6. Dokumentasi	108



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



ABSTRAK

PT. PLN Nusantara Power (Persero) Unit Pembangkit Indramayu merupakan salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dibawah Kementerian Keuangan yang bergerak dibidang pembangunan dan pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Saat ini, PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu mampu mengoperasikan 3 unit PLTU dengan kapasitas masing-masing unit sebesar 330 MW yang terhubung ke sistem transmisi interkoneksi Jawa, Madura dan Bali melalui gardu induk Sukamandi dan Kosambi Baru. PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu resmi beroperasi pada tahun 2010, dengan pabrik yang terletak di Desa Sumuradem, Kec. Sukra, Kab. Indramayu, Jawa Barat.

Dalam men-*supply* listrik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, unit operasi harus memiliki performa yang baik, sehingga diperlukan analisis efisiensi alat, khususnya pada bagian utama seperti kondensor. Kondensor merupakan jenis alat *Heat Exchanger* atau penukar panas yang berfungsi untuk mengkondensasikan atau mengembunkan fluida. Kondensor di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu, digunakan untuk mendinginkan *steam* setelah melewati *low pressure* turbin, kemudian ditampung dan digunakan kembali sebagai air umpan boiler.

Dari analisis data dan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh massa masuk dan keluar kondensor sebesar 2.150.485,9923 lb/hr. Selanjutnya panas yang masuk pada kondensor sebesar 42.806.624,7520 BTU/hr; Panas yang dilepaskan sebesar 14.919.525,7609 BTU/hr, sehingga dihasilkan efisiensi kondensor pada unit 1 PT PLN Nusantara Power UP Indramayu sebesar 65,13%.

Kata Kunci: Kondensor, *Heat Exchanger*, *Steam*, *Low Pressure* Turbin



BAB I

PROFIL PERUSAHAAN DAN SISTEM PRODUKSI

1.1 Profil Perusahaan

1.1.1 Sejarah Perusahaan

Sejarah PLN Nusantara Power bermula sejak tahun 1945. Pada masa itu, PLN Nusantara Power berdiri dengan nama Pembangkit Jawa Bali. Hingga tahun 1965, didirikan Perusahaan Listrik dan Gas. Tahun 1965, perusahaan tersebut dibagi menjadi 2 yakni, Perusahaan Listrik Negara dan Perusahaan Gas Negara. Tahun 1972, status PLN menjadi Perusahaan Umum (Persero). Tahun 1982, PLN dipecah menjadi 2 yaitu Unit Divisi dan Unit Pembangkit Tenaga Listrik dan Transmisi. Tahun 1994, status PLN menjadi Persero. Setahun kemudian, dilakukan restrukturisasi atas PT PLN (Persero) dengan pendirian subside pembangkitan. Restrukturisasi dilakukan untuk memisahkan misi perusahaan atas sosial dan komersial.



Gambar 1.1 Logo Perusahaan PT Pembangkit Jawa-Bali Unit Bisnis Jasa Operasi Pemeliharaan Indramayu (PJB UBJOM Indramayu)

Pada tanggal 03 Oktober 1995, PT PLN (Persero) membentuk dua anak perusahaan untuk mengelola pembangkit listrik yang memasok energi listrik di Pulau Jawa dan Bali. Kedua anak perusahaan PLN tersebut adalah PT PLN Pembangkit Jawa Bali I (PT PLN PJB I) yang berkantor pusat di Jakarta dan PT PLN Pembangkit Jawa Bali II (PT PLN PJB II) yang berkantor pusat di Surabaya. Pada tahun 2000, PT PLN PJB II berubah nama menjadi PT Pembangkit Jawa Bali atau disingkat PT PJB. Sedangkan PT PLN PJB I berubah nama menjadi PT Indonesia Power. Namun, belum lama



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



ini PT Pembangkit Jawa Bali (PT PJB) meresmikan logo dan nama baru perusahaan menjadi PT Perusahaan Listrik Negara Nusantara Power (PLN NP) guna menindaklanjuti penetapan sebagai *subholding* PT PLN, dari semula merupakan anak perusahaan, seperti telah diumumkan Menteri Badan Usaha Milik Negara (BUMN) sehingga mengubah nama PT PJB UBJOM Indramayu menjadi PT Nusantara Power UBJOM Indramayu.



Gambar 1.2 Logo PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu

Bergantinya nama perusahaan dari PJB UBJOM menjadi Nusantara Power juga mengubah logo perusahaan seperti yang tertampil. Perubahan nama perusahaan ditetapkan pada tanggal 01 Januari 2023 dengan nama PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu.

1.1.2 Identitas Perusahaan

Nama Perusahaan	: PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu
Jenis Badan Hukum	: Perseroan Terbatas
Status Permodalan	: BUMN
Bidang Usaha atau Kegiatan	: Pembangkit Listrik
Lokasi Usaha	: PLTU Indramayu
Alamat Lokasi Usaha	: Desa Sumuradem, Kec. Sukra, Kab. Indramayu, Jawa Barat 45257
Nomor Telepon	: (0234) 5613236
Website	: www.plnnusantarapower.co.id



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



1.1.3 Visi dan Misi Perusahaan

A. Visi Perusahaan

Menjadi perusahaan terdepan dan terpercaya dalam bisnis energi berkelanjutan di Asia Tenggara.

B. Misi Perusahaan

Misi dari PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu sebagai berikut :

1. Menjalankan bisnis energi yang inovatif dan kolaboratif, tunbuh dan berkelanjutan, serta berwawasan lingkungan.
2. Menjaga tingkat kinerja tertinggi untuk memberikan nilai tambah bagi para pemangku kepentingan.
3. Menarik minat dan mengembangkan talenta terbaik serta menjalankan organisasi yang agile dan adaptif.

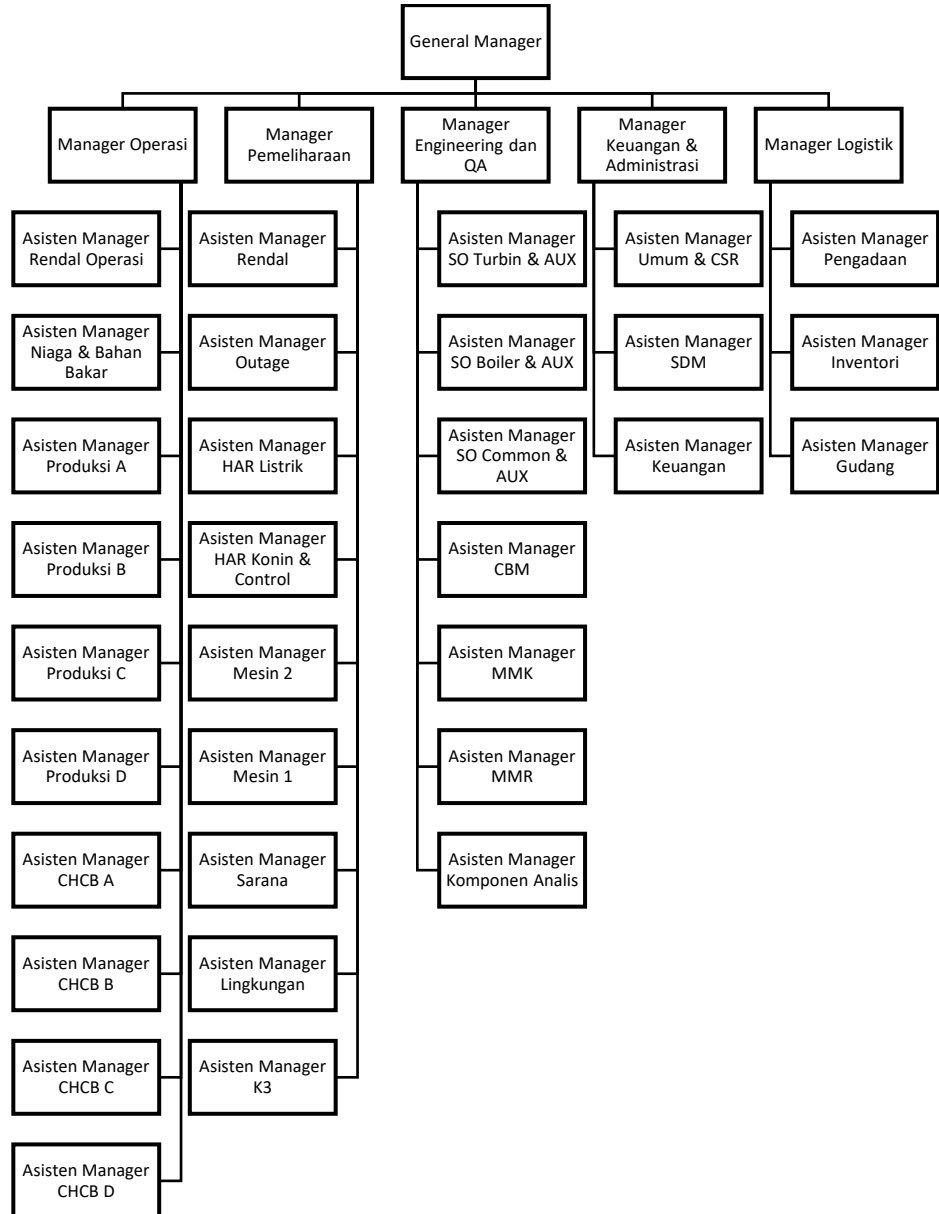


TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



1.1.4 Struktur Perusahaan



Gambar 1.3 Struktur Organisasi Perusahaan

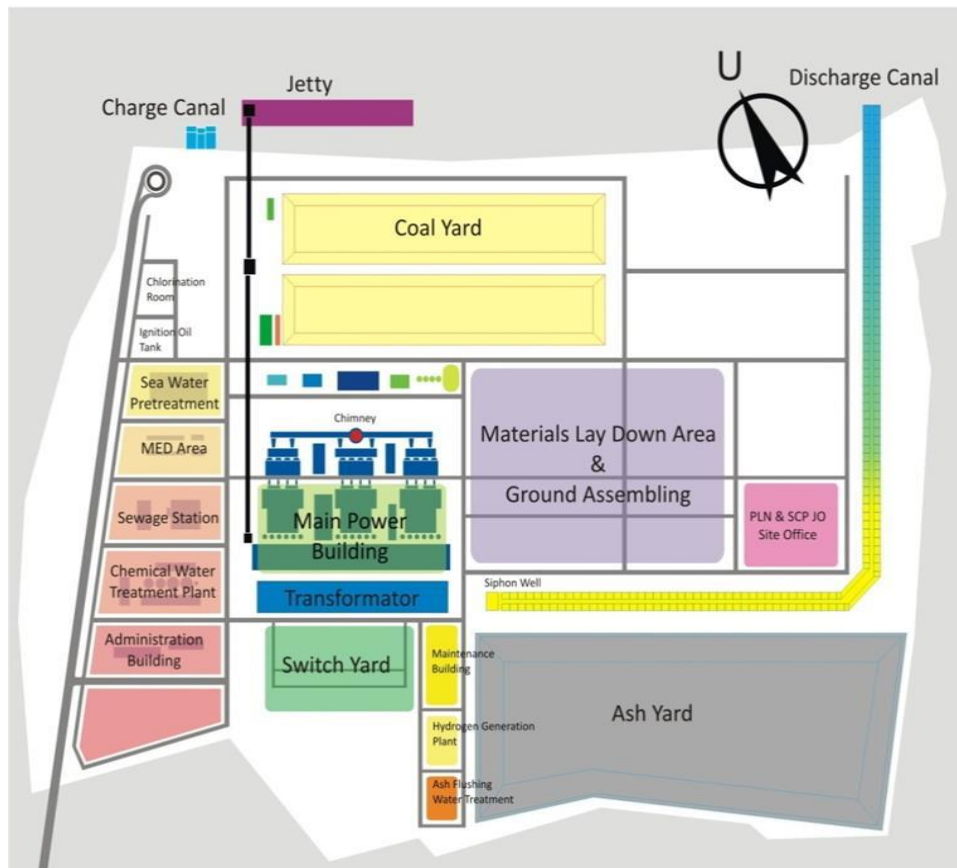
1.1.5 Letak Perusahaan

PT PLN Nusantara Power UP Indramayu merupakan pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar. Pembangkit listrik ini berlokasi di Desa Sumuradem, Kec. Sukra, Kab. Indramayu, Jawa Barat. PLN Nusantara Power UP Indramayu berdiri pada lahan dengan luas 83 hektar yang mampu menghasilkan daya sebesar 3 x 330 MW yang terdiri

dari 3 unit. Pada mulanya, unit 1 didirikan pada tanggal 12 September 2009, kemudian disusul dengan mendirikan unit 2 tanggal 12 Desember 2009. Hingga akhirnya tanggal 12 Maret 2010 didirikan unit 3 yang semuanya aktif beroperasi hingga saat ini.

Berikut peta dari kawasan PLTU PLN Nusantara Power UP Indramayu

LAY OUT PLTU 1 JABAR - INDRAMAYU



Gambar 1.4 Peta Layout PLTU Indramayu

1.2 Sistem Produksi

1.2.1 Teori Dasar PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah suatu pusat pembangkit tenaga listrik yang menggunakan turbin uap sebagai penggerak mulanya atau dengan kata lain menggunakan energi uap untuk memutar turbin. PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut:



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu

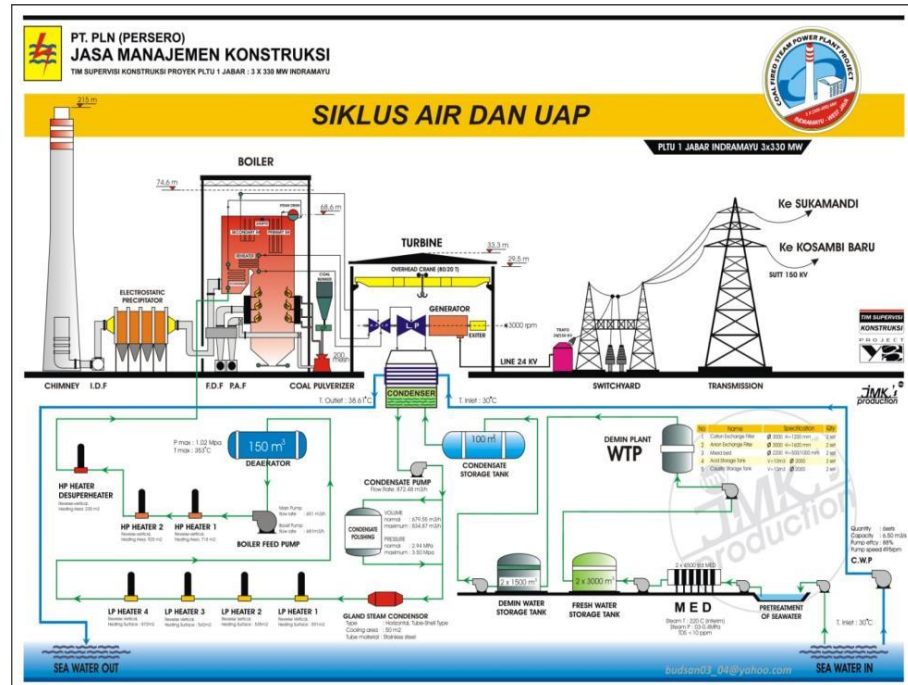


- Pertama air diisi ke boiler hingga mengisi penuh seluruh permukaan pemindah panas. Didalam boiler, air ini mendapatkan panas dari pembakaran batubara. Pada awal start up boiler bahan bakar yang digunakan adalah HSD (High Speed Diesel) sampai beban 100 mw kemudian dilanjut dengan bahan bakar batubara.
- Kedua, uap kering hasil produksi boiler dengan tekanan 17,7 Mpa atau 177 Bar dan temperature 540°C untuk memutar turbin HP (High Pressure), IP (Intermediate Pressure), dan LP (Low Pressure) sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
- Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan. Sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator.
- Keempat, Uap keluaran turbin masuk kedalam kondensor untuk dikondensasikan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian ditampung di hotwell. Kemudian digunakan kembali sebagai air pengisi boiler.

Kapasitas yang dihasilkan dari PLTU PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu cukup besar sehingga dapat menambah pasokan listrik di Pulau Jawa dan Bali. Penyaluran energi listrik dari PLTU Indramayu disalurkan ke gardu induk Sukamandi dan Kosambi Baru dan digunakan pula untuk konsumsi perusahaan. Kapasitas yang dihasilkan 3x330 MV. Siklus kerja yang digunakan oleh PLTU Indramayu ialah siklus tertutup yaitu siklus rankine.

1.2.2 Siklus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap

A. Siklus Uap dan Air



Gambar 1.5 Siklus Air dan Uap di PLTU Indramayu

Pada siklus air dan uap PLTU Indramayu dibagi menjadi dua yaitu, siklus air pendingin dan air boiler

1) Siklus Air Pendingin

Dimulai dari pengambilan air laut di pompa melalui CWP (Circulating Water Pump). Sebelum dipompakan menggunakan CWP, air laut disaring terlebih dahulu menggunakan *jarring trawl*, *bar screen* untuk menyaring sampah besar kemudian masuk ke travelling screen untuk menyaring sampai kecil. Lalu air laut diinjeksikan *chlorine* untuk memabukkan biota laut dan mencegah tumbuhnya tritip dan karang sehingga tidak berkembang biak dipipa kondensor dan pipa-pipa lainnya, kemudian air dipompa menggunakan pompa CWP menuju ke debris filter. Fungsi debris filter untuk menyaring sisa sampah yang lolos.

Setelah dari debris filter, air laut masuk menuju kondensor sebagai media pendingin untuk mengkondensasikan *steam* yang



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



berasal dari LP Turbine (*Low Pressure*) dari fase uap menjadi fase cair, setelah itu air dibuang menuju outfall.

2) Siklus Air Boiler

Air laut dipompa menggunakan *Sea Water Pump*. Sebelum dipompa, air laut disaring terlebih dahulu menggunakan jarring trawl, bar screen dan travelling screen untuk menghilangkan kotoran-kotoran dan sampah. Setelah itu air ditampung menuju ke clarifier, disini dan floagulant untuk mengendapkan lumpur. Kemudian air dipompa menuju *distribution well* dan dialirkan menuju *Reverse Osmosis* yang berfungsi mengubah air laut menjadi air tawar (*fresh water*), kemudian ditampung di *Fresh Water Storage Tank*.

Air yang dari fresh water storage tank dipompakan menuju ke WTP (*Water Treatment Plant*) fungsi dari WTP untuk menghilangkan mineral-mineral yang terkandung dalam air, mengurangi konduktivitas yang menghasilkan air demin atau air bebas mineral dan ditampung di *Demin Water Tank*. Persyaratan air yang masuk ke Demin Water Tank yaitu daya hantar listrik dibawah $1\mu\text{/cm}$ dan silica dibawah 20 ppb. Dari *Demin Water Tank*, air dialirkan menuju ke *Condensate Storage Tank*. Fungsi dari *Condensate Storage Tank* adalah untuk menampung air demin yang kemudian digunakan untuk pengisi air *hotwell* (Condenser) apabila air *hotwell* rendah. Setelah itu air dialirakan menuju ke Condenser yang berfungsi menampung air hasil kondensasi.

Lalu air dialirkan dengan *Condensate Pump* menuju *Condensate Polishing* yang fungsinya untuk menjaga kualitas air, untuk PLTU Indramayu *Condensate Polishing* di-bypass langsung menuju ke *Gland Steam Condensor* sebelum masuk ke *Gland Steam*, air diinjeksikan amonia yang berfungsi untuk menaikkan pH dan *hydrazine* sebagai *oxygen discaveger* (menangkap oksigen).



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Setelah dari *Gland Steam* air dialirkan menuju ke LP (*Low Pressure*) untuk pemanasan awal air tekanan rendah yang berfungsi meningkatkan efisiensi siklus. Air dari LP Heater akan menuju *deaerator*. *Dearator* adalah alat yang berfungsi untuk menghilangkan gas-gas terlarut yang tidak dibutuhkan seperti oksigen agar tidak terjadi korosi pada pipa-pipa. Di *Dearator* juga diinjeksikan amonia untuk menaikkan pH dan *hydrazine* untuk menangkap oksigen pada outlet *dearator*.

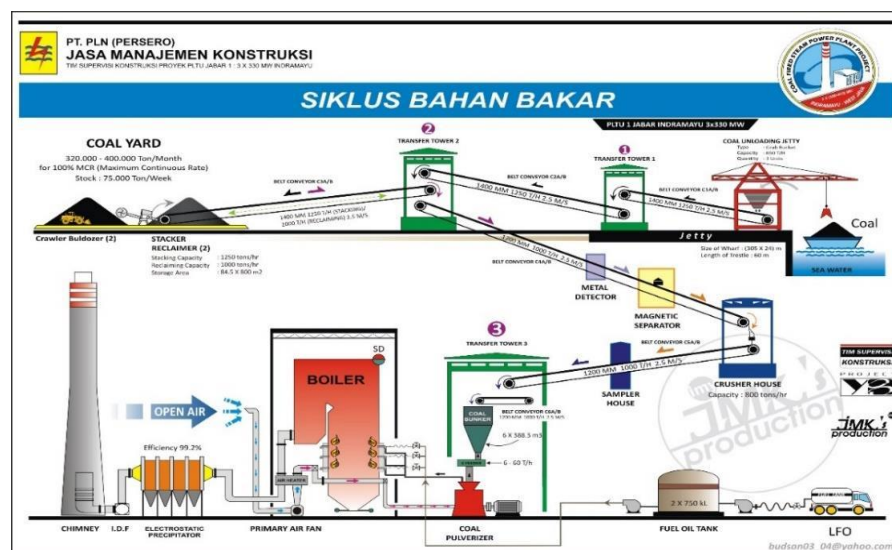
Setelah dari *dearator* air kemudian dipompakan menggunakan *Boiler Feed Pump* menuju ke HP Heater untuk pemanasan lanjut dan untuk menaikkan temperatur air pengisi. Lalu air mengalir menuju *economizer* untuk memanaskan air boiler sehingga temperature 300°C dan berubah menjadi uap. Setelah dari *economizer*, kemudian menuju *Steam Drum*. Didalam *Steam Drum* terjadi penampungan uap, uap air kemudian dialirkan ke *wall tube* melalui pipa *downcomer* untuk dipanaskan kembali. Sedangkan uap yang dihasilkan yaitu *saturated steam* (uap basah) dan diinjeksikan *Trisodium Phospat* untuk mencegah kerak atau korosi pada boiler lalu uap dialirkan menuju ke *Primary Superheater*, *Desuperheater Attemporator*, *Secondary Superheater* yang berfungsi untuk pemanas tingkat tinggi agar menjadi uap kering atau *superheated steam*.

Kemudian uap tersebut digunakan untuk memutar HP Turbin, setelah memutar HP Turbin uap kering tadi temperatur dan tekanan turun sehingga perlu dipanaskan kembali di Reheater. Setelah dipanaskan di Reheater uap digunakan untuk memutar IP Turbin lalu dialirkan menuju LP Turbin.

Setelah dari LP Turbin uap digunakan untuk memutar Generator dengan kecepatan 3000 rpm yang dikopel langsung dengan turbin. Tetapi generator tersebut belum menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan memiliki Tegangan 24

KV, Frekuensi 50Hz, dan Daya 330 MW, Yang kemudian di Step Up kan oleh Main Trafo dari 24KV menjadi 150KV disalurkan ke Switch Yard, dari Switch Yard menuju ke Transmission Interkoneksi Jawa Madura Bali. Kemudian ke Gardu Induk Sukamandi dan Kosambi Baru, sedangkan untuk 24KV lainnya di Step Down kan oleh Trafo UAT (Unit Auxiliary Transformator) dari 24KV menjadi 6KV untuk PS (Pemakaian Sendiri).

B. Siklus Bahan Bakar



Gambar 1.6 Siklus Bahan Bakar di PLTU Indramayu

Untuk siklus bahan bakar di PLTU Indramayu dimulai pada start up unit bahan bakar yang digunakan yaitu solar dibawa oleh mobil tangki minyak yang kemudian disalurkan ke *Fuel Oil Tank* di PLTU Indramayu, yang digunakan sebagai bahan bakar di boiler menggunakan *Burner Tiny Oil* sehingga bahan bakar tersedut, dapat dimanfaatkan pada saat pembakaran/firing.

Minyak membakar udara menggunakan udara atmosfer yang dibawa oleh *Primary dan Secondary Air Fan* yang menghasilkan jelaga dan gas panas. Kemudian jelaga tadi menempel pada tube-tube boiler untuk memanaskan tube-tube boiler dan diperoleh *saturated steam* (uap basah), *superheated steam* (uap kering) sampai memutar generator.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Siklus bahan bakar batubara dibagi menjadi 3 yaitu Loading, Unloading, dan Direct.

1) Unloading

Kapal Tongkang yang ditarik oleh Takbud dan merapat ke Dermaga PLTU Indramayu akan diambil oleh *Ship Unloader* masuk ke *Coal Hooper*. Lalu ditampung oleh *Belt Conveyor 1* menuju ke *Transfer Tower 1*, dari *Transfer Tower 1* oleh *Belt Conveyor 2* dibawa menuju *Transfer Tower 2* lalu menuju ke *Coal Yard* menggunakan *Belt Conveyor 3* lalu diletakkan pada *Coal Yard* menggunakan *Stacker*.

2) Loading

Dari *Coal Yard* oleh diangkat *Reclamer* lalu ditampung oleh *Belt Conveyor 4* menuju *Transfer Tower 3*, kemudian ke *Transfer Tower 3* yang melalui *Metal Detector* (mendeteksi kandungan metal), *Magnetic Separator* (mengangkat logam/besi yang tercampur), *Crusher House* (menggiling batubara menjadi ukuran 3 cm), *Sampler House* (pengambilan sampel untuk diuji) sampai pada *Transfer Tower 3*, lalu ditransfer menuju menggunakan *Belt Conveyor 4* dan *Belt Conveyor 5* hingga sampai ke *Coal Bunker*.

3) Direct

Kapal Tongkang yang ditarik oleh Takbud dan merapat ke Dermaga PLTU Indramayu akan diambil oleh *Ship Unloader* masuk ke *Coal Hooper*. Lalu ditampung oleh *Belt Conveyor 1* menuju ke *Transfer Tower 1*, dari *Transfer Tower 1* oleh *Belt Conveyor 2* dibawa menuju *Transfer Tower 2* lalu menuju ke *Coal Yard* menggunakan *Belt Conveyor 3* lalu ditampung oleh *Belt Conveyor 4* menuju *Transfer Tower 3*, kemudian ke *Transfer Tower 3* yang melalui *Metal Detector* (mendeteksi kandungan metal), *Magnetic Separator* (mengangkat logam/besi yang tercampur), *Crusher House* (menggiling batubara menjadi ukuran 3 cm), *Sampler House* (pengambilan sampel untuk diuji) sampai



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



pada *Transfer Tower* 3, lalu ditransfer menuju menggunakan *Belt Conveyor* 4 dan *Belt Conveyor* 5 hingga sampai ke *Coal Bunker*.

Setelah dari *Coal Bunker* diangkut ke *Coal Feeder* yang berfungsi mengukur berapa ton per jam batubara yang masuk ke *Coal Pulverizer/Coal Mill*. Di *Coal Mill* batubara digiling menjadi ukuran 200 mesh. Sebelum digiling batubara dipanaskan dulu oleh udara primer hingga temperaturnya menjadi 60°C guna mempermudah penggilingan.

