

TUGAS AKHIR
MENGHITUNG NERACA MASSA, NERACA PANAS, DAN EFISIENSI
TERMAL PADA BOILER UNIT 1 KAPASITAS 400 MW PT PLN
INDONESIA POWER UBP SURALAYA



Disusun Oleh:
Seftiana Dewi Nur'Aini NPM: 021210040

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2024



TUGAS AKHIR
Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**MENGHITUNG NERACA MASSA, NERACA PANAS,
DAN EFISIENSI TERMAL pada BOILER UNIT 1
KAPASITAS 400 MW PT PLN INDONESIA POWER UBP SURALAYA**

Disusun Oleh:

Seftiana Dewi Nur'Aini NPM: 021210040

Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan oleh:

Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Retno Ringgani, S.T., M.Eng

NIP. 19830318 2024421 2 014

Pada tanggal: 10 Juni 2024

Seftiana Dewi Nur'Aini (021210040)
Program Studi D3 Teknik Kimia - Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Industri
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

ii



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya

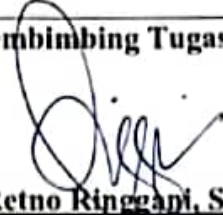

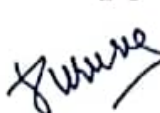
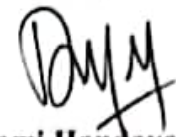
Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

Seftiana Dewi Nur'Aini NPM:021210040

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada tanggal: 15 Juli 2024

Susunan Dewan Penguji

<p>Pembimbing Tugas Akhir</p>  <p><u>Dr. Retno Ringgani, S.T.,M.Eng</u> NIP. 19830318 2024421 2 014</p>	<p>Penguji I</p>  <p><u>Yuli Ristianingih, S.T.,M.Eng</u> NIP. 19850713 201212 2 001</p>
<p>Penguji II</p>  <p><u>Ir. Danang Java, M.T</u> NIP. 19610528 199203 1 001</p>	<p>Penguji III</p>  <p><u>Dian Purnami Handayani, S.T.,M.T</u> NIP. 19920902 202203 2 010</p>

Laporan ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan

Untuk memperoleh gelar Ahli Madya

Koordinator Program Studi D3 Teknik Kimia



Dr. Retno Ringgani, S.T.,M.Eng

NIP. 19830318 2024421 2 014

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Adhicham, S.T.,M.T

NIP. 19710608 202121 1 002

Seftiana Dewi Nur'Aini (021210040)
Program Studi D3 Teknik Kimia - Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Industri
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya”.

Penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan berdasarkan pengamatan dan pengumpulan data selama kerja praktik di PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya. Dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak terutama kepada:

1. Allah SWT yang selalu senantiasa memberikan rahmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Orang tua saya yang telah memberi dukungan secara moral maupun material.
3. Bapak Dr. Adi Ilcham, S.T.,M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Univeritas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
4. Ibu Dr. Retno Ringgani, S.T.,M.Eng selaku Koordinator Progam Studi D3 Teknik Kimia sekaligus Dosen Pembimbing terima kasih atas bimbingan dan motivasinya selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan baik.
5. Pimpinan dan segenap karyawan PT PLN Indonesia Power UBP Suralata atas ketersediannya membantu selama pelaksanaan Kerja Praktik.
6. Bapak Rocky Murti Wijanarko selaku Asman *Efficiency Engineering* PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



7. Bapak Wahyu Yoga Adzanninggar dan Bapak Yepi Nurdiansyah selaku pembimbing lapangan.
8. Sahabat dan teman-teman Program Studi D3 Teknik Kimia Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta angkatan 2021 yang memberikan dukungan sesama satu angkatan agar terus maju bersama.
9. Muhammad Yusuf Budhianto, yang senantiasa mendengarkan keluh kesah penulis, memberi dukungan, motivasi, semangat, tenaga, pikiran, materi, maupun bantuan dan senantiasa sabar menghadapi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
10. Terakhir, terima kasih untuk diri sendiri. Apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih karena terus berusaha dan tidak menyerah, serta senantiasa menikmati setiap prosesnya yang bisa dibilang tidak mudah. Terima kasih karena telah kuat dan bertahan.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna dan banyak kekurangan. Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 14 Mei 2024

Penulis



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
TUGAS AKHIR.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
ABSTRAK	xi
BAB I.....	1
PROFIL PERUSAHAAN DAN SISTEM PRODUKSI	1
I.1 Profil Perusahaan	1
I.1.1 Sejarah Perusahaan	1
I.1.2 Gambaran Umum Perusahaan.....	3
I.1.3 Visi, Misi dan Nilai-Nilai Perusahaan	7
I.1.4 Struktur Kepemimpinan dan Manajemen Perusahaan	8
I.2 Sistem Produksi	9
I.2.1 Identifikasi Pemilihan Bahan Baku.....	9
I.2.2 Detail dan Proses Produksi	13
I.2.3 Sistem Pengendalian Proses dan Penjaminan Mutu Produk	23
I.2.4 Utilitas	26
I.2.5 Pengolahan Limbah.....	30
BAB II.....	39
MENGHITUNG NERACA MASSA, NERACA PANAS, DAN EFISIENSI TERMAL PADA BOILER UNIT 1 KAPASITAS 400 MW PT PLN INDONESIA POWER UBP SURALAYA	39
II.1 Latar Belakang.....	39
II.2 Tujuan.....	40
II.3 Tinjauan Pustaka	41



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



II.3.1 Definisi Boiler	41
II.3.2 Klasifikasi Boiler	42
II.3.3 Sistem Boiler	50
II.3.4 Sistem Kerja dan Komponen Utama Boiler Unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya	51
II.3.5 Klasifikasi Boiler Unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya	57
II.4 Data Lapangan	58
II.4.1 Data Primer	58
II.4.2 Data Sekunder	60
II.5 Metode	61
II.5.1 Neraca Massa	61
II.5.2 Neraca Panas	63
II.5.3 Efisiensi Termal Boiler	66
II.6 Hasil Pengolahan Data dan Pembahasan	66
II.6.1 Neraca Massa Boiler	66
II.6.2 Neraca Panas Boiler	67
II.6.3 Efisiensi Termal Boiler	68
II.6.4 Pembahasan	69
BAB III	72
KESIMPULAN	72
III.1 Kesimpulan	72
III.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	75



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1.2.1.1 Logo PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya	3
Gambar I.1.2.2.1 Peta Lokasi PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya	5
Gambar I.1.2.2.2. Layout PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya	6
Gambar I.1.4.1 Struktur Organisasi PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya	9
Gambar I.2.2.1.1 Proses Konversi Energi pada PLTU	14
Gambar I.2.2.2.1 Siklus Fluida Kerja Sederhana pada PLTU	16
Gambar I.2.2.3 PFD PLTU	19
Gambar I.2.4.1 Babcock and Wilcox Boiler	20
Gambar I.2.4.2 Turbin Uap	21
Gambar I.2.4.3 Skema Sederhana pada Kondensor	22
Gambar I.2.4.1 <i>Chlorination Plant</i> PLTU Suralaya	27
Gambar I.2.4.2 Flow Diagram Water Treatment Plant	30
Gambar II.3.2.1 <i>Fire Tube Boiler</i>	43
Gambar II.3.2.2 Bagian Utama <i>Fire Tube Boiler</i>	44
Gambar II.3.2.3 <i>Water Tube Boiler</i>	45
Gambar II.3.2.4 Boiler <i>Subcritical</i>	47
Gambar II.3.2.5 Siklus <i>Rankine</i> pada Boiler <i>Subcritical</i>	47
Gambar II.3.2.6 Boiler <i>Supercritical</i>	48
Gambar II.3.2.7 Siklus <i>Rankine</i> pada Boiler <i>Supercritical</i>	49
Gambar II.3.2.8 Boiler <i>Ultra-Supercritical</i>	50
Gambar II.3.4.1 <i>Economizer</i>	52
Gambar II.3.4.2 <i>Steam Drum Boiler</i>	53
Gambar II.3.4.3 Sistem Udara Pembakaran dan Gas Buang	55



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



DAFTAR TABEL

Tabel I.2.1.1 Kualitas Air Laut di Indonesia.....	10
Tabel I.2.1.2 Klasifikasi dan Sifat Fisik Batu Bara.....	11
Tabel II.4.1.1 Komponen Batu Bara	59
Tabel II.4.1.1 Data Operasi Boiler	60
Tabel II.4.2.1 <i>Heat Capacity of Gas</i>	61
Tabel II.4.2.2 <i>Heat Capacity of Liquid</i>	61
Tabel II.5.1.1 Komponen Analisa Neraca Massa pada Boiler.....	62
Tabel II.6.1.1 Neraca Massa Total Boiler	67
Tabel II.6.2.2 Neraca Panas Boiler	68



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



DAFTAR LAMPIRAN

PFD PLTU	76
<i>Heat Capacity of Liquid</i>	77
<i>Heat Capacity of Gas</i>	78
Tabel <i>Superheated Steam</i>	82
Tabel <i>Saturated Steam</i>	83
Perhitungan	84
Surat Diterima Kerja Praktik	101
Surat Tugas Kerja Praktik	103
Surat Keterangan Lulus Kerja Praktik	104
Lembar Penilaian B3	105
Dokumentasi	106



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



ABSTRAK

PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya merupakan perusahaan yang bergerak di bidang listrik. Pembangkit ini mempunyai 7 unit dengan kapasitas total sebesar 3400 MW. Unit pembangkitan ini beroperasi sejak tahun 1984 dan merupakan penyuplai kebutuhan listrik Jawa dan Bali. Energi listrik yang dihasilkan kemudian didistribusikan melalui SUTT 150 kV dan SUTET 500 kV.

PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) merupakan teknologi pembangkit yang memanfaatkan siklus rankine dimana energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi energi panas untuk memanaskan air yang kemudian berubah menjadi energi mekanik yang menggerakkan turbin kemudian berubah lagi menjadi energi listrik dalam generator. Boiler atau ketel uap adalah suatu bejana tertutup yang mengubah air menjadi uap atau *steam*. *Steam* hasil keluaran boiler merupakan *steam* berjenis *superheat* (uap kering). Boiler pada PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya merupakan boiler dengan jenis *subcritical*. Boiler jenis ini yang menjadi teknologi dominan pada Unit 1-4.

Perhitungan efisiensi termal boiler harus dilakukan secara berkala untuk mengetahui performa kinerja boiler sehingga dapat menghindari terjadinya kerusakan. Berdasarkan hasil perhitungan, didapat nilai neraca massa sebesar 1.422.888,6071 kg/jam, neraca panas sebesar 2.084.557.370,6002 kJ/jam, dan efisiensi termal sebesar 87,0365% yang masih termasuk kategori efisiensi termal yang baik untuk dioperasikan.

Kata kunci : boiler, steam, subcritical, efisiensi



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



BAB I

PROFIL PERUSAHAAN DAN SISTEM PRODUKSI

I.1 Profil Perusahaan

I.1.1 Sejarah Perusahaan

PT Indonesia Power didirikan pada tanggal 3 Oktober 1995 dengan nama awal PT PLN Pembangkitan Jawa Bali I (PT PJB I) yang kemudian berganti nama menjadi PT Indonesia Power pada tanggal 8 Oktober 2000. Perubahan nama ini bertujuan untuk menjadi perusahaan pembangkit tenaga listrik independen yang berorientasi pada bisnis murni. PT Indonesia Power merupakan salah satu anak perusahaan dari PT PLN (Persero) yang bergerak di bidang pembangkit tenaga listrik. PT Indonesia Power merupakan perusahaan pembangkit tenaga listrik terbesar di Indonesia yang memiliki enam Unit Pembangkitan (UP), dua Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan (UPJP), dua belas Unit Jasa Pembangkitan (UJP), dan satu Unit Jasa Pemeliharaan (UJH).

PT Indonesia Power didirikan untuk memenuhi permintaan listrik di Indonesia yang senantiasa terus berkembang. Permintaan listrik di Indonesia tidak hanya tentang kuantitas tetapi juga permintaan tentang kualitas yang harus semakin baik seiring berkembangnya zaman. PT Indonesia Power memiliki kemampuan untuk mengoperasikan dan memelihara berbagai jenis pembangkit listrik yang nantinya akan menciptakan pembangkit yang ramah dan bersahabat dengan lingkungan berkat perbaikan proses secara berkelanjutan dan inovasi dalam berbagai bidang sehingga menjadikan PT Indonesia Power menjadi penyedia energi listrik terpercaya di Indonesia.

Untuk memenuhi permintaan listrik di seluruh Indonesia, PT. Indonesia Power mendirikan anak perusahaan pada tahun 1997 dengan nama PT Artha Daya Coalindo, pada tahun 1998 didirikan PT Cogindo Daya Bersama dan pendirian anak perusahaan lagi yaitu PT Rekadaya



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Elektrika pada tahun 2000. Pada tahun 2005, PT Indonesia Power mendirikan anak perusahaan kembali bernama PT Indo Pusaka Berau dan pada tahun 2007 didirikan PT Indo Ridlatama Power. Pada tahun 2004, PT Indonesia Power mempertajam misi perusahaan untuk fokus pada bidang pembangkitan tenaga listrik dan pada tahun 2009, PT Indonesia Power mengembangkan usahanya pada bidang penyediaan jasa *Operation & Maintenance* (O&M). Lalu pada tahun 2015, PT Indonesia Power termasuk TOP 100 WCS. Hingga saat ini PT Indonesia Power telah memperoleh banyak penghargaan karena dedikasinya untuk terus berkembang menciptakan perusahaan yang ramah lingkungan.

PLTU Suralaya mempunyai kapasitas sebesar 3400 MW terdiri dari 7 Unit pembangkit dan 3 tahapan proses dalam pembangunannya.

Tahap I : 2×400 MW, dibangun pada bulan Mei 1980 sampai dengan Juni 1985. Untuk unit 1 beroperasi pada tanggal 4 April 1984 dan unit 2 beroperasi pada tanggal 26 Maret 1985.

Tahap II : 2×400 MW, dibangun pada bulan Juni 1985 sampai dengan bulan Desember 1986. Untuk unit 3 beroperasi pada tanggal 6 Februari 1989 dan unit 4 beroperasi pada tanggal 6 November 1989.

Tahap III : 3×600 MW, dibangun pada bulan Januari 1993. Untuk unit 5 beroperasi pada bulan Oktober 1996. Unit 6 beroperasi pada bulan April 1997 dan unit 7 beroperasi pada bulan Oktober 1997.

PLTU Suralaya dibangun oleh pemerintah Republik Indonesia yang dilaksanakan oleh PLN dengan sumber dana dari Anggaran Pendapatan Belanja dan Negara (APBN), Asosiasi Pengembang Listrik Nasional (APLN), *Asian Development Bank* (ADB), *International Bank for Reconstruction and Development* (IBRD), dan *export credit*.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Pembangunan diawali dengan studi kelayakan yang dimulai pada tahun 1976 oleh MONENCO (*Montreal Engineering Company*) suatu konsultan power plant dan sesuai dengan persetujuan pelayanan jasa teknik dengan perusahaan umum listrik negara yang ditandatangani tanggal 16 September 1976 dan dilaksanakan mulai bulan November 1976 sampai dengan bulan September 1977.

Suralaya Power Generation Unit (PGU) berlokasi di ujung barat Pulau Jawa, Provinsi Banten mengelola 7 unit Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utamanya. Dengan total kapasitas terpasang sebesar 3400 MW menjadikan Suralaya PGU sebagai unit terbesar di Indonesia yang dimiliki PT Indonesia Power. Pada tahun 2024, tepatnya pada tanggal 19 Januari 2024 nama PT PLN Indonesia Power Suralaya PGU berganti nama menjadi PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya. Dimana perubahan itu terjadi pergantian nama yang awalnya PGU (*Power Generation Unit*) menjadi UBP (Unit Bisnis Pembangkitan) Suralaya (PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya).

I.1.2 Gambaran Umum Perusahaan

I.1.2.1 Logo dan Arti Logo PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Gambar I.1.2.1.1 Logo PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya

(Sumber : *PT PLN Indonesia Power*)

Bentuk logo PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya dapat dilihat pada Gambar I.1.2.1.1 dimana masing – masing bentuk dan warna dari



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



elemen yang tersusun dalam logogram memiliki makna visual yang terinspirasi dari cita dan citra insan PLN sebagai sumber daya utama pengelola bisnis perusahaan. Adapun makna dan filosofi dari setiap komponen logo yang diuraikan sebagai berikut:



Persegi

Bidang persegi melambangkan bahwa PLN merupakan wadah atau organisasi yang terorganisir dengan sempurna. Warna kuning menggambarkan pencerahan seperti yang diharapkan PLN bahwa listrik mampu menciptakan pencerahan bagi kehidupan masyarakat. Kuning juga melambangkan semangat yang menyala-nyala yang dimiliki setiap insan yang berkarya di PLN.