Setelah digiling, batubara diangkut dengan *Seal Air Fan* dengan temperatur tinggi menuju ke ruang bakar. Oleh *I.D Fan (Induced Draft Fan)* udara panas, fly ash akan dihisap. Udara panas akan memanaskan udara atmosfer yang dihisap oleh *Primary Air Fan*, *Forced Draft Fan* dan *Induced Draft Fan*.

Force Draft Fan berfungsi memanaskan batubara, membawa batubara, menyempurnakan pembakaran pada boiler. *Primary Air Fan* berfungsi untuk menghasilkan udara untuk mendorong serbuk batubara dari *pulverizer* ke *burner*. Sedangkan *Induced Draft Fan* untuk menyedot sisa gas buang pembakaran dari *Chamber* untuk dikeluarkan ke cerobong asap (*Stack/Chimney*).

Fly Ash akan terhisap oleh *I.D Fan* dan menuju *ESP* untuk diambil *Fly Ash*-nya oleh *Fly Ash Hooper*, kemudian oleh *Ash Fiesel Pump* fly ash akan dibawa menuju ke *Fly Ash Silo* dengan bantuan udara kompresor. Outlet dari *ESP* adalah gas buang yang akan menuju ke *Cimney* untuk dibuang ke udara atmosfer dan bebas debu.

C. Siklus Penanganan Debu Batubara

Batubara setelah dibakar akan menghasilkan *fly ash*, jelaga dan gas panas. Gas panas memanaskan tube-tube boiler dan menghasilkan *superheated steam* (uap panas). Pada *furnace* temperatur diatas 100°C akan terbentuk *Ash Fusion Temperature (AFT)* yang berakibat *fly ash* akan menggumpal dan menjadi padatan yang disebut *Bottom Ash*.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Bottom Ash jatuh masuk ke *Bottom Ash Hooper*, lalu dibawa oleh *Steel Belt Conveyor* dibawa menuju *Crusher* untuk digiling kemudian dibawa ke *Intermediate Ash Silo*. Kemudian, dibawa *Bottom Ash Silo* dan diangkut dengan truk ke *Ash Yard*.

Setelah pembakaran batubara menghasilkan *Fly Ash* dan Gas Panas akan memanaskan udara atmosfer yang dibawa oleh PAF dan SAF atau FDF, setelah memanaskan udara atmosfer, gas panas menjadi gas buang (*flue gas*). Gas buang dan *Fly Ash* tadi akan dihisap oleh I.D Fan menuju ke *Electrostatic Precipitator*. Pada saat di ESP *Fly ash* akan menuju ke *Flash Chumber*, kemudian oleh *Discharge elektrot* akan ditembakkan *electron* ditengah. Karena ditembak *electron* *Fly Ash* tadi bermuatan negatif, kemudian di ESP ada *Colleting Plat* yang ditanamkan sehingga bermuatan positif.

Karena perbedaan muatan *fly ash* yang bermuatan negatif akan menempel pada *colleting plat*, kemudian oleh *Repper* akan digoyang-goyang dan akan jatuh menuju ke *Fly Ash Hooper*. Setelah levelnya sesuai yang diharapkan, maka *Fly Ash* akan masuk ke *Ash Viesel Pump (AV Pump)* oleh *AV Pump fly ash* dengan bantuan udara *compressor* sebesar 0,5 Mpa ditransfer menuju ke *fly ash silo*, dari *fly ash silo* dibawa oleh truck ke pabrik semen/ batako.

1.2.3 Identifikasi Pemilihan Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan pada PLTU PT. Nusantara Power UP Indramayu terdiri dari air laut dan batubara.

1. Air Laut

Air laut biasanya mengandung banyak mineral-mineral alam seperti Ca, Cl dan Mg. Kandungan kalsium dan magnesium yang tinggi dalam air laut dapat menyebabkan timbulnya kerak pada alat terutama dalam proses pemanasan pada boiler. Agar dapat digunakan sebagai air umpan boiler, keadaan mineral-mineral tersebut harus dihilangkan guna mencegah korosi pada peralatan, sudu-sudu kompressor dan line-line logam.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Dalam prosesnya, PLTU Indramayu menggunakan air laut sebagai sumber bahan baku. Mineral garam yang terkandung dalam air laut sangat tinggi, dengan konduktivitas air laut yang mencapai 70.000 us/cm, yang mana konduktivitas tersebut sebanding dengan garam mineral yang terkandung dalam air laut yang ada di Indonesia.

Tabel 1.1 Kualitas Air Laut di Indonesia

Test Items	Unit	Result	Test Items	Unit	Result
Temperature	°C	28	Carbonate	mg/L	0
Electric Conductivity	µs/m	70.232	Chloride	mg/L	20.770,2
pH	-	8,36	Nitrate (NO ₃)	mg/L	2,4
Ammonium (NH ₄)	mg/L	<0,03	Phosphate (PO ₄)	mg/L	<0,32
Calcium (Ca)	mg/L	256,4	Sulfate (SO ₄)	mg/L	2.787,4
Copper (Cu)	mg/L	<0.06	COD by K ₂ Cr ₂ O ₇	mg/L	37,7
Iron Total (Fe)	mg/L	<0,06	Aluminium (Al)	mg/L	<0,16
Barium (Ba)	mg/L	<0,07	Dissolved Oxygen (DO)	mg/L	7,7

Sebelum air laut digunakan sebagai umpan boiler. Air laut akan diproses menuju *Reverse Osmosis* (RO) guna menghilangkan kadar garam dan partikel yang terkandung dalam air laut. Setelah itu, air laut akan diolah pada *Water Treatment Plant* (WTP) untuk menghilangkan mineral-mineral yang terkandung dalam air sehingga dihasilkan air demin. Air demin kemudian disimpan dalam *condensate storage tank* yang nantinya akan digunakan sebagai penampung air sementara dan air pengisi *hot well* bila level mengalami penurunan.

2. Batubara



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Pada prosesnya, PLTU Indramayu menggunakan bahan bakar batubara jenis lignite dan sub-bituminus dengan dengan kalori 10 – 26 mJ/kg. Batubara dipasok dari Kalimantan dengan pembongkaran (*unloading*) di Jetty Area yang awalnya diangkut menggunakan kapal tongkang. Kapal tongkang itu mengangkut batubara kurang lebih 40.000 ton pada setiap pengirimannya. Sedangkan dari Jetty Area, bahan bakar batubara diambil menggunakan ship unloader yang kemudian diangkut menggunakan *conveyor* hingga menuju *coal yard*.

Pada setiap pengiriman bahan bakar batubara, dilakukan analisis di Laboratorium Batubara dan oleh pihak ketiga untuk memastikan kandungan bahan bakar batubara yang dikirimkan. Analisis dilakukan secara independent sehingga tidak akan memihak supplier maupun memihak pada Unit PLTU Indramayu sebagai pengguna bahan bakar batubara tersebut.

Jenis-jenis batubara yang digunakan oleh PLTU Indramayu sebagai bahan bakar, yaitu :

a. Batubara *Lighnite*

Golongan ini sudah memperlihatkan proses selanjutnya berupa struktur kekar dan gejala pelapisan. Apabila dikeringkan, maka gas dan airnya akan keluar. Endapan ini bisa dimanfaatkan secara terbatas untuk kepentingan yang bersifat sederhana, karena panas yang dikeluarkan sangat rendah.

b. Batubara *Sub-bituminus*

Merupakan rank batubara yang mengandung nilai kalori >8300 BTU/lb - <11500 BTU/lb. Golongan ini memperlihatkan ciri-ciri tertentu yaitu warna yang kehitam-hitaman dan sudah mengandung lilin. Endapan ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi.

c. Batubara *Bituminus*



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Merupakan Rank batubara yang memiliki persentase *fixed* karbon sebesar $<69\%$ - $<86\%$. Golongan ini dicirikan dengan sifat-sifat yang padat, hitam, rapuh (*brittle*) dengan membentuk bongkah-bongkah prisma. Berlapis dan tidak mengeluarkan gas dan air bila dikeringkan. Endapan ini dapat digunakan antara lain untuk kepentingan transportasi dan industri.

1.2.4 Sistem Pengendalian Proses dan Penjaminan Mutu Produk

1. Sistem Pengendalian Proses

Sistem pengendalian proses merupakan pengaturan kondisi operasi suatu proses agar selalu berada dalam kondisi yang diinginkan atau dikendalikan. Sistem pengendalian yang terintegrasi dengan penggabungan beberapa alat pengendali yang bekerja secara otomatis. Sistem pengendalian yaitu untuk menekan pengaruh gangguan lingkungan dan menjaga kestabilan proses yang pada dasarnya berkaitan dengan pemenuhan persyaratan keselamatan operasi dan produksi. Sistem pengendalian proses seperti level control, pressure control, flow control dan lain-lain dilakukan melalui kalibrasi alat yang dikontrol secara terintegrasi melalui control panel dalam sistem yang dikendalikan melalui meja operator.

2. Penjaminan Mutu Produk

Untuk mendapatkan kualitas steam sesuai dengan yang diinginkan, Kimia dan Lab melakukan analisa kualitas air steam boiler untuk mengetahui dan memastikan apakah kualitas steam tersebut masih terjaga dengan baik dan tidak melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Analisa air juga dilakukan pada Water Treatment Plant yang bertujuan untuk memonitoring kualitas air pada beberapa tahapan di Water Treatment Plant. Beberapa analisa air dilakukan untuk menghindari permasalahan yang sering terjadi di boiler seperti korosi (*corrosion*) dan kerak (*scale*).

Selain dilakukan analisa air, dilakukan pula analisa pelumas untuk mengetahui kualitas bahan bakar peralatan dan analisa batubara guna



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



menyesuaikan kualitas batubara yang dikirimkan serta penyesuaian dengan produksi yang direncanakan.

a. *Analisa Air Steam Boiler*

Analisa dilakukan dengan mengambil sampel pada air steam boiler dan menganalisa kandungan silika, besi, fosfat dan tembaga. Selain itu dilakukan pula analisa untuk mengukur pH dan daya hantar. Beberapa air sampel yang diantaranya *stator cooling*, *close cooling*, *condensor*, *feed water*, *boiler*, *superheated* dan air daerator. Sampel air tersebut didapatkan dari serangkaian alat boiler seperti condensate polisher, daerator, economizer, separator, main steam, reheated steam, stator CGW dan mix bed pada masing-masing unit.

Dari beberapa alat pada system kerja boiler tersebut perlu dilakukan quality control berupa menganalisa air yang ada pada air sistem kerja boiler tersebut.

b. *Analisa Air Water Treatment Plant*

Analisa air Water Treatment Plant dilakukan mulai dari input clarifier (feed water) sampai outlet air demineral serta menganalisa indikator-indikator yang ada pada formulir analisa. Analisa pada air sistem *Water Treatment Plant* dilakukan sebagai bentuk *quality control* apakah sistem *Water Treatment Plant* sudah sesuai parameter yang telah ditentukan atau tidak. Ataupun perlu dilakukannya regenerasi pada proses demineralisasi pada *Water Treatment Plant*.

Sampel air yang dianalisa pada Water Treatment Plant meliputi feed water 1, feed water 2, anion bed, cation bed, mix bed, demin water 1 dan demin water 2. Sedangkan analisa yang dilakukan berupa analisa pH, conductivity, turbidity, chlorine, silica, SDI dan TSS.

c. *Analisa Pelumas*



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Analisa pelumas dilakukan pada masing-masing unit secara bergilir setiap 1 bulan sekali. Solar yang dikirim ke PLTU Indramayu akan diambil sampel untuk diuji di Laboratorium pelumas. Analisis yang perlu dilakukan ialah :

1) *Analisa Total Acid Number*

Analisa total acid dilakukan untuk mengetahui tingkat keasaman minyak dengan menggunakan larutan penetrasi KOH dengan metode titrasi.

2) *Analisa Water Content*

Analisa water content pada pelumas dimaksudkan untuk mengukur kandungan air yang terdapat dalam minyak pelumas dan isolasi.

3) *Analisa Viskositas*

Analisa viskositas dimaksudkan guna mengetahui kadar kekentalan pada sampel pelumas yang akan digunakan untuk proses industri.

4) *Analisa Density*

Analisa densitas pada pelumas bertujuan guna mengukur massa jenis dari pelumas sehingga tidak melebihi batas yang dapat digunakan pada masing-masing alat proses.

d. *Analisa Batubara*

Analisa batubara dilakukan untuk mengetahui kualitas batubara baik parameter fisik ataupun kimia dengan metoda tertentu, pada tiap sampel batubara yang masuk. Hal-hal yang diuji meliputi :

1) *Total Moisture*

Hilang berat dari sampel batubara pada kondisi terkontrol dari temperatur, waktu dan aliran udara, dengan menghitung berat setelah pemanasan.

2) *Ash Content*

Abu ditentukan dengan menimbang residu yang tersisa setelah pembakaran batubara pada kondisi berat



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



3) Volatile

Volatile ialah banyaknya gas yang terkandung didalam batubara (biasannya gas mudah terbakar) dan dapat menggambarkan index perubahan dari Carbon Hydrate menjadi Hydro Carbon dimana makin tua batubara makin banyak kandungan gas volatile.

4) Total Sulfur

Hasil dari pengujian sulfur dapat digunakan untuk jasa: pengevaluasian persiapan dan pembersihan batubara, evaluasi emisi potensial sulfur dari pembakaran batubara.

5) Nilai Kalor

Nilai kalori total dapat digunakan untuk menghitung total kalori batubara untuk menentukan apakah batubara dapat ditentukan sebagai bahan bakar industri.

1.2.5 Utilitas

1. *Reverse Osmosis*

Reverse Osmosis (RO) adalah alat yang digunakan untuk mengubah air laut menjadi air tawar. Reverse Osmosis terdiri atas :

a. *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO)



Gambar 1.7 *Sea Water Reverse Osmosis*

Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) atau RO-1 merupakan proses desalinasi untuk menjadikan air laut menjadi air payau. Air ini dilewatkan pada membrane semipermeable. Produk dari SWRO

ditampung di RO-1 tank, sedangkan reject water adalah air buangan SWRO dengan kandungan garam yang tinggi.

b. *Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO)*



Gambar 1.8 *Brackish Water Reverse Osmosis*

Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO) adalah alat yang berfungsi untuk mengolah air payau menjadi air tawar yang siap minum atau fresh water. BWRO merupakan lanjutan dari proses SWRO hingga dihasilkan air tanpa kandungan garam.

2. *Water Treatment Plant*

Water Treatment Plant (WTP) menyediakan 3 produk yaitu air demin, air hydrant dan air portable. Air demin adalah air yang digunakan untuk bahan baku boiler. Air hydrant adalah air yang digunakan untuk memadamkan api jika terdapat kebakaran pada unit pembangkit. Sedangkan air portable adalah air yang digunakan sebagai air cadangan jika diperlukan.

Pada prosesnya, air laut akan masuk melewati jaring trawl, dalam jarring trawl dilakukan penyaringan untuk memisahkan antara air laut dan kotoran/sampah yang ikut terbawa kemudian dialirkan menuju chlorine plant untuk dilakukan injeksi chlorine yang bertujuan untuk menghilangkan biota laut yang terbawa oleh air laut. Air laut selanjutnya akan diproses pada *reverse osmosis* guna menghilangkan kadar garam yang terkandung dalam air laut sehingga dihasilkan *fresh water*.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



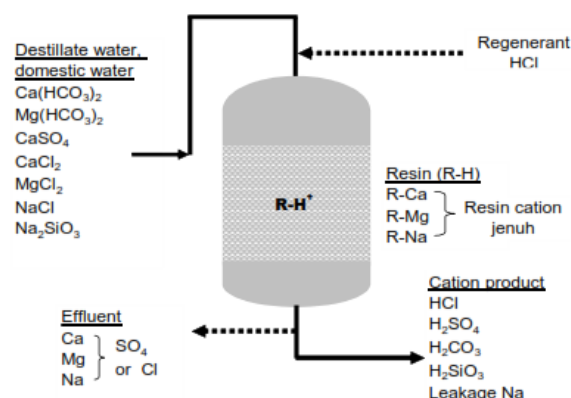
Setelah treatment awal ini, kemudian *fresh water* dialirkan menuju *Water Treatment Plant* untuk dilakukan pemurnian dengan menghilangkan kandungan mineral dalam air. *Fresh water* dimurnikan menjadi *demin water* (air demin) yang disimpan pada *demin storage tank* dengan kapasitas 3000kL yang berjumlah 2 unit.

a. Proses Operasi (Demineralisasi)

Proses demineralisasi air adalah salah satu cara untuk memurnikan air, dengan cara menyerap semua ion-ion mineral dari dalam air ke dalam resin. Pada proses ini, dilakukan pada 3 bed :

1) *Cation Bed*

Guna memperoleh air dengan TDS yang sangat kecil, maka perlu dilakukan proses demineralisasi. Proses demineralisasi adalah proses menghilangkan kandungan mineral dalam air. Dalam langkahnya, *fresh water* yang tertampung dalam *fresh water storage tank* akan dialirkan menuju *cation bed*. Tujuan dari proses tersebut ialah menukar ion positif yang terkandung dalam air seperti CaSO_4 , CaCl_2 , MgCO_3 , dan NH_4Cl dengan mereaksikan dengan resin H^+ (R-H^+) yang diperoleh dari *acid* (HCl) didalam bed tersebut.



Gambar 1.9 Diagram Alir Sederhana Proses pada *Cation Bed*

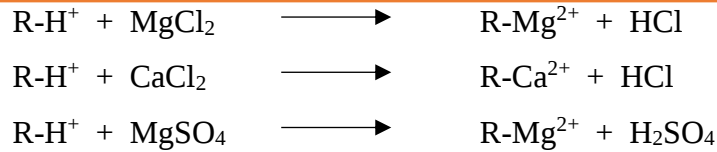
Contoh reaksi yang terjadi pada cation bed :



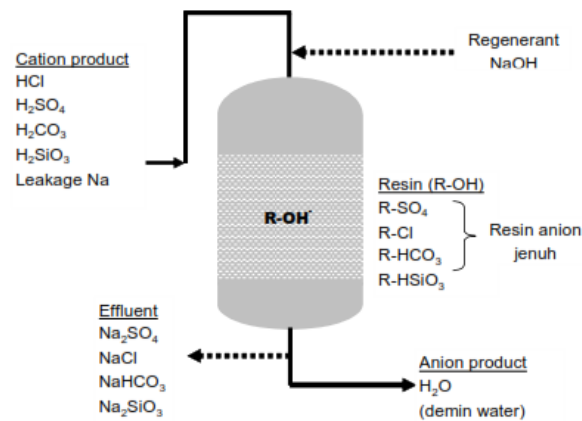


TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



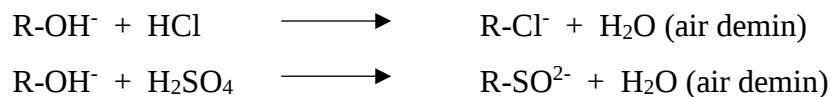
2) Anion Bed



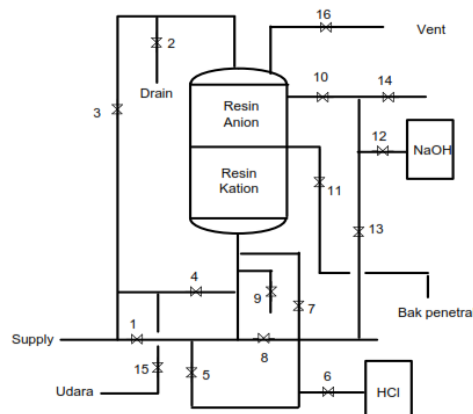
Gambar 1.10 Diagram Alir Sederhana Proses pada *Anion Bed*

Keluaran dari cation bed akan langsung diproses menuju anion bed. Pada proses ini, senyawa yang terkandung dalam air akan bereaksi dengan resin OH^- (R-OH^-) yang diperoleh dari *caustic* (NaOH) dalam bed sehingga diharapkan untuk hasil dari proses ini adalah air murni tanpa kandungan mineral (air demin).

Contoh reaksi yang terjadi pada *anion bed* :



3) Mixed Bed



Gambar 1.11 Diagram Alir Sederhana Proses pada *Mixed Bed*



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu

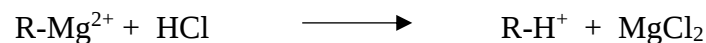
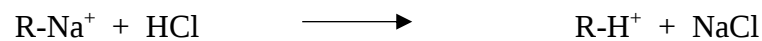


Guna mengantisipasi adanya kandungan mineral yang lolos, PLTU Indramayu menambahkan *mixed bed* yang didalamnya terkandung resin positif ($R-H^+$) dan negatif ($R-OH^-$) guna menukar cation dan anion yang masih tersisa didalam air demin yang terbentuk.

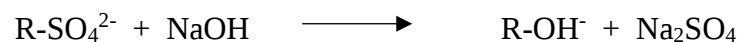
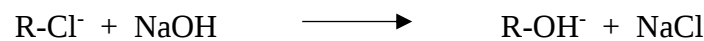
b. Sistem Regenerasi

Sistem regenerasi adalah proses mengembalikan/mengaktifkan Kondisi *resin anion* dan *resin kation* yang telah jenuh akibat digunakan untuk proses pemurnian air. Adapun untuk regenerasi resin anion menggunakan bahan kimia NaOH, sedangkan untuk regenerasi resin kation digunakan bahan kimia HCl.

Contoh reaksi yang terjadi pada cation bed :



Contoh reaksi yang terjadi pada anion bed :



3. Wastewater Treatment Plant

Wastewater Treatment Plant (WWTP) atau Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah rangkaian proses yang dilakukan untuk menghilangkan zat organik dan anorganik dari air, sehingga air dapat digunakan kembali. Beberapa sumber dari sistem pembuangan air limbah yang ditampung pada bak continue berasal dari :

a. Acid Cleaning (seawater desalination system)

Limbah ini berasal dari sistem pembersihan membran menggunakan zat asam seperti HCl, hidrazin, anticlorin, dll pada unit desalination RO (*reverse osmosis*).

b. Regeneration Waste Water (boiler make-up water treatment system)



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Limbah ini berasal dari regenerasi unit WTP yang mengelola air *make up* sebelum masuk boiler.

c. *Chemical Test Room*

Limbah ini berasal dari aktivitas laboratorium seperti regeneration unit hingga pencucian alat lab melalui wastafel.

Sedangkan untuk limbah pada bak *discontinue* berasal dari :

a. *Air Preheater Cleaning Waste Water*

Limbah ini berasal dari uap yang digunakan memutar turbin untuk dimanfaatkan kembali dalam preheater air sebelum masuk ke boiler, setelah terkondensasi, air tersebut kemudian dimanfaatkan untuk sealing atau pembersihan bottom ash.

b. *Unit Start Drainase*

Limbah ini berasal dari *blowdown boiler* dari *steam drum* dan juga dari *sealing bottom ash* dan *fly ash* yang masuk ke saluran drainase area unit.

c. *Boiler Water Side Chemical Cleaning Waste Water*

Limbah ini berasal dari pembersihan dinding boiler dari jelaga atau abu batu bara yang menempel pada dinding–dinding boiler.

d. *Transformer Pit Oil Trap Drainage*

Limbah ini berasal dari bocoran–bocoran oli unit trafo yang masuk ke saluran drainase.

e. *FOT (fuel oil tank)*

Limbah ini berasal dari area yang memiliki limbah cair dengan kandungan minyak di dalamnya seperti *oil reservoir area oil trap drainage, main plant building ground flushing water*. Sebelum masuk ke bak penampung di WWTP, dalam area FOT juga sudah terdapat *oil separator* dengan *outlet reuse waste oil*, dan limbah air yang masih memiliki kandungan minyak dipompakan ke WWTP dalam bak penampung *oil separator* sebelum dipompakan ke bak *continue*.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Bak *continue* berfungsi sebagai penampung limbah sementara sebelum di treatment lebih lanjut dalam WWTP, kemudian dipompakan untuk di treatment lebih lanjut, air limbah akan diinjeksikan NaOH atau HCl dengan mixing yang terjadi didalam pipa dengan menabrakan aliran limbah dengan injeksi *acid* atau *caustic* sehingga terjadi aliran turbulen. Air limbah dan injeksi pH akan tercampur yang kemudian akan menghasilkan air limbah dengan pH yang baru. Injeksi *acid* dan *caustic* tersebut dilakukan berdasarkan hasil test pH sebelum masuk ke *mixing equipment*. Larutan HCl akan diinjeksikan dari *acid storage tank* jika pH bersifat basa, sedangkan larutan NaOH akan diinjeksikan dari *caustic storage tank* jika pH bersifat asam.

Setelah pH terukur dengan memenuhi baku mutu yang sudah ditetapkan, air limbah akan dipompa ke *neutralization basin* untuk di *mixing* lebih lanjut serta sebagai penampung limbah yang sudah bersifat netral dan pH nya sudah memenuhi baku mutu.

Limbah yang ditampung dalam *neutralization basin* akan dialirkan air yang terolah dialirkan menuju *cellulose filter*, dalam *cellulose filter* air akan disaring menggunakan *ball ball filter*. Air yang sudah di filter akan dialirkan melalui 2 outlet, yang pertama outlet untuk membuang air limbah langsung ke laut (badan air), outlet kedua air limbah dimanfaatkan kembali untuk *coal handling facility (CHF spray)* untuk membersihkan bagian yang terkena debu dari batu bara

Bak selanjutnya adalah bak *discontinue*, bak ini berfungsi sebagai penampung limbah sementara sebelum di treatment lebih lanjut dalam WWTP, dalam bak *discontinue*, terdapat limbah yang mengandung minyak dari operasional sistem pembangkit. Limbah tersebut akan di treatment sebelum dialirkan menuju bak *discontinue* dalam *Oil Waste Pool* berkapasitas 120 m³ kemudian ke *Oil Water Separator* untuk pemisahan minyak dan air. Treatment yang terjadi dalam oil separator water, limbah cair akan dipisahkan antara minyak dan airnya



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



menggunakan metode gravitasi dengan perbedaan massa jenis air dan minyak serta dilakukan penginjeksian *chemical*.

Untuk menghindari terjadinya minyak yang berada dibagian bawah dan bercampur dengan air, maka campuran air dan minyak akan di-*aerasi* terlebih dahulu lalu diinjeksikan dispersan. Masa jenis air lebih besar dari pada minyak, sehingga air akan turun kebawah dan minyak yang berada dibagian atas akan di swipe menggunakan *swipper* yang terbuat dari karet kemudian disimpan kedalam drum untuk diangkut ke TPS Limbah B3. Air yang sudah dipisahkan akan ikut ditampung dalam bak *discontinue* yang kemudian akan diolah bersama dan diolah lebih lanjut dengan injeksi pH, dan juga *coagulant*, sama dengan proses penetralan dalam bak *frequent air limbah* akan diinjeksikan NaOH atau HCl dan *coagulant* serta *mixing* yang terjadi didalam pipa dengan menabrakan aliran limbah dengan injeksi acid atau caustic dan *coagulant* sehingga terjadi aliran turbulen dan air limbah yang sudah diinjeksi akan tercampur akan menghasilkan air limbah dengan pH yang baru serta menghasilkan gumpalan-gumpalan yang disebabkan karena adanya injeksi *coagulant*. Setelah *mixing equipment*, air limbah akan dialirkan menuju *flocculant reaction tank* untuk diinjeksikan *Floculant* dan NaCIO. *Flocculant* diinjeksikan agar gumpalan-gumpalan yang ada akan menyatu membentuk flok, sedangkan NaCIO berperan sebagai desinfektan.

Air limbah dari *outlet flocculant reaction tank* akan diolah lebih lanjut untuk memisahkan air dengan lumpur yang dihasilkan dari injeksi *Flocculant* dan *coagulant*. Proses sedimentasi terjadi di unit *recined plate clasification basin* atau yang biasa disebut dengan sekat lamela. Setelah diendapkan, lumpur akan di tampung dalam *muddy water pool* dan dipisahkan menggunakan *Bowl Decanter (centrifugal drier)*. Dengan memanfaatkan gaya sentrifugal dan kecepatan tinggi, lumpur dan air akan terlempar keluar dengan masuk ke line yang berbeda berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Lumpur akan diangkut



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



ke TPS Limbah B3, sedangkan air akan dipompa ke bak *frequent* untuk diolah kembali.

Air yang dihasilkan dari pengendapan lumpur dalam *reclined plate clasification basin* akan dialirkan ke *neutralization basin* dengan air limbah yang berasal dari *frequent waste water*.

1.2.6 Penanganan Limbah

1. Penanganan Limbah Cair

Air limbah yang dihasilkan oleh PLTU Indramayu secara umum ada dua yaitu limbah tanpa kandungan minyak dan limbah dengan kandungan minyak yang ditampung pada bak continue dan discontinue. Beberapa sumber dari sistem pembuangan air limbah yang ditampung pada bak continue berasal dari :

a. *Acid Cleaning (seawater desalination system)*

Limbah ini berasal dari sistem pembersihan membran menggunakan zat asam seperti HCl, hidrazin, anticlorin, dll pada unit desalination RO (reverse osmosis).

b. *Regeneration Waste Water (boiler make-up water treatment system)*

Limbah ini berasal dari regenerasi unit WTP yang mengelola air make up sebelum masuk boiler.

c. *Chemical Test Room*

Limbah ini berasal dari aktivitas laboratorium seperti regeneration unit hingga pencucian alat lab melalui wastafel.

Sedangkan untuk limbah pada bak discontinue berasal dari :

a. *Air Preheater Cleaning Waste Water*

Limbah ini berasal dari uap yang digunakan memutar turbin untuk dimanfaatkan kembali dalam preheater air sebelum masuk ke boiler, setelah terkondensasi, air tersebut kemudian dimanfaatkan untuk sealing atau pembersihan bottom ash.

b. *Unit Start Drainase*



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Limbah ini berasal dari blowdown boiler dari steam drum dan juga dari sealing bottom ash dan fly ash yang masuk ke saluran drainase area unit.

c. *Boiler Water Side Chemical Cleaning Waste Water*

Limbah ini berasal dari pembersihan dinding boiler dari jelaga atau abu batu bara yang menempel pada dinding–dinding boiler.

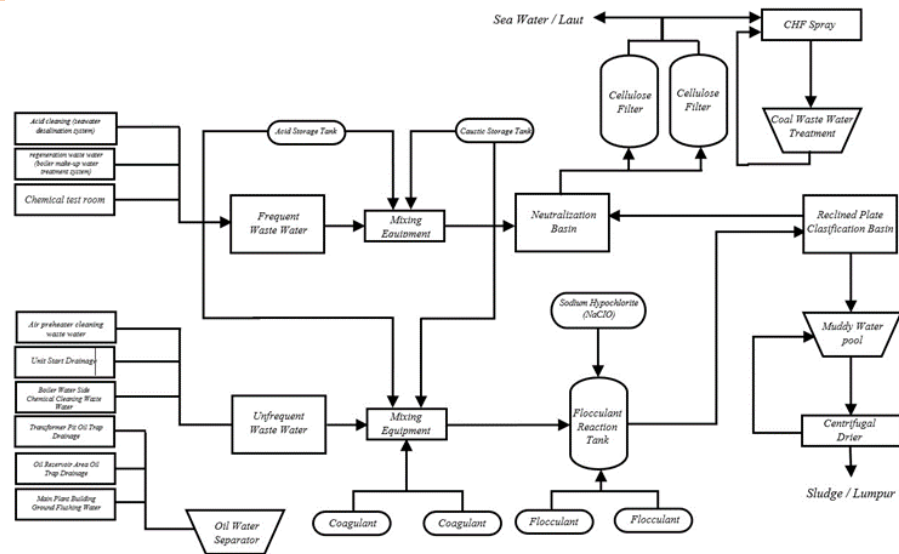
d. *Transformer Pit Oil Trap Drainage*

Limbah ini berasal dari bocoran–bocoran oli unit trafo yang masuk ke saluran drainase.

e. *FOT (fuel oil tank)*

Limbah ini berasal dari area yang memiliki limbah cair dengan kandungan minyak di dalamnya seperti oil reservoir area oil trap drainage, main plant building ground flushing water. Sebelum masuk ke bak penampung di WWTP, dalam area FOT juga sudah terdapat oil separator dengan outlet reuse waste oil, dan limbah air yang masih memiliki kandungan minyak dipompakan ke WWTP dalam bak penampung oil separator sebelum dipompakan ke bak continue.

Tolak ukur pengelolaan lingkungan hidup pada PT PT PLN Nusantara Power UP Indramayu adalah Keputusan Menteri LHK No S.444//PPKL/PPKPL/PKL.1/7/2022 tentang Persetujuan Teknis Pemenuhan Baku Mutu Air Limbah yang Dibuang ke Laut PT PT PLN Nusantara Power UP Indramayu.



Gambar 1.13 Bagan Proses Wastewater Treatment Plant

Air limbah yang diolah dalam WWTP memiliki 3 jenis sumber limbah (*continue*, *discontinue*, dan *oil waste*) dengan 2 jenis bak penampung, yaitu *frequency* (*continue*) berkapasitas 200 m³ dan *unfrequency* (*discontinue*) 2 buah bak berkapasitas masing-masing 1.900 m³, pemisahan tersebut bertujuan untuk mengelompokkan limbah dengan karakter dan jenis treatment yang berbeda

Bak pertama adalah bak *frequency* (*continue*) merupakan penampungan limbah yang berkelanjutan dengan karakteristik limbah yang memiliki pH tidak beraturan. Sedangkan bak *unfrequency* (*discontinue*) merupakan penampungan limbah dengan karakteristik lebih kompleks dibandingkan dengan limbah yang ditampung dalam bak *continue*, artinya perlu memiliki penanganan tambahan, tidak hanya penetralan pH, dalam bak *discontinue* juga terdapat treatment penjernihan air dengan cara menginjeksikan flocculant dan coagulant.

Bak *continue* berfungsi sebagai penampung limbah sementara sebelum di treatment lebih lanjut dalam WWTP, kemudian dipompakan untuk di treatment lebih lanjut, air limbah akan diinjeksikan NaOH atau HCl dengan mixing yang terjadi didalam pipa dengan menabrakan aliran limbah dengan injeksi *acid* atau *caustic* sehingga terjadi aliran



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



turbulen. Air limbah dan injeksi pH akan tercampur yang kemudian akan menghasilkan air limbah dengan pH yang baru. Injeksi *acid* dan *caustic* tersebut dilakukan berdasarkan hasil test pH sebelum masuk ke *mixing equipment*. Larutan HCl akan diinjeksikan dari *acid storage tank* jika pH bersifat basa, sedangkan larutan NaOH akan diinjeksikan dari *caustic storage tank* jika pH bersifat asam.

Setelah pH terukur dengan memenuhi baku mutu yang sudah ditetapkan, air limbah akan dipompa ke *neutralization basin* untuk di *mixing* lebih lanjut serta sebagai penampung limbah yang sudah bersifat netral dan pH nya sudah memenuhi baku mutu.

Limbah yang ditampung dalam *neutralization basin* akan dialirkan air yang terolah dialirkan menuju *cellulose filter*, dalam *cellulose filter* air akan disaring menggunakan *ball ball filter*. Air yang sudah di filter akan dialirkan melalui 2 outlet, yang pertama outlet untuk membuang air limbah langsung ke laut (badan air), outlet kedua air limbah dimanfaatkan kembali untuk *coal handling facility (CHF spray)* untuk membersihkan bagian yang terkena debu dari batu bara

Bak selanjutnya adalah bak *discontinue*, bak ini berfungsi sebagai penampung limbah sementara sebelum di treatment lebih lanjut dalam WWTP, dalam bak *discontinue*, terdapat limbah yang mengandung minyak dari operasional sistem pembangkit. Limbah tersebut akan di treatment sebelum dialirkan menuju bak *discontinue* dalam *Oil Waste Pool* berkapasitas 120 m³ kemudian ke *Oil Water Separator* untuk pemisahan minyak dan air. Treatment yang terjadi dalam oil separator water, limbah cair akan dipisahkan antara minyak dan airnya menggunakan metode gravitasi dengan perbedaan massa jenis air dan minyak serta dilakukan penginjeksian chemical.

Untuk menghindari terjadinya minyak yang berada dibagian bawah dan bercampur dengan air, maka campuran air dan minyak akan di *aerasi* terlebih dahulu lalu diinjeksikan dispersan. Masa jenis air lebih besar dari pada minyak, sehingga air akan turun kebawah dan minyak



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



yang berada dibagian atas akan di swipe menggunakan *swiper* yang terbuat dari karet kemudian disimpan kedalam drum untuk diangkut ke TPS Limbah B3. Air yang sudah dipisahkan akan ikut ditampung dalam bak *discontinue* yang kemudian akan diolah bersama dan diolah lebih lanjut dengan injeksi pH, dan juga coagulant, sama dengan proses penetralan dalam bak *frequent* air limbah akan diinjeksikan NaOH atau HCl dan coagulant serta *mixing* yang terjadi didalam pipa dengan menabrakan aliran limbah dengan injeksi acid atau caustic dan coagulant sehingga terjadi aliran turbulen dan air limbah yang sudah diinjeksi akan tercampur akan menghasilkan air limbah dengan pH yang baru serta menghasilkan gumpalan-gumpalan yang disebabkan karena adanya injeksi coagulant. Setelah *mixing equipment*, air limbah akan dialirkan menuju *flocculant reaction tank* untuk diinjeksikan *Floculant* dan NaClO. *Floculant* diinjeksikan agar gumpalan-gumpalan yang ada akan menyatu membentuk flok, sedangkan NaClO berperan sebagai desinfektan.

Air limbah dari *outlet flocculant reaction tank* akan diolah lebih lanjut untuk memisahkan air dengan lumpur yang dihasilkan dari injeksi *Floculant* dan coagulant. Proses sedimentasi terjadi di unit *recined plate clasification basin* atau yang biasa disebut dengan sekat lamela. Setelah diendapkan, lumpur akan di tampung dalam *muddy water pool* dan dipisahkan menggunakan *Bowl Decanter (centrifugal drier)*. Dengan memanfaatkan gaya sentrifugal dan kecepatan tinggi, lumpur dan air akan terlempar keluar dengan masuk ke line yang berbeda berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Lumpur akan diangkut ke TPS Limbah B3, sedangkan air akan dipompa ke bak *frequent* untuk diolah kembali.

Air yang dihasilkan dari pengendapan lumpur dalam *reclined plate clasification basin* akan dialirkan ke *neutralization basin* dengan air limbah yang berasal dari *frequent waste water*.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



2. Penanganan Limbah Padat

A. Sistem Penanganan Abu Berat (Bottom Ash System)

Limbah yang digolongkan sebagai limbah abu berat (bottom ash) di PLTU Indramayu ialah abu dari Bottom Ash Hopper, material yang berupa batubara yang tidak terbakar ataupun tidak terbakar sempurna di ruang bakar boiler, *sootblower* (pembersih slag) pada boiler dan material yang jatuh saat *soot blowing* pada boiler. Batubara dan abu dari bottom ash hopper akan diangkut menggunakan *belt conveyor* untuk dilakukan pengecilan ukuran menggunakan *clinker crusher*. Setelah itu, diangkut menuju bottom ash silo untuk ditampung dalam truk.

B. Sistem Penanganan Abu Ringan (Fly Ash System)

Fly ash dihasilkan dari gas buangan boiler sebelum melewati *stack* yang ditangkap oleh *Electrostatic Precipitator* (ESP). *Electrostatic Precipitator* (ESP) adalah sebuah teknologi untuk menangkap abu hasil proses pembakaran dengan cara memberi muatan listrik pada alat. Prinsip kerja ESP yaitu dengan memberi muatan negatif pada abu-abu tersebut melalui beberapa elektroda (biasa disebut *discharge electrode*).

Jika abu tersebut dilewatkan lebih lanjut ke dalam sebuah kolom yang terbuat dari plat yang memiliki muatan lebih positif (biasa disebut *collection electrode*), maka secara alami abu tekanan tertarik oleh plat-plat tersebut. Setelah abu terakumulasi pada plat tersebut, sebuah *system rapper* khusus akan membuat abu jatuh ke bawah dan keluar dari sistem ESP dan ditampung di *hopper* ESP. dari *hopper* ESP, *fly ash* kemudian ditransfer menuju separator (*primary* dan *secondary separator*) kemudian berakhir di *fly ash silo*. Separator pada *fly ash silo* digunakan untuk memisahkan abu dengan udara, sehingga yang masuk ke dalam silo hanya abu saja.

Pada unit PLTU Indramayu terdapat 4 field ESP dengan 16 alat penampungan. Alat penampungan yang paling dekat dengan unit



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1

Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



akan menampung abu dengan massa yang lebih berat dibandingkan dengan unit lainnya. Sedangkan untuk skala medium akan ditampung pada ESP field 2 dan 3, dan untuk ESP field 4 digunakan untuk menampung fly ash dengan massa paling ringan atau halus.

Setelah melewati ESP, fly ash akan menuju coarse/fine ash silo dengan jumlah unit sebanyak 4 silo yang digunakan untuk menampung abu. Fly ash dengan ukuran yang berbeda. Pada ESP field 1 dari unit 1 fly ash akan dialirkan menuju silo 1 dan silo 2. Sedangkan untuk ESP field 2-4 dari unit 1 akan dialirkan menuju silo 4 karena memiliki abu yang lebih halus dibandingkan dengan field 1.

Begitu pula pada ESP field 1 dari unit 2 akan dialirkan menuju silo 2 dan silo 3, dan untuk ESP field 2-4 dari unit 2 akan ditampung menuju silo 2 dan 4. Pada unit 3, ESP field 1 akan masuk ke silo 1 dan silo 3, sedangkan untuk ESP field 2-4 akan masuk ke silo 3 dan silo 4.

C. Penanganan Limbah Gas

Limbah gas pada PLTU PT PLN Nusantara Power UP Indramayu adalah limbah gas yang keluar dari stack. Untuk mengolah limbah gas dilakukan didalam FGD (*Flue Gas Desulfuration*). Di dalam FGD, gas yang mengandung senyawa berbahaya akan disemprotkan dan nantinya akan berkontak dengan air laut.

Reaksi yang berlangsung :



Keluaran gas yang dialirkan atau dibuang melalui *stack/chimney* merupakan gas bersih.



BAB II
TUGAS KHUSUS

2.1 Latar Belakang

Kebutuhan masyarakat akan listrik di Indonesia saat ini sangatlah tinggi. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), sepanjang tahun 2022 konsumsi listrik per kapita di Tanah Air sudah mencapai angka 1.173 kilowatt hour (KWh). Angka ini tercatat naik 4,45% jika dibandingkan tahun 2021 sebesar 1.123 kWh. Oleh karena itu tidak heran bahwa listrik sudah menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat Indonesia. Hampir tidak ada aktivitas sosial yang tanpa menggunakan tenaga listrik. Listrik sudah menjadi kebutuhan dasar dan tidak dapat dipisahkan, sehingga listrik harus dijaga volume, kualitas dan kesinambungannya demi keberlangsungan hidup masyarakat Indonesia. Maka, ketersediaan Pembangkit Listrik merupakan hal yang harus ditinjau guna menghasilkan kapasitas dan kualitas yang diharapkan.

(Annisa Mutia, 2022)

Pembangkit listrik yang ada di Indonesia memiliki beragam jenis, bergantung pada jenis bahan pembangkit. Akan tetapi, dari jenis-jenis pembangkit listrik yang ada, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik dengan biaya produksi terendah di Indonesia. PLTU biasanya memanfaatkan batubara sebagai bahan bakar dan air sebagai penghasil uap untuk menggerakkan generator dan media pembangkit lainnya.

Komponen utama unit pembangkit dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap salah satunya adalah kondensor. Kondensor merupakan alat yang berfungsi untuk mengembunkan uap air untuk diubah menjadi zat cair. Air tersebut kemudian akan ditampung dalam bak penampung (hotwell) yang nantinya akan diumpankan kembali ke pemanas untuk dihasilkan uap sebagai media penggerak turbin guna memutar generator.

Sebagai salah satu alat utama, performa kondensor perlu ditinjau dan dipertahankan pada batas tertinggi, sehingga diharuskan untuk melakukan pemeliharaan terhadap kondensor. Guna melakukan hal tersebut, perhitungan



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



efisiensi dan neraca massa dapat dilakukan untuk mengetahui persentase kinerja kondensor dari waktu ke waktu.

2.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai:

1. Memahami proses yang terjadi pada kondensor PLTU.
2. Menghitung neraca massa dan neraca energi pada kondensor.
3. Menghitung efisiensi kondensor.

2.3 Tinjauan Pustaka

2.3.1 Kondensor

Kondensor merupakan alat penukar kalor yang berfungsi mengkondensasikan uap keluaran turbin. Uap setelah memutar turbin akan langsung mengalir menuju kondensor untuk diubah menjadi air (dikondensasikan). Hal ini terjadi karena uap bersentuhan langsung dengan pipa-pipa (*tubes*) yang didalamnya dialiri oleh air pendingin. Oleh karena itu, kondensor merupakan salah satu komponen utama dalam pembangkitan listrik di PLTU.

Kondensor terdiri dari *tube-tube* kecil yang melintang. Pada *tube-tube* inilah air pendingin dari air laut dialirkan. Sedangkan air mengalir dari atas menuju ke bawah agar mengalami kondensasi. Secara umum terdapat dua jenis kondensor yaitu *surface condenser* dan *direct contact condenser*. Berikut klasifikasi kedua jenis kondensor tersebut :

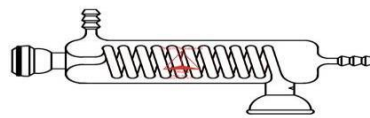
1. *Surface Condenser*

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

Surface condenser terdiri dari dua jenis yang dibedakan oleh cara masuknya uap dan air pendingin, berikut jenis-jenisnya:

a. *Type Horizontal Condenser*

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



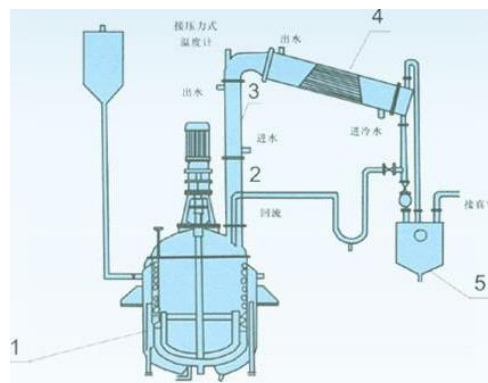
Gambar 2.14 *Horizontal Condensor*

Kelebihan kondensor horizontal adalah :

- 1) Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip sehingga berukuran kecil dan ringan.
- 2) Pipa pendingin dapat dibuat dengan mudah.
- 3) Bentuk sederhana dan mudah pemasangannya.
- 4) Pipa pendingin mudah dibersihkan.

b. *Type Vertical Condenser*

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



Keterangan :

1. *Esterification reactor*
2. *Vertical Fractional Column*
3. *Vertical Condensor*
4. *Horizontal Condensor*
5. *Storage Device*

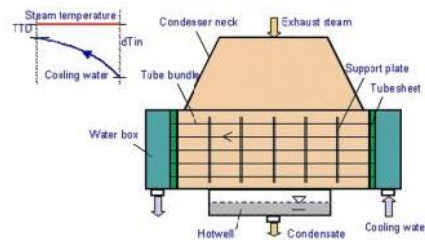
Gambar 2.15 *Vertical Condenser*

Kelebihan kondensor vertikal adalah :

- 1) Harga murah karena mudah dalam pembuatannya.
- 2) Posisinya yang vertikal sehingga mudah dalam pemasangan.
- 3) Pembersihan harus dilakukan menggunakan deterjen, karena tidak memungkinkan mengganti pipa pendingin.

Sedangkan ada pula *Surface Condensor* berdasarkan bentuk tube yang ada didalamnya yaitu;

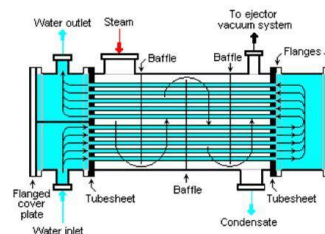
- a. *Single Flow* (aliran tunggal)



Gambar 2.16 *Condensor Single Flow*

Kondensor dengan aliran tunggal atau juga disebut dengan satu laluan adalah kondensor yang air pendinginnya mengalir melalui semua tabung melalui satu ujung dan keluar dari ujung yang lain.

- b. *Double Flow* (aliran ganda)



Gambar 2.17 *Condensor Double Flow*

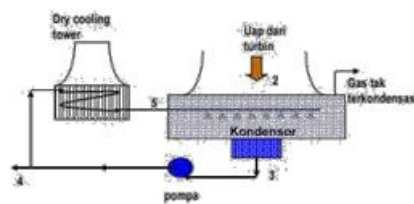
Kondensor double flow disebut juga dengan kondensor dengan dua laluan. Pada kondensor dua laluan, air pendingin memasuki pipa melalui *water box* yang terbagi dua pada satu sisi, yakni sisi inlet dan outlet. Air pendingin kemudian memasuki separuh jumlah tube.

Setelah air pendingin sampai pada *waterbox* pada sisi lain, maka air pendingin akan memasuki tube yang lain dan keluar melalui *waterbox* yang memiliki dua sisi.

2. *Direct Contact Condenser*

Cara kerja dari kondensor jenis ini yaitu proses kondensasi dilakukan dengan cara mencampurkan air pendingin dan uap secara langsung. Jenis dari kondensor ini disebut *spray condenser*, pada alat ini proses pencampuran dilakukan dengan menyemprotkan air pendingin ke arah uap. Penyemprotan ini mengakibatkan steam menempel pada butiran-butiran air pendingin dan akan mengalami kontak temperatur, selanjutnya uap akan terkondensasi dan tercampur dengan air pendingin yang mendekati fase *saturated* (basah). Berikut Jenis-Jenis *direct contact condenser* :

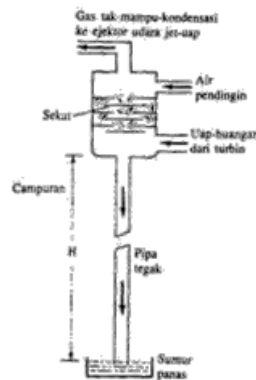
a. *Spray Condenser*



Gambar 2.18 *Spray Condensor*

Digunakan untuk penggunaan dengan tekanan yang sangat rendah. Prinsip kerjanya yakni mencampur uap dan air pendingin yang disemprotkan dalam satu tabung sehingga terbentuk air kondensat yang mendekati fase saturasi. Air kondensat yang dihasilkan kemudian dipompakan kembali menuju *cooling tower* dan sebagian dikembalikan ke boiler sebagai *feed water*.

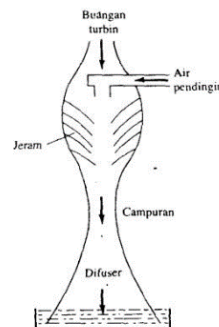
b. *Barometric Condensor*



Gambar 2.19 *Barometric Condensor*

Mempunyai prinsip kerja yang sama dengan spray condenser namun bekerja tanpa membutuhkan pompa. Vacuum pada condenser pada jenis barometric berkat tinggi statis yang dimilikinya. Pada barometric condenser, air pendingin dibuat berkelok menuruni sejumlah baffle dalam bentuk tirai air dengan perbandingan luas terhadap volume sangat tinggi. Tail pipe menekan campuran sampai tekanan atmosfer pada hotwell berkat tinggi statisnya

c. Jet Condensor



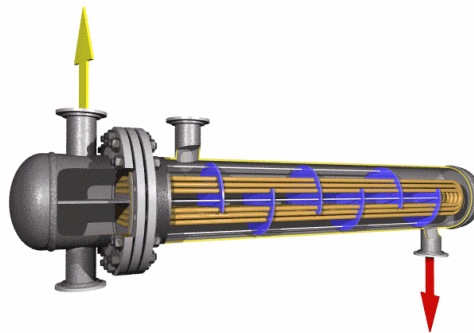
Gambar 2.20 *Jet Condensor*

Pada jet condenser, digunakan *diffuser* sebagai pengganti tail pipe. Prinsip kerja diffuser sama dengan bagian divergen pada nozzle divergent-convergent pada aliran subsonic. Pada semua direct-contact condenser, gas-gas yang tidak terkondensasi harus dibuang, biasanya dengan steam-jet-air-ejector (SJAE).

Sedangkan berdasarkan *Cooling Medium*, kondensor terbagi menjadi beberapa jenis antara lain :

1. *Shell and Tube Condensor*

Shell and tube condensor atau kondensor tabung dengan pipa digunakan pada kondensor yang berukuran kecil sampai besar. Biasanya digunakan untuk air pendingin berupa freon, ammonia ataupun air. Tabung dan pipa terdapat banyak pipa pendingin, dimana air pendingin mengalir didalam pipa-pipa tersebut, ujung dan pangkal pipa pendingin terikat pada pelat pipa, sedangkan diantara pelat pipa dan tutup tabung dipasang sekat-sekat untuk membagi aliran air yang melewati pipa-pipa dan mengatur agar kecepatannya cukup tinggi, yaitu 1,5-2 m/s.



Gambar 2.21 *Shell and Tube Condensor*

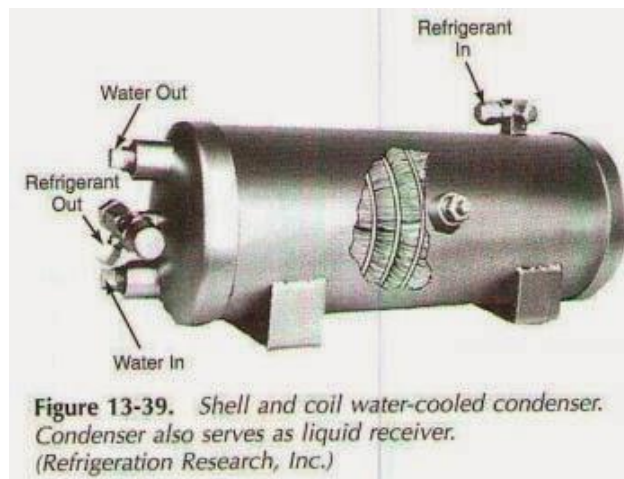
Air pendingin yang masuk melalui pipa pada bagian bawah kemudian keluar melalui pipa bagian atas. Jumlah saluran maksimum yang dapat digunakan sebanyak 12, semakin banyak jumlah saluran yang digunakan maka semakin besar tahanan air pendingin. Pipa pendingin ammonia biasa terbuat dari baja sedangkan untuk freon terbuat dari pipa tembaga.

Jika menginginkan pipa yang tahan terhadap korosi bias menggunakan pipa kuningan atau cupro nikel. Ciri-ciri kondensor pipa dan tabung adalah :

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

2. *Shell and Coil Condensor*

Kondensor tabung dan koil banyak digunakan pada unit pendingin dengan freon refrigerant berkapasitas lebih kecil, misalnya untuk penyegar udara, pendingin air dan sebagainya. Kondensor tabung dan kkoil dengan tabung pipa pendingin didalam tabung yang dipasang pada posisi vertikal. Koil pipa pendingin tersebut biasanya terbuat dari tembaga, berbentuk tanpa sirip maupun dengan sirip. Pipa tersebut mudah dibuat dan murah harganya. Pada kondensor tabung dan koil, aliran air mengalir didalam koil pipa pendingin. Disini endapan dan kerak yang terbentuk di dalam pipa harus dibersihkan menggunakan zat kmia (detergent).