Petir atau Kilat

Petir atau kilat melambangkan tenaga listrik yang terkandung di dalamnya sebagai produk jasa utama yang dihasilkan oleh PLN. Selain itu, petir juga mengartikan kerja cepat dan tepat para insan PLN dalam memberikan solusi terbaik bagi pelanggannya. Warna merah memberikan representasi kedewaan PLN selaku perusahaan listrik pertama di Indonesia dan dinamisme gerak laju PLN beserta insan perusahaan, serta keberanian dalam menghadapi tantangan perkembangan zaman.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Tiga Gelombang (Ujung Gelombang Menghadap Ke Bawah)

Tiga gelombang memiliki arti gaya rambat energi listrik yang dialirkan oleh tiga bidang usaha utama yang digeluti oleh PLN yaitu pembangkitan, penyaluran dan distribusi yang seiring sejalan dengan kerja keras pada insan PLN guna memberikan pelayanan terbaik bagi pelanggannya. Warna biru melambangkan kesetiaan dan pengabdian pada tugas untuk menuju dan mencapai kemakmuran serta kesejahteraan rakyat Indonesia lalu keandalan yang dimiliki insan PLN dalam memberikan pelayanan terbaik bagi para pelanggannya.

I.1.2.2 Lokasi PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya

PTLU Suralaya terletak di desa Suralaya, Kecamatan Pulo Merak, Serang Banten. Lokasi PLTU ini terletak di 120km ke arah barat dari Jakarta menuju pelabuhan Ferry Merak, dan 7 km ke arah utara dari Pelabuhan Merak. Terkait dengan peta lokasi dapat dilihat pada Gambar I.1.2.2.



Gambar I.1.2.2.1 Peta Lokasi PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya

(Sumber : PT. Indonesia Power UBP Suralaya)

Luas area PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya adalah ± 250 Ha. Serta *Layout* PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya dapat dilihat pada Gambar I.1.2.2.2.



Gambar I.1.2.2.2. Layout PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya
(Sumber: PT Indonesia Power Suralaya)

Selain itu pertimbangan pemilihan lokasi pembangunan pembangkit listrik di Pulau Jawa adalah karena berdasarkan *monitoring* beban listrik se-Indonesia, kebutuhan listrik di Pulau Jawa adalah yang terbesar dibandingkan wilayah lainnya.

Berdasarkan studi kelayakan, berikut beberapa pertimbangan bahwa Suralaya dapat dipilih menjadi lokasi yang paling baik untuk pendirian PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya diantaranya adalah:

- Tersedianya tanah dataran yang cukup luas, dimana tanah tersebut dipandang tidak produktif untuk pertanian.
- Tersedianya pantai dan laut yang cukup dalam, tenang dan bersih. Hal ini guna untuk pemasokan bahan baku dan ketersediaan pasokan air, baik itu air pendingin maupun air proses.
- Karena adanya faktor poin dua di atas, maka akan membantu atau memperlancar pengangkutan bahan bakar dan berbagai macam peralatan berat yang masih diimpor dari luar negeri.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



- Jalan masuk ke lokasi tidak terlalu jauh dan sebelumnya sudah ada jalan namun dengan kondisi yang belum begitu baik.
- Karena jumlah penduduk di sekitar lokasi masih relatif sedikit sehingga tidak perlu adanya pembebasan tanah milik penduduk guna pemasangan saluran transmisi kelistrikan.
- Dari hasil survei sebelumnya, diketahui tanah di Suralaya memungkinkan untuk didirikan bangunan yang besar dan bertingkat.
- Tersedianya tempat yang cukup untuk penimbunan limbah abu dari sisa pembakaran batu bara.
- Tersedianya tenaga kerja yang cukup untuk memperlancar pelaksanaan pembangunan.
- Dampak lingkungan yang baik karena terletak di antara pelabuhan dan laut.
- Menimbang kebutuhan beban di pulau Jawa merupakan terbesar maka tepat apabila dibangun suatu pembangkit listrik dengan daya yang besar di pulau Jawa.

I.1.3 Visi, Misi dan Nilai-Nilai Perusahaan

Sebagai perusahaan pembangkit listrik di Indonesia dan dalam rangka menyongsong era persaingan global maka PT. Indonesia Power mempunyai visi dan misi untuk mencapai satu tujuan. Selain mempunyai visi dan misi perusahaan juga mempunyai nilai-nilai yang dianut. Berikut adalah visi, misi, dan nilai-nilai dari PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya sebagai berikut:

a. Visi

Menjadi Perusahaan Listrik terkemuka dan berkelanjutan di kawasan Asia Tenggara maupun lainnya *“To be a Leading and Sustainable Power Company in Southeast Asia and Beyond”*.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



b. Misi

Menyediakan solusi energi yang hijau, inovatif dan terjangkau yang melampaui harapan pelanggan “*Providing Reliable, Innovative, and Enviromental Friendly Energy Solutions, Beyond Customer Expetations*”.

c. Nilai-nilai Perusahaan

PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya menerapkan budaya perusahaan “AKHLAK” yang harus dijalankan oleh setiap karyawannya. Adapun nilai-nilai yang terkandung pada perusahaan PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya adalah sebagai berikut:

1. Amanah
2. Kompeten
3. Harmonis
4. Loyal
5. Adaptif
6. Kolaboratif

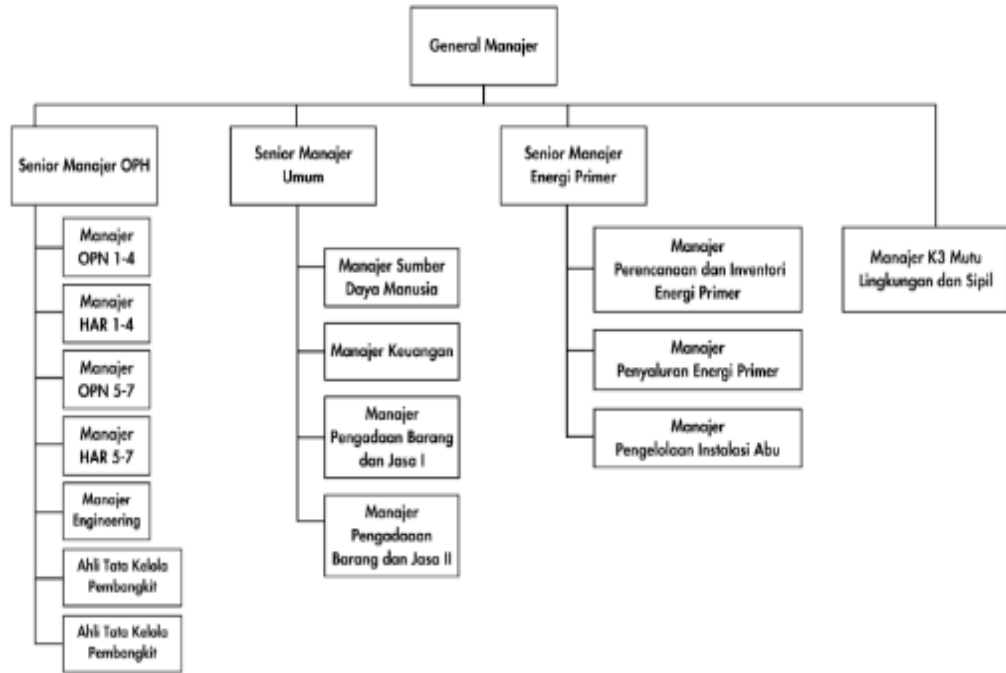
I.1.4 Struktur Kepemimpinan dan Manajemen Perusahaan

Struktur organisasi yang baik sangat diperlukan dalam suatu perusahaan, semakin besar perusahaan tersebut semakin kompleks organisasinya. Dalam struktur organisasi PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya dimulai dengan pucuk pimpinan yang dipegang oleh seorang *General Manager* yang dibantu oleh *Senior Manager* dan *Manager Bidang*. Adapun secara lengkap, struktur organisasi PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya dapat dilihat pada Gambar I.1.4.1.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Gambar I.1.4.1 Struktur Organisasi PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya

I.2 Sistem Produksi

I.2.1 Identifikasi Pemilihan Bahan Baku

PT PLN Indonesia Power Suralaya dirancang sebagai perusahaan pembangkit listrik tenaga uap atau PLTU. Adapun bahan baku utama dan bahan baku pendukung sebagai berikut :

a. Bahan Baku Utama

1. Air laut

PLTU Suralaya menggunakan sumber air baku yang berasal dari laut untuk memenuhi kebutuhan proses produksinya. Air laut banyak mengandung garam mineral seperti Ca, Cl, Mg, dan zat lainnya. Hal itu ditandai dengan nilai konduktivitas yang tinggi, bahkan mencapai 70.000 us/cm yang mana konduktivitas tersebut sebanding dengan garam mineral yang terkandung dalam air laut di Indonesia. Maka diperlukan pengolahan air terlebih dahulu sebelum digunakan untuk



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



proses. Pengolahan air mula-mula dilakukan *Pre-Treatment* dan *Water Treatment Plant* (WTP). Parameter utama yang sering dijadikan bahan pertimbangan sebelum air laut tersebut diolah adalah *Total Dissolved Solid* (TDS) atau *conductivity*, derajat keasaman (pH), alkalinitas, dan *hardness*. Kualitas air laut di Indonesia dapat dilihat pada Tabel I.2.1.1.

Tabel I.2.1.1 Kualitas Air Laut di Indonesia

Test Items	Unit	Result	Test Items	Unit	Result
Temperature	°C	28	Carbonate (CO ₃)	mg/L	0
Electric Conductivity (EC)	µs/m	70.232	Chloride (Cl)	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
Arsenic (As)	mg/L	<0,001	Total Dissolved Solid (TDS)	mg/L	34,800
Manganese (Mn)	mg/L	<0,03	Total Solid	mg/L	34,800
Magnesium (Mg)	mg/L	1.243,0	Total Suspended Solid (TSS)	mg/L	4,0
Mercury (Hg)	mg/L	<0,001	Free CO ₂	mg/L	<0,88
Cadmium (Cd)	mg/L	<0,003	Oil & Grease	mg/L	<0,5
Lead (Pb)	mg/L	<0,004	Silica (SiO ₂)	mg/L	0,93
Total Chromium (Cr)	mg/L	<0,08	M.O Alkalinity as CaCO ₃	mg/L	109,5
Nikel (Ni)	mg/L	<0,06	P.P Alkalinity as CaCO ₃	mg/L	0
Potassium (K)	mg/L	323	Calcium Hardness	mg/L	641,1
Fluoride (F)	mg/L	1,8	Total Hardness as CaCO ₃	mg/L	5609,5
Sodium (Na)	mg/L	8.235,0	Sulfide (H ₂ S)	mg/L	<0,02
Zinc (Zn)	mg/L	<0,03	Chlorine (Cl ₂)	mg/L	<0,02
Bicarbonate (HCO ₃)	mg/L	133,9			

(Sumber: Fahmi, 2022)



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



2. Batu bara

Batu bara digunakan sebagai bahan bakar utama yang digunakan dalam pembakaran untuk menghasilkan energi panas yang dibutuhkan oleh *boiler*. Batu bara yang digunakan dalam proses pembakaran sudah berupa serbuk-serbuk halus, hal ini dilakukan karena tingkat kehalusan batu bara mempengaruhi waktu penyalaan dan pembakaran. Jenis batu bara yang digunakan adalah jenis *subbituminous* dengan nilai kalor 5000-5500kcal/kg.

Terkait dengan klasifikasi dan sifat fisik batu bara dapat dilihat pada Tabel I.2.1.2.

Tabel I.2.1.2 Klasifikasi dan Sifat Fisik Batu Bara

Tipe Batu Bara	Carbon (%)	Hidrogen (%)	VM (%)	FC (%)	CV (Btu/lb)
<i>Lignite</i>	73-78	5.2-5.6	45-50	50-55	<8300
<i>Sub-Bituminous</i>	78-82.5	5.2-5.6	40-45	55-60	8300-11500
<i>High Volatile Bituminous</i>	82.5-87	5.0-5.6	30-40	60-70	11500-14000
<i>Medium Volatile Bituminous</i>	87-92	4.6-5.2	20-30	70-80	>14000
<i>Low Volatile Bituminous</i>	91-92	4.2-4.6	15-20	80-85	>14000
<i>Anthracite</i>	95-98	2-3.8	5-10	91-95	>14000

PT PLN Indonesia Power Suralaya mendapatkan batu bara tersebut dari beberapa pemasok yang ada di pulau Sumatra dan Kalimantan. Pemasok batu bara dibagi menurut panjang kontrak dengan Indonesia Power, yaitu kontrak jangka panjang, menengah,



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



dan pendek. Lama kontrak jangka panjang diatas 10 tahun, jangka menengah 5-9 tahun, dan jangka pendek dibawah 5 tahun untuk para pemasok batu bara tersebut. Berikut beberapa pemasok batu bara PLTU Suralaya:

- PT Adaro
- PT Bukit Asam
- PT Kaltim Prima *Coal*

Untuk mengetahui kandungan zat-zat yang terkandung dalam batu bara dilakukan analisa proksimasi dan analisa ultimasi. Analisa proksimasi adalah analisa batu bara yang paling sederhana dan didapat nilai fraksi massa dari kandungan air, abu, karbon tetap, dan zat-zat *volatile* dalam batu bara. Analisa ultimasi didapat nilai kandungan karbon, hidrogen, sulfur, oksigen, dan nitrogen sekaligus dengan nilai pembakarannya.

Ada beberapa sifat-sifat batubara yang harus diperhatikan ketika memilih batubara yang akan digunakan sebagai bahan bakar Sifat-sifat tersebut adalah sebagai berikut:

- Kadar Sulfur harus diperhatikan karena sulfur dioksida (SO_2) yang terbentuk pada waktu pembakaran merupakan polutan utama atmosfer.
- Daya tahan terhadap cuaca merupakan ukuran tentang kemampuan batu bara tetap dalam keadaan terbuka terhadap unsur-unsur lingkungan tanpa mengalami pecah-pecah yang berlebihan. Bila batu bara mengalami pecah-pecah yang berlebihan maka akan mudah terbang oleh adanya hujan.
- HGI (*Hard Grove Index*) merupakan salah satu sifat yang penting dari batu bara. Sifat ini memengaruhi daya yang diperlukan untuk menggiling batu bara dengan ukuran kehalusan tertentu. Batu bara dengan nilai HGI yang rendah akan membutuhkan daya yang besar



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



untuk menggiling batubara untuk menghasilkan kehalusan tertentu agar bisa lolos saringan dengan ukuran tertentu. Contohnya di PLTU Suralaya minimal 70% batu bara harus lolos saringan 200 mesh.

- AFT (*Ash Fusion Temperature*) adalah tercapainya titik leleh abu hasil pembakaran batubara pada temperatur tertentu dimana abu akan meleleh dan akan berubah menjadi *Fouling* dan *Slagging*.

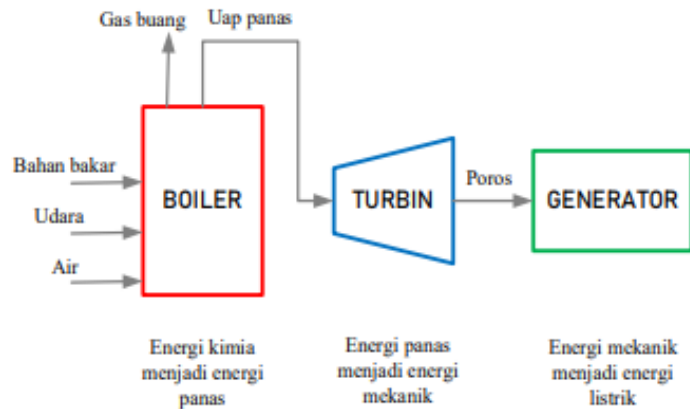
b. Bahan Baku Pendukung

PT. Indonesia Power juga memerlukan bahan baku pendukung yang digunakan untuk mendukung kegiatan proses produksi dan sebagainya. Solar atau *High Speed Diesel* (HSD) digunakan sebagai bahan bakar *ignitor* atau pemantik pada penyalaan awal dengan bantuan udara panas bertekanan dan bahan bakar residu atau *Main Fuel Oil* (MFO) digunakan sebagai bahan bakar cadangan apabila perusahaan sedang mengalami kekurangan pasokan batubara.

I.2.2 Detail dan Proses Produksi

I.2.2.1 Teori Dasar PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan uap kering untuk memutar turbin. Kemudian energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin akan dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Umumnya PLTU menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya.



Gambar I.2.2.1.1 Proses Konversi Energi pada PLTU

Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu:

1. Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi untuk memanaskan air sehingga berubah fasa menjadi uap.
2. Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dengan cara mengalirkan uap kering ke dalam turbin sehingga terjadi putaran poros.
3. Ketiga, energi mekanik pada putaran poros turbin akan menggerakkan generator sehingga akan menghasilkan energi listrik.