Gambar 2.22 *Shell and Coil Condensor*

(Frandhoni, 2015)

2.3.2 Unit Pendingin

Semua sistem pendingin melakukan pertukaran kalor dengan cara melepaskan kalor ke udara, tetapi ada juga dengan cara lain yaitu dengan melepaskan kalor ke udara melalui kontak langsung dengan air. Ditambahkan bahwa berdasarkan zat pendingin yang dipakai, dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Alat Pendingin dengan Udara



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Udara sebagai zat pendingin dialirkan ke dalam pendingin dengan bantuan kipas angin. Pendingin udara mempunyai komponen utama pipa bersirip yang berliku-liku. Udara mengalir melalui bagian dalam pipa sedangkan pendingin mengalir diluarnya. Kebanyakan pendingin jenis ini dilengkapi dengan kipas angin.

2. Alat Pendingin dengan Air

Air sebagai zat pendingin dipompakan ke dalam pendingin. Biasanya air ini setelah keluar dari alat pendingin dialirkan lagi ke pendingin. Jika tersedia air yang banyak, air yang keluar dari alat pendingin langsung dibuang. Alat pendingin dengan air umumnya berbentuk suatu tabung silindris dengan jajaran pipa-pipa yang terpasang didalamnya.

2.3.3 Komponen Kondensor

Kondensor memiliki komponen-komponen penyusun yang memiliki fungsi masing-masing. Komponen penyusunnya yaitu :

a. Selongsong (Shell)

Shell adalah tubuh kondensor yang terluar dan berisi tabung penukar panas (tube). Steam dari turbin akan memasuki ruang pada bagian dalam shell dan diluar tube. Steam yang terkondensasi didalam shell akan ditampung pada bagian bawah shell atau sering disebut dengan hotwell.

b. Ruang Air (*Water Box*)

Water box berupa terminal air pendingin sebelum memasuki maupun keluar dari tube-tube. Ruang-ruang air pada sisi masuk dan masing-masing mempunyai man hole, dengan menggunakan dua laluan, maka pencucian setengah kondensor dapat dilakukan pada beban rendah.

c. Pipa (Tube)

Tube atau pipa pada kondensor merupakan bagian paling penting untuk proses penyerapan panas pada steam sehingga steam terkondensasi oleh air pendingin. Desain dan material yang digunakan untuk tube sangat berpengaruh pada kinerja kondensor.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



d. *Support Plate*

Support plate terdiri atas lembaran-lembaran yang dipasang diantara tube plate. Support plate berguna untuk mencegah resonansi (getaran) yang disebabkan oleh kontak langsung antara tube atau putaran turbin.

e. *Impingement Tubes*

Impingement tube digunakan sebagai pelapis tube. Biasanya digunakan bahan berupa *stainless steel* guna melindungi *tube aluminium brass* agar terhindar dari kerusakan yang diakibatkan gesekan *exhaust steam*. Pelapisan ini dipasang pada bagian depan water box.

f. Ruang Kondensat (Hotwell)

Hotwell adalah salah satu bagian dari Kondensor. Hotwell terletak di bagian bawah kondensor namun masih menjadi satu dengan Kondensor dan berfungsi menampung air kondensat sebelum dialirkan ke deaerator.

2.3.4 Peralatan Penunjang Kondensor

1. *Circulating Water Pump*

Circulating water pump (CWP) adalah pompa yang digunakan untuk mengalirkan air laut yang akan digunakan untuk air pendingin utama kondensor. Siklus yang berlangsung pada proses ini adalah siklus terbuka, dengan bahan pasokan pendingin berupa air laut.

Siklus terbuka terjadi karena air pendingin dipasok secara kontinyu dari sumber tak terbatas (air laut) yang dipompakan oleh CWP ke kondensor untuk akhirnya dikembalikan kembali ke laut.

Spesifikasi :

Kapasitas	: 21.096 m ³ /h
Jumlah	: 6 unit
Speed	: 425 rpm
Flow	: 5,86 m ³ /s
Power	: 1086,5 kW
Head	: 16 m
Shaft Power Pa:	1086 kW



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Weight : 470.000 kg

2. *Vacuum Pump*

Vacuum pump berfungsi untuk menghisap/membuang gas-gas yang tidak dapat terkondensasi yang ada didalam kondensor. Gas-gas tersebut bercampur dengan uap air, sehingga karena sifatnya yang tidak dapat terkondensasi dan berakibat pada penurunan kinerja kondensor maka harus dikeluarkan dari kondensor menggunakan *vacuum pump* agar kevakuman kondensor tetap terjaga.

Spesifikasi :

Type : Nash Vacuum Pump TC-11E
Tekanan : 4,7 kPa
Speed : 590 rpm
Luasan HE : 8 m²

3. *Condensate Extruction Pump*

Air hasil kondensasi yang ditampung pada hotwell akan dipompakan oleh *Condensate Extruction Pump* (CEP) sebagai air umpan pengisi boiler kembali. CEP berfungsi untuk mengalirkan air dari hotwell melintasi system air kondensat menuju daerator. Umumnya sistem kondensat memiliki 2 pompa kondensat yaitu 1 pompa beroperasi dan 1 pompa *standby*.

Spesifikasi :

Type : Vertical, Centrifugal
Power : 827 kW
Speed : 1480 rpm
Flow : 200 m³/s
Weight : 13500 kg

2.3.5 Sistem Pengoperasian Kondensor

Dalam sistem pengoperasian kondensor terdapat 2 sistem yaitu *condenser circulating water system* dan *condensate water system*. *Condenser Circulating Water System* (CCW) *system* berfungsi sebagai media pendingin



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



utama dalam kondensor, sedangkan *Condensate Water System* merupakan sumber pasokan utama untuk sistem air pengisi ketel (boiler).

Dalam pengoperasian kondensor, *CCW system* akan menyediakan dan memasok air pendingin yang diperlukan untuk mendinginkan air panas setelah proses pada boiler. Jika siklus air pendingin ini telah mulai beroperasi maka bisa diartikan bahwa kondensor siap menerima uap dari *Low Pressure Turbine* (LP Turbin) untuk didinginkan.

Air pendingin utama (*circulating water*) merupakan media pendingin untuk menyerap panas bekas air dari turbin yang mengalir ke dalam kondensor. Air pendingin berasal dari CWP kemudian masuk ke *debris filter* untuk menyaring kotoran atau sampah dari aliran CWP, pada saat keluar dari *debris filter*, *ball cleaner* (tapproge) dimasukkan kedalam aliran air CWP guna membersihkan pipa-pipa didalam kondensor. Setelah melewati pipa-pipa didalam kondensor. Setelah melewati pipa-pipa didalam kondensor untuk mendinginkan air keluaran LP turbin, aliran air dibuang ke laut namun sebelum dibuang, akan masuk ke ball collector guna mengumpulkan bola tapporage sebagai pembersih pipa-pipa kondensor yang masuk pada saat keluar dari debris filter.

Berikut alat-alat utama penunjang dalam *condenser circulating water system* :

a. Pompa Pendingin (*Circulating Water Pump*)

Pompa yang digunakan untuk memompa air laut sebagai media pendingin utama menuju kondensor.

b. Debris Filter

Debris filter merupakan saringan sebelum air pendingin dialirkan oleh CWP dari laut menuju kondensor. Debris filter berfungsi mencegah masuknya lumpur, sampah laut dan kotoran lainnya yang belum tersaring pada proses sebelumnya. Pembersihan debris filter dilakukan dengan diputar sebanyak 6 kali dalam 24 jam agar kotoran yang tersangkut pada debris filter dapat dibuang melalui saluran buang.

c. *Ball Cleaning Condensor*



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Ball cleaning adalah system pembersih pipa kondensor sisi air pendingin dengan menggunakan sarana pembersih berupa bola-bola karet yang disebut ball cleaning dengan cara mensirkulasikan bola-bola Bersama air pendingin. Saat air pendingin melewati debris filter, bola-bola tersebut dimasukkan dalam air pendingin dengan bantuan pompa. Setelah masuk kondensor dan membersihkan pipa kondensor, bola akan dikumpulkan kembali dalam ball collector agar tidak ikut keluar Bersama air pendingin menuju laut dan dapat digunakan kembali.

2.3.6 Pemeliharaan Kondensor

Pemeliharaan kondensor terdiri atas:

1. *Preventive Maintenance Kondensor*

a. Pemeriksaan *Manual Water Level Hotwell*

Water level hotwell selalu dijaga pada level aman yaitu 700-1000 mm. ketika water hotwell kurang dari 700 mm, maka unit tidak dapat beroperasi dan jika diatas 1000 mm, hingga mencapai 1350 mm, alarm akan berbunyi yang tandanya harus dilakukan penurunan level. Jika hal tersebut masih berlanjut, maka unit akan mengalami trip karena merendam pipa-pipa air pendingin yang berpengaruh pada proses kondensasi.

b. Pemeriksaan Kebocoran Uap dan Air

Kebocoran yang tidak segera tertangani akan berakibat fatal pada proses pembangkitan listrik. Jika terdapat kebocoran maka perlu dilakukan penambahan kebocoran dengan cara mengelasnya dan dicat menggunakan cat anti karat ataupun diganti apabila memang tidak memungkinkan untuk dilakukan pengelasan.

c. Pemeriksaan *Spring Kondensor*

Spring kondensor berfungsi untuk menetralsir getaran yang dihasilkan kondensor sehingga tidak langsung berhubungan dengan bantalan/pondasi. Pemeriksaan spring biasanya dilakukan guna memastikan apakah spring mengalami pengkaratan atau tidak serta



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



diberikan perawatan berupa pemasangan *grease* pada *spring* setiap 2 kali dalam 3 tahun.

d. Penambahan *Grase* pada *Valve*

Penambahan *grase* pada *valve* berfungsi agar *valve* tetap dalam keadaan baik dan agar terhindar dari korosi.

e. Pembersihan Peralatan dan Area

Pembersihan peralatan dan area sangat penting agar debu-debu yang ada disekitar alat tidak menumpuk dan mengganggu performa peralatan.

f. Pemeriksaan *Slinding Plate*

Slinding plate adalah bantalan yang digunakan untuk menahan *spring*. Pemeriksaan yang dilakukan biasanya memastikan apakah ada korosi atau tidak pada *slinding plate* tersebut.

2. Over Haul Kondensor

Over haul dapat didefinisikan sebagai pemeliharaan berdasarkan lamanya alat tersebut beroperasi karena setelah beroperasi sekian jam, alat tersebut akan mengalami penurunan performa. Sehingga untuk mengembalikan performa alat tersebut, biasanya dilakukan *over haul*. Pada PLTU Indramayu, *over haul* kondensor dibagi menjadi 2, yaitu *simple inspection over haul* dan *mean inspection over haul*. *Simple inspection over haul* adalah pemeliharaan kondensor setelah beroperasi 8000 jam sedangkan *mean inspection over haul* adalah pemeliharaan kondensor setelah 16.000 jam.

2.3.7 Parameter Kinerja Kondensor

1. Duty (Q)

Duty adalah besarnya energi atau panas yang ditransfer per waktu. *Duty* dapat dihitung baik pada fluida dingin atau fluida panas. Apabila *duty* pada saat operasional lebih kecil dibandingkan dengan *duty* pada kondisi desain, kemungkinan terjadi heat loses, fouling dalam tube,



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



penurunan laju alir (fluida panas atau dingin), dan lain-lain. Duty dapat meningkat seiring bertambahnya kapasitas.

2. Koefisien Perpindahan Panas

Menyatakan mudah atau tidaknya panas berpindah dari fluida panas ke fluida dingin dan juga menyatakan aliran panas menyeluruh sebagai gabungan proses konduksi dan konveksi.

3. LMTD (*Log Mean Temperature Difference*)

Perhitungan *heat transfer* tergantung pada beda temperatur, sebagaimana persamaan dasar untuk heat exchanger $Q = UA\Delta T$. Namun, karena beda temperatur yang bervariasi sepanjang *heat exchanger*, digunakan konsep LMTD (*Log Mean Temperature Difference*).

4. *Fouling Factor* (R_d)

Fouling merupakan peristiwa melekatnya partikel asing pada permukaan perpindahan panas seiring dengan penggunaan *heat exchanger* yang menyebabkan efektivitas perpindahan panas menurun. Peristiwa tersebut adalah pengendapan, pengerakan, korosi, polimerisasi, dan proses biologi. R_d adalah gabungan maksimum terhadap perpindahan panas yang diperlukan oleh kotoran yang menempel pada bagian permukaan dinding shell dan tube yang apabila tidak dibersihkan maka akan mengurangi perpindahan panas yang terjadi.

Penyebab terjadinya *fouling* yaitu sebagai berikut:

- Adanya pengotor berat yaitu kerak keras yang berasal dari hasil korosi atau coke keras.
- Adanya pengotor berpori yaitu kerak lunak yang berasal dari dekomposisi kerak keras.

Akibat *fouling*:

- Mengakibatkan kenaikan tahanan heat transfer, sehingga meningkatkan biaya, baik investasi, operasi, maupun perawatan.
- Ukuran heat exchanger menjadi lebih besar, heat losses meningkat, waktu shutdown lebih panjang, dan biaya perawatan.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Berikut merupakan beberapa mekanisme pembentukan fouling, antara lain:

a. *Sedimentation fouling*

Cooling water mengandung padatan terlarut yang dapat mengendap pada permukaan perpindahan panas. Pengendapan pengotor sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran dan sedikit dipengaruhi oleh temperatur dinding.

b. *Inverse solubility fouling*

Garam-garam tertentu banyak ditemukan pada air, dalam hal ini kalsium sulfat yang lebih sulit larut di air panas daripada air dingin. Jika suatu arus menemui sebuah dinding pada temperatur jenuh garam, maka garam akan mengkristal pada permukaan.

c. *Chemical solubility fouling*

Mekanisme pengotor ini meliputi perubahan-perubahan fisik. Sumber pengotor adalah reaksi kimia yang menghasilkan fase padat di dekat atau pada permukaan.

d. *Corrosion product fouling*

Sebuah arus dapat merusak logam perpindahan panas, pada akhirnya usaha membersihkan permukaan akan menghasilkan percepatan korosi dan kegagalan *heat exchanger*.

e. *Biological fouling*

Banyak sumber *cooling water* dan beberapa aliran proses yang mengandung organisme-organisme yang akan melekat pada permukaan padat dan berkembang, contohnya ganggang dan remis. Ketika wujud *makroskopis* muncul akan menyebabkan masalah pada proses perpindahan panas dan juga penyumbatan saluran.

f. *Combined mechanism*

Sebagian besar dari proses pengotoran di atas dapat terjadi secara kombinasi. Umumnya adalah kombinasi dari *sedimentation fouling* dan *inverse solubility fouling* pada *cooling tower water*.



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



2.4 Metodologi

Pengumpulan data dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Pengumpulan data secara langsung dilakukan ketika melaksanakan Kerja Praktik Industri di PLTU Indramayu, sedangkan pengumpulan data secara tidak langsung dilakukan melalui literatur dari jurnal, buku maupun internet. Beberapa metode pengumpulan data yang digunakan untuk menyelesaikan tugas khusus ini yaitu:

2.4.1 Studi Literatur

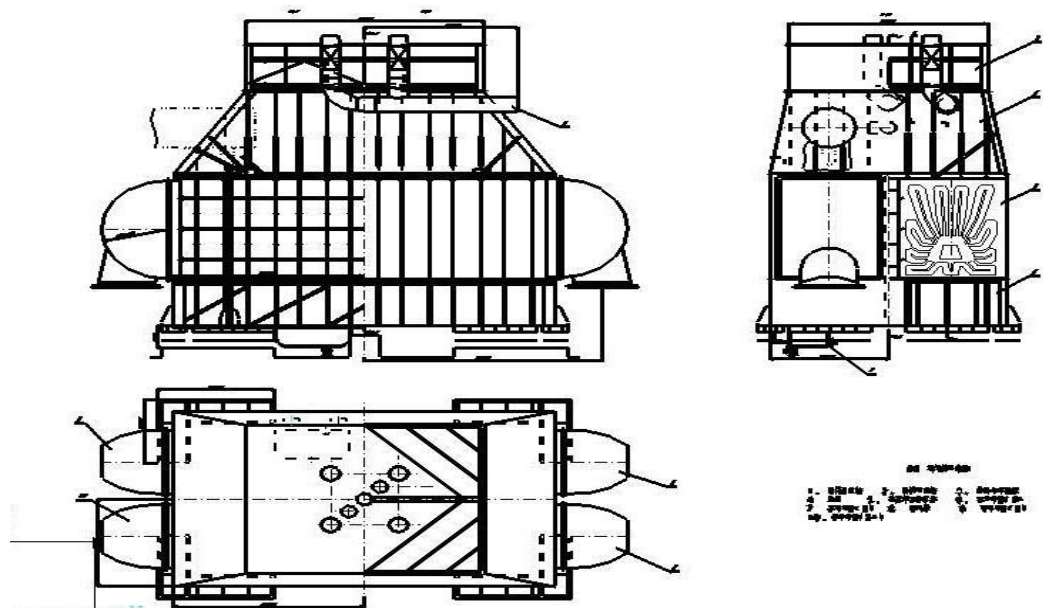
Studi literatur merupakan pengkajian untuk mendapat topik tugas akhir sebelum melakukan observasi lapangan. Pada tahapan ini penulis mencoba memahami permasalahan efektivitas kondensor pada unit 1. Dengan studi literatur ini, penulis dapat mencari kemungkinan yang terjadi sehingga diketahui dugaan awal bagaimana pengaruh permasalahan itu bisa terjadi sehingga dapat menyusun hipotesa. Studi literatur ini dilakukan pada perpustakaan, *control room* dan untuk menambah referensi, media internet juga digunakan sebagai sumber pengetahuan.

2.4.2 Metode Interview

Metode ini dilakukan dengan wawancara atau menanyai secara langsung narasumber dari perusahaan yang berkaitan dengan tugas khusus dan berdiskusi kepada pembimbing lapangan di perusahaan.

2.4.3 Metode Observasi

Metode ini dilakukan dengan datang langsung untuk melihat, mengamati, dan memahami proses produksi yang ada di perusahaan, baik proses secara umum produksi listrik maupun proses khusus pada alat yang diambil sebagai tugas akhir.



Gambar 2.23 Sketsa Kondensor PLTU Indramayu

2.5 Data Lapangan

Pengumpulan data lapangan dilakukan ketika Kerja Praktik di PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu pada unit 1. Data diperoleh dari buku catatan *log sheet* mingguan, informasi dari operator yang bertugas, pembimbing lapangan serta operator *SO Turbine dan Condensor*. Berikut merupakan data yang diperoleh:

1. Data Spesifikasi Kondensor *Single Flow*

Kondensor

Type	: Singe Flow
Efisiensi	: 90%
Condensing Mass Flow	: 651,3 t/h
Cooling Water Inlet Temperature	: 30°C
Cooling Water Outlet Temperature	: 38°C
LP Exhaust Flow	: 630 t/h
LP Exhaust Temperature	: 45 °C
Condenser Outlet Temperature	: 36 °C
Flow Path	: 1



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Cooling Tube Quantity	: 24348
Cooling Tube Length	: 12410 mm
Circulating Water Inlet Pipe Diameter	: 1820 mm
Circulating Water Outlet Pipe Diameter	: 1820 mm
Exhaust Steam Pipe Outlet Diameter	: 273 mm
Condensate Outlet Pipe Diameter	: 630 mm
Designed Cooling Water Temperature	: 30°C
Cooling Medium	: Sea Water

Tube

Cooling Tube Internal Diameter	: 19 mm
Inlet Temperature	: 30°C
Jumlah Tube	: 24348
Flow in Cooling Pipe	: 3973 t/h
Water Velocity in Cooling Pipe	: 2 m/s
Dimension Tube	: (19 x 0,7 x 12410) mm ³

2. Data Primer

Efisiensi desain = 90%

Tabel 2.2 Data Lapangan Kondensor PLTU Indramayu

Deskripsi	Satuan	05 Des	16 Des	19 Des	27 Des
Condensate outlet pressure	MPa	2,9113	2,7336	2,7361	2,7290
Condensor pressure	kPa	6,7469	6,8100	6,8096	6,0072
Inlet condensor temp.	C	30,6844	31,0326	30,8782	28,4061
Outlet Condensor temp.	C	38,5333	39,6442	39,4976	36,8825
CWP outlet pressure	MPa	0,0801	0,0801	0,0801	0,0801



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Condensate Flow	t/h	681,2372	744,3263	744,9882	749,6191
LP exhaust temp.	C	45,6552	46,8311	45,2080	41,7131
LP exhaust Flow	t/h	661,13543	723,61365	722,48497	730,52702
Condensor outlet temp.	C	38,13	38,31	38,30	36,00
Inlet Make-up temp.	C	30,5017	30,3462	27,8857	30,1692
Cooling Water Flow	kg m/h	78.229.188	70.170.956	79.900.752	68.808.028

3. Data Sekunder

Suhu Referensi : 25°C (77 °F)

a. Data Spesifikasi Air Murni

Tabel 2.3 Spesifikasi Air Murni

Keterangan		Nilai	Satuan
<i>Specific Heat (112,8233 F)</i>	Cp	0,8364	BTU/lb F
<i>Specific Heat (106,3281 F)</i>	Cp	0,8364	BTU/lb F
<i>Specific Heat (99,833 F)</i>	Cp	0,8365	BTU/lb F
<i>Specific Heat (85,50626 F)</i>	Cp	0,8366	BTU/lb F
<i>Thermal Conductivity (106,3281 F)</i>	ks	0,3581	BTU/hr ft ²
<i>Viskositas (106,3281 F)</i>	μs	1,4430	lb/ft hr

b. Data Spesifikasi Air Laut

Tabel 2.4 Spesifikasi Air Laut

Keterangan		Nilai	Satuan
<i>Specific Heat (86,4505 F)</i>	Cp	0,9606	BTU/lb F
<i>Specific Heat (101,5509 F)</i>	Cp	0,9619	BTU/lb F
<i>Specific Heat (94 F)</i>	Cp	0,9613	BTU/lb F
<i>Thermal Conductivity (94 F)</i>	kt	0,3608	BTU/hr ft ²
<i>Viskositas (94 F)</i>	μt	1,8885	lb/hr ft



2.6 Langkah Perhitungan

Dalam menyelesaikan tugas khusus ini, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

2.6.1 Melakukan Studi Literatur

Mencari referensi yang berkaitan dengan tugas khusus yang diberikan.

2.6.2 Melakukan Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode studi literatur, metode interview, dan metode observasi langsung.

2.6.3 Melakukan Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menghitung neraca massa, menghitung massa pada keadaan setimbang, dan menghitung neraca panas kondensor yang sebelumnya sudah dikumpulkan.

1. Menghitung Neraca Massa

Massa masuk = massa keluar (1)

2. Menghitung Neraca Panas

a. Persamaan umum untuk neraca panas sensibel :

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \text{ (2)}$$

b. Menghitung efisiensi kondensor

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q_{in} - Q_{loss}}{Q_{in}} \times 100\% \text{ (3)}$$

3. Mengevaluasi Kinerja Kondensor

a. Menghitung ΔT_{LMTD}

Persamaan yang digunakan :

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln\left(\frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}}\right)} \text{ (4)}$$

Keterangan:

T_{hi} : Suhu fluida panas masuk kondensor (°F)

T_{ho} : Suhu fluida panas keluar kondensor (°F)

T_{ci} : Suhu fluida dingin masuk kondensor (°F)



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



T_{co} : Suhu fluida dingin keluarkondensor ($^{\circ}F$)

b. Menghitung Flow Area

1) Menentukan luas aliran dalam tube

$$A_t = \frac{N_t \times a't}{144 \times n} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

A_t : Flow area tube (ft^2)

N_t : Jumlah tube

n : Jumlah passes

$a't$: Luas permukaan tube (ft^2)

2) Menentukan luas area shell

$$A_s = \frac{ID_s \times C' \times B}{144 \times Pt} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

A_s : Flow area shell (ft^2)

ID_s : Inside diameter shell (ft)

C' : Clerance atau jarak antar tube Pt – OD (in)

B : Baffle space (in)

Pt : Pitch atau jarak titik pusat tube ke tube (in)

c. Menghitung Mass Velocity Fluid

1) Menentukan mass velocity pada tube

$$G_t = \frac{W_t}{A_t} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

G_t : mass velocity tube (lb/hr. ft^2)

W_t : flow rate tube (lb/hr)

A_t : flow area tube (ft^2)

2) Menentukan mass velocity pada shell

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

G_s : mass velocity shell (lb/hr. ft^2)

W_s : flow rate shell (lb/hr)

A_s : flow area shell (ft^2)



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



d. Menghitung Reynlod Number

1) Pada bagian tube

$$Re_t = \frac{ID_t \times G_t}{\mu_t} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

Re_t : Reynold number di tube

ID_t : Diameter inside tube (ft)

G_t : mass velocity tube (lb/hr.ft²)

2) Pada bagian shell

$$Re_s = \frac{De \times G_s}{\mu_s} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

Re_s : Reynold number di shell

De : Diameter equivalent (ft)

G_s : mass velocity shell (lb/hr.ft²)

e. Faktor Dimensi Perpindahan Panas

1) Pada bagian tube

Untuk fluida dingin, faktor dimensi perpindahan panas (jH) diperoleh dari fig 24 Kern dengan mengetahui terlebih dahulu harga Re_t dan L/D .

2) Pada bagian shell

Untuk fluida panas, faktor dimensi perpindahan panas (jH) diperoleh dari fig 28 Kern dengan mengetahui terlebih dahulu harga Re_s .

f. Koefisien Panas

1) Pada Bagian Tube

$$h_i = jH_t \times \frac{k}{D} \times \left(\frac{\mu_t \times c}{k} \right)^{1/3} \phi t \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

h_i : Koefisien transfer panas fluida tube (BTU/hr.ft² °F)

jH_t : Faktor transfer panas

k : Konduktivitas panas fluida tube (BTU/hr.ft² °F)

C_p : Panas spesifik fluida tube (BTU/lb.°F)



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



- μ : Viskositas fluida tube pada suhu T_w (lb/hr.ft²)
 ϕ_t : Perbandingan viskositas fluida dalam shell dengan viskositas pada suhu dinding tube

Dimana ϕ_s dan ϕ_t didapatkan dari persamaan :

$$\phi_s : \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \dots\dots\dots (12)$$

$$\phi_t : \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,25} \text{ (jika } Re < 2100) \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

- μ : viskositas fluida pada tube/shell suhu T_c (lb/hr.ft²)
 μ_w : viskositas fluida pada tube/shell suhu T_w (lb/hr.ft²)

2) Pada Bagian Shell

$$h_o = jH_s \times \frac{k}{De} \times \left(\frac{\mu_t \times c}{k}\right)^{1/3} \phi_s \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan:

- h_o : Koefisien transfer panas fluida shell (BTU/hr.ft² °F)
 jH_s : Faktor transfer panas
 k : Konduktivitas panas fluida shell (BTU/hr.ft² °F)
 C_p : Panas spesifik fluida shell (BTU/lb. °F)
 μ : Viskositas fluida tube pada suhu T_w (lb/hr.ft²)
 ϕ_s : Perbandingan viskositas fluida dalam shell dengan viskositas pada suhu dinding shell

g. Tube Wall Temperature

$$T_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\phi_s}}{\frac{h_{io}}{\phi_t} + \frac{h_o}{\phi_s}} + (T_c - t_c) \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan:

- T_w : Suhu dinding tube (°F)
 T_c : Suhu kalorik fluida panas (°F)
 t_c : Suhu kalorik fluida panas (°F)

$$\frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i}{\phi_t} \times \frac{ID}{OD} \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan:

- h_{io} : koefisien koreksi perpindahan panas dalam tube (BTU/hr.ft² °F)



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



h. *Corrected Coefficient*

- 1) Pada lapisan dinding luar tube (shell)

$$h_o = \frac{h_o}{\phi_s} \times \phi_s \dots\dots\dots (17)$$

- 2) Pada lapisan dinding dalam tube (tube)

$$h_i = \frac{h_i}{\phi_t} \times \phi_t \dots\dots\dots (18)$$

i. Overall Clean Coefficient

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan:

U_c : Clean overall heat transfer coefficient

h_{io} : Koefisien koreksi perpindahan panas tube
(BTU/hr.ft² °F)

h_o : Koefisien transfer panas fluida bagian luar tube
(BTU/hr.ft² °F)

j. Luas Permukaan Perpindahan Panas

$$A = N_t \times L \times A_t \dots\dots\dots (20)$$

Keterangan:

A : Luas permukaan perpindahan panas (ft²)

N_t : Jumlah tube

A_t : Flow area tube (ft²/ft)

L : Panjang tube (ft)

k. *Actual Overall Heat Transfer Coefficient*

$$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta T_{LMTD}} \dots\dots\dots (21)$$

Keterangan:

U_d : Actual overall heat transfer coefficient (BTU/hr.ft²)

Q : Jumlah transfer panas (BTU/hr)

ΔT_{LMTD} : Log Mean Temperature Difference (°F)

A : luas permukaan perpindahan panas (ft²)

l. *Fouling Factor* atau *Dirty Factor*

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \dots\dots\dots (22)$$

Besarnya *fouling factor* yang diizinkan sebesar 0,003 hr.ft².°F/BTU



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Keterangan:

Rd : *Dirt factor* (hr.ft².°F/BTU)

Uc : *Clean overall heat transfer coefficient* (BTU/hr.ft²)

Ud : *Actual overall heat transfer coefficient* (BTU/hr.ft²)

m. *Pressure Drop*

1) Pada Bagian Shell

$$N+1 = 12 \times \frac{L}{B} \dots\dots\dots (23)$$

Keterangan:

N : jumlah baffle

L : Panjang tube (inch)

B : jarak antar tube (inch)

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times I D_s (N+1)}{5,22 \times 10^{10} \times D_e \times s \times \phi_s} \dots\dots\dots (24)$$

Keterangan:

ΔP_s : Penurunan tekanan bagian shell (psi)

S : *Specific gravity* bagian shell

f : Faktor friksi bagian shell (ft²)

G_s : Kecepatan aliran massa tiap satuan luas dalam shell
(lb/hr.ft²)

N : Jumlah *baffle* bagian shell

ID_s : Diameter shell bagian dalam (ft)

D_e : Diameter equivalen bagian shell (ft)

2) Pada Bagian Tube

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times D \times s \times \phi_s} \dots\dots\dots (25)$$

$$\Delta P_r = \frac{4 \times n}{s} \times \left(\frac{v^2}{2g} \times \frac{62,5}{144} \right) \dots\dots\dots (26)$$

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r \dots\dots\dots (27)$$

Keterangan:

ΔP_t : penurunan tekanan bagian tube (psi)

ΔP_r : *Return pressure loss* (psi)

ΔP_T : Total penurunan tekanan bagian tube (psi)



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



- S : *Specific gravity* bagian tube
f : Faktor friksi bagian tube (ft²)
Gt : Kecepatan aliran massa tiap satuan luas dalam tube (lb/hr.ft²)
n : Jumlah passes
L : Panjang tube (ft)
IDt : Diameter tube bagian dalam (ft)

2.6.4 Menyusun Pembahasan

Menulis pembahasan sesuai dengan hasil yang didapatkan dan menyimpulkannya.

2.7 Hasil Pengolahan Data dan Pembahasan

2.7.1 Hasil Pengolahan Data

Sebelum dilakukan perhitungan, dari data Bulan Desember 2022 dihasilkan nilai data per bulan Desember, sehingga dihasilkan data sebagai berikut.

Tabel 2.5 Data Aktual Kondensor Unit 1 Bulan Desember

Deskripsi	Desember	Satuan		Satuan
<i>Inlet condensate temp.</i>	30,250325	°C	86,450585	°F
<i>Outlet condenser temp.</i>	38,6394	°C	101,55092	°F
<i>Condensor Flow</i>	730,0427	ton/hr	1.460.085,4000	lb/hr
<i>LP exhaust flow</i>	709,4402	ton/hr	1.418.880,5350	lb/hr
<i>LP exhaust temp.</i>	44,90185	°C	112,82333	°F
<i>Condensor outlet temp.</i>	37,685	°C	99,833	°F
<i>Inlet Make-up Water</i>	29,7257	°C	85,5062	°F
<i>Cooling water flow</i>	74.277.231	kg m/h	690.400,5923	lb/hr

Dari analisis terhadap kondensor di PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu pada Unit 1, dapat dihitung neraca massa, neraca



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



panas, dan evaluasi kinerja kondensor. Perhitungan tersebut ditunjukkan sebagai berikut.

1. Neraca Massa Kondensor

Dari perhitungan neraca massa dihasilkan data sebagai berikut :

Tabel 2.6 Neraca Massa Kondensor

Keterangan	Input (lb/hr)	Output (lb/hr)
M_1	1.418.880,5350	-
M_3	41.204,8650	-
P_1	690.400,5923	-
M_2	-	1.460.085,4000
P_2	-	690.400,5923
Total	2.150.485,9923	2.150.485,9923

Keterangan :

M_1 = Uap air masuk kondensor (lb/hr)

M_2 = Condensate keluar kondensor (lb/hr)

M_3 = *Make-up water* menuju kondensor (lb/hr)

P_1 = Pendingin masuk kondensor (lb/hr)

P_2 = Pendingin keluar kondensor (lb/hr)

2. Neraca Panas Kondensor

Tabel 2.7 Neraca Panas Kondensor

Keterangan	Q_{in} (BTU/hr)	Q_{out} (BTU/hr)
$Q M_1$	42.513.397,0419	
$Q M_3$	293.227,7102	
$Q P_1$	6.267.907,9779	
$Q P_2$		16.304.754,8739
$Q M_2$		27.887.098,9911
Q_{Vaccum}		4.882.678,8649
Total Panas	49.074.532,7299	49.074.532,7299



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Keterangan:

$Q M_1$ = Kalor dari *LP exhaust* turbin (BTU/hr)

$Q M_2$ = Kalor condensate (BTU/hr)

$Q M_3$ = Kalor dari *make-up water* (BTU/hr)

$Q P_1$ = Kalor pendingin masuk (BTU/hr)

$Q P_2$ = Kalor pendingin keluar (BTU/hr)

$Q M_4$ = Kalor yang terbawa oleh *vaccum pump* (BTU/hr)

3. Efisiensi Kondensor

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q_{in} - Q_{loss}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = 65,13 \%$$

4. Evaluasi Kinerja Kondensor

Tabel 2.8 Evaluasi Kinerja Kondensor

Parameter	Shell	Tube	Satuan
Beban panas	14.919.525,7609	10.036.846,8960	BTU/hr
Suhu kalorik	104,1165	91,5359	°F
Jumlah tube	24348		-
<i>Flow area</i>	230,6803	74,2691	ft ²
<i>Mass velocity</i>	6150,8525	9295,9261	lb/ft ² .hr
Bilangan <i>Reynold</i>	194,4353	593,9275	-
jH	7,2	1,3	-
Bilangan Prandtl	1,4986	1,7127	-
Koefisien perpindahan panas	88,2455	349,8842	BTU/hr.ft ² °F
Suhu dinding tube	93,9882		°F



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Rasio viskositas fluida	0,8284	0,9999	-
Koefisien Uc	58,4540		BTU/hr.ft ² °F
Koefisien Ud	8,2523		BTU/hr.ft ² °F
<i>Fouling factor</i>	0,7525		-
<i>Pressure Drop</i>	0,00112	$3,40 \times 10^{-5}$	Psi

2.7.2 Pembahasan

Kondensor merupakan salah satu alat *heat exchanger* yang digunakan untuk mendinginkan fluida dari suatu proses. Kondensor pada PLTU Indramayu menggunakan jenis *shell and tube* dengan aliran *single flow*. Kondensor ini berfungsi sebagai penukar panas dengan air panas sebagai fluida panas dan air laut yang digunakan sebagai fluida dingin. Air laut mengalir melalui bagian *tube* karena memiliki korosivitas yang lebih tinggi dibandingkan air, sehingga air panas dialirkan pada bagian *shell*.

Umpan yang berupa air panas, berasal dari keluaran LP Turbin. Air panas yang telah didinginkan akan masuk pada bagian *hotwell* kondensor. *Hotwell* merupakan tempat penampungan sementara air umpan dan di tempat ini pula dilakukan penambahan air umpan boiler jika level air kurang dari batas *hotwell*. Air umpan boiler mengalami pengurangan setiap prosesnya. Hal tersebut dapat terjadi karena uap air yang dihasilkan akan dihilangkan kadar oksigen dan zat terlarut pada bagian *daerator* serta hilangnya uap air akibat proses pembangkitan listrik. Itulah yang menyebabkan air umpan yang keluar dari bagian *hotwell* perlu ditambahkan air umpan yang tersimpan dalam *condensate storage tank*.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



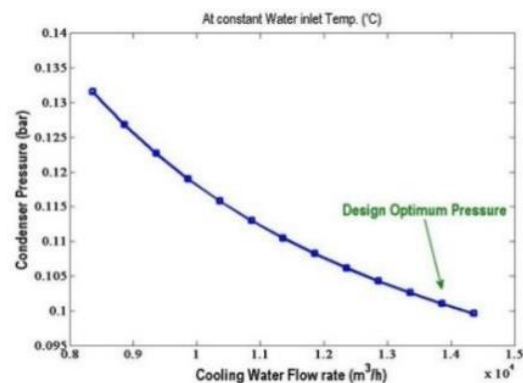
Berdasarkan data dan hasil perhitungan selama bulan Desember 2022 didapatkan massa air umpan boiler yang perlu ditambahkan sebesar 41204,865 lb/hr. Air *make-up* ditambahkan pada bagian *hotwell*, sebagai air umpan dan juga untuk menurunkan suhu air kondensat. Hal ini perlu dilakukan untuk memudahkan proses didalam *condensate polishing*, karena mineral terlepas akan diikat kembali menggunakan *mixed bed*.

Kemudian pada kondensor diperoleh panas *input* dan *output* yakni sebesar 49.074.532,7299 BTU/hr. Panas yang berasal dari *LP exhaust turbin* berpindah ke lingkungan (*Qloss*) sebesar 14.919.525,7609 BTU/hr dan diserap oleh fluida pendingin (air laut) yang berada dalam *tube*. Panas yang tidak terbawa oleh air pendingin akan dihisap *vaccum pump* untuk menjaga kevakuman kondensor.

Nilai efisiensi kondensor yang dihasilkan sebesar 65,13%. Angka tersebut tergolong kurang baik karena berada pada *range* efisiensi *thermal* kondensor yaitu 80%-100% (Sihombing, 2020).

Menurunnya efisiensi *thermal* ini diakibatkan oleh beberapa faktor sebagai berikut.

a. Rendahnya *flow rate* air pendingin



Gambar 2.24 Hubungan *Flow Rate* (Laju Alir) Air Pendingin dengan Tekanan Kondensor

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui hubungan antara besarnya *flow rate* air pendingin dengan tekanan. Semakin besar laju alir air pendingin maka tekanan di dalam kondensor menurun. Dengan



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



kata lain tingkat kevakuman pada kondensor semakin tinggi dan efisiensi semakin besar (Bono et al.,2014).

Dari perbandingan data *design* dan *actual* kondensor, besarnya laju alir *actual* lebih rendah yakni 690400,5923 lb/hr. Sedangkan laju alir *design* sebesar 7946000 lb/hr. Hal tersebut menyebabkan proses pendinginan berlangsung lebih cepat dan laju perpindahan panas kurang maksimal karena sedikitnya panas yang diterima oleh pendingin.

b. Usia unit operasi

Unit operasi 1 di PLTU Indramayu mulai beroperasi tahun 2010 dan terhitung hingga tahun 2023 telah beroperasi selama 13 tahun. Hal tersebut tentunya menyebabkan penurunan performa kondensor yang beroperasi 24 jam setiap harinya.

c. Laju aliran *steam* masuk kondensor

Laju alir *steam* yang terlalu besar berakibat pada penurunan suhu *steam* kurang maksimal, sehingga uap air yang tidak terkondensasi meningkat. Hal ini mengakibatkan performa kondensor sebagai alat *heat exchanger* menurun.

d. Jenis fluida pendingin yang digunakan

Fluida pendingin yang mengalir pada tube kondensor adalah air laut dengan kadar garam 3-5% serta kandungan mineral yang dapat mengakibatkan timbulnya kerak pada dinding tube. Kerak yang timbul menurunkan proses transfer panas yang terjadi sehingga pendinginan tidak berlangsung secara maksimal.

Nilai minimal *fouling factor* berkisar antara 0,001 – 0,003 (Coulson & Richardson's, 2005). Data tersebut dapat dilihat dari gambar berikut :



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Table 12.2. Fouling factors (coefficients), typical values

Fluid	Coefficient ($\text{W/m}^2\text{°C}$)	Factor (resistance) ($\text{m}^2\text{°C/W}$)
River water	3000–12,000	0.0003–0.0001
Sea water	1000–3000	0.001–0.0003
Cooling water (towers)	3000–6000	0.0003–0.00017
Town's water (soft)	3000–5000	0.0003–0.0002
Town's water (hard)	1000–2000	0.001–0.0005
Steam condensate	1500–5000	0.00067–0.0002
Steam (oil free)	4000–10,000	0.0025–0.0001
Steam (oil traces)	2000–5000	0.0005–0.0002
Refrigerated brine	3000–5000	0.0003–0.0002
Air and industrial gases	5000–10,000	0.0002–0.0001
Flue gases	2000–5000	0.0005–0.0002
Organic vapours	5000	0.0002
Organic liquids	5000	0.0002
Light hydrocarbons	5000	0.0002
Heavy hydrocarbons	2000	0.0005
Boiling organics	2500	0.0004
Condensing organics	5000	0.0002
Heat transfer fluids	5000	0.0002
Aqueous salt solutions	3000–5000	0.0003–0.0002

Gambar 2.25 *Fouling Factor* pada Berbagai Fluida

Jika dibandingkan dengan data hasil perhitungan, fouling factor kondensor unit 1 PLTU Indramayu tergolong sangat tinggi, yakni 0,7525 $\text{BTU/hr.ft}^2.\text{°F}$, sehingga transfer panas tidak dapat berlangsung secara maksimal, serta dapat menimbulkan penyumbatan pada tube kondensor.

Untuk mengurangi timbulnya fouling factor, beberapa langkah yang dilakukan diantaranya :

- Penambahan chlorine dengan kadar 0,2-0,5 ppm untuk melemahkan biota laut sehingga meminimalisir timbulnya turbulensi pada tube kondensor.
- Melapisi bagian tube dengan *zink anode* berbahan metal/magnesium untuk menghambat korosi.
- Pembersihan menggunakan *jet cleaning* yang dilakukan setiap 4 tahun sekali (saat *overhaul* unit).



Gambar 2.26 Proses Pembersihan pada *Tube* Kondensor



BAB III
PENUTUP

3.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan pada kondensor Unit 1 di PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu 3x330 MW, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Mekanisme kerja kondensor PLTU memanfaatkan air laut sebagai sumber pembangkitan dengan mengubahnya menjadi air demin (air murni) sebagai umpan boiler (dialirkan pada bagian *shell*) dan air laut sebagai air pendingin yang dialirkan melalui tube kondensor.
2. Hasil perhitungan neraca massa dan neraca panas sebagai berikut:
 - a. Neraca massa total kondensor adalah 2.150.485,9923 lb/hr dengan menambahkan air umpan dari *condensate storage tank* sebesar 41.204,865 lb/hr.
 - b. Neraca panas *shell* dan *tube* kondensor sama yakni sebesar 49.074.532,7299 BTU/hr.
3. Efisiensi kondensor 65,13% dengan batas minimal kondensor layak pakai ialah 80%, sehingga kondensor perlu dilakukan *maintenance* atau pembersihan.

3.2 Saran

Untuk meningkatkan efisiensi *thermal* kondensor perlu dilakukan *maintenance* atau pembersihan. Selain itu, air pendingin dapat di-*treatment* terlebih dahulu untuk mengurangi kadar garam sehingga mengurangi *fouling factor* yang timbul pada tube kondensor.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



DAFTAR PUSTAKA

- Bono, M.F.,W. P. Widyaningsih. 2014. *Analisis Kinerja Kondensor Terhadap Perubahan Tekanan Vakum di PT PLN(Persero) Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon*. Jurnal Teknik Energi. 10(1) :29-34.
- Coulson & Richardson's. 2005. *Chemical Engineering Design (4th ed)*. Inggris : R.K. Sinnott.
- Cox, A. R. & N. D. Smith. 1959. *The Specific Heat of Sea Water*. Proceeding of The Royal Society Series A. 252 (1), 51 – 62.
- Dincer, Ibrahim & Calin Zamfirescu. 2016. *Thermophysical Properties of Water* (1th ed). New Jersey: John Wiley and Sons.
- Frandhoni, 2015. *Prinsip dan Macam-Macam Kondensor*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Himmelblau, David M. & James B. Riggs. 1967. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering (7th ed)*. United States of Americ : Prentice Hall Professional Technical Reference.
- International Towing Tank Conference. 2011. *Fresh Water and Seawater Properties*. Switzerland: ITTC Specialist Committee on Uncertainty Analysis.
- Kurnia, Asep. 2005. *Demineralizer Plant*. Jakarta: PLN Corporate University.
- Mutia, Annisa. 2022. *Laporan Prakerin PLTU Indramayu*. Jawa Barat : PLN Nusantara Power UP Indramayu.
- Nusantara Power. 2010. *Chemical Operation Manual (3th ed)*. Jawa Barat: PLTU 1 Jawa Barat Indramayu.
- Q. Kern, Donald. 1988. *Process Heat Exchanger*. United States of America: McGraw-Hill International Book Company.
- Sihombing, C. (2020). *Analisa Efisiensi Termal Turbin, Kondensor dan Menara Pendingin pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi*. Swara Patra : Majalah Ilmiah PPSDM Migas, 10(1), 5–12.
- Verlag des Veriens Deutscher Ingenieure (VDI). 1983. *Heat Exchanger Design Handbook*. United States of America: Hemisphere Publishing Corporation.
- Xin, Ma & Ma Minran. 2007. *Installation and Operation Manual for Steam Condenser*. Beijing: Beizhong Steam Turbine Generator Co.



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Magang dari Fakultas

	KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI Jl. Babarsari 2 Tambakbayan Yogyakarta 55281 Telp./Fax : (0274) 485786, WA : 0812 2602 2370 Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Yogyakarta 55283 Telp./ Fax : (0274) 486889. E-mail : adminfti@upnyk.ac.id, Laman : www.fit.upnyk.ac.id															
SURAT TUGAS Nomor 21 /UN62.12/KM/2023																
Dekan Fakultas Teknik Industri UPN "Veteran" Yogyakarta memberikan tugas kepada,																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"><thead><tr><th style="width: 5%;">No</th><th style="width: 35%;">Nama</th><th style="width: 15%;">NPM</th><th style="width: 20%;">Prodi/Program</th><th style="width: 25%;">Dosen Pembimbing /NIDN</th></tr></thead><tbody><tr><td style="text-align: center;">1.</td><td>Aprilia Kartiningsih</td><td style="text-align: center;">021200019</td><td>Teknik Kimia/ Diploma Tiga</td><td>Susanti Rina Nugraheni, S.T., M.Eng 0522098302</td></tr><tr><td style="text-align: center;">2.</td><td>Ambar Sari</td><td style="text-align: center;">021200030</td><td>Teknik Kimia/ Diploma Tiga</td><td>Ir. Zubaidi Achmad, M.T. 003105908</td></tr></tbody></table>	No	Nama	NPM	Prodi/Program	Dosen Pembimbing /NIDN	1.	Aprilia Kartiningsih	021200019	Teknik Kimia/ Diploma Tiga	Susanti Rina Nugraheni, S.T., M.Eng 0522098302	2.	Ambar Sari	021200030	Teknik Kimia/ Diploma Tiga	Ir. Zubaidi Achmad, M.T. 003105908	
No	Nama	NPM	Prodi/Program	Dosen Pembimbing /NIDN												
1.	Aprilia Kartiningsih	021200019	Teknik Kimia/ Diploma Tiga	Susanti Rina Nugraheni, S.T., M.Eng 0522098302												
2.	Ambar Sari	021200030	Teknik Kimia/ Diploma Tiga	Ir. Zubaidi Achmad, M.T. 003105908												
untuk melaksanakan Kerja Praktik pada, Periode : 12 Januari 2023 s.d 12 Maret 2023 Tempat : PT. PLN Nusantara Power UBJOM PLTU Indramayu Desa Sumuraden, Kec. Sukra, Kab. Indramayu 45257 Untuk ketertiban administrasi dan dokumen Fakultas Teknik Industri, maka yang bersangkutan wajib menyerahkan laporan kepada Dekan paling lambat satu minggu setelah pelaksanaan tugas. Surat tugas ini dibuat untuk dilaksanakan dengan penuh tanggung jawab.																
14 Januari 2023 a.n. Dekan Wakil Dekan Bidang Akademik  Dr. Apriani Soepardi, S.T.P., M.T. NIP3K-197311182021212005																
Tembusan: 1. Dekan (sebagai laporan); 2. Kajar Teknik Kimia; 3. Dosen Pembimbing; FTI UPN "Veteran" Yogyakarta																



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Lampiran 2. Surat Pelaksanaan Magang dari Perusahaan



SURAT KETERANGAN
Nomor : 034.KU/020/AC/2023

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: CATUR BUDI PRASETYOONO
Nomor Induk	: 8008027.JA
Jabatan	: MANAJER KEUANGAN DAN ADMINISTRASI

Dengan ini menyatakan bahwa :

Nama	: Aprilia Kartiningsih
NIM	: 021200019
Program Study	: Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri

adalah benar mahasiswa Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta program study Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri yang sudah melaksanakan Kerja Praktek di PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Indramayu mulai tanggal 12 Januari 2023 s.d 12 Maret 2023 pada bidang Kimia Dan Laboratorium.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

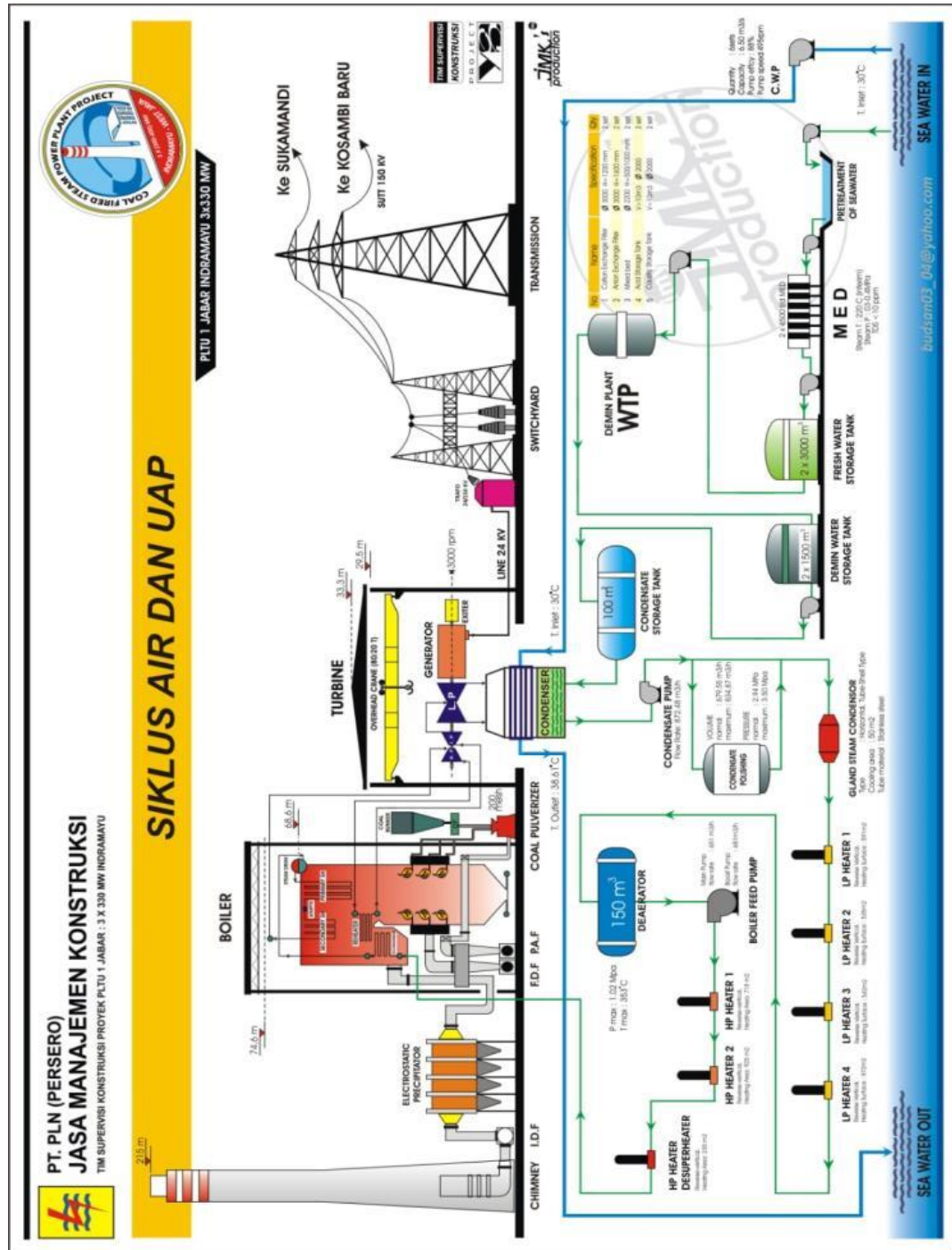
Indramayu, 17 Maret 2023

MANAJER KEUANGAN DAN ADMINISTRASI UBJ O DAN M PLTU INDRAMAYU,


CATUR BUDI PRASETYOONO

PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Indramayu
Desa Sumuradem, Kec. Sukra Kab. Indramayu 45257
Telp. : (0234) 5613236
Faks. : (0234) 5613236