Siklus kerja di PLTU menggunakan siklus *rankine*. Kapasitas yang dihasilkan oleh PLTU Suralaya cukup besar sehingga cukup untuk pasokan listrik di Jawa dan Bali. Penyaluran energi listrik pada PLTU Suralaya melalui Interkoneksi Jawa-Bali Bali melalui saluran udara tegangan extra tinggi 500 kV dan sebagian lainnya disalurkan ke gardu induk Cilegon dan daerah Industri Bojonegara melalui saluran udara tegangan tinggi 150 kV.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



I.2.2.2 Prinsip Kerja PLTU

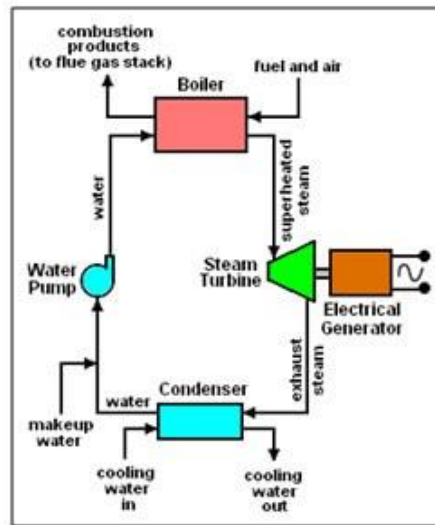
Pada prinsipnya, PLTU memiliki berbagai macam dan siklus yang berkesinambungan agar dapat menghasilkan energi listrik. Siklus aliran yang digunakan pada PLTU ialah siklus tertutup (*siklus rankine*), yaitu siklus uap-air-uap. Dimana siklus tertutup ini menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang.

PLTU Suralaya menggunakan bahan baku air laut, sehingga air laut tersebut perlu diolah untuk menghilangkan garam-garam mineral yang terkandung di dalamnya. Pengolahan dilakukan dengan beberapa tahapan yang panjang sehingga dapat menghasilkan air murni. Selanjutnya, air yang sudah melewati beberapa tahapan kemudian akan digunakan untuk menjadi fluida pada siklus tertutup.

Gambar I.2.2.2.1 menunjukkan siklus fluida kerja pada PLTU dengan siklus tertutup. Berikut adalah uraiannya:

1. Pertama, air dipompa ke dalam boiler hingga terisi penuh kemudian air dipanaskan dengan gas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga air berubah menjadi uap.
2. Kedua, uap kering hasil produksi boiler dialirkan dengan tekanan dan temperatur tertentu untuk memutar turbin uap sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
3. Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin yang berputar menghasilkan energi listrik akibat dari perputaran medan magnet pada kumparan, sehingga pada saat turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal *output* generator.
4. Keempat, uap basah hasil produksi boiler dan uap bekas hasil keluaran turbin akan masuk ke dalam kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin, sehingga uap akan berubah kembali menjadi air yang disebut dengan air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan kembali sebagai air umpan boiler.

5. Demikian siklus ini berulang secara terus-menerus.



Gambar I.2.2.2.1 Siklus Fluida Kerja Sederhana pada PLTU

(Sumber: Sudirmanto,2020)

I.2.2.3 Proses Produksi

Pada dasarnya pembangkitan energi listrik merupakan proses konversi energi. Proses dimulai dari energi kimia yang mengalami reaksi pembakaran dan menghasilkan panas yang kemudian dipakai untuk memanaskan air menjadi uap. Uap tersebut kemudian akan menggerakkan sudu-sudu turbin sehingga menjadi energi listrik.

PLTU Suralaya telah direncanakan dan dibangun untuk menggunakan batu bara utamanya. Sedangkan sebagai bahan bakar cadangan menggunakan bahan bakar residu, *Main Fuel Oil* (MFO) dan juga menggunakan solar yaitu *High Speed Diesel* (HSD) sebagai bahan bakar *Ignitor* atau pemantik pada penyalaan awal dengan bantuan udara panas bertekanan. Batu bara diperoleh dari tambang Bukit Asam, Sumatera Selatan dari jenis *Subbituminous* dengan nilai kalor 5000-5500 kkal/kg.

Transportasi batu bara dari mulut tambang Tanjung Enim ke pelabuhan Tarahan dilakukan dengan kereta api. Selanjutnya dibawa



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



dengan kapal laut ke *Jetty* Suralaya. Proses produksi pada PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya dapat dilihat pada Gambar II.1.4.2. Batu bara yang dibongkar di kapal *Coal Jetty* dengan menggunakan *Ship Unloader* atau dengan peralatan pembongkaran kapal itu sendiri, dipindahkan ke *hopper* dan selanjutnya diangkut dengan *conveyor* menuju penyimpanan sementara (*temporary stock*) dengan melalui *Telescopic Chute* atau dengan menggunakan *Stacker/Reclaimer* atau langsung batu bara tersebut ditransfer melalui *Junction House* ke *Scrapper Conveyor* lalu ke *Coal Bunker*, seterusnya ke *Coal Feeder* yang berfungsi mengatur jumlah aliran ke *Pulverizer* dimana batu bara digiling dengan size sesuai kebutuhan menjadi serbuk yang halus.

Serbuk batu bara ini dicampur dengan udara panas dari *Primary Air Fan* dan dibawa ke *Coal Burner* yang menyemburkan batu bara tersebut ke dalam ruang bakar untuk proses pembakaran dan terbakar seperti gas untuk mengubah air menjadi uap. Udara pembakaran yang digunakan pada ruang bakar diapasok dari *Forced Draft Fan (FDF)* yang mengalirkan udara pembakaran melalui *Air Heater*. Hasil proses pembakaran yang terjadi menghasilkan limbah berupa abu dalam perbandingan 14:1. Abu yang jatuh ke bagian bawah *Boiler* secara periodic dikeluarkan dan dikirim ke *Ash Valley*. Gas hasil pembakaran dihisap keluar dari *Boiler* oleh *Induced Draft Fan (IDF)* dan dilewatkan melalui *Electrostatic Precipitator* yang menyerap 99,5 abu terbang dan debu dengan sistem *electrode*, lalu dihembuskan ke udara melalui cerobong atau *stack*.

Abu dan debu kemudian dikumpulkan dan diambil dengan alat *Pneumatic Gravity Conveyor* yang digunakan sebagai material pembuat jalan, semen, dan bahan bangunan (*conblok*). Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar, diserap oleh pipa-pipa penguap (*water walls*) menjadi uap jenuh atau uap basah yang kemudian dipanaskan di *Super Heater (SH)* yang menghasilkan uap kering. Kemudian uap tersebut



TUGAS AKHIR

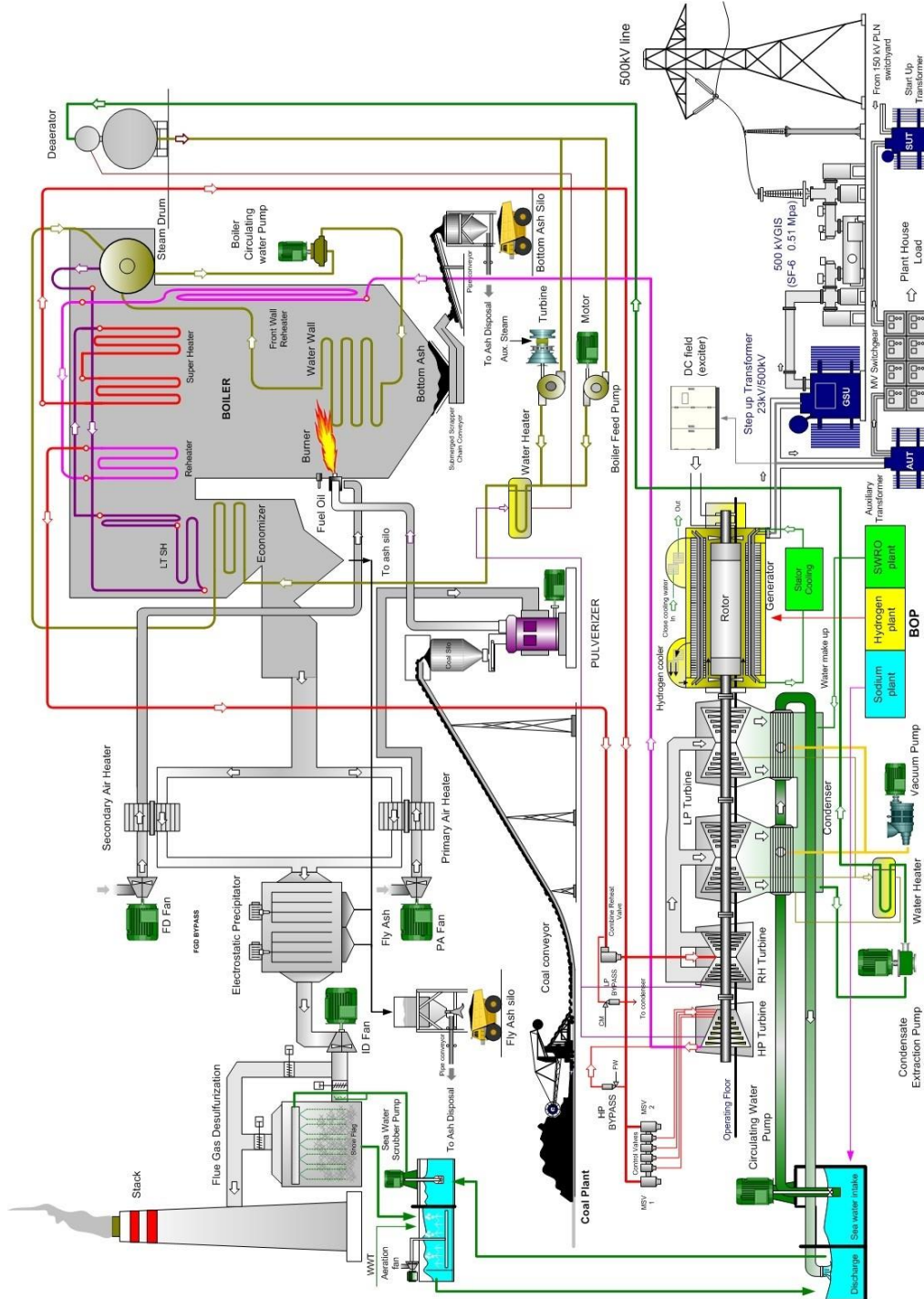
Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



dialirkan ke turbin tekanan tinggi *High Pressure Turbine*, dimana uap tersebut diexpansikan melalui *Nozzle* ke sudu-sudu turbin. Tenaga dari uap mendorong sudu-sudu turbin dan membuat turbin berputar. Setelah melalui HP Turbine, uap dikembalikan ke dalam Boiler untuk dipanaskan ulang di *Reheater* guna menambah kualitas panas uap sebelum uap tersebut digunakan kembali di *Intermediate Pressure (IP) Turbine* dan *Low Pressure (LP) Turbine*.

Sementara itu, uap bekas dikembalikan menjadi air laut di *Condenser* dengan pendinginan air laut atau *Sea Water* yang dipasok oleh *Circulating Water Pump*. Air kondensasi akan digunakan kembali sebagai air pengisi Boiler. Air dipompakan dari *Condenser* dengan menggunakan *Condensate Extraction Pump*, pada awalnya dipanaskan melalui *Low Pressure Heater*, dinaikkan ke *Dearator* untuk menghilangkan gas-gas yang terkandung dalam air. Air tersebut kemudian dipompakan oleh *Boiler Feed Pump* melalui *High Pressure Heater*, dimana air tersebut dipanaskan lebih lanjut sebelum masuk ke dalam Boiler pada *Economizer*, kemudian air masuk ke *Steam Drum*. Siklus air dan uap ini berulang secara terus menerus selama unit beroperasi.

Poros turbin dikopel dengan *Rotor Generator*, maka kedua poros memiliki jumlah putaran yang sama. Ketika telah mencapai putaran nominal 3000 rpm, pada *Rotor Generator* dibuatlah magnetasi dengan *Brushless Excitation System* dengan demikian *Stator Generator* akan membangkitkan tenaga listrik dengan 23 kV. Listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan ke *Generator Transformer* untuk dinaikkan tegangannya menjadi 500 kV. Sebagian besar listrik tersebut disalurkan ke sistem jaringan terpadu (Interkoneksi) se-Jawa Bali melalui saluran udara tegangan extra tinggi 500 kV dan sebagian lainnya disalurkan ke gardu induk Cilegon dan daerah Industri Bojonegara melalui saluran udara tegangan tinggi 150 kV.



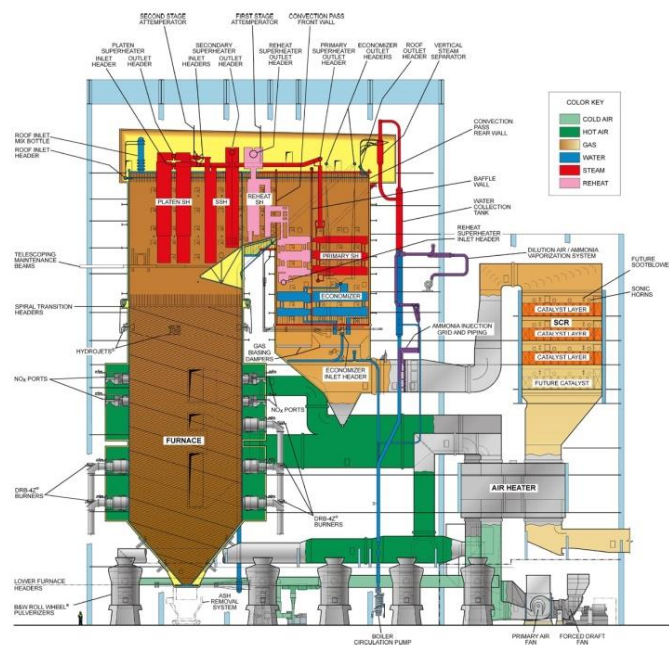
Gambar I.2.2.3 PFD PLTU

I.2.4 Komponen Utama PLTU

A. Boiler

Boiler adalah suatu bejana tertutup yang berfungsi untuk merubah air menjadi uap. *Boiler* yang digunakan di PLTU Suralaya adalah jenis boiler *subcritical* seperti Gambar I.2.4.1 *Boiler* ini terdiri dari sebuah tabung yang di dalamnya terdapat air. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan panas hasil pembakaran bahan bakar. Air dipanaskan dengan cara dibakar dengan batu bara. Pembakaran dilakukan secara kontinyu di dalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar.

Uap yang dihasilkan boiler adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. *Boiler* yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan *water tube boiler* (boiler pipa air).



Gambar I.2.4.1 Babcock and Wilcox Boiler

(Sumber: *Manual Book of Babcock and Wilcox*)



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Pada unit pembangkit, boiler juga biasa disebut dengan *steam generator* (pembangkit uap) mengingat arti kata *boiler* hanya pendidih, sementara pada kenyataannya dari boiler dihasilkan uap *superheat* bertekanan tinggi.

B. Turbin

Turbin uap berfungsi untuk merubah energi panas yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Uap dengan tekanan dan temperatur tinggi mengalir melalui nosel sehingga kecepatannya naik dan mengarah dengan tepat untuk mendorong sudu-sudu turbin yang dipasang pada poros. Akibatnya poros turbin bergerak menghasilkan putaran (energi mekanik). Uap yang telah melakukan kerja di turbin tekanan dan temperatur turun hingga kondisinya menjadi uap basah. Uap keluar turbin ini kemudian dialirkan kedalam kondensor untuk didinginkan agar menjadi air kondensat, sedangkan tenaga putar yang dihasilkan digunakan untuk memutar generator. Turbin yang digunakan di PLTU Suralaya dapat dilihat pada Gambar I.2.4.2.

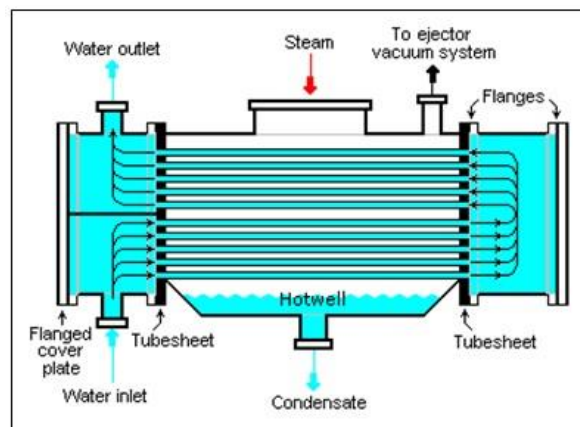


Gambar I.2.4.2 Turbin Uap

(Sumber: Dokumentasi Perusahaan)

C. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin (uap yang telah digunakan untuk memutar turbin) untuk diubah menjadi cair kembali. Sehingga air kondensasi ini siap dipakai menjadi air umpan boiler (*water feed boiler*). Skema sederhana kondensor dapat dilihat pada Gambar I.2.4.3.



Gambar I.2.4.3 Skema Sederhana pada Kondensor

(Sumber : Alief. 2013)

D. Generator

Generator adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Tenaga mekanis disini digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet ataupun sebaliknya memutar magnet di antara kumparan kawat penghantar. Penggerak mekanis pada generator biasanya dilakukan oleh turbin melalui uap.

E. Transformer

Transformer merupakan alat yang berfungsi untuk menaikkan tegangan dari generator agar sesuai dengan jaringan yang dimiliki oleh PLN (persero).