Lampiran 3. Flow Chart Sistem Produksi



Gambar 1. *Flow Chart* Sistem Produksi

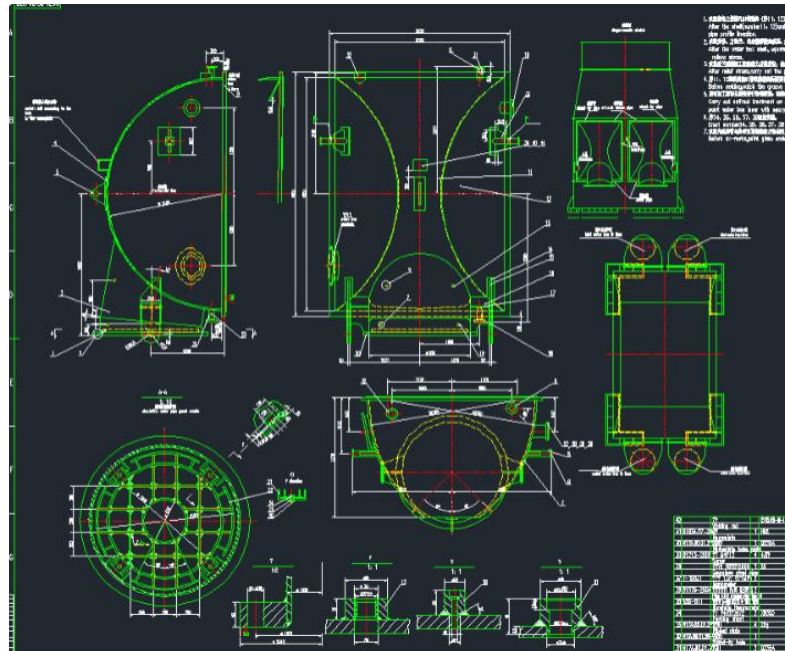


TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Lampiran 4. Gambar Alat Kondensor Unit 1



Gambar 2. Desain Kondensor Unit 1



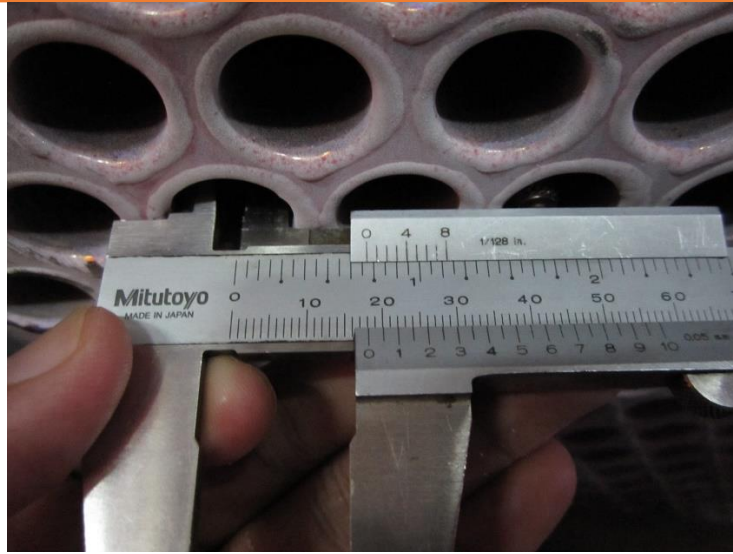
Gambar 3. Kondensor Unit 1



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1

Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Gambar 4. Bagian Tube Kondensor



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Lampiran 5. Lembar Perhitungan

Tabel 5.1 Data Primer

Deskripsi	Desember	Satuan		Satuan
<i>Inlet condensate temp.</i>	30,250325	°C	86,450585	°F
<i>Outlet condenser temp.</i>	38,6394	°C	101,55092	°F
<i>Condensor Flow</i>	730,0427	ton/hr	1.460.085,4000	lb/hr
<i>LP exhaust flow</i>	709,4402	ton/hr	1.418.880,5350	lb/hr
<i>LP exhaust temp.</i>	44,90185	°C	112,82333	°F
<i>Condensor outlet temp.</i>	37,685	°C	99,833	°F
<i>Inlet Make-up Water</i>	29,7257	°C	85,5062	°F
<i>Cooling water flow</i>	74.277.231	kg m/h	690.400,5923	lb/hr

Tabel 5.2 Data Sekunder Spesifikasi Air Murni

Keterangan		Nilai	Satuan
<i>Specific Heat (112,8233 F)</i>	Cp	0,8364	BTU/lb F
<i>Specific Heat (106,3281 F)</i>	Cp	0,8364	BTU/lb F
<i>Specific Heat (99,833 F)</i>	Cp	0,8365	BTU/lb F
<i>Specific Heat (85,50626 F)</i>	Cp	0,8366	BTU/lb F
<i>Thermal Conductivity (106,3281 F)</i>	Ks	0,3581	BTU/hr ft ²
<i>Viskositas (106,3281 F)</i>	μs	1,4430	lb/ft hr

Tabel 5.3 Data Sekunder Spesifikasi Air Laut

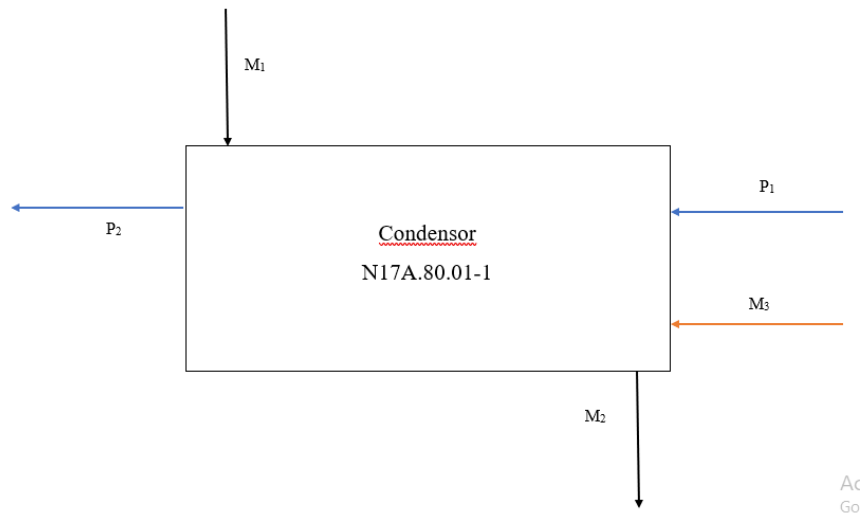
Keterangan		Nilai	Satuan
<i>Specific Heat (86,4505 F)</i>	Cp	0,9606	BTU/lb F
<i>Specific Heat (101,5509 F)</i>	Cp	0,9619	BTU/lb F
<i>Specific Heat (94 F)</i>	Cp	0,9613	BTU/lb F
<i>Thermal Conductivity (94 F)</i>	kt	0,3608	BTU/hr ft ²
<i>Viskositas (94 F)</i>	μt	1,8885	lb/hr ft



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



A. Perhitungan Neraca Massa



Keterangan:

- M1 = Air panas masuk kondensor
- M2 = *Condensate* keluar kondensor
- M3 = *Make-up water* menuju kondensor
- P1 = Pendingin masuk kondensor
- P2 = Pendingin keluar kondensor

Gambar 5.1 Skema Aliran Neraca Massa Kondensor

Menghitung Kebutuhan Air Umpan

Diketahui bahwa air kondensat keluar adalah 1.460.085,4000 lb/hr dan air panas masuk sebesar 1.418.880,5350 lb/hr. Sehingga dapat dihitung kebutuhan air *make-up* sebagai berikut:

$$m_{in} = m_{out}$$

(Himmleblau, 1992)

$$M_1 + M_3 = M_2$$

$$M_3 = M_2 - M_1$$

$$\begin{aligned} M_3 &= (1.460.085,4000 - 1.418.880,535) \text{ lb/hr} \\ &= 41.204,8650 \text{ lb/hr} \end{aligned}$$



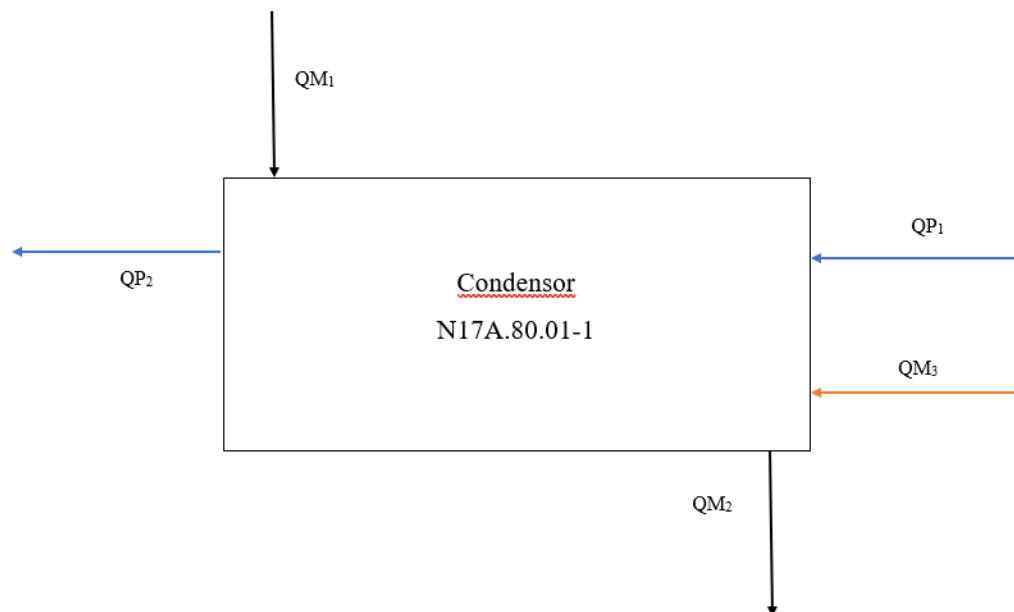
TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Neraca Massa Kondensor

Keterangan	Input (lb/hr)	Output (lb/hr)
M ₁	1.418.880,5350	-
M ₃	41.204,8650	-
P ₁	690.400,5923	-
M ₂	-	1.460.085,4000
P ₂	-	690.400,5923
Total	2.150.485,9923	2.150.485,9923

B. Neraca Panas



Gambar 5.3 Skema Neraca Panas Kondensor

Menghitung Qloss

a. Menghitung Q_{in}

Air dari LP *exhaust* turbin masuk ke dalam kondensor akan dilalui ke bagian *shell* dan air pendingin akan melalui *tube* kondensor. Sehingga :

$$M_1 = 1.418.880,5350 \text{ lb/hr}$$

$$C_p = 0,8364 \text{ BTU/hr } ^\circ\text{F}$$

$$T_{ref} = 77 ^\circ\text{F}$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



$$T_{in} = 112,8233 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned} QM_1 &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= 1.418.880,5350 \text{ lb/hr} \times 0,8364 \text{ BTU/hr }^{\circ}\text{F} \times (112,8233-77) \text{ }^{\circ}\text{F} \\ &= 42.513.397,0419 \text{ BTU/hr} \end{aligned}$$

$$M_3 = 41.204,865 \text{ lb/hr}$$

$$C_p = 0,8366 \text{ BTU/hr }^{\circ}\text{F}$$

$$T_{ref} = 77 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$T_{in} = 85,5062 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned} QM_3 &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= 41.204,865 \text{ lb/hr} \times 0,8366 \text{ BTU/hr }^{\circ}\text{F} \times (85,5062-77) \text{ }^{\circ}\text{F} \\ &= 293.227,7102 \text{ BTU/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{in} &= QM_1 + QM_3 \\ &= (42.513.397,0419 + 293.227,7101) \text{ BTU/hr} \\ &= 42.806.624,7520 \text{ BTU/hr} \end{aligned}$$

b. Menghitung QM_2 (Q_{out})

$$m = 1.460.085,4000 \text{ lb/hr}$$

$$C_p = 0,8365 \text{ BTU/hr }^{\circ}\text{F}$$

$$T_{ref} = 77 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$T_{out} = 99,833 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned} QM_2 &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= 1.460.085,4000 \text{ lb/hr} \times 0,8364 \text{ BTU/hr }^{\circ}\text{F} \times (99,833-77) \text{ }^{\circ}\text{F} \\ &= 27.887.098,9911 \text{ BTU/hr} \end{aligned}$$

c. Menghitung Q_{loss} (Panas yang ditransfer)

$$Q_{in} = QM_2 + Q_{loss}$$

$$\begin{aligned} Q_{loss} &= Q_{in} - QM_2 \\ &= (42.806.624,7520 - 27.887.098,9911) \text{ BTU/hr} \\ &= 14.919.525,7609 \text{ BTU/hr} \end{aligned}$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Menghitung Kebutuhan Air Pendingin

$$C_p = 0,9606 \text{ BTU/hr } ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{ref}} = 77 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{in}} = 86,4505 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$Q_{\text{loss}} = 14.919.525,7609 \text{ BTU/hr}$$

Kebutuhan air pendingin

$$\begin{aligned} \text{Massa air pendingin} &= \frac{Q_{\text{loss}}}{C_p \times \Delta T} \\ &= \frac{14.919.525,7609}{0,9606 \times (86,4505 - 77)} \\ &= 1.643.363,2175 \text{ lb/hr} \end{aligned}$$

Menghitung Q yang terbawa pendingin

- a. Menghitung Q_{P_2} pada pendingin

$$P_2 = 690.400,5923 \text{ lb/hr}$$

$$C_p = 0,9619 \text{ BTU/hr } ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{ref}} = 77 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{out}} = 101,5509 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned} Q_{P_2} &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= 690.400,5923 \text{ lb/hr} \times 0,9619 \text{ BTU/hr } ^\circ\text{F} \times (101,5509 - 77) \text{ } ^\circ\text{F} \\ &= 16.304.754,8739 \text{ BTU/hr} \end{aligned}$$

- b. Menghitung Q_{P_1} pada pendingin

$$P_1 = 690.400,5923 \text{ lb/hr}$$

$$C_p = 0,9606 \text{ BTU/hr } ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{ref}} = 77 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{in}} = 86,4505 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned} Q_{P_1} &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= 690.400,5923 \text{ lb/hr} \times 0,9606 \text{ BTU/hr } ^\circ\text{F} \times (86,4505 - 77) \text{ } ^\circ\text{F} \\ &= 6.267.907,9779 \text{ BTU/hr} \end{aligned}$$

- c. Menghitung panas yang terbawa pendingin

Q_{P_3} atau panas yang dibawa oleh fluida pendingin.

$$\begin{aligned} Q_{P_3} &= Q_{P_2} - Q_{P_1} \\ &= (16.304.754,8739 - 6.267.907,9779) \text{ BTU/hr} \end{aligned}$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



$$= 10.036.846,8960 \text{ BTU/hr}$$

Menghitung panas yang diserap *vaccum pump*

Q_{Vaccum} atau panas yang diserap oleh *vaccum pump*

$$Q_{\text{Vaccum}} = Q_{\text{loss}} - Q_{P_3}$$

$$= (14.919.525,7609 - 10.036.846,8960) \text{ BTU/hr}$$

$$= 4.882.678,8649 \text{ BTU/hr}$$

Menghitung Efisiensi Kondensor

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q_{\text{in}} - Q_{\text{loss}}}{Q_{\text{in}}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{42811331,5198 - 14590,63881}{42811331,5198} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = 65,13 \%$$

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Neraca Panas Aktual

Keterangan	Qin (BTU/hr)	Qout (BTU/hr)
Q M ₁	42.513.397,0419	
Q M ₃	293.227,7101	
Q P ₁	6.267.907,9779	
Q P ₂		16.304.754,8739
Q M ₂		27.887.098,9911
Q _{Vaccum}		4.882.678,8649
Total Panas	49.074.532,7299	49.074.532,7299

C. Fouling Factor

1. Menghitung ΔT_{LMTD}

Menghitung ΔT_{LMTD}

$$\Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{(T_{h1} - T_{c1}) - (T_{h2} - T_{c2})}{\ln\left(\frac{T_{h1} - T_{c1}}{T_{h2} - T_{c2}}\right)}$$

Dengan :

T_{h1} = Temperatur steam input (°F)

T_{h2} = Temperatur kondensat output (°F)

T_{c1} = Temperatur pendingin input (°F)

T_{c2} = Temperatur pendingin output (°F)

(Kern, 1988)



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Diketahui :

$$Th1 = 112,7333 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$Th2 = 99,833 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$Tc1 = 101,5509 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$Tc2 = 86,4505 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h1} - T_{c1}) - (T_{h2} - T_{c2})}{\ln\left(\frac{T_{h1} - T_{c1}}{T_{h2} - T_{c2}}\right)}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(112,7333 - 101,5509) - (99,833 - 86,4505)}{\ln\left(\frac{112,7333 - 101,5509}{99,833 - 86,4505}\right)}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 12,2972 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

2. Menghitung Mass Velocity Tube (Gt)

$$At = \frac{Nt \times a't}{144 \times n}$$

Diketahui :

$$Nt = 24348$$

$$D = 19 \text{ mm} = 0,74803 \text{ in}$$

$$a't = 0,4392 \text{ in}^2$$

$$Wt = 690.400,5923 \text{ lb/hr}$$

$$At = \frac{Nt \times a't}{144 \times n}$$

$$At = \frac{24348 \times 0,4392}{144 \times 1}$$

$$At = 74,2691 \text{ ft}^2$$

$$Gt = \frac{Wt}{At}$$

$$= \frac{690.400,5923}{74,2691}$$

$$= 9295,9261 \text{ lb/hr ft}^2$$

3. Menghitung Reynold Number

$$Re = \frac{DGt}{\mu}$$

Dengan;

$$D = 19 \text{ mm} = 0,06232 \text{ ft}$$

$$\mu = 1,9035 \text{ lb/ft hr}$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{DGt}{\mu} \\ &= \frac{0,06232 \times 9295,9261}{1,9035} \\ &= 278,0363 \\ \text{L/D} &= \frac{40,7048}{0,74803} \\ &= 653,1578 \text{ ft} \\ jHt &= 1,3 \text{ fig 24 kern} \end{aligned}$$

4. Menghitung Prandtl Tube

$$\text{Pr} = \left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3}$$

Dengan ;

$$k = 0,3607 \text{ BTU/hr ft } ^\circ\text{F}$$

$$c = 0,9613 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$$

$$\mu t = 1,8885 \text{ lb/ft hr}$$

$$\text{Pr} = \left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3}$$

$$\text{Pr} = \left(\frac{1,8885 \times 0,9613}{0,3607} \right)^{1/3}$$

$$\text{Pr} = 1,7127$$

5. Menghitung hi Tube

$$hi = jHt \times \frac{k}{D} \times \left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3} \phi t$$

$$\frac{hi}{\phi t} = jHt \times \frac{k}{D} \times \left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3}$$

Dengan ;

$$\left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3} = 1,7127$$

$$jHt = 1,3$$

$$D = 19 \text{ mm} = 0,06232 \text{ ft}$$

$$\text{IDt} = 19 \text{ mm} = 0,7467 \text{ in}$$

$$\text{ODt} = 0,7 \text{ mm} = 0,02751 \text{ in}$$

$$\frac{hi}{\phi t} = jHt \times \frac{k}{D} \times \left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3}$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



$$\frac{hi}{\phi t} = 1,3 \times \frac{0,3636}{0,06232} \times 1,7127$$

$$\frac{hi}{\phi t} = 12,8900 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\frac{hio}{\phi t} = \frac{hi}{\phi t} \times \frac{ID}{OD}$$

$$\frac{hio}{\phi t} = 12,8900 \times \frac{0,7467}{0,02751}$$

$$\frac{hio}{\phi t} = 349,8730 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

6. Menghitung Luas Shell

$$ID_s = 206,83333 \text{ in}$$

$$C = Pt - Od$$

$$= 0,9375 - 0,0275 = 0,9099 \text{ in}$$

$$B = 165,4667 \text{ in}$$

$$Pt = 0,9375 \text{ in}$$

$$Ws = 1.418.880,5350 \text{ lb/hr}$$

$$\begin{aligned} As &= \frac{ID_s \times C \times B}{144 \times Pt} \\ &= \frac{206,8333 \times 0,9099 \times 165,4667}{144 \times 0,9375} \\ &= 230,6803 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Gs &= \frac{Ws}{As} \\ &= \frac{1.418.880,535}{230,6803} \\ &= 6150,8525 \text{ lb/hr ft}^2 \end{aligned}$$

7. Menghitung Nilai De

$$de = \frac{4 \times \left(\frac{Pt}{2} \times \frac{0,86}{Pt} \times \frac{(\pi/2) do^2}{4} \right)}{\frac{\pi}{2} do}$$

$$de = \frac{4 \times \left(\frac{0,9375}{2} \times \frac{0,86}{0,9375} \times \frac{(3,14/2) 0,02756^2}{4} \right)}{\frac{3,14}{2} 0,02756}$$

$$de = 0,54739 \text{ in}$$

$$De = 0,04561 \text{ ft}$$

8. Menghitung Reynold Number Shell

$$Re = \frac{De Gs}{\mu}$$

Dengan;



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



$$De = 0,04561 \text{ ft}$$

$$\mu = 1,4430 \text{ lb/ft hr}$$

$$\begin{aligned} Re &= \frac{De \ Gs}{\mu} \\ &= \frac{0,04561 \times 6150,8525}{1,4430} \\ &= 194,4353 \end{aligned}$$

$$jHs = 7,2 \text{ fig 28}$$

9. Menghitung Nilai h_o Shell

$$Pr = \left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3}$$

Dengan ;

$$k = 0,3581 \text{ BTU/hr ft } ^\circ\text{F}$$

$$c = 0,8364 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$$

$$\mu t = 1,4430 \text{ lb/ft hr}$$

$$Pr = \left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3}$$

$$Pr = \left(\frac{2,8860 \times 0,8364}{0,3581} \right)^{1/3}$$

$$Pr = 1,4986$$

10. Menghitung h_i Tube

$$h_o = jHs \times \frac{k}{De} \times \left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3} \phi_s$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = jHs \times \frac{k}{De} \times \left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3}$$

Dengan ;

$$\left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3} = 1,4430$$

$$jHs = 7,2$$

$$De = 0,04561 \text{ ft}$$

$$k = 0,3581 \text{ BTU/hr ft } ^\circ\text{F}$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = jHs \times \frac{k}{De} \times \left(\frac{\mu t \times c}{k} \right)^{1/3}$$

$$\frac{h_o}{\phi_s} = 7,2 \times \frac{0,3581}{0,04561} \times 1,4430$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



$$\frac{h_o}{\phi_s} = 88,2455 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ F}$$

11. Menghitung Temperatur Dinding

Hitung *Caloric Temp*

Tabel 5.4 Suhu *Input* dan *Output* Kondensor

T	Suhu (F)	Different	
Thin (Th1)	112,82333	11,27241	dT2
Thout (Th2)	99,833	13,382415	dT1
Tcin (Tc2)	86,450585	-2,110005	dT2-dT1
Tcout (Tc1)	101,55092		

$$T_c = T_{h2} + (F_c \times (T_{h1} - T_{c1}))$$

$$t_c = T_{c2} + (F_c \times (T_{h2} - T_{c2}))$$

Menghitung Nilai U_c dan U_h

Overall Hot (U_h)

$$Nu_{hot} = j_H \times Re \times Pr$$

Dengan;

$$Pr = 1,4986$$

$$Re = 194,4353$$

$$j_{Hs} = 7,5$$

$$De = 0,04561 \text{ ft}$$

$$k = 0,3581 \text{ BTU/hr ft } ^\circ\text{F}$$

$$Nu_{hot} = j_H \times Re \times Pr$$

$$Nu = 7,2 \times 194,4353 \times 1,4986$$

$$= 2098,0462$$

$$Nu_{shell} = \frac{U_h \times De}{k}$$

$$U_h = \frac{Nu \times k}{De}$$

$$= \frac{2098,0462 \times 0,3581}{0,04561}$$

$$= 16.471,7348 \text{ BTU/hr ft}^2$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Overall Cold (U_c)

$$\begin{aligned}Pr &= 1,7127 \\Re &= 278,0363 \\j_{Ht} &= 1,3 \\De &= 0,06232 \text{ ft} \\k &= 0,3607 \text{ BTU/hr ft } ^\circ\text{F} \\Nu_{\text{cold}} &= j_{Ht} \times Re \times Pr \\Nu &= 1,7 \times 278,0363 \times 1,7127 \\&= 619,0515 \\Nu_{\text{tube}} &= \frac{U_h \times De}{k} \\U_c &= \frac{Nu \times k}{De} \\&= \frac{619,0515 \times 0,3607}{0,06232} \\&= 3583,9051 \text{ BTU/hr ft}^2 \\K_c &= \frac{U_h - U_c}{U_c} \\&= \frac{16.471,7348 - 3583,9051}{3583,9051} \\&= 3,5960\end{aligned}$$

Sehingga dari fig. 17 Kern didapatkan nilai $K_c = 3,5960$ dan $F_c = 0,3850$, kemudian menghitung suhu *caloric temperature* dengan Langkah berikut :

$$\begin{aligned}K_c &= 1,0411 \\F_c &= 0,3850 \\\frac{\Delta T_c}{\Delta T_h} &= \frac{dT_2}{dT_1} \\\frac{\Delta T_c}{\Delta T_h} &= \frac{11,27241}{13,382415} \\\frac{\Delta T_c}{\Delta T_h} &= 0,8432 \\T_c &= T_{h2} + (F_c \times (T_{h1} - T_{c1})) \\&= 104,1165 \text{ } ^\circ\text{F} \\t_c &= T_{c2} + (F_c \times (T_{h2} - T_{c2})) \\&= 91,5359 \text{ } ^\circ\text{F}\end{aligned}$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



$$T_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\phi_s}}{\frac{h_{io}}{\phi_s} + \frac{h_o}{\phi_s}} + (T_c - t_c)$$

$$T_w = 91,5359 + \frac{84,7157}{349,8730 + 84,7157} + (104,1165 - 91,5359)$$

$$T_w = 93,9882 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Suhu dinding tube didapatkan 93,9882°F, kemudian dapat diketahui viskositas pada dinding luar *tube* (bagian *shell*) bagian dinding sebesar 1,7760 lb/hr ft

$$\mu_w \text{ shell} = 1,7760 \text{ lb/hr ft}$$

$$\mu \text{ shell} = 0,8364 \text{ lb/hr ft}$$

$$\phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

$$\phi_s = \left(\frac{0,8364}{1,7760}\right)^{0,14}$$

$$\phi_s = 0,8284$$

Menghitung nilai h_o

$$\begin{aligned} h_o &= \frac{h_o}{\phi_s} \times \phi_s \\ &= 84,7157 \times 0,8284 \\ &= 70,1785 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

12. Menghitung Nilai h_i dan h_{io}

Suhu dinding tube ialah 93,9882°F, sehingga dihasilkan viskositas sebesar 3,8570 lb/hr ft

$$\mu_w \text{ tube} = 1,8888 \text{ lb/hr ft}$$

$$\mu \text{ tube} = 1,8885 \text{ lb/hr ft}$$

$$\phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,25} \text{ karena } Re < 2100$$

$$\phi_t = \left(\frac{1,8885}{1,8888}\right)^{0,25}$$

$$\phi_t = 0,9999$$

$$\begin{aligned} h_i &= \frac{h_i}{\phi_t} \times \phi_t \\ &= 12,8900 \times 0,9999 \\ &= 12,8904 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



$$\begin{aligned} h_{io} &= \frac{h_{io}}{\phi t} \times \phi t \\ &= 349,8730 \times 0,9999 \\ &= 349,8842 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ F} \end{aligned}$$

13. Menghitung U_c

$$\begin{aligned} U_c &= \frac{(h_{io} \times h_o)}{(h_{io} + h_o)} \\ &= \frac{(349,8842 \times 70,1785)}{(349,8842 + 70,1785)} \\ &= 58,4540 \text{ btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

14. Menghitung U_d

Hitung Luas Transfer

$$A = N_t \times L \times a_t$$

Dengan;

$$N_t = 24348$$

$$L = 40,7048 \text{ ft}$$

$$A_t = 0,06232 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$A = N_t \times L \times a_t$$

$$\begin{aligned} A &= 24348 \times 40,7048 \times 0,06232 \\ &= 61764 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$U_d = \frac{Q}{A \, dT \, LMTD}$$

Dengan;

$$Q_{\text{tube}} = 626.790,9779 \text{ BTU/hr}$$

$$dT \, LMTD = 12,29725 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$U_d = \frac{Q}{A \, dT \, LMTD}$$

$$U_d = \frac{626.790,9779}{61764 \times 12,29725}$$

$$U_d = 8,2523 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



15. Menghitung *Fouling Factor*

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c + U_d}$$

Dengan,

$$U_c = 58,4540 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$U_d = 8,2523 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c + U_d}$$

$$R_d = \frac{(58,4540 - 8,2523)}{(58,4540 + 8,2523)}$$

$$R_d = 0,7525 \text{ BTU/jam.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}.$$

D. *Pressure Drop*

1. *Shell*

$$f = 0,0047 \text{ ft}^2/\text{in}^2 \text{ fig 29}$$

$$Re = 194,4353$$

Jumlah Cross

$$N+1 = 12 \times \frac{L}{B}$$

Dengan,

$$L = 40,64275 \text{ ft}$$

$$B = 13,7889 \text{ ft}$$

$$N+1 = 12 \times \frac{L}{B}$$

$$N+1 = 12 \times \frac{40,64275}{13,7889}$$

$$= 35,37 \text{ ft}$$

Menghitung *Pressure Drop* bagian Shell

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times I D_s (N+1)}{5,22 \times 10^{10} \times D_e \times s \times \phi_s}$$

Dengan,

$$G_s = 6150,8525 \text{ BTU/hr ft}^2$$

$$I D_s = 17,23611 \text{ ft}$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



$$De = 0,04561 \text{ ft}$$

$$s = 61,90876135 \text{ lb/ft}^3$$

$$\phi_s = 0,8284$$

$$\Delta P_s = \frac{f \times G s^2 \times I D s (N+1)}{5,22 \times 10^{10} \times D e \times s \times \phi_s}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_s &= \frac{0,005 \times 6150,8525^2 \times 17,2361 \times 35,37}{5,22 \times 10^{10} \times 0,04561 \times 61,90876 \times 0,8284} \\ &= 0,000887 \text{ psi} \end{aligned}$$

2. Tube

$$f = 0,002 \text{ ft}^2/\text{in}^2 \text{ fig 26}$$

$$Re = 278,0363$$

$$\Delta P_t = \frac{f \times G t^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times D \times s \times \phi_t}$$

Dengan,

$$G_t = 9295,9261 \text{ BTU/hr ft}^2$$

$$D = 0,06225 \text{ ft}$$

$$s = 63,6878 \text{ lb/ft}^3$$

$$\phi_t = 0,9999$$

$$L = 40,64275 \text{ ft}$$

$$\Delta P_t = \frac{f \times G t^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times D \times s \times \phi_t}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_t &= \frac{0,00098 \times 9295,9261^2 \times 40,64275 \times 1}{5,22 \times 10^{10} \times 0,06225 \times 63,6878 \times 0,9999} \\ &= 3,40 \times 10^{-5} \text{ psi} \end{aligned}$$



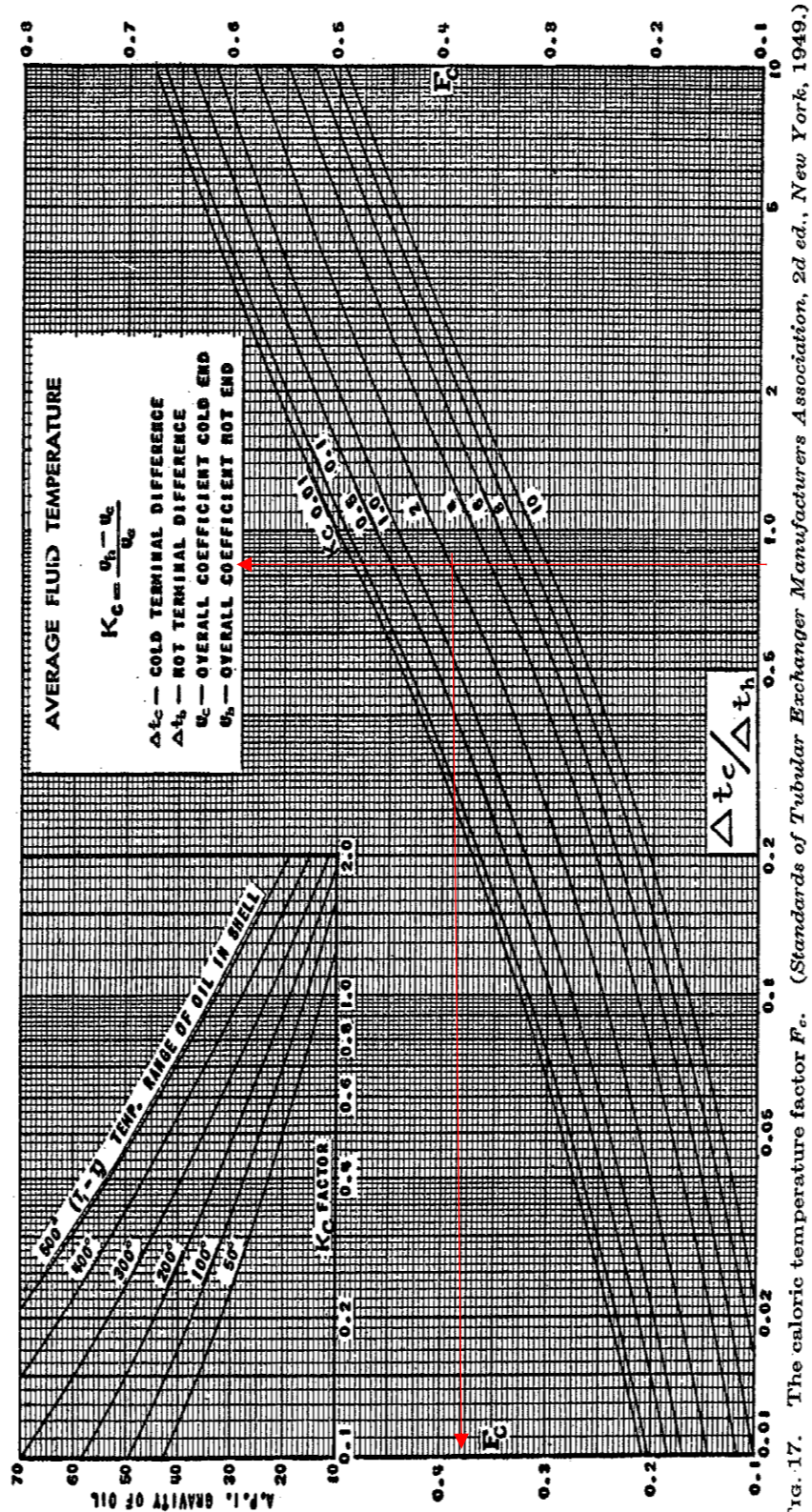
TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



APPENDIX OF CALCULATION DATA

827



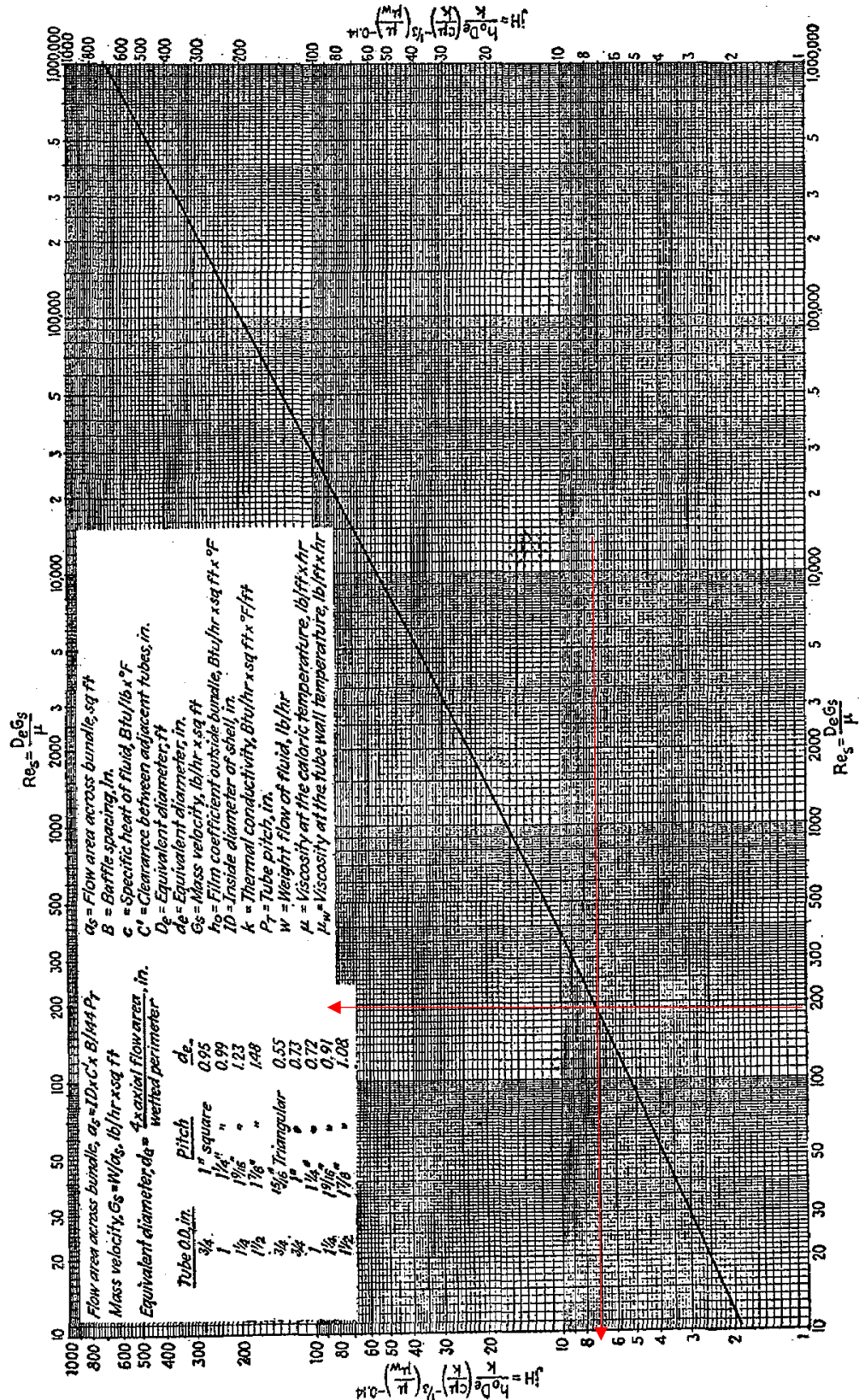


Fig. 28. Shell-side heat-transfer curve for bundles with 25% cut segmental baffles.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1

Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



APPENDIX OF CALCULATION DATA

839

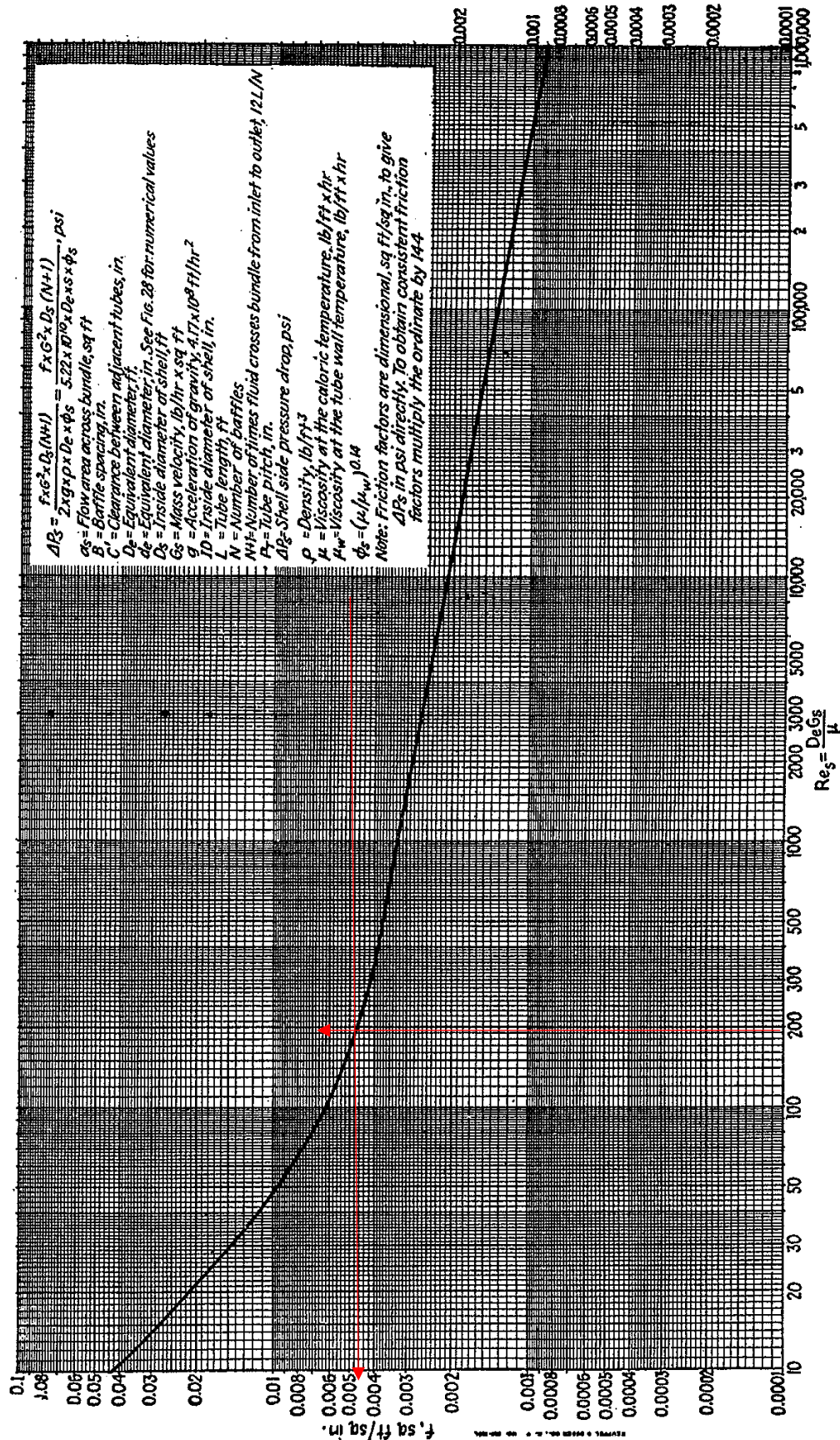


Fig. 29. Shell-side friction factors for bundles with 25 % cut segmental baffles.



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



834

PROCESS HEAT TRANSFER

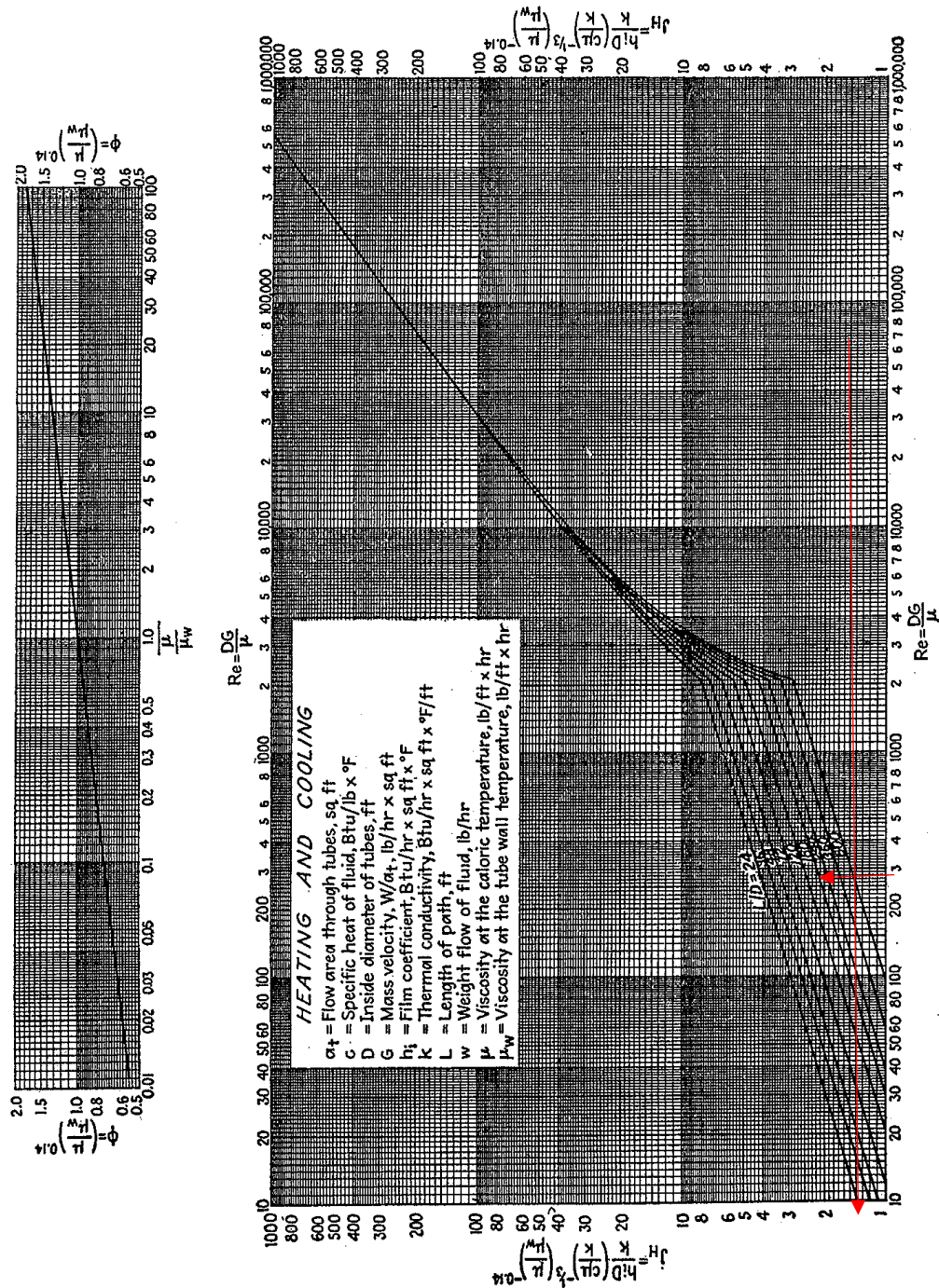


FIG. 24. Tube-side heat-transfer curve. (Adapted from Sieder and Tate.)



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1

Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



836

PROCESS HEAT TRANSFER

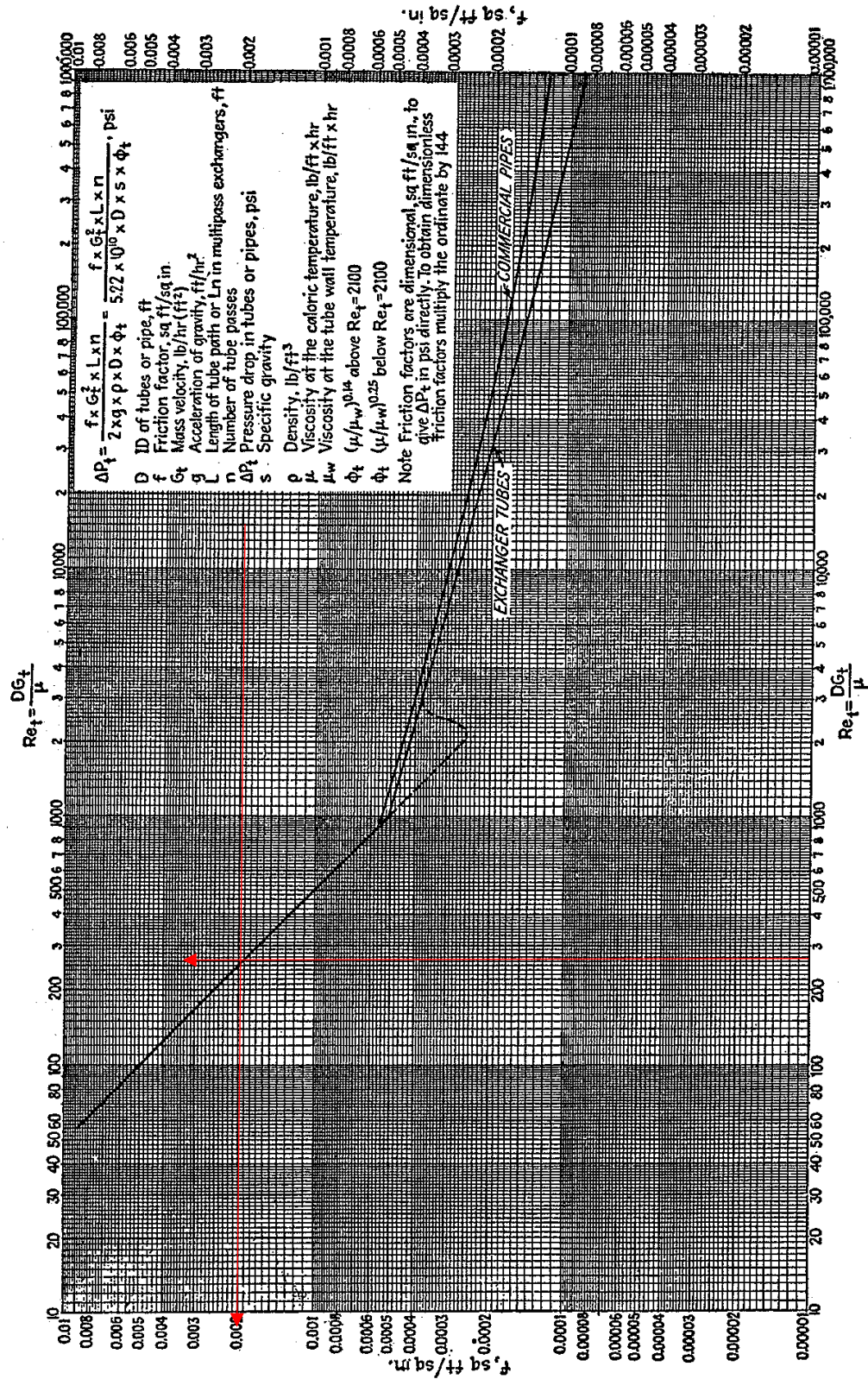


Fig. 26. Tube-side friction factors. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2d ed., New York, 1949.)



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



5.5 PHYSICAL PROPERTY DATA TABLES / 5.5.13 Properties of Seawater

Table 8 Density of seawater (kg/m³)

t, °C	Salinity, g/kg										
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0	1 024.2	1 024.9	1 025.7	1 026.5	1 027.3	1 028.1	1 028.9	1 029.6	1 030.4	1 031.2	1 032.0
10	1 023.2	1 023.9	1 024.7	1 025.4	1 026.2	1 027.0	1 027.7	1 028.5	1 029.3	1 030.0	1 030.8
20	1 020.8	1 021.5	1 022.3	1 023.0	1 023.8	1 024.5	1 025.3	1 026.0	1 026.8	1 027.5	1 028.3
30	1 017.6	1 018.4	1 019.1	1 019.9	1 020.6	1 021.4	1 022.1	1 022.9	1 023.6	1 024.4	1 025.1
40	1 013.9	1 014.7	1 015.4	1 016.2	1 016.9	1 017.7	1 018.4	1 019.1	1 019.9	1 020.6	1 021.4
50	1 009.7	1 010.4	1 011.2	1 011.9	1 012.6	1 013.4	1 014.1	1 014.8	1 015.6	1 016.3	1 017.1
60	1 004.9	1 005.6	1 006.3	1 007.1	1 007.8	1 008.6	1 009.3	1 010.0	1 010.8	1 011.5	1 012.2
70	999.5	1 000.3	1 001.0	1 001.7	1 002.5	1 003.2	1 003.9	1 004.7	1 005.4	1 006.2	1 006.9
80	993.7	994.4	995.2	995.9	996.6	997.4	998.1	998.8	999.6	1 000.3	1 001.1
90	987.4	988.1	988.8	989.6	990.3	991.1	991.8	992.5	993.3	994.0	994.7
100	980.6	981.3	982.1	982.8	983.5	984.3	985.0	985.8	986.5	987.2	988.0
110	973.3	974.1	974.8	975.6	976.3	977.1	977.8	978.6	979.3	980.0	980.8
120	965.7	966.4	967.2	967.9	968.7	969.4	970.2	970.9	971.7	972.4	973.2
130	957.6	958.4	959.1	959.9	960.6	961.4	962.1	962.9	963.7	964.4	965.2
140	949.1	949.9	950.7	951.4	952.2	953.0	953.7	954.5	955.3	956.0	956.8
150	940.3	941.1	941.8	942.6	943.4	944.2	945.0	945.7	946.5	947.3	948.1
160	931.1	931.9	932.7	933.5	934.3	935.1	935.8	936.6	937.4	938.2	939.0
170	921.6	922.4	923.2	924.0	924.8	925.6	926.4	927.2	928.0	928.8	929.6
180	911.7	912.6	913.4	914.2	915.0	915.8	916.7	917.5	918.3	919.1	919.9



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



5.5 PHYSICAL PROPERTY DATA TABLES / 5.5.13 Properties

Activate Win
Go to Settings to

Table 6 Heat capacity of seawater (kJ/kg K)

t_f °C	Salinity, g/kg										
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0	4.021	4.015	4.010	4.004	3.998	3.992	3.987	3.981	3.975	3.970	3.964
10	4.020	4.014	4.009	4.003	3.998	3.992	3.987	3.981	3.976	3.971	3.965
20	4.020	4.015	4.009	4.004	3.999	3.993	3.988	3.983	3.978	3.973	3.967
30	4.021	4.016	4.011	4.006	4.001	3.996	3.991	3.986	3.981	3.976	3.971
40	4.024	4.019	4.014	4.009	4.004	4.000	3.995	3.990	3.985	3.980	3.975
50	4.029	4.024	4.019	4.014	4.009	4.004	4.000	3.995	3.990	3.985	3.981
60	4.034	4.029	4.025	4.020	4.015	4.011	4.006	4.001	3.997	3.992	3.987
70	4.041	4.037	4.032	4.027	4.023	4.018	4.013	4.009	4.004	4.000	3.995
80	4.050	4.045	4.040	4.036	4.031	4.027	4.022	4.017	4.013	4.008	4.004
90	4.059	4.055	4.050	4.046	4.041	4.036	4.032	4.027	4.023	4.018	4.014
100	4.071	4.066	4.061	4.057	4.052	4.048	4.043	4.038	4.034	4.029	4.025
110	4.083	4.079	4.074	4.069	4.065	4.060	4.055	4.051	4.046	4.041	4.037
120	4.097	4.092	4.088	4.083	4.078	4.073	4.069	4.064	4.059	4.054	4.050
130	4.113	4.108	4.103	4.098	4.093	4.088	4.083	4.078	4.074	4.069	4.064
140	4.129	4.124	4.119	4.114	4.109	4.104	4.099	4.094	4.089	4.084	4.079
150	4.148	4.142	4.137	4.132	4.127	4.121	4.116	4.111	4.106	4.101	4.096
160	4.167	4.162	4.156	4.151	4.145	4.140	4.135	4.129	4.124	4.119	4.113
170	4.188	4.182	4.177	4.171	4.165	4.160	4.154	4.149	4.143	4.137	4.132
180	4.120	4.204	4.198	4.192	4.187	4.181	4.175	4.169	4.163	4.157	4.152