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



I.2.3 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. Adapun macam-macam instrumen dan alat yang digunakan yaitu sebagai berikut :

a. *Temperature Control*

Merupakan pengendalian untuk mengontrol suhu pada rangkaian boiler yang mengatur suhu air untuk meminimalisir penurunan temperatur pada boiler dan menghasilkan perubahan awal yang besar.

b. *Level control*

Merupakan pengendalian untuk mengontrol level, karena produk pada *water treatment plant* maupun *waste water treatment plant* ialah liquid (air) sehingga mampu untuk mengontrol level pada tangki. Alat yang digunakan ialah *water level meter*.

c. *Pressure control*

Merupakan pengendalian untuk mengontrol tekanan. Alat yang digunakan ialah *pressure gauge*.

d. *Flow control*

Merupakan pengendalian untuk mengontrol aliran, pada *water treatment plant* terdapat beberapa jenis *flow meter*.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



e. Ampere control

Merupakan pengendalian untuk mengontrol kinerja alat saar melalui transmitter.

f. pH control

Merupakan pengendalian untuk mengontrol pH pada *water treatment plant* maupun *waste water treatment plant*. Alat yang digunakan ialah pH meter.

2. Penjaminan Mutu Produk

Untuk mendapatkan kualitas *steam* sesuai dengan yang diinginkan, maka diperlukan adanya 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 batu bara guna

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 *daerator*, *economizer*, *separator*, *main steam*, dan *reheated steam*. Dari beberapa alat pada sistem kerja boiler tersebut perlu dilakukan *quality control* berupa menganalisa air yang ada pada air sistem kerja boiler tersebut.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



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 dengan parameter yang telah ditentukan atau tidak. Ataupun perlu dilakukannya regenerasi pada proses demineralisasi pada *Water Treatment Plant*. Analisa yang dilakukan berupa analisa pH, *conductivity*, *turbidity*, *chlorine*, silica, SDI dan TSS.

c. Analisa Batubara

Analisa batu bara dilakukan untuk mengetahui kualitas batu bara 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 batu bara pada kondisi berat.

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 batu bara makin banyak kandungan gas *volatile*.

4) Total Sulfur

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



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



5) Nilai Kalor

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

I.2.4 Utilitas

Pembangkit Listrik Tenaga Uap sangat bergantung dengan air dan uap baik sebagai media penggerak turbin, media penukar panas, maupun kegunaan lainnya. Sebelum air dipanaskan atau dibakar dalam boiler, air itu sendiri harus dimurnikan terlebih dahulu agar nantinya tidak menimbulkan korosi dan pergerakan pada siklus PLTU. Air baku PLTU Suralaya diambil dari air laut dimana air tersebut akan dimurnikan dengan alat yang biasa disebut desalination plant, RO (*Reverse Osmosis*), demineralisasi, dan jenis lainnya. Berikut adalah tahapan proses pengolahan air sebelum menjadi air proses:

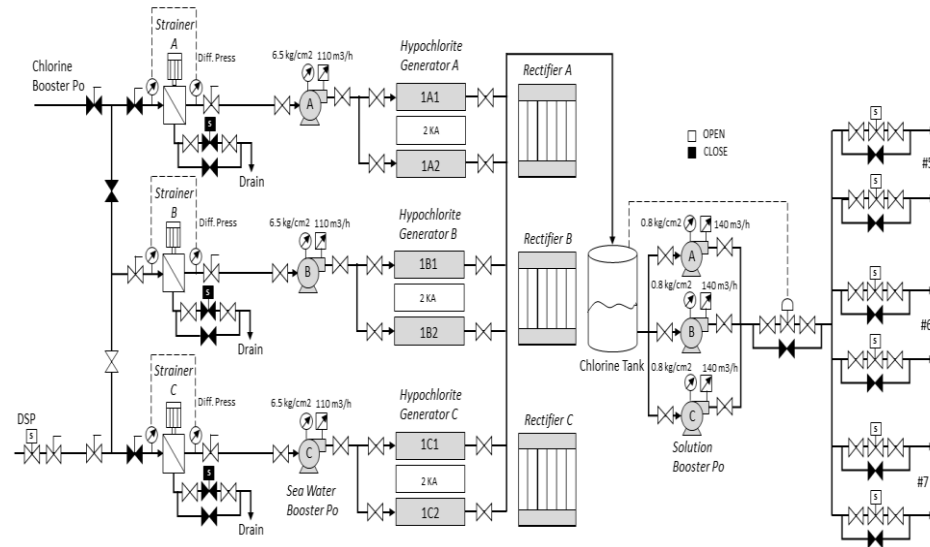
A. *Raw Water Intake* (Pengambilan Air Laut)

Pasokan air pada PLTU Suralaya berasal dari air laut namun air laut tersebut tidak bisa langsung dimasukkan ke alat sehingga perlu adanya beberapa proses. PLTU Suralaya memiliki tempat untuk penampungan air laut yang sudah tenang tidak ada ombak karena sudah melewati pemecah ombak. Tahapan *pre-treatment* dari air laut melewati Intake Canal yang merupakan saluran untuk mengambil air langsung dari laut. Di dalam intake canal biasanya masih terdapat banyak pengotor seperti lumpur, sampah plasti, biota laut, dan lainnya. Selanjutnya air laut akan melewati *Bar Screen* yang merupakan tempat penyaringan air untuk pertama kali setelah masuk melalui *Intake Canal*.

B. *Chlorination Plant*

Chlorination Plant adalah suatu plant yang berfungsi untuk memproduksi sodium hypochlorite secara kontinu yang bertujuan untuk melemahkan biota-biota laut agar tidak menempel dan tidak

berkembang biak pada pipa-pipa kondensor dengan menginjeksikan larutan tersebut ke dalam air laut. *Chlorination Plant* pada PLTU Suralaya dapat dilihat pada Gambar I.2.4.1



Gambar I.2.4.1 *Chlorination Plant* PLTU Suralaya

(Sumber: PLTU Suralaya)

C. Desalination Plant

Unit desalinasi adalah pengolahan air laut menjadi air tawar. Pada umumnya *desalination plant* terdapat beberapa jenis berdasarkan pemurniannya, ada yang tipe *distillation* dan ada juga tipe *membrane*. Fungsi dari *distillate water* adalah sebagai bahan baku *demin plant*. Untuk *desalination plant* ada dua jenis dalam cara memproses atau terjadinya penguapan. Pertama dengan cara *multi stage flash evaporator* (MSF) dimana air yang akan diproses dalam pemanas yang disebut *brine heater*. Kedua dengan cara *multi effect distillation* (MED) dimana uap yang fungsinya sebagai pemanas dialirkan dalam pipa untuk menguapkan air dalam *chamber* sehingga tidak dibutuhkan temperature uap lebih tinggi sebagaimana pada sistem MSF.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



PLTU Suralaya menggunakan metode *multi stage flash evaporator*. Proses ini bekerja berdasarkan prinsip penguapan bertahap dan kondensasi uap air pada tekanan yang semakin rendah. Sebelum melalui proses desalinasi, air laut akan melalui proses penyaringan melalui *screen* dan proses *chlorinasi*. Proses penyaringan melalui *screen* ini dimaksudkan untuk memisahkan air laut dari kotoran-kotoran sampah ataupun binatang-binatang yang relatif besar. Sedangkan proses *chlorinasi* berfungsi untuk melemahkan binatang-binatang yang lolos dari proses penyaringan melalui *screen*, agar binatang-binatang tersebut tidak berkembang biak pada proses selanjutnya. Berikut ini adalah rangkaian proses desalinasi:

1. Pengambilan air laut
2. *Pre-treatment* : air laut disaring dan diolah untuk menghilangkan kotoran dan zat berbahaya sebelum proses desalinasi.
3. Pemanasan : air laut dipanaskan hingga sekitar 100°C menggunakan uap panas dari turbin.
4. *Flashing Chambers* : air laut panas dialirkan ke serangkaian ruangan vakum.
5. Penguapan bertahap : di setiap *flashing chambers*, tekanan diturunkan menyebabkan sebagian air laut menguap (*flashing*) menjadi uap air.
6. Kondensasi : uap air yang dihasilkan bersentuhan dengan dinding dingin *flashing chambers* yang kemudian mengembun dan dikumpulkan sebagai air tawar.
7. Pengulangan : air laut yang terisisa dengan konsentrasi garam yang lebih tinggi, dialirkan ke *flashing chamber* berikutnya.
8. Pembuangan air asin : air asin pekat (*brine*) yang tersisa dibuang kembali ke laut.

D. *Water Treatment Plant*

Water Treatment Plant dikenal juga dengan *demineralizer*, bertujuan untuk menghilangkan mineral-mineral (anion dan kation) yang ada dalam *fresh water* dengan proses *ion exchanger* untuk menghasilkan



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya

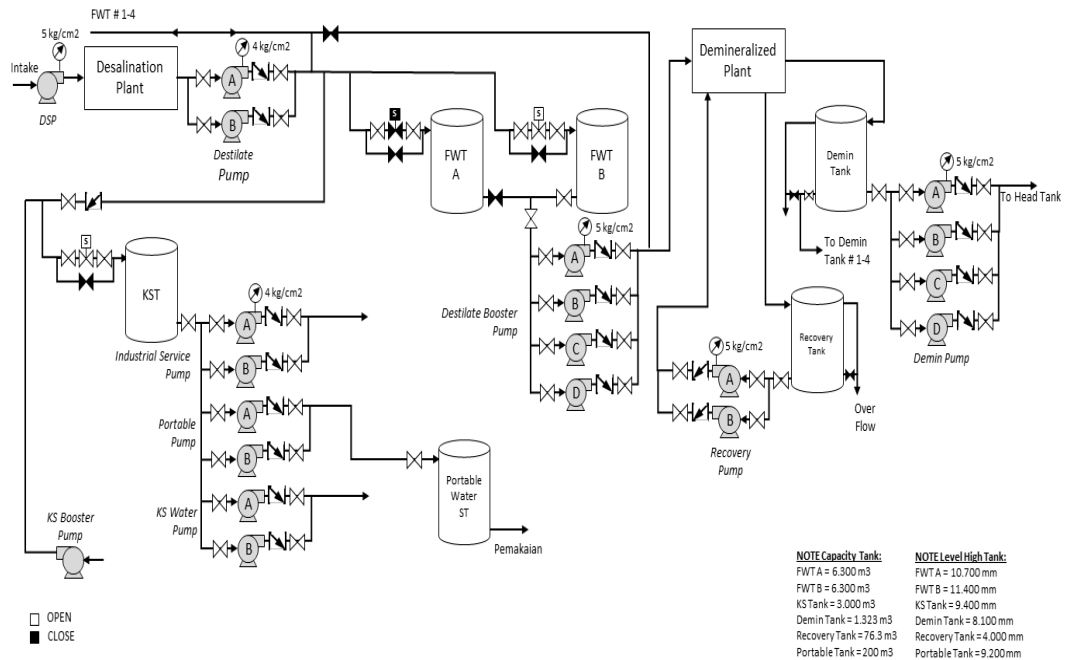


air proses bagi *boiler*. *Fresh water* berasal dari *Desal plant* dan KSWTP yang memiliki konduktivitas max 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ untuk air dari *Desal plant* dan 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dari KSWIP.

Garam yang terdapat dalam *fresh water* antara lain: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, MgSO_4 , NaCl , H_2SiO_3 dengan TDS max 15 mg/L yang akan diproses dalam *ion Exchanger*. WTP berfungsi untuk mengolah air tawar menjadi air murni. Prinsip WTP berdasarkan penukar ion dengan menggunakan resin kation dan anion.

Air demineralisasi adalah air yang tidak mengandung garam-garam mineral CaCO_3 , CaSO_4 , MgCO_3 , dan MgSO_4 , air demineralisasi mudah melarutkan zat lain dan dapat digunakan sebagai pelarut obat-obatan atau pelarut zat di laboratorium. Air demineralisasi digunakan sebagai air ketel, karena tidak mengandung mineral-mineral yang dapat merusak alat-alat produksi. Analisa air demineralisasi merupakan analisa rutin yang dilakukan setiap saat untuk tetap mengontrol kondisi air tersebut.

Proses air demineralisasi mencakup pengaliran air melalui kedua jenis resin penukar ion anion dan kation. Penukar kation dioperasikan dengan siklus *hydrogen*, dengan kata lain semua kation dalam air ditukar dengan ion *hydrogen*, dan resin anion beroperasi dengan siklus hidroksida yang menukar semua anion dalam air dengan ion hidroksida. Hasil akhir yang utama dari proses ini terdiri dari ion OH, H_2 , atau air. Proses demineralisasi memiliki beberapa bentuk dan susunan yang dapat dibagi dalam dua sistem, yaitu *single bed* dan *mixed bed*. Terkait dengan diagram proses pada *Water Treatment Plant* dapat dilihat pada Gambar I.2.4.2.



Gambar I.2.4.2 Flow Diagram Water Treatment Plant

(Sumber: PLTU Suralaya)

I.2.5 Pengolahan Limbah

I.2.5.1 Limbah Padat

A. Sistem Penanganan Abu Berat (*Bottom Ash System*)

Sistem penanganan abu berat merupakan sistem penanganan yang terkumpul dan jatuh ke bawah *furnace*. Abu berat akan jatuh dan ditampung di bagian bawah *boiler*. Abu panas sisa pembakaran dan *klinker* akan jatuh melalui *seal through*. Alat ini adalah untuk mencegah masuknya air semprot ke dalam *boiler*. Setelah melalui *seal through*, abu masuk ke dalam hopper abu dasar. Di dalam *hopper-hopper* ini, abu disemprot dengan air laut untuk mendinginkan dengan segera dan mencegah penghamburan. Abu basah dipindahkan oleh SSC ke dalam penghancur abu (*ach crusher*), selanjutnya melalui *transfer chute* dipindahkan ke konveyor.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Bila penyemprotan abu menggunakan air tawar, maka untuk tujuan penghematan, sehingga campuran abu dan air dari SSC dimasukkan ke dalam penghancur abu. Kemudian dipisahkan abunya dan dikembalikan ke dalam SSC. Sedangkan air hasil pemisahan didinginkan oleh unit penukar panas dan dikembalikan lagi ke dalam SSC.

B. Sistem Penanganan Abu Terbang (*Fly Ash System*)

Sisa pembakaran yang lebih ringan dari abu dasar dinamakan abu terbang (*fly ash*). Debu ini dibawa oleh aliran gas panas ke bagian atas dari *boiler* dan dimanfaatkan untuk memanaskan uap didalam pipa-pipa *superheater* dan di *economizer* sebagai pemanas air pengisi. Debu ini akan menempel pada permukaan pipa-pipa yang menghambat terjadinya perpindahan panas. Untuk mengurangi hambatan ini, debu tersebut dengan uap menurut dengan selang waktu tertentu menggunakan *soot blower*. Selanjutnya gas panas dari debu dikeluarkan dari *boiler* dan dimanfaatkan untuk memanaskan udara primer dan sekunder. Sebagai campuran gas panas-abu dikembalikan ke dasar *boiler* melalui sistem resirkulasi gas.

Hal ini dimaksudkan untuk menambah jumlah panas yang melewati *superheater* dan *reheater* sehingga akan menaikkan temperatur uap keluar. Resirkulasi dilakukan oleh kipas resirkulasi gas, memasuki multi siklon pengumpul debu, kemudian masuk ke dalam kipas dan dikirim ke dasar *boiler*. Pada setiap perangkat pemanas udara primer, sekunder, *economizer* dan multi siklon, dilengkapi dengan hopper-hopper untuk menampung debu yang terkumpul selama proses perpindahan panas. Debu disalurkan melalui pipa-pipa dengan bantuan udara panas yang berasal dari air *handling blower* dalam alat pemanasnya menuju siklon pemisah abu terbang (*fly ash cyclonic separator*) kemudian ke hopper penyangga (*buffer hopper*) dan ke pengkondisi debu (*dust conditioner*).



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Gas panas yang keluar dari pemanas udara primer dan sekunder masih mengandung debu dalam jumlah besar atau hanya sebagian kecil debu yang dapat dipisahkan dan ditampung di hopper-hopper tersebut. Untuk membersihkan abu dan debu yang masih terbawa oleh gas, maka gas ini dilewatkan ke dalam *electrostatic precipitator* (EP). Keluar dari EP berupa gas asap (*flue gas*) yang mengandung senyawa Nox , SO_2 , CO , CO_2 , H_2O dan lain-lain dibuang melalui cerobong asap setinggi ± 200 m dengan bantuan kipas hisap paksa (*induced draft fan*) yang diletakkan dibelakang EP sebelum cerobong asap.

Endapan debu dari hopper-hopper EP disalurkan melalui konveyor tekanan gaya berat (*pneumatic gravity conveyor*) dengan bantuan hembusan gas panas dari *dust handling air fan* menuju ke hopper penyangga. Sebagian abu dari hopper tersebut disalurkan melalui pipa-pipa dengan bantuan gas panas abu minyak (*oil ash hopper*), kemudian dengan bantuan *redler conveyor* dipindahkan ke siklon pemisah abu terbang dan hopper penyangga.

Seluruh saluran pipa-pipa debu yang keluar dari setiap hopper dihembus dengan udara panas melalui *eductor*. Alat ini digunakan untuk mencampur udara panas dan abu di dalam pipa, kecuali untuk PGC.

Debu yang terkumpul dalam hopper penyangga dihembus oleh udara yang disediakan oleh kipas aerasi untuk mengatur buangan tersebut dalam keadaan terfluidisasi. Kemudian debu akan jatuh ke dalam dua pengkondisi debu (satu sebagai cadangan) dicampur dengan air laut melalui *nozzle* semprot, diaduk dan dipindahkan ke konveyor. Konveyor ini menerima limpahan abu dasar dari tiap unit dan dibuang di lembah abu (*ash valley*). Pada bagian akhir dari hopper abu minyak dan hopper EP terdapat saluran-saluran yang diatur oleh suatu *gate valve* untuk menyalurkan abu langsung ke *lori* atau *truck* bila diperlukan.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



I.2.5.2 Limbah Cair

Air limbah adalah sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair. UBP Suralaya dalam kegiatannya banyak menggunakan bahan- bahan yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah yang masih mengandung logam dan unsur berbahaya lainnya dapat membahayakan lingkungan. Diantaranya dapat mencemari badan air yang dilaluinya menjadi kotor dan senyawa-senyawa pencemar yang terkandung membahayakan terhadap lingkungan. Adapun sumber-sumbernya adalah sebagai berikut:

1. *Settling Basin* yang terdiri dari limbah:

- *Sewage Treatment*

Unit 1-7 telah dilengkapi dengan fasilitas pengolahan limbah domestik yang berfungsi untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan domestik atau buangan dari karyawan unit UBP Suralaya unit 1-7. Fasilitas *sewage treatment* di unit 1-4 dengan kapasitas pengolahan 80 m³/hari dengan proses sebagai berikut: limbah domestik dari semua toilet yang terdapat di unit 1-4 dialirkan menuju unit *equization tank* yang berfungsi sebagai pengumpul dan sebagai bak untuk meratakan aliran atau konsentrasi air limbah untuk menjaga adanya beban kejut (*shock loading*) di unit pengolahan biologi, pada bak ini juga dilakukan aerasi untuk menjaga kondisi air tidak anaerob.

Dari bak ini air limbah dialirkan ke unit *aeration tank* yang berfungsi untuk mengaerasi atau penambahan udara untuk meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut untuk mendukung penguraian material organik yang terdapat pada air buangan oleh bakteri dan untuk mencegah kondisi anaerob, setelah di aerasi air buangan dialirkan ke unit *sedimentation tank* yang berfungsi untuk mengendapkan lumpur yang terbentuk dari proses aerasi. Lumpur yang dihasilkan dari unit *sedimentation tank* ini merupakan lumpur



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



yang mengandung bakteri yang bermanfaat bagi penguraian material organik sehingga untuk mencegah terbawanya seluruh bakteri ke dalam aliran lumpur dilakukan juga resirkulasi sebagian lumpur dari unit *sedimentation tank* ke unit *aeration tank*.

Dari unit *sedimentation tank overflow* dialirkan ke unit *blower pit* yang berfungsi untuk menjaga konsentrasi oksigen terlarut dalam air sehingga pada unit ini dilakukan juga penambahan oksigen terlarut dengan menggunakan blower, dari unit ini air limbah kemudian dialirkan ke unit *disinfection tank* dilakukan penambahan desinfektan berupa klor untuk membunuh bakteri-bakteri patogen yang terdapat di dalam air, setelah dilakukan desinfeksi maka air olahan dialirkan ke *settling basin*. *Sewage treatment* dari unit 5-7 dengan kapasitas sebesar 20 m/hari. Proses pada unit 5-7 adalah air buangan toilet dari unit 5-7 dialirkan ke unit *aeration tank* yang berfungsi untuk meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut dalam air buangan sehingga proses penguraian material organik dalam air buangan oleh bakteri dapat berlangsung secara optimal, pada *sewage* ini dilengkapi dengan *comminutor* yang berfungsi untuk memecah atau menghancurkan material padat yang terbawa dalam limbah cair yang tidak dapat tersaring oleh *bar screen*.

Dari unit *aeration tank* air buangan dialirkan ke unit *clarification tank* yang berfungsi untuk mengendapkan lumpur yang terbentuk setelah dilakukan aerasi, sistem pengaliran air buangan dilakukan dari tengah tangki sehingga air buangan akan bergerak ke atas diharapkan dengan sistem pengaliran ini akan terbentuk lapisan lumpur (*sludge blanket*) yang dapat berfungsi sebagai lapisan penambahan lumpur yang tidak dapat terendapkan sehingga dengan adanya lapisan *sludge blanket* dan setelah terakumulasi lumpur yang telah menggumpal dan menjadi berat



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



akan terendapkan sedangkan *over flow* akan dialirkan ke unit *chlorination chamber* yang berfungsi sebagai unit desinfeksi untuk menghilangkan bakteri patogen. Setelah dilakukan desinfeksi, selanjutnya air buangan dialirkan ke *settling basin*.

- *Outlet Oil Separator*

Unit *oil separator* berfungsi untuk memisahkan minyak emulsi yang terbawa oleh limpasan air akibat adanya ceceran minyak dari kegiatan perawatan peralatan atau perbaikan mesin terutama yang berasal dari ruang turbin, ruang boiler dan bengkel alat berat, Outlet dari oli separator ini dialirkan menuju *settling basin* untuk kemudian diolah lebih lanjut di unit WWTP sebelum dibuang ke laut.

- Air Regenerasi Demineralizer

Pemenuhan keperluan air bersih untuk air pengisi boiler PGU Suralaya mengolah air laut menjadi air desal lalu diolah lagi sehingga menghasilkan air demin dengan konduktivitas $<0,2\mu\text{s}$. Sebelum digunakan sebagai air pengisi boiler air demin ini diolah terlebih dahulu dengan pengolahan kimia dengan menggunakan resin anion dan resin kation. Jika resin ini telah jenuh maka harus dilakukan pencucian dengan sistem *backwash*, dimana air bekas pencucian (*backwash*) filter ini akan dialirkan secara gravitasi ke *settling basin* untuk kemudian diolah di WWTP sebelum dibuang ke laut.

2. *Settling Ponds* yang terdiri dari limbah:

- Air Limpasan/lindi dari *Coal Yard Area*

Air limpasan/lindi dari *coal yard* area PGU Suralaya dialirkan melalui saluran drainase yang terdapat disekelilingi *coal yard* menuju ke *settling basin* untuk kemudian diolah di WWTP sebelum dibuang ke laut. Banyaknya debit dari *coal yard* ini akan



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



dipengaruhi oleh besarnya intensitas hujan dan lamanya hujan berlangsung.

- Air limpasan/lindi dari *Ash Valley Area*

Untuk menampung *bottom ash* sisa pembakaran batu bara PGU Suralaya telah dilengkapi fasilitas penampung abu batubara (*Ash valley*). Air limpasan atau lindi dari *ash valley* ini dialirkan melalui saluran drainase ke unit *settling pond* dengan kapasitas 20000 m untuk kemudian secara bertahap diolah di WWTP sebelum dibuang ke laut. Besarnya debit limpasan/lindi dari area *ash valley* ini sangat tergantung dari besarnya intensitas hujan dan lainnya.

Selain limbah-limbah cair yang telah dibahas diatas UBP Suralaya juga masih membuang limbah cair yang memiliki karakteristik air laut: limbah bahang (sisa pendingin kondensor), *brine* dan limbah *reject RO* (*reverse osmosis*).

- a) Limbah Bahan (sisa pendingin kondensor)

Sebagian besar kebutuhan air di PGU Suralaya adalah untuk proses pendingin uap (kondensasi uap) yang keluar dari turbin. Uap tersebut didinginkan dalam kondensor untuk kembali dimasukkan ke dalam boiler. Untuk keperluan pendingin uap tersebut diperlukan air sebanyak 522000 m³/jam. Air yang keluar dari proses pendingin kondensor ini bertemperatur antara 35°C-37°C, sebelum masuk ke perairan laut air pendingin kondensor ini diolah dengan sistem transfer panas pada saluran terbuka sepanjang 1,5 km.

- b) Limbah *Brine*

Proses pemurnian air laut yang dilakukan di UBP Suralaya pada awalnya menggunakan metode desalinasi yaitu unit desalinasi A dan B untuk suplai air ke unit 1-4 dan unit desalinasi C untuk suplai air ke unit 5-7, proses desalinasi yaitu metode pemurnian air laut dengan cara menguapkan air laut untuk kemudian mengkondensasikan uap air



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



tersebut dipergunakan juga air laut sebagai pendingin yang kemudian dibuang sebagai *brine* desalinasi. Air baku yang digunakan untuk proses desalinasi unit A, B dan C adalah sebanyak 5400 m/jam dimana dari air baku sebanyak itu dihasilkan air tawar sebanyak 300 m/jam sisanya yaitu 5100 m/jam dibuang ke laut melalui kanal bahang.

c) Air Reject RO

Dalam perkembangannya untuk pemenuhan air tawar Suralaya selain dengan melakukan pemurnian dengan proses desalinasi juga dilakukan pemurnian dengan metode *Reverse Osmosis*. Metode ini adalah salah satu metode pemurnian air laut dengan cara melewatkan air laut ke membran semi permeabel dengan tekanan tinggi sehingga diperoleh air tawar, besarnya air tawar yang diperoleh dari proses RO ini biasanya hanya 20-30% saja, sisanya dibuang sebagai *reject*. Unit RO ini mengolah air laut sebanyak 170 m/jam dibuang sebagai *reject* ke *intake*.

Proses Pengolahan Air Limbah

Air limbah yang berasal dari *Settling basin* dan *Settling ponds* dipompakan menuju *rapid mix tank* (tangki equalisasi) berfungsi untuk mencampur limbah sehingga menjadi limbah yang homogen dan mempunyai aliran yang sama dan penetralan pH. Pada tangki ini di injeksikan Ferrous sulfat dan Line (kapur) sebagai koagulan agar mulai terbentuk lumpur.

Air limbah yang sudah *homogeny overflow* menuju *reaction tank* yang berfungsi untuk menguraikan senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan bakteri aerob, pada proses ini dilakukan penambahan oksigen dengan bantuan blower dan untuk mempercepat reaksi atau pencampuran antara koagulan dengan air limbah. Air limbah lalu *overflow* masuk ke dalam *sludge contact* unit untuk memisahkan lumpur dan air. Pada tangki ini



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



diinjeksikan natrium sulfida, Alum dan Polimer agar lebih membentuk flokulan. Di dalam tangki ini dilengkapi dengan *sludge solid contact sludge scrapper* make untuk mengumpulkan *sludge* ke tengah untuk dipompa oleh pump ke *sludge thickener*.

Lumpur (*sludge*) yang terkumpul di *sludge thickener* yang dilengkapi dengan *sludge scrapper make* mengumpulkan lumpur ketengah untuk selanjutnya di kirim ke *sludge dewatering filter press*. Air *overflow* dialirkan ke *wash water recovery pump*, selanjutnya dikembalikan ke *Rapid Mix Tank*.

Di dalam *filter press* lumpur dikeringkan sehingga hanya mengandung 3% air, lalu dibakar diincenerator. Sebelumnya diinjeksikan larutan polimer agar lumpur yang terbentuk lebih padat. Air limbah dari *sludge contact* unit dipompakan menuju *Flash water Tank* lalu masuk ke kanal. Dan dilakukan pengambilan sampel air limbah minimal sebulan sekali dan maksimal 3 bulan sekali oleh badan yang terakreditasi sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.08 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha atau Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Termal.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



BAB II

MENGHITUNG NERACA MASSA, NERACA PANAS, DAN EFISIENSI TERMAL PADA BOILER UNIT 1 KAPASITAS 400 MW PT PLN INDONESIA POWER UBP SURALAYA

II.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini menjadikan kebutuhan energi listrik menjadi satu hal yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Berbagai peralatan elektronik terus dikembangkan untuk membantu kehidupan manusia. Skalanya pun beragam, mulai dari peralatan rumah tangga sederhana hingga peralatan industri berat. Oleh karena itu, sangat dibutuhkan pasokan energi listrik yang selalu dapat diandalkan. PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya merupakan perusahaan yang dinaungi BUMN yang bergerak di bidang Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang merupakan penyuplai energi di Jawa, Madura, dan Bali. PLTU Suralaya memiliki kapasitas produksi sebesar 3400 MW dengan 7 unit pembangkitnya. Bahan bakar utamanya menggunakan batu bara dan memanfaatkan uap (*steam*) yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di dalam *boiler* untuk menghasilkan listrik.

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk *steam*. Cairan yang dipanaskan akan diuapkan keluar dari *boiler* untuk digunakan dalam proses industri. Untuk proses pembakaran *boiler* biasanya menggunakan bahan bakar seperti batu bara atau bahan bakar lainnya. *Boiler* dipisahkan berdasarkan susunan, dimensi, dan kualitasnya.

Boiler (ketel uap) memiliki peranan yang sangat penting di suatu unit pembangkitan. Hal ini dikarenakan boiler merupakan peralatan utama yang diperlukan dalam sebuah proses konversi energi panas dari bahan bakar menjadi energi kinetik uap yang bertekanan dan bertemperatur tertentu. Energi kinetik uap tersebut digunakan untuk menggerakkan *steam turbine* yang



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



seporos dengan *generator* sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Oleh karena itu, unjuk kerja dan kemampuan *boiler* wajib untuk dijaga.

Unit 1 merupakan unit dengan kapasitas produksi sebesar 400 MW. Performa suatu unit pembangkit listrik menjadi suatu hal yang harus diperhatikan serta dijaga kinerjanya. Boiler merupakan komponen utama dalam PLTU sehingga perlu dijaga kondisi dan efisiensinya. Pada unit 1, PLTU Suralaya menggunakan *boiler sub-critical*, yaitu boiler yang bekerja pada tekanan dan temperatur di bawah titik kritis air (sekitar 530-540°C). Titik kritis air adalah kondisi dimana sifat air sebagai cairan dan gas tidak bisa lagi dibedakan. Selain itu boiler jenis ini membutuhkan komponen pendukung berupa *steam drum* untuk memisahkan air dengan uap air jenuh (*saturated steam*). Uap air jenuh inilah yang kemudian akan dipanaskan lebih lanjut menjadi uap super panas (*superheated steam*). Maka dari itu diperlukan adanya peninjauan performa dari boiler untuk menunjang keberlanjutan produksi listrik di PLTU Suralaya.

Boiler atau ketel uap apabila dioperasikan dalam waktu yang lama maka akan mengalami penurunan efisiensi thermal karena beberapa faktor. Maka dari itu diperlukan evaluasi terkait efisiensi thermal pada boiler untuk mengetahui apakah alat ini masih efektif dan efisien dalam kinerjanya.

II.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai ialah:

1. Menghitung Neraca Massa Boiler pada Unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya.
2. Menghitung Neraca Panas Boiler pada Unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya.
3. Menghitung efisiensi thermal Boiler pada Unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



II.3 Tinjauan Pustaka

II.3.1 Definisi Boiler

Boiler adalah salah satu komponen utama dalam pembangkit listrik tenaga uap yang berfungsi untuk menghasilkan uap sebagai fluida kerja untuk menggerakkan turbin. Boiler ini berfungsi sebagai pemanas air, panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. *Steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan menjadi *steam*, volumenya akan meningkat 1600 kali dan menghasilkan tenaga tekanan yang besar yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dengan baik. Bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan boiler bisa berupa gas, minyak bumi, maupun batu bara. Di Indonesia bahan bakar yang umum digunakan untuk memanaskan boiler adalah batu bara. Sifat perpindahan panas yang terjadi adalah pertama perpindahan secara konduksi yaitu perpindahan panas dari fluida gas ke pinggir dalam pipa ke air sehingga panas yang diterima digunakan untuk menaikkan temperature hingga mencapai temperature cair jenuh. Fluida kerja air secara bertahap menjadi fluida uap dan akhirnya menjadi uap jenuh (Amin, 2014).

Pada tahap kedua ini tidak terjadi kenaikan temperature. Panas yang diterima seluruhnya digunakan untuk terjadi perubahan fase. Apabila diperlukan, pemanasan dapat dilanjutkan dari uap jenuh menjadi uap super panas. Proses yang terjadi di dalam boiler adalah proses pembakaran yaitu proses menghasilkan panas dari bahan baku yang lebih banyak digunakan untuk memproduksi uap. Desain boiler yang ada di pabrik sangat banyak. Misalnya, boiler bertekanan rendah menghasilkan uap untuk pemanasan, sedangkan boiler bertekanan tinggi menghasilkan uap untuk digunakan sebagai pembangkit listrik (Kern, D.Q., 1950).



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Uap yang dihasilkan oleh boiler merupakan uap *superheat* dimana dengan operasi tekanan dan temperature yang tinggi. Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem uap, dan sistem bahan bakar. Sistem uap atau *steam* memiliki fungsi untuk mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam boiler. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Sedangkan pada sistem bahan bakar yang merupakan semua peralatan digunakan dalam menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan energi panas yang dibutuhkan. Tidak hanya itu, sistem udara pembakaran dan gas buang merupakan semua peralatan yang digunakan dalam menyediakan udara sebagai suplai pembakaran serta membuang dan mengontrol gas hasil pembakaran ke atmosfer (Djokosetyardjo, 2003).

II.3.2 Klasifikasi Boiler

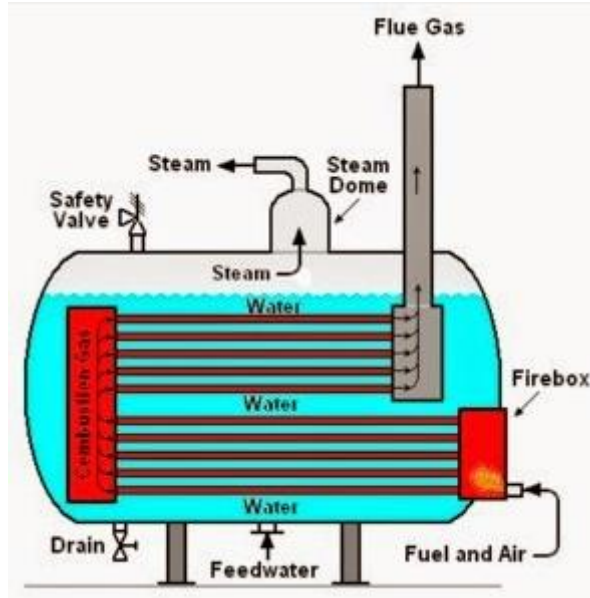
Setelah mengetahui definisi boiler, selanjutnya kita perlu mengetahui jenis-jenis boiler. Boiler terdiri dari beberapa jenis, diantaranya adalah boiler berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, boiler berdasarkan pemakaiannya, dan boiler berdasarkan letak dapur *furnace*.

➤ Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, maka boiler diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Fire Tube Boiler*

Fire Tube Boiler adalah jenis boiler dimana gas panas melewati pipa-pipa dan udara umpan boiler ada di dalam *shell* untuk diubah menjadi *steam*. Terdiri dari tangki air yang dilubangi dan melewati pipa-pipa, dimana gas panas yang mengalir pada tangki tersebut digunakan untuk memanaskan udara di tangki. Proses perubahan air menjadi *steam* dilakukan di dalam drum dimana air dipanaskan dengan gas buang dari ruang bakar yang disalurkan melalui bagian

dalam pipa api. Terkait dengan *Fire Tube Boiler* dapat dilihat pada Gambar II.3.2.1.

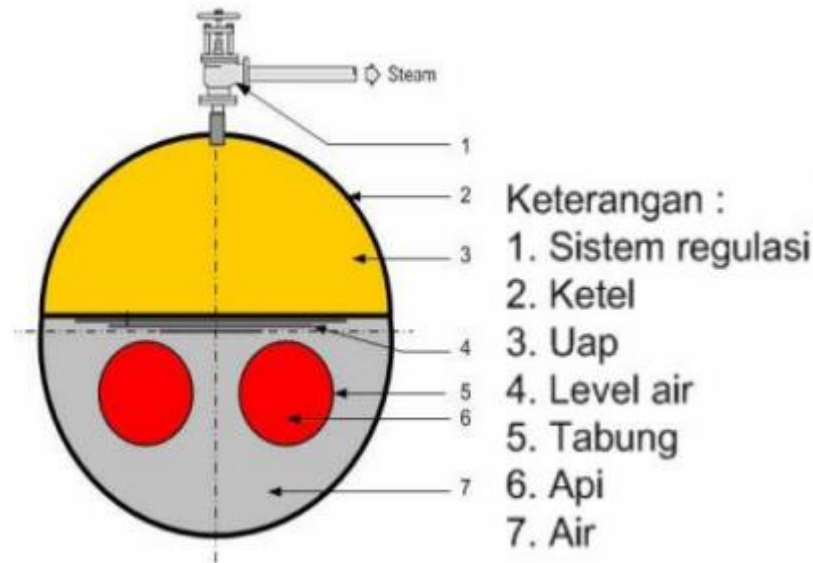


Gambar II.3.2.1 *Fire Tube Boiler*

(Sumber : Damanik, et al., 2022)

Fire Tube Boiler pada umumnya menghasilkan kapasitas uap relatif rendah jika dibandingkan dengan boiler pipa air. Tekanan uap yang dihasilkan hanya berada pada tekanan uap rendah hingga tekanan uap sedang. Kecepatan *steam* yang dihasilkan dapat mencapai 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm^2 .

Dengan kapasitas, tekanan, dan temperatur uap yang dihasilkan tergolong rendah dan membutuhkan waktu yang lebih lama dalam mencapai tekanan operasi pada awal operasi sehingga *fire tube boiler* jarang digunakan untuk industri modern dan industri skala besar. Namun, *fire tube boiler* ini masih cocok untuk industri skala kecil karena memiliki konstruksi yang relatif sederhana, kokoh, dan mudah dijangkau harganya. Untuk komponen utama pada *fire tube boiler* dapat dilihat pada Gambar II.3.2.2.



Gambar II.3.2.2 Bagian Utama *Fire Tube Boiler*

(Sumber : www.aggads.blogspot.com)

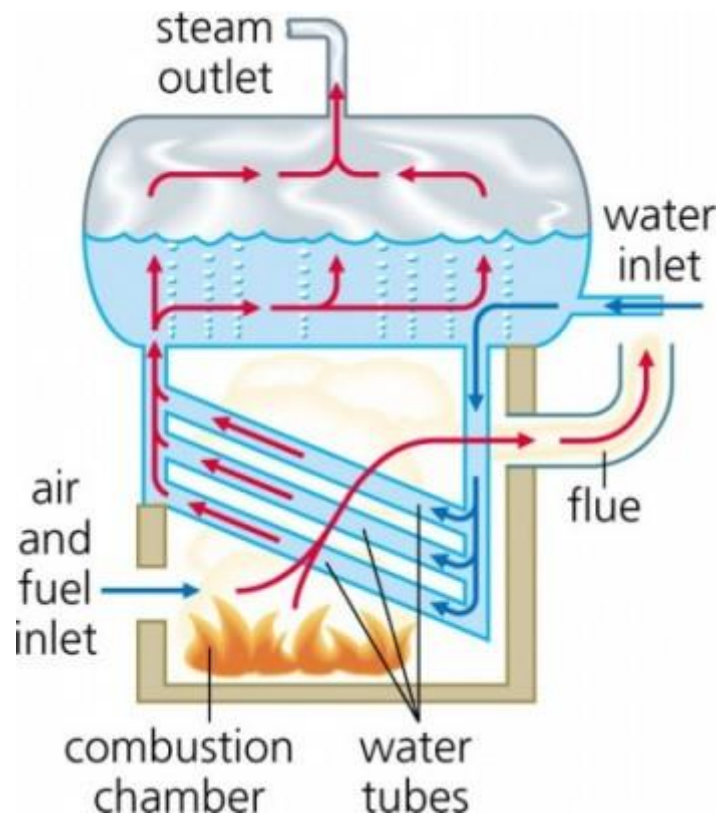
2. *Water Tube Boiler*

Boiler pipa air (*Water Tube Boiler*) adalah boiler yang biasanya menghasilkan uap dengan tekanan dan kapasitas yang besar. Boiler jenis ini biasanya mempunyai tekanan kerja diatas 18 kg/cm^2 atau sekitar 250 psi dan kpsitas diatas 12 ton/jam. Boiler jenis ini adalah boiler yang peredaran airnya terjadi di dalam pipa-pipa yang dikelilingi oleh nyala api dan gas panas dari luar susunan pipa. Konstruksi pipa-pipa yang dipasang di dalam boiler dapat berbentuk lurus (*straight tube*) dan juga dapat berbentuk pengkolan/pipa bengkok (*bend tube*) tergantung dari jenis boilernya. Pipa-pipa yang lurus dipasang secara paralel di dalam boiler yang dihubungkan di *heater*, kemudian *heater* tersebut dihubungkan dengan bejana uap yang dipasang secara horizontal di atas susunan pipa.

(El Wakil M.M, 1985)

Prinsip *water tube boiler* adalah air umpan boiler yang mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. Air yang tersirkulasi

dipanaskan oleh gas pembakar untuk membentuk *steam* pada daerah uap dalam drum. Boiler ini dipilih jika kebutuhan dan tekanan *steam* sangat tinggi seperti pada kasus boiler yang digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Tekanan *steam* yang dihasilkan maksimum adalah 235 psig sedangkan kapasitas *steam* yang dihasilkan dapat mencapai 200.000 lb/hr (Kern, D.Q., 1950).



Gambar II.3.2.3 *Water Tube Boiler*

(Sumber : Damanik, et al. 2022)

Umumnya *water tube boiler* terdiri dari beberapa drum (biasanya 2 atau 4 buah) dengan eksternal *tubes*. Biasanya ujung-ujung *tube* disambung atau dihubungkan langsung dengan *drum-drum* dengan cara di roll atau di ekspansi. Apabila kapasitas boiler lebih besar dari 20 MW atau tekanan operasi boiler lebih besar dari



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



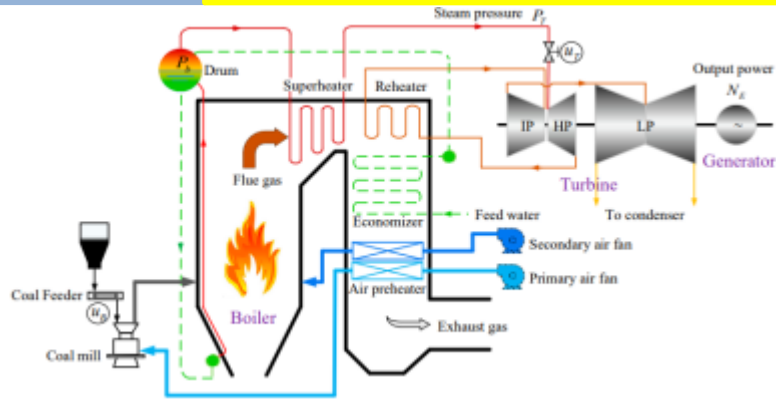
24 bar. Maka boiler dianggap cocok untuk produksi uap dalam jumlah besar dengan skala industri dengan uap yang dihasilkan yaitu *superheated*. Penggunaan *water tube boiler* diakui memiliki keuntungan yang lebih karena memiliki reaksi yang cepat terhadap beban dan kelembaban panas termal yang dapat dikatakan kecil. Unit pengolahan yang sudah modern banyak menggunakan *water tube boiler* sebagai pilihan, karena dapat menghasilkan uap air dengan kapasitas, temperatur, dan tekanan yang tinggi sesuai kebutuhan.

(Dalimunthe, D. 2006)

Saat ini PLTU sudah menggunakan boiler-boiler yang modern dengan sistem yang lebih kompleks dan menghasilkan daya yang lebih besar. Boiler yang dipakai saat ini merupakan hasil pengembangan boiler jenis pipa air (*water tube boiler*) dengan kapasitas yang lebih besar. Berikut adalah boiler-boiler yang telah mengalami pengembangan, berdasarkan tekanan kerjanya boiler dibagi menjadi 3 yaitu:

a. Boiler *Subcritical*

Boiler *Subcritical* adalah boiler dimana fase yang terbentuk di dalam boiler tidak homogen yang berarti masih terjadi pemisahan antara fasa cair dan fasa gas sehingga memungkinkan untuk terjadi proses yang kontinyu. Proses separasi tersebut terjadi pada *steam drum* yang bagian dalamnya dilengkapi dengan rangkaian siklon dan *baffle* untuk pemisahan antara fasa cair dan fasa gas. Selanjutnya akan terjadi pemanasan kembali menjadi *superheated steam* yang digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin. Tekanan operasi pada boiler jenis *subcritical* ini yaitu kurang dari 22,1 Mpa. Terkait dengan skema boiler *subcritical* dapat dilihat pada Gambar II.3.2.4.



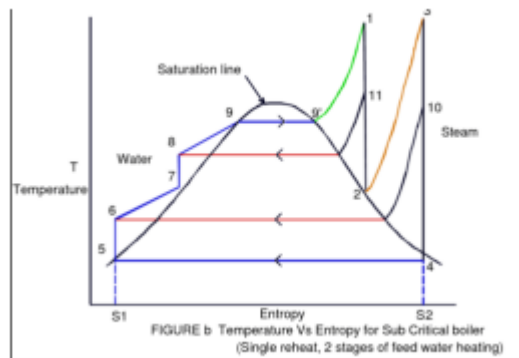
Gambar II.3.2.4 Boiler *Subcritical*

(Sumber : Zhu, et al., 2019)

Berikut beberapa karakteristik Boiler *Subcritical*:

- *Natural Circulation*
- *Two-pass type*
- *High Subcritical Pressure*
- *Coal Firing*
- *Opposed Wall Fires*
- *Divided back Pass for R/H Control*

Siklus *rankine* pada Boiler *Subcritical* dapat dilihat pada Gambar II.3.2.5.

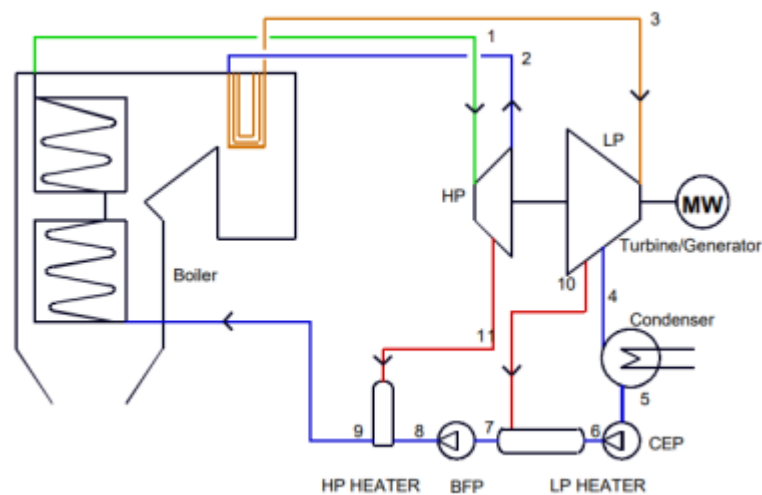


Gambar II.3.2.5 Siklus *Rankine* pada Boiler *Subcritical*

(Sumber : Buhre, et al., 2002)

b. Boiler *Supercritical*

Boiler *Supercritical* adalah jenis ketel uap yang beroperasi pada tekanan dan temperatur di atas titik kritis air. Titik kritis ini adalah kondisi dimana air tidak bisa lagi dibedakan menjadi fasa cair dan gas meski temperatur dan tekanan dinaikkan. Boiler jenis ini tidak membutuhkan *steam drum* sehingga disebut *once through boiler* (boiler satu kali lewat dimana air masuk langsung menjadi *steam* dan langsung digunakan untuk memutar sudu turbin). Tekanan operasi pada boiler jenis *supercritical* yaitu lebih dari 22,1 Mpa. Skema boiler *supercritical* dapat dilihat pada Gambar II.3.2.6.



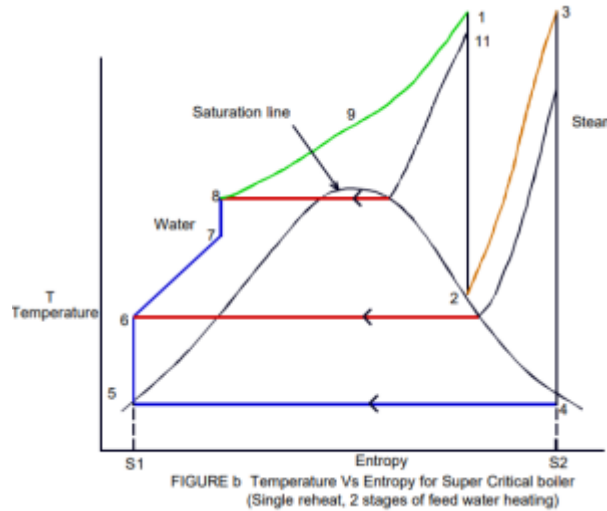
Gambar II.3.2.6 Boiler *Supercritical*

(Sumber : Buhre, et al., 2002)

Karakteristik boiler *supercritical* sebagai berikut:

- *Once Through*
- *Two-Pass Type*
- *Coal, Oil, and Gas Firing*
- *Opposed Wall Fired*
- *Gas Recycling*

Siklus rankine pada boiler *supercritical* dapat dilihat pada Gambar II.3.2.7.

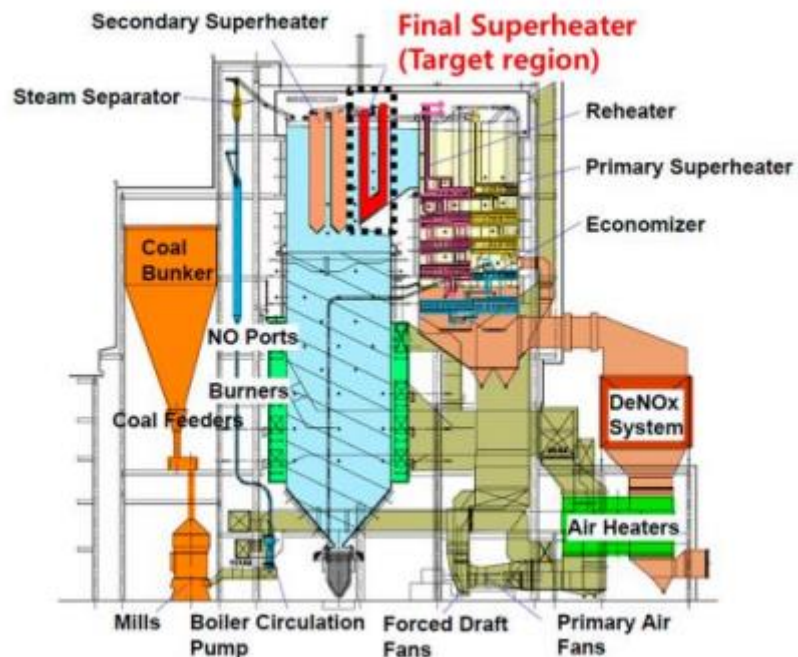


Gambar II.3.2.7 Siklus *Rankine* pada Boiler *Supercritical*

(Sumber : Buhre, et al., 2002)

3. Boiler *Ultra-Supercritical*

Boiler *ultra-supercritical* (USC) adalah teknologi lanjutan dari boiler *supercritical*. Boiler jenis ini bekerja dengan prinsip yang sama, yaitu memanaskan air hingga menjadi uap, namun pada tekanan dan temperatur yang lebih tinggi lagi. Boiler jenis ini merupakan teknologi pembangkit listrik yang memiliki tingkat efisiensi lebih baik dalam menghasilkan energi listrik dibandingkan dua teknologi lainnya, yaitu teknologi *Subcritical* dan *Supercritical*. Skema boiler *ultra-supercritical* dapat dilihat pada Gambar II.3.2.8.



Gambar II.3.2.8 Boiler *Ultra-Supercritical*

(Sumber : Choi, et al., 2016)

II.3.3 Sistem Boiler

Boiler memiliki beberapa sistem untuk menunjang kinerjanya. Sistem tersebut terbagi menjadi beberapa yaitu sistem air umpan (*feed water system*), sistem uap (*steam system*), dan sistem bahan bakar (*fuel system*).

1. Sistem Air Umpan (*Feed Water System*)

Sistem air umpan berguna untuk memenuhi kebutuhan *steam* dengan cara mengalirkan air umpan ke dalam boiler. Sistem air umpan harus memiliki spesifikasi dan syarat tertentu sehingga boleh digunakan sebagai air umpan boiler. Dengan menggunakan pompa air pengisian ketel atau *Boiler Feed Water Pump* (BFWP) air umpan boiler dipompakan dari luar ke dalam boiler dari tekanan 1 bar hingga mencapai tekanan kerja maksimum di dalam boiler.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



2. Sistem Uap (*Steam System*)

Sistem *steam* berguna untuk mengontrol proses produksi *steam* dan mengumpulkan berbagai data dalam boiler dengan cara mengalirkan uap ke titik pengguna dengan menggunakan sistem pemipaan.

3. Sistem Bahan Bakar (*Fuel System*)

Sistem bahan bakar berguna untuk mengontrol proses pembakaran dengan cara menyuplai bahan bakar ke dalam dapur pembakaran (*furnace*) untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.

II.3.4 Sistem Kerja dan Komponen Utama Boiler Unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya

Sistem kerja boiler dari PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya terdiri dari sistem air, sistem uap, sistem bahan bakar, sistem udara pembakaran, dan gas buang. Pada setiap sistem tersebut terdapat komponen-komponen utama yang sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja boiler tersebut.

➤ Sistem Sirkulasi Air Pada Boiler

Komponen utama pada boiler dalam sirkulasi air yaitu sebagai berikut:

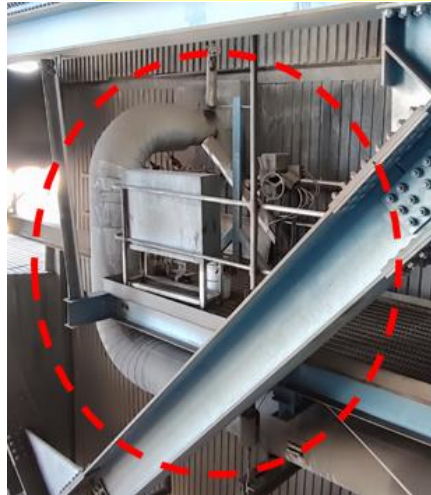
1. *Economizer*

Economizer merupakan suatu alat yang berfungsi sebagai pemanas *condensate water* sebelum sampai ke *steam drum*. Letak *economizer* ada di dalam boiler bagian belakang atau sisi keluaran gas panas sehingga media pemanas *economizer* adalah gas panas pembakaran. Konstruksi *economizer* berupa sekelompok pipa-pipa kecil yang disusun berlapis-lapis. Di bagian dalam pipa mengalir air pengisi yang dipompakan oleh *Boiler Feed Pump* (BFP) dan di bagian luar pipa mengalir gas panas hasil pembakaran yang terjadi di ruang bakar (El Wakil M.M, 1985).



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Gambar II.3.4.1 *Economizer*

(Sumber : PLTU Suralaya)

2. *Steam Drum*

Steam Drum merupakan suatu alat yang digunakan untuk menampung air yang berasal dari *economizer* yang akan dipanaskan pada pipa-pipa penguap (*water tube*) dan menampung uap air dari pipa-pipa sebelum dialirkan ke *superheater*. *Steam Drum* ini berfungsi untuk memisahkan air dan uap dengan metode siklus air natural. Siklus dari metode ini yaitu air akan bersirkulasi akibat adanya perbedaan berat jenis dimana air yang temperaturnya lebih rendah akan turun. Sedangkan air yang memiliki temperatur lebih tinggi akan naik ke *drum* sambil melepaskan uapnya untuk dipisahkan antara uap dan airnya dengan menggunakan separator, sevrn, dan *dryer* (El Wakil M.M, 1985).



Gambar II.3.4.2 *Steam Drum Boiler*

(Sumber : PLTU Suralaya)

3. *Riser Tube (Tube Wall) dan Downcomer*

Wall tube atau disebut juga dengan dinding *boiler* terdiri dari *tube* atau pipa-pipa yang disatukan oleh membran. Didalam *wall tube* tersebut mengalir air yang dididihkan. Dinding pipa *boiler* adalah pipa yang memiliki *ribbed tube*, dengan tujuan agar didalam *wall tube* berputar sehingga penyerapan panas menjadi banyak dan merata. Dan juga mencegah terjadinya *overheating* karena penguapan awal air pada dinding pipa yang menerima panas radiasi langsung dari ruang pembakaran.

(PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya, 2024)

4. *Header*

Dari header air akan masuk ke *wall tube (riser)* untuk diubah menjadi uap dan kembali ke Boiler. *Header (low header)* merupakan tempat penampungan air yang berasal dari *downcomer*.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



➤ Sistem Uap pada Boiler

Komponen utama sistem uap dalam boiler sebagai berikut:

1. *Superheater*

Superheater berfungsi untuk menaikkan suhu uap jenuh menjadi uap panas yang lanjut dengan memanaskan gas panas hasil pembakaran. Suhu yang masuk ke *superheater* berasal dari *steam drum* dan terbagi menjadi 2 yakni *primary superheater* dan *secondary superheater*. *Primary superheater* berfungsi untuk menaikkan suhu uap jenuh yang berasal dari *steam drum* dan menjadi uap panas lanjut dengan memanfaatkan gas panas pembakaran. Dan untuk *secondary superheater* berfungsi untuk uap yang keluar akan digunakan untuk memutar *HP turbine*.

2. *Reheater*

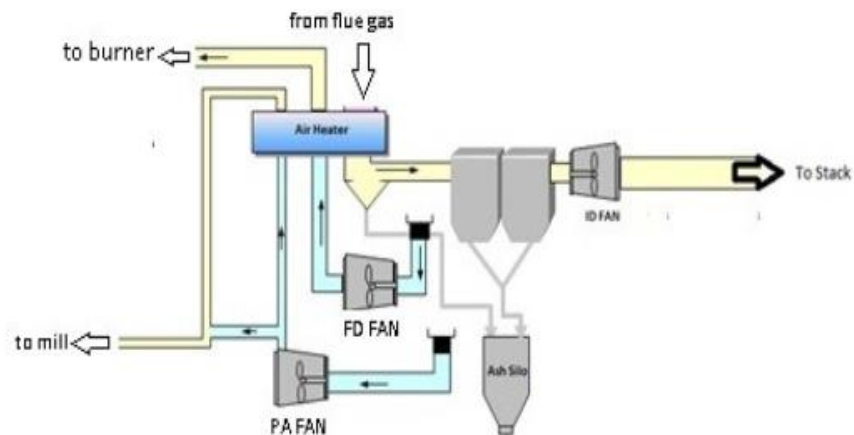
Reheater berfungsi untuk memanaskan kembali uap yang keluar dari *HP turbine* dengan memanfaatkan gas hasil pembakaran yang temperaturnya relatif masih tinggi. Pemanasan ini bertujuan untuk menaikkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

➤ Sistem Udara Pembakaran dan Gas Buang Boiler

Pada Boiler PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya menggunakan bahan bakar batu bara sebagai bahan bakar utama untuk proses pembakaran di *furnace*. Bahan bakar tersebut bereaksi dengan udara pembakaran di dalam *furnace* boiler yang disuplai dengan *Force Draft Fan* (FDF) kemudian dipanaskan terlebih dahulu ke SCAH lalu ke air *heater*. Setelah itu udara bereaksi dengan bahan bakar di dalam *furnace* serta nyala api *burner* sehingga terjadi proses pembakaran. Di dalam boiler terjadi pencampuran antara serbuk batu bara, udara primer, dan udara sekunder yang kemudian dibakar. Hasil pembakaran tadi berupa gas panas dan abu. Gas panas yang terjadi dialirkan ke saluran untuk memanaskan *steam drum*, pipa-pipa *wall tube*, *downcomer*, pipa

pemanas lanjut (*superheater*), pemanas ulang (*reheater*), dan *economizer*. Setelah dari *economizer* gas masih bertemperatur tinggi kemudian digunakan untuk memanaskan udara pada air *heater*.

Keluar dari boiler gas dialirkan ke *electrostatic precipitator* untuk diambil abu hasil pembakarannya dengan efisiensi penyerapan abu sekitar 99,5%. sedangkan sisanya terbawa bersama udara dan dihisap oleh *induced draft fan* dan akhirnya dibuang ke lingkungan melalui cerobong/*stack* (PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya, 2024).



Gambar II.3.4.3 Sistem Udara Pembakaran dan Gas Buang

Komponen utama dalam sistem udara pembakaran dan *flue gas* pada Boiler adalah sebagai berikut:

1. *Force Draft Fan*

Force Draft Fan merupakan suatu alat yang digunakan untuk memasok atau mensuplai udara pembakaran yang akan digunakan untuk proses pembakaran pada ruang bakar (*furnace*).



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



2. *Steam Coil Air Heater (SCAH)*

Merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk memanaskan udara pembakaran sebelum menuju atau masuk ke air *heater* dengan tujuan agar perbedaan nilai temperatur udara masuk air *heater* dengan elemen panas air *heater* tidak terlalu tinggi serta mencegah korosi.

3. *Air Heater*

Suatu peralatan *heat exchanger* yang digunakan untuk memanaskan udara pembakaran sebelum digunakan untuk proses pembakaran pada ruang bakar dengan memanfaatkan media pemanas dari gas bekas yang temperaturnya masih cukup panas.

4. *Windbox*

Merupakan suatu peralatan yang berfungsi sebagai pengumpul udara pembakaran sebelum didistribusikan ke *burner*. *Windbox* dilengkapi dengan damper untuk mengatur udara pembakaran yang akan masuk ke *burner*.

5. *Stack*

Merupakan peralatan terakhir yang dilewati oleh gas buang hasil pembakaran di boiler. Gas buang tersebut kemudian mengalir ke atmosfer.

➤ Sistem Bahan Bakar Boiler

Pada PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya bahan bakar utamanya adalah batu bara. Batu bara yang akan dipakai untuk bahan bakar harus berukuran 200 mesh sehingga diperlukan pengecilan ukuran dengan bantuan alat *mill/pulverizer*, kemudian setelah dilakukan pengecilan ukuran selanjutnya akan disalurkan menuju ruang pembakaran dengan bantuan *primary air fan*. Berikut adalah komponen utama pada sistem bahan bakar di boiler:



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



1. *Igniter*

Igniter adalah alat yang berfungsi sebagai penyala awal atau pemantik pada *burner*. Dimana *igniter* ini menggunakan media bahan bakar *High Speed Diesel* (HSD).

2. *Burner*

Burner merupakan alat pembakaran bahan bakar (batu bara dan *High Speed Diesel*) dan udara pembakaran di dalam ruang bakar boiler secara terus menerus dengan tekanan dan temperatur tertentu. *Burner* berfungsi untuk mengatur pencampuran bahan bakar dengan udara sehingga proses pembakaran berlangsung sempurna (Broughton, 1994).

3. Ruang Bakar (*Furnace*)

Ruang bakar adalah bagian dari boiler yang berfungsi untuk tempat berlangsungnya proses pembakaran bahan bakar.

4. *Pressure Control Valve*

Pressure Control Valve merupakan sebuah valve yang berfungsi untuk mengendalikan tekanan bahan bakar yang akan masuk ke ruang bakar, sekaligus juga sebagai pengaman. Dalam mengendalikan tekanan bahan bakar, alat ini bekerja berdasarkan indikator diantaranya beban yang dilayani oleh unit, temperatur *main steam*, nyala api *burner* dan tekanan pada ruang bakar (PT. PLN PERSERO, 2008).

II.3.5 Klasifikasi Boiler Unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya

Boiler unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya didesain untuk bahan bakar batu bara. Boiler yang digunakan merupakan jenis boiler *subcritical* dimana membutuhkan alat *steam drum* untuk memisahkan fase air dan uap. Berikut adalah spesifikasi boiler unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya :



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Type	: <i>Water Tube Boiler</i>
Pabrik pembuat	: Babcock & Wilcox
Negara pembuat	: Canada
Kapasitas	: 1168 ton/jam
Tekanan uap keluar <i>superheater</i>	: 174 kg/cm ²
Suhu uap keluar <i>superheater</i>	: 540 °C
Tekanan uap keluar <i>reheater</i>	: 39,9 kg/cm ²
Bahan bakar utama	: Batu bara
Temperatur udara luar	: 35 °C
<i>Draft System</i>	: <i>Balanced Draft System</i>

Berdasarkan pada tujuan dan konstruksinya boiler unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya memiliki spesifikasi antara lain:

- Boiler digunakan menggerakkan turbin untuk pembangkitan tenaga listrik
- Menggunakan bahan bakar berupa batu bara
- Memiliki kapasitas uap sebesar 1168 ton uap/jam
- Bertekanan *outlet superheater* sebesar 174 kg/cm², *temperature outlet superheater* sebesar 540 °C

II.4 Data Lapangan

II.4.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dengan pengamatan langsung dari PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya. Data yang diperoleh berupa data design material *balance* yang meliputi laju alir, komposisi arus, dan data aktual yaitu laporan analisis harian dalam bentuk tabel mengenai data produksi. Berikut data-data primer yang diperoleh:



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Data Design Boiler

Type	: <i>Water Tube Boiler (Subcritical)</i>
Tekanan uap keluar <i>superheater</i>	: 174 kg/cm ²
Suhu uap keluar <i>superheater</i>	: 540 °C
Tekanan uap keluar <i>reheater</i>	: 39,9 kg/cm ²
Bahan bakar	: Batu bara
Suhu air	: 100 °C
Suhu referensi	: 25 °C
Suhu udara in	: 35 °C
Negara pembuat	: Canada
Pabrik pembuat	: Babcock & Wilcox
Kapasitas	: 1168 ton/jam
<i>Draft System</i>	: <i>Balanced Draft System</i>
Massa batu bara	: 90.265,22 kg/jam

Data Komponen Batu Bara

Tabel II.4.1.1 Komponen Batu Bara

Unsur	% berat
Total moisture (H_2O)	31,01
Ash content	4,77
Total sulfur (S)	0,53
Carbon (C)	46,16
Hydrogen (H)	3,45
Nitrogen (N)	0,82
Oksigen (O)	13,26



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Data Operasi Boiler

Data operasi boiler Unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya pada tanggal 1 Maret 2024-7 Maret 2024 dapat dilihat pada Tabel II.4.1.1.

Tabel II.4.1.1 Data Operasi Boiler

Tanggal	Massa air umpan (t/h)	Massa <i>steam</i> (t/h)	Suhu air umpan (°C)	Suhu <i>steam</i> (°C)
1 Maret	1.295,54	1.145,04	229,44	538,18
2 Maret	1.308,78	1.150,23	234,13	538,64
3 Maret	1.281,82	1.160,09	224,81	538,13
4 Maret	1.294,49	1.157,13	226,24	537,82
5 Maret	1.318,79	1.151,03	235,82	538,61
6 Maret	1.302,90	1.140,23	240,23	538,53
7 Maret	1.285,77	1.146,27	239,82	539,31
Rata-rata	1.298,30	1.150,00	232,93	538,46

II.4.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari literatur, materi perkuliahan, serta bahan lainnya meliputi kapasitas panas masing-masing komponen, dan rumus-rumus perhitungan mengenai neraca massa, neraca panas, dan efisiensi. Berikut adalah data-data sekunder yang diperoleh:



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Tabel II.4.2.1 Heat Capacity of Gas

Nama	A	B	C	D	E
CO_2	27,437	$4,23 \times 10^{-2}$	$-1,96 \times 10^{-5}$	$4,00 \times 10^{-9}$	$-2,99 \times 10^{-13}$
H_2O	33,933	$-8,42 \times 10^{-3}$	$2,99 \times 10^{-5}$	$-1,78 \times 10^{-8}$	$3,96 \times 10^{-12}$
NO_2	32,791	$-7,43 \times 10^{-4}$	$8,17 \times 10^{-5}$	$-8,29 \times 10^{-8}$	$2,44 \times 10^{-11}$
O_2	29,526	$-8,90 \times 10^{-3}$	$3,81 \times 10^{-5}$	$-3,26 \times 10^{-8}$	$8,86 \times 10^{-12}$
N_2	29,342	$-3,54 \times 10^{-3}$	$1,01 \times 10^{-5}$	$-4,31 \times 10^{-9}$	$2,59 \times 10^{-13}$
SO_2	29,637	$3,4735 \times 10^{-2}$	$9,2903 \times 10^{-6}$	$-2,9885 \times 10^{-8}$	$1,0937 \times 10^{-11}$

(Sumber : yaws handbook of thermodynamics and physical of chemical compound)

Tabel II.4.2.2 Heat Capacity of Liquid

Nama	A	B	C	D
H_2O	92,053	$-3,9953 \times 10^{-2}$	$-2,1103 \times 10^{-4}$	$5,3469 \times 10^{-7}$

(Sumber : yaws handbook of thermodynamics and physical of chemical compound)

II.5 Metode

II.5.1 Neraca Massa

Hukum kekekalan massa atau dikenal sebagai hukum LamonovLavoisier adalah suatu hukum yang menyatakan massa dari suatu sistem tertutup akan konstan meskipun terjadi berbagai macam proses di dalam proses tersebut (Hougen, 1952).

Hukum neraca massa :

Input – Output – Consumption + generation = *accumulation*

Persamaan neraca massa adalah sebagai berikut :

Massa masuk = akumulasi + massa keluar + reaksi kimia + akumulasi

Pada proses berjalan secara *steady state* akumulasinya menjadi nol.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Bila tidak ada reaksi kimia maka persamaan neraca massa hanya ada input dan output (Culson and Richardson's, 1962), dengan persamaan neraca massa sebagai berikut:

Massa masuk = Massa keluar

Perhitungan neraca massa untuk sistem yang didefinisikan, pada hakikatnya merupakan penerapan prinsip hukum kekekalan massa. Untuk itu, dalam menghitung neraca massa pada boiler perlu memperhatikan faktor input dan *output* dari sistem. Parameter komponen *input* dan *output* dapat dilihat pada Tabel II.5.1.1.

Tabel II.5.1.1 Komponen Analisa Neraca Massa pada Boiler

No	<i>Input</i>	<i>Output</i>
1.	Massa Air Umpan Masuk (M1)	Massa Produksi <i>Steam</i> (M4)
2.	Massa Bahan Bakar Masuk (M2)	Massa <i>Flue Gas</i> (M5)
3.	Massa Udara <i>Supply</i> (M3)	

Berikut adalah langkah-langkah dalam menghitung neraca massa pada boiler sebagai berikut:

A. Menghitung Massa Air Umpan (*Feed Water Flow*) Masuk Boiler

Air umpan (*Feed Water Flow*) merupakan air *softwater* yang berasal dari Unit Pengolahan Air di Pabrik.

B. Menghitung Massa Bahan Bakar Masuk Boiler

Bahan bakar yang digunakan untuk proses pembakaran di *burner* berupa batu bara. Batu bara yang digunakan telah melewati uji analisa yang terdiri dari unsur total *moisture*, *ash content*, sulfur, carbon, hidrogen, nitrogen, dan oksigen. Jumlah batu bara yang digunakan dapat diketahui melalui catatan *log sheet* di Pabrik.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



C. Menghitung Massa Udara *Supply*

Udara *supply* merupakan udara yang ditarik menggunakan *blower* di bagian *burner*. Komponen udara terdiri dari 79% Nitrogen dan 21% Oksigen.

D. Menghitung Massa *Steam* yang Diproduksi

Steam yang diproduksi keluar boiler telah dinyatakan dalam bentuk t/h dan dapat langsung diketahui melalui catatan log sheet.

E. Menghitung Massa *Flue Gas* Keluar Cerobong

Flue gas merupakan gas buang hasil pembakaran dari *burner* yang terdiri dari CO_2 , H_2O , NO_2 , N_2 , dan O_2 sisa pembakaran.

Massa *flue gas* = massa CO_2 + massa H_2O + massa NO_2 + massa N_2 + massa O_2 + massa SO_2

II.5.2 Neraca Panas

Neraca panas merupakan akumulasi panas yang dihasilkan dari berbagai macam komponen yang terdapat pada sistem. Menurut (Treyball, 1981) persamaan umum untuk panas hilang adalah sebagai berikut:

Panas hilang = Panas masuk – Panas keluar

A. Menghitung Panas Air Umpan Boiler (Q_1)

Panas air umpan boiler dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_1 = n_{feed\ water} \times \int_{T_{air\ mendidih}}^{T_{feed\ water}} C_p dT$$

Dimana :

Q_1 = panas air umpan boiler (kJ /jam)

$n_{feed\ water}$ = jumlah mol air umpan boiler (mol/jam)

C_p = kapasitas panas air (J/mol.K)

(Hougen, 1952)



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



B. Menghitung Panas Pembakaran Batu Bara (Q_2)

Heating Value atau panas pembakaran bahan bakar batu bara dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_2 = m_{\text{bahan bakar}} \times \text{HHV batu bara}$$

Dimana :

$$Q_2 = \text{panas pembakaran batu bara (kJ/jam)}$$

$$m_{\text{bahan bakar}} = \text{massa batu bara (kg/jam)}$$

$$\text{HHV batu bara} = \text{High Heating Value/nilai kalor batu bara (kJ/kg)}$$

C. Menghitung Panas Udara *Supply* (Q_3)

Panas sensibel udara *supply* yaitu berupa O_2 , N , dan H_2O yang masuk ke dalam *burner*/ruang pembakaran. Dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_3 = n_{\text{udara supply}} \times \int_{T_{\text{referensi}}}^{T_{\text{udara}}} C_p dT$$

Dimana:

$$Q_3 = \text{panas udara supply (kJ/jam)}$$

$$n_{\text{udara supply}} = \text{mol udara supply (mol/jam)}$$

$$C_p = \text{kapasitas panas udara (J/mol.K)}$$

$$\Delta T = \text{selisih antara suhu referensi dengan suhu ruang (}^\circ K\text{)}$$

D. Menghitung Panas Entalpi *Steam* (Q_4)

Panas entalpi dapat dihitung menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$Q_4 = m_{\text{steam}} \times h_{fg}$$

Dimana :

$$Q_4 = \text{panas entalpi steam (kJ/jam)}$$

$$m_{\text{steam}} = \text{massa uap air/steam (kg/jam)}$$

$$h_{fg} = \text{entalpi uap keluar boiler (kJ/kg)}$$

(Hougen, 1952)



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



E. Menghitung Panas Sensibel *Steam* (Q_5)

Panas sensibel *steam* dapat dihitung menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$Q_5 = n_{steam} \times \int_{T_{air\ mendidih}}^{T_{steam}} C_p dT$$

Dimana :

Q_5 = panas sensibel *steam* (kJ/jam)

n_{steam} = jumlah mol uap air/*steam* (mol/jam)

C_p = kapasitas panas uap air/*steam* (J/mol.K)

F. Menghitung Panas Sensibel *Flue Gas* (Q_6)

Flue Gas merupakan gas buang hasil pembakaran di *burner* yang keluar melalui cerobong/*stack*. *Flue Gas* terdiri dari CO_2 , H_2O , NO_2 , SO_2 , N_2 , dan O_2 . Panas sensibel *flue gas* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_6 = n_{flue\ gas} \times \int_{T_{referensi}}^{T_{flue\ gas}} C_p dT$$

Dimana :

Q_6 = panas sensibel *flue gas* (kJ/jam)

$n_{flue\ gas}$ = jumlah mol *flue gas* (mol/jam)

C_p = kapasitas panas *flue gas* (J/mol.K)

G. Menghitung Panas yang hilang (*Heat Loss*) (Q_7)

Panas yang dihilangkan/*heat loss* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_7 = Q_{input} - Q_{output}$$

Dimana :

Q_7 = panas yang hilang/*heat loss* (kJ/jam)

Q_{input} = $Q_1 + Q_2 + Q_3$ (kJ/jam)

Q_{output} = $Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$ (kJ/jam)

(Hougen, 1952)



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya

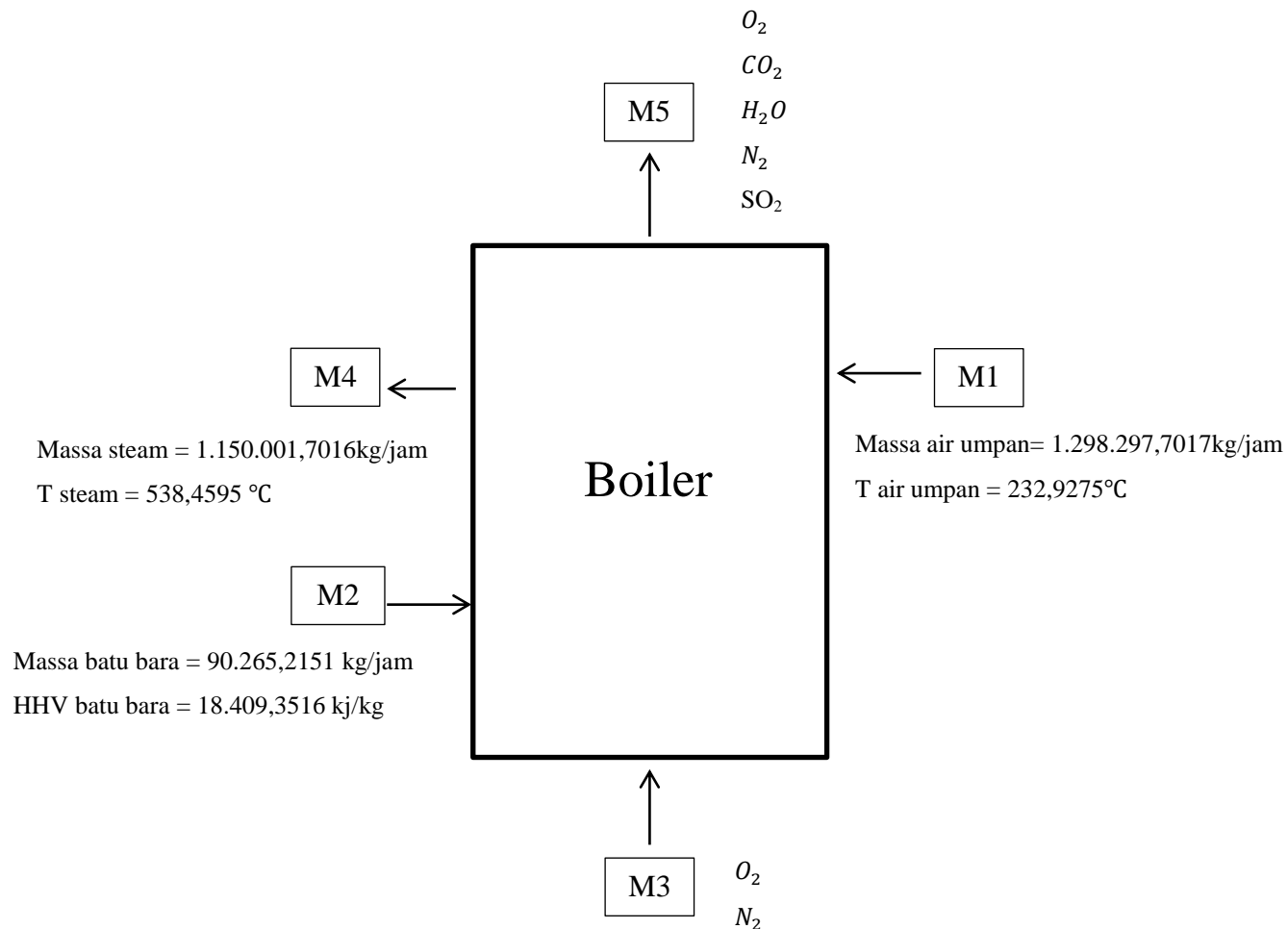


II.5.3 Efisiensi Termal Boiler

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada boiler adalah tingkat untuk kerja boiler yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja di dalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Untuk tingkat efisiensi pada boiler setidaknya memiliki kegunaan panas sebesar lebih dari 68% (Durkin, 2006).

II.6 Hasil Pengolahan Data dan Pembahasan

II.6.1 Neraca Massa Boiler





TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Dimana :

M_1 = massa air umpan (kg/jam)

M_2 = massa batu bara (kg/jam)

M_3 = massa udara supply (kg/jam)

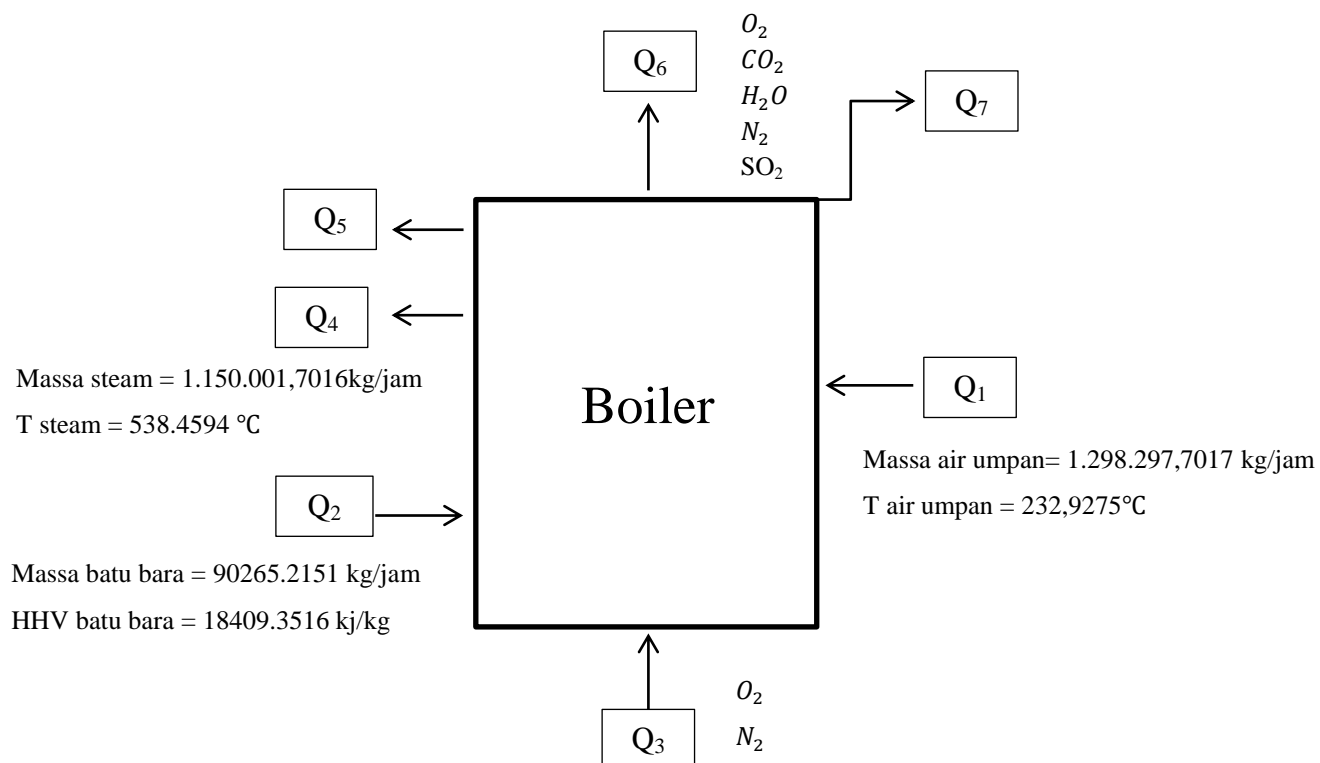
M_4 = massa produksi *steam* (kg/jam)

M_5 = massa *flue gas* (kg/jam)

Tabel II.6.1.1 Neraca Massa Total Boiler

Parameter	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
Massa air umpan (M_1)	1.298.297,7017	
Massa batu bara (M_2)	90.265,2151	
Massa udara <i>supply</i> (M_3)	34.325,6903	
Massa <i>Steam</i> (M_4)		1.150.001,7016
Massa <i>Flue Gas</i> (M_5)		272.886,9056
Jumlah	1.422.888,6071	1.422.888,6071

II.6.2 Neraca Panas Boiler





TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Dimana :

Q_1 = panas air umpan/*feed water* (kJ/jam)

Q_2 = panas pembakaran bahan bakar (kJ/jam)

Q_3 = panas udara *supply* (kJ/jam)

Q_4 = panas laten *steam* (kJ/jam)

Q_5 = panas sensibel *superheated* (