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1

Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



5.5 PHYSICAL PROPERTY DATA TABLES / 5.5.13 Properties

Table 4 Dynamic viscosity of seawater (10^{-3} Ns/m²)

t_f °C	Salinity, g/kg										
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0	1.861	1.864	1.867	1.871	1.874	1.877	1.880	1.883	1.887	1.890	1.893
10	1.375	1.377	1.380	1.382	1.385	1.388	1.390	1.393	1.396	1.398	1.401
20	1.061	1.063	1.065	1.068	1.070	1.072	1.074	1.076	1.078	1.081	1.083
30	0.848	0.850	0.851	0.853	0.855	0.857	0.859	0.861	0.862	0.864	0.866
40	0.696	0.698	0.699	0.701	0.702	0.704	0.706	0.707	0.709	0.710	0.712
50	0.585	0.586	0.587	0.589	0.590	0.592	0.593	0.594	0.596	0.597	0.599
60	0.500	0.501	0.503	0.504	0.505	0.506	0.507	0.509	0.510	0.511	0.512
70	0.434	0.435	0.437	0.438	0.439	0.440	0.441	0.442	0.443	0.444	0.445
80	0.382	0.383	0.384	0.385	0.386	0.387	0.388	0.389	0.390	0.391	0.392
90	0.340	0.341	0.342	0.343	0.343	0.344	0.345	0.346	0.347	0.348	0.349
100	0.305	0.306	0.307	0.308	0.308	0.309	0.310	0.311	0.312	0.312	0.313
110	0.276	0.277	0.278	0.278	0.279	0.280	0.281	0.281	0.282	0.283	0.284
120	0.252	0.252	0.253	0.254	0.254	0.255	0.256	0.257	0.257	0.258	0.259
130	0.231	0.231	0.232	0.233	0.233	0.234	0.235	0.235	0.236	0.237	0.237
140	0.213	0.213	0.214	0.215	0.215	0.216	0.216	0.217	0.218	0.218	0.219
150	0.197	0.198	0.198	0.199	0.199	0.200	0.200	0.201	0.202	0.202	0.203
160	0.183	0.184	0.184	0.185	0.186	0.186	0.187	0.187	0.188	0.188	0.189
170	0.171	0.172	0.172	0.173	0.173	0.174	0.174	0.175	0.175	0.176	0.176
180	0.161	0.161	0.161	0.162	0.162	0.163	0.163	0.164	0.164	0.165	0.165



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



HY AL R R D TAB

Prope
Activate Win
Go to Settings to

Table 2 Thermal conductivity of seawater and its concentrates (mW/m²)/(K/m)

t, °C	Salinity, g/kg																	
	0°	10	20	30	35 ^a	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	
0	572	570	569	567	566	565	563	562	560	558	556	554	552	550	548	546	544	
10	589	587	586	584	584	583	581	580	578	577	575	573	571	570	568	566	564	
20	604	603	602	600	600	599	598	597	595	594	592	591	589	588	586	585	583	
30	618	617	616	615	614	614	613	612	611	609	608	607	606	604	603	602	600	
40	630	629	629	628	628	627	626	626	625	624	623	622	621	620	618	617	616	
50	641	641	640	640	639	639	639	638	637	637	636	635	634	633	632	631	630	
60	651	651	650	650	650	650	649	649	649	648	648	647	646	646	645	644	644	
70	659	659	659	659	659	659	659	659	658	658	658	658	657	657	656	656	655	
80	666	666	667	667	667	667	667	667	667	667	667	667	667	666	666	666	666	
90	672	672	673	673	673	674	674	674	674	675	675	675	675	675	675	675	675	
100	676	677	678	678	679	679	680	680	680	681	681	682	682	682	682	682	683	
110	680	681	682	683	683	683	684	685	685	686	687	687	688	688	688	689	689	
120	682	683	684	685	686	686	687	688	689	690	691	691	692	693	693	694	694	
130	683	685	686	687	688	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	
140	684	685	687	688	689	689	691	692	693	694	696	697	698	699	700	701	702	
150	683	684	686	688	688	689	691	692	694	695	696	698	699	700	701	702	703	
160	681	683	684	686	687	688	690	691	693	694	696	697	699	700	701	703	704	
170	678	680	682	684	685	686	687	689	691	693	694	696	698	699	701	702	704	
180	674	676	678	680	681	682	684	686	686	690	692	694	695	697	699	700	702	

While these values for pure water are within the claimed accuracy, more accurate values are available in the appropriate ESDU Data Item.
b. Normal seawater.



Appendix B

Thermophysical Properties of Water

Table B.1 Thermophysical properties of pure water at atmospheric pressure

T (°C)	ρ (kg/m ³)	μ (Pa s)	C_p (J/kg K)	k (W/m K)	Pr	β (K ⁻¹)	c (m/s)	σ (N/m)
5	1000	0.001519	4200	0.5576	11.44	0.0001135	1426	0.07494
10	999.7	0.001307	4188	0.5674	9.642	0.00008743	1448	0.07422
15	999.1	0.001138	4184	0.5769	8.253	0.0001523	1467	0.07348
20	998.2	0.001002	4183	0.5861	7.152	0.000209	1483	0.07273
25	997.1	0.0008905	4183	0.5948	6.263	0.0002594	1497	0.07197
30	995.7	0.0007977	4183	0.603	5.534	0.0003051	1509	0.07119
35	994	0.0007196	4183	0.6107	4.929	0.000347	1520	0.0704
40	992.2	0.0006533	4182	0.6178	4.422	0.0003859	1528	0.06959
45	990.2	0.0005963	4182	0.6244	3.994	0.0004225	1534	0.06877
50	988	0.0005471	4181	0.6305	3.628	0.0004572	1537	0.06794
55	985.7	0.0005042	4182	0.636	3.315	0.0004903	1538	0.0671
60	983.2	0.0004666	4183	0.641	3.045	0.0005221	1537	0.06624
65	980.6	0.0004334	4184	0.6455	2.81	0.0005528	1534	0.06536
70	977.8	0.000404	4187	0.6495	2.605	0.0005827	1529	0.06448
75	974.9	0.0003779	4190	0.653	2.425	0.0006118	1523	0.06358
80	971.8	0.0003545	4194	0.6562	2.266	0.0006402	1514	0.06267
85	968.6	0.0003335	4199	0.6589	2.125	0.0006682	1504	0.06175
90	965.3	0.0003145	4204	0.6613	2	0.0006958	1491	0.06081
95	961.9	0.0002974	4210	0.6634	1.888	0.000723	1475	0.05987
100	0.5896	0.00001227	2042	0.02506	0.9996	0.002881	472.8	0.05891

Source: Data obtained with EES software – Engineering Equation Solver (S.A. Klein, version 9.698).

T = temperature, ρ = density, μ = dynamic viscosity, c_p = specific heat, k = thermal conductivity,

Pr = Prandtl number, β = volume expansion coefficient, c = sound speed, σ = superficial

tension, $\omega = 0.3443$ = eccentric factor.

Critical parameters: $T_c = 373.984^\circ\text{C}$, $P_c = 220.64\text{ bar}$, $v_c = 3.106\text{ dm}^3/\text{kg}$.

Triple point parameters: $T_t = 0.01^\circ\text{C}$, $P_t = 611.732\text{ Pa}$.

Drying Phenomena: Theory and Applications, First Edition. Ibrahim Dincer and Calin Zamfirescu.

© 2016 John Wiley & Sons, Ltd. Published 2016 by John Wiley & Sons, Ltd.



Figure 4 also shows the corresponding figures for pure water (Osborne *et al.* 1937) and the final check readings on pure water with our apparatus.

It will be seen from figure 4 that over the range -2 to 30 °C the specific heat of pure water decreases with increasing temperature. With sea water having more than 20‰ of salt this effect is reversed. It was found that a convenient mathematical expression could be derived for computing the specific heat at any temperature and salinity by taking the value for pure water at a higher temperature and applying a correction for salinity. The derived expression is

$$C_p = A - 0.005075S - 0.000014S^2,$$

where C_p is the specific heat at constant pressure of sea water of salinity S (g/kg) at temperature T °C, in absolute joules per gramme, and A is the specific heat at constant pressure of pure water at temperature $(T + 0.7S + 0.175S^2)$ °C, in absolute joules per gramme.

TABLE 3. COMPUTED VALUES FOR SPECIFIC HEAT OF SEA WATER AT CONSTANT PRESSURE (IN ABSOLUTE JOULES PER GRAMME)

salinity (g/kg)	temperature (°C)										
	-2	-1	0	1	2	5	10	15	20	25	30
0	—	—	4.217	4.214	4.210	4.202	4.192	4.186	4.182	4.179	4.178
5	—	—	4.179	4.176	4.174	4.168	4.161	4.157	4.154	4.153	4.152
10	—	—	4.142	4.140	4.138	4.135	4.130	4.128	4.126	4.126	4.126
15	—	—	4.107	4.106	4.105	4.103	4.100	4.099	4.098	4.099	4.100
20	—	4.075	4.074	4.074	4.073	4.072	4.071	4.071	4.071	4.072	4.074
25	—	4.043	4.043	4.043	4.042	4.042	4.042	4.043	4.045	4.046	4.048
30	—	4.013	4.013	4.013	4.013	4.014	4.015	4.016	4.018	4.020	4.023
32	—	4.001	4.002	4.002	4.002	4.003	4.004	4.006	4.008	4.010	4.013
34	—	3.990	3.990	3.991	3.991	3.992	3.993	3.995	3.998	4.000	4.003
35	3.984	3.984	3.985	3.985	3.985	3.986	3.988	3.990	3.993	3.995	3.999
36	3.979	3.979	3.979	3.980	3.980	3.981	3.983	3.985	3.988	3.991	3.994
38	3.968	3.968	3.968	3.968	3.969	3.970	3.972	3.975	3.978	3.981	3.985
40	3.957	3.957	3.957	3.958	3.958	3.959	3.962	3.965	3.968	3.972	3.976

A range of values at convenient intervals computed from this expression is set out in table 3. The probable error of these values is 0.0015 J/g and the maximum error at any point is thought to be less than 0.003 J/g.

It will be seen from figure 4 that the scatter of the individual measurements is, in general, less than 0.002 J/g from the line drawn for each series of measurements. This scatter is, however, noticeably greater at temperatures below 5 °C. This tendency is difficult to explain, as there is no obvious reason why any of the measurements should be less accurate or more difficult at lower temperatures. The curvature of the relationship between C_p and temperature for pure water results in a minimum near 40 °C, rising at higher and lower temperatures. This is usually attributed to variation with temperature of the degree of association of the water; moreover, it has been suggested by numerous workers that the establishment of equilibrium between the various polymers when the temperature is changed is not



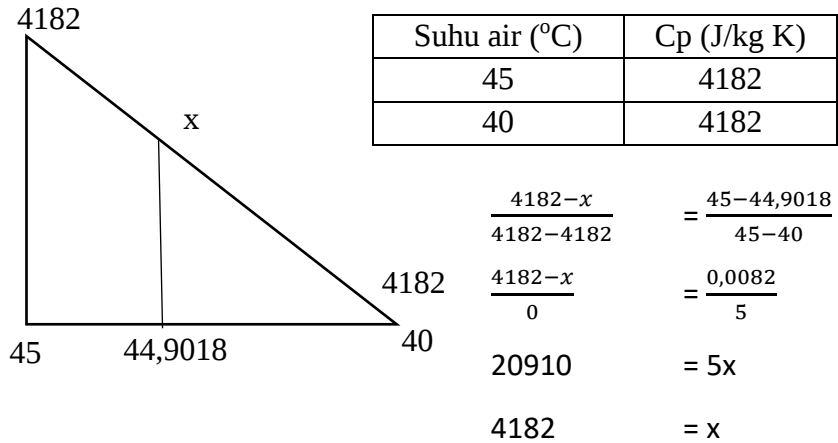
TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu

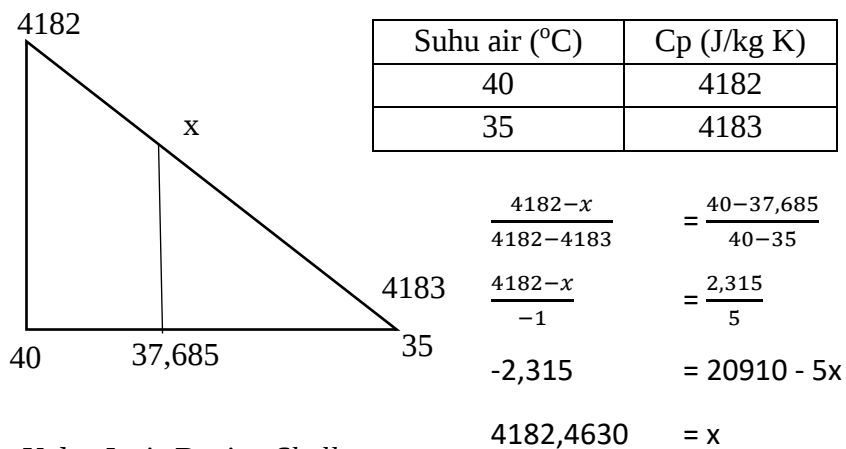


Interpolasi Nilai Data Sekunder

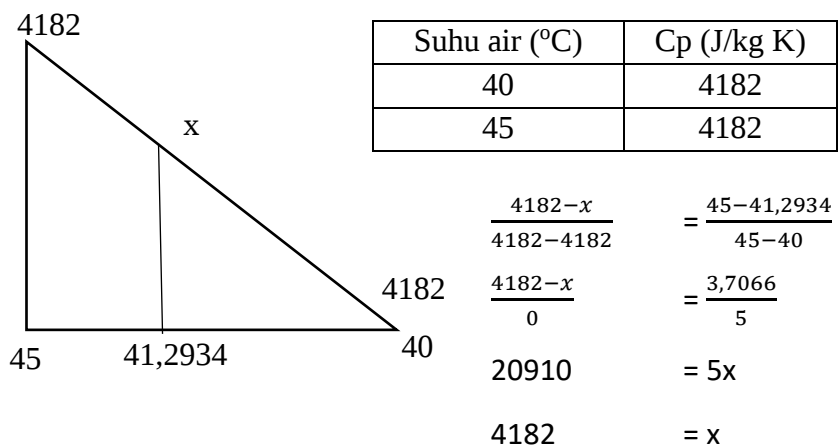
Kalor Jenis *Input LP Exhaust Turbin* (Tin)



Kalor Jenis Output *Air Condensate* (Tout)



Kalor Jenis Bagian *Shell*



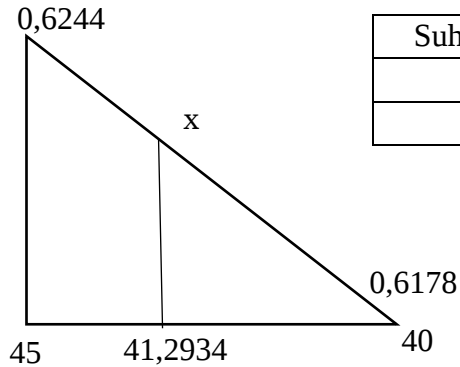


TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



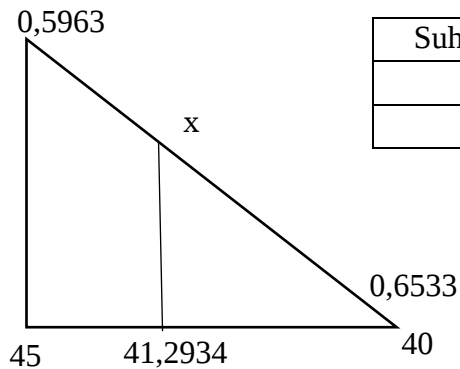
Thermal Conductivity Bagian Shell



Suhu air (°C)	k (W/m K)
40	0,6178
45	0,6244

$$\begin{aligned}\frac{0,6244-x}{0,6244-0,6178} &= \frac{45-41,2934}{45-40} \\ \frac{0,6244-x}{0,0066} &= \frac{3,7066}{5} \\ 0,02446 &= 3,122 - 5x \\ 5x &= 3,0975 \\ x &= 0,6195\end{aligned}$$

Viscosity Bagian Shell



Suhu air (°C)	μ (cP)
40	0,6533
45	0,5963

$$\begin{aligned}\frac{0,5963-x}{0,5963-0,6533} &= \frac{45-41,2934}{45-40} \\ \frac{0,5963-x}{-0,057} &= \frac{3,7066}{5} \\ -0,2112 &= 2,9815 - 5x \\ 5x &= 3,1927 \\ x &= 0,6385\end{aligned}$$

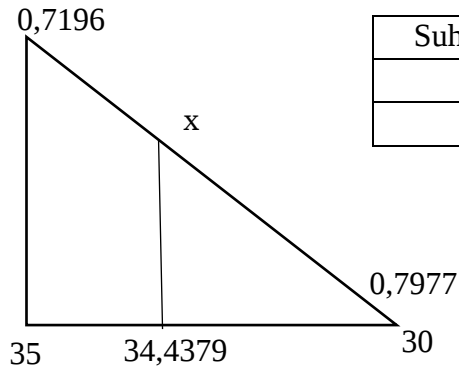


TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Viscosity Bagian Dinding Shell



Suhu air (°C)	μ (cP)
35	0,7196
30	0,7977

$$\frac{0,7196-x}{0,7196-0,7977} = \frac{35-34,4379}{35-30}$$

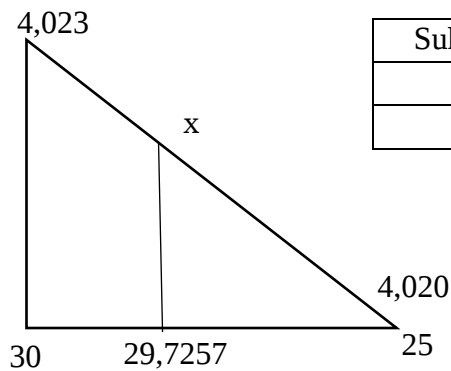
$$\frac{0,7196-x}{-0,0781} = \frac{0,5621}{5}$$

$$-0,0735 = 3,596 - 5x$$

$$5x = 3,6695$$

$$x = 0,7339$$

Kalor Jenis Input Air Pendingin (Tin)



Suhu air (°C)	Cp (J/gr C)
30	4023
25	4020

$$\frac{4,023-x}{4,023-4,020} = \frac{30-29,7257}{30-25}$$

$$\frac{4,023-x}{0,003} = \frac{0,2743}{5}$$

$$0,0008229 = 20,115 - 5x$$

$$20,1141 = 5x$$

$$x = 4,0228$$

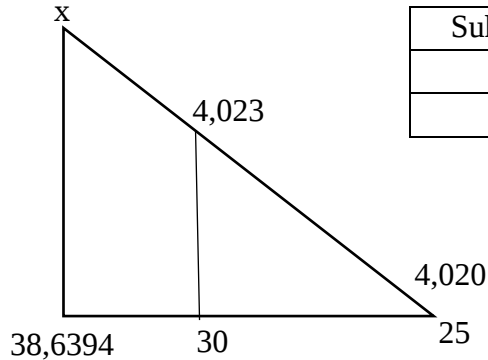


TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Kalor Jenis Output Air Pendingin (Tout)



Suhu air (°C)	Cp (J/kg K)
30	4182
25	4183

$$\frac{x-4,023}{x-4,020} = \frac{38,6394-30}{38,6394-25}$$

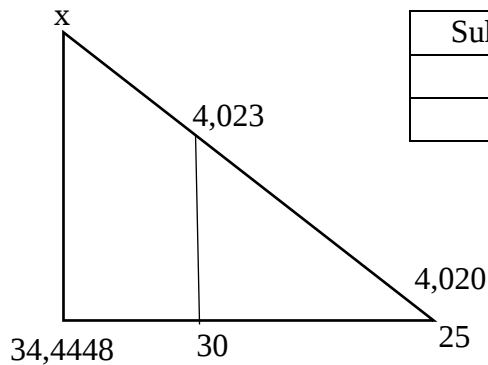
$$\frac{x-4,023}{x-4,020} = \frac{8,6394}{13,6394}$$

$$13,6394x - 54,8713 = 8,6394x - 34,7303$$

$$20,141 = 5x$$

$$4,0282 = x$$

Kalor Jenis Bagian Tube



Suhu air (°C)	Cp (J/gr C)
30	4,023
25	4,020

$$\frac{x-4,023}{x-4,020} = \frac{34,4448-30}{34,4448-25}$$

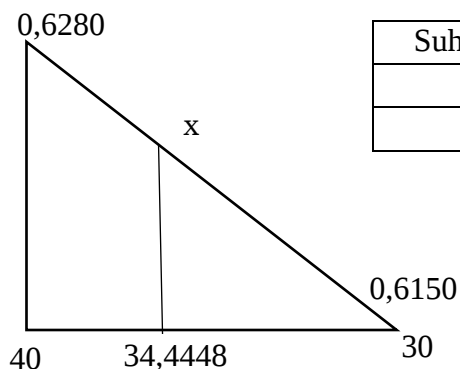
$$\frac{x-4,023}{x-4,020} = \frac{4,4448}{9,4448}$$

$$9,4448x - 37,9964 = 4,4448x - 17,8680$$

$$20,1284 = 5x$$

$$4,0256 = x$$

Thermal Conductivity Bagian Tube



Suhu air (°C)	k (W/m K)
40	0,6280
30	0,6150

$$\frac{0,6280-x}{0,6280-0,6150} = \frac{40-34,4448}{40-30}$$

$$\frac{0,6280-x}{0,007} = \frac{5,5552}{10}$$

$$6,28 - 10x = 0,0388$$

$$10x = 6,2412$$

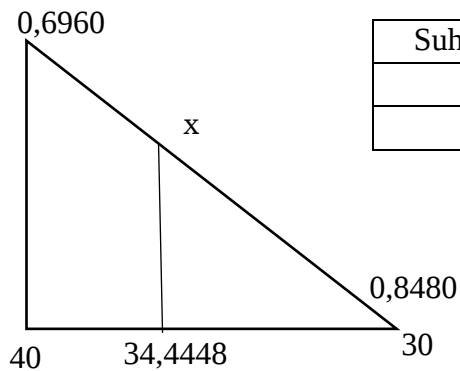
Viscosity Bagian Tube

$$x = 0,6241$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Suhu air (°C)	μ (cP)
40	0,6960
30	0,8480

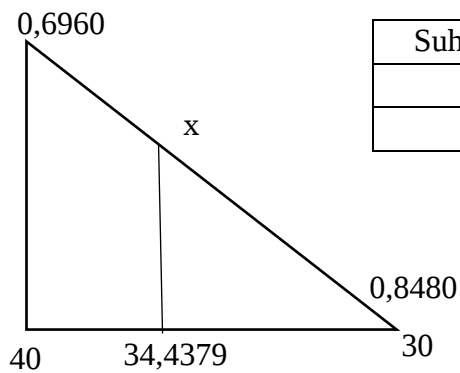
$$\frac{0,6960-x}{0,6960-0,8480} = \frac{40-34,4448}{40-30}$$

$$\frac{0,6960-x}{-0,152} = \frac{5,5552}{10}$$

$$-0,8443 = 6,9600 - 10x$$

$$10x = 7,8043$$

$$\text{Viscosity Bagian Dinding Tube } X = 0,7804$$



Suhu air (°C)	μ (cP)
40	0,6960
30	0,8480

$$\frac{0,6960-x}{0,6960-0,8480} = \frac{40-34,4379}{40-30}$$

$$\frac{0,6960-x}{-0,152} = \frac{5,5562}{10}$$

$$-0,8454 = 6,9600 - 10x$$

$$10x = 8,0732$$

$$X = 0,7805$$



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Tabel 5.4 Data Sekunder Spesifikasi Air Murni

Keterangan		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
<i>Specific Heat</i> (112,8233 F)	Cp	4182	j/kg K	0,8364	BTU/lb F
<i>Specific Heat</i> (106,3281 F)	Cp	4182	j/kg K	0,8364	BTU/lb F
<i>Specific Heat</i> (99,833 F)	Cp	4182,4630	j/kg K	0,8365	BTU/lb F
<i>Specific Heat</i> (85,50626 F)	Cp	4183	j/kg K	0,8366	BTU/lb F
<i>Thermal Conductivity</i> (106,3281 F)	ks	0,6195	w/m K	0,3581	BTU/hr ft ²
<i>Viskositas</i> (106,3281 F)	μs	0,5963	cP	1,4430	lb/ft hr

Tabel 5.5 Data Sekunder Spesifikasi Air Laut

Keterangan		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
<i>Specific Heat</i> (86,4505 F)	Cp	4,0228	J/gr C	0,9606	BTU/lb F
<i>Specific Heat</i> (101,5509 F)	Cp	4,0282	J/gr C	0,9619	BTU/lb F
<i>Specific Heat</i> (94 F)	Cp	4,0256	J/gr C	0,9613	BTU/lb F
<i>Thermal Conductivity</i> (94 F)	kt	0,6241	w/m K	0,3608	BTU/hr ft ²
<i>Viskositas</i> (94 F)	μt	0,7804	cP	1,8885	lb/hr ft



TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1 Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



Lampiran 6. Dokumentasi



Foto Bersama Operator Bagian Turbin dan Kondensor



Foto Bersama *Engineer* SO Turbine dan Aux



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



CATATAN PENDAHULUAN

Hari, tanggal : Senin, 21 Agustus 2023

Nama : Aprilia Kartiningsih

Pembimbing : Susanti Rina Nugraheni, ST., M.Eng.

Penguji : Yuli Ristianingsih, S.T., M.Eng.

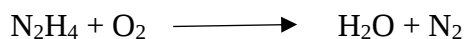
Ir.Zubaidi Achmad, M.T.

Ir. Tunjung Wahyu Widayati, M.T.

1. Pertanyaan :

Bagaimana reaksi pada bagian *Gland Steam Kondensor* sehingga oksigen dapat ditangkap?

Jawaban :



Hasil reaksi berupa air (H_2O) pada reaksi *hydrazine* dengan oksigen murni akan masuk kedalam *storage water tank* sedangkan nitrogen (N_2) akan dibuang ke atmosfer.

2. Pertanyaan :

Mengapa air laut dialirkan pada bagian *tube*?

Jawaban :

Prinsip kerja dari *Heat Exchanger (HE) shell and tube* ialah, fluida dengan korosivitas lebih tinggi akan dialirkan melalui bagian *tube*, sehingga air laut dilewatkan melalui bagian *tube* karena sangat korosif dibandingkan dengan uap air pada suhu 45°C .

3. Pertanyaan :

Jika efisiensi thermal kondensor kurang dari 80% apa yang terjadi?

Jawaban :

Efisiensi kurang dari 80% menyebabkan transfer panas antar fluida menjadi kurang maksimal, hal tersebut jika dibiarkan terus menerus, berakibat pada penurunan efisiensi proses, kebocoran alat dan *backpressure* turbin.



TUGAS AKHIR
Analisis Efisiensi Kinerja Kondensor Pada Unit 1
Di PT. PLN Nusantara Power UP Indramayu



4. Pertanyaan :

Ball cleaning jenis apa yang digunakan untuk pembersihan tube?

Jawaban :

Ball cleaning merupakan sistem *online cleaning condenser* yang menggunakan bola-bola yang masuk ke kondensor pada *steam* turbin. Bola-bola ini disirkulasi oleh *recirculation pump* dan dikumpulkan oleh *ball collector*. Jenis bola yang digunakan ialah bola karet dengan kekerasan rendah sehingga tekanan dari *circulating water pump* dapat mendorong *ball cleaning* hingga keluar kembali dan tertampung di *ball collector*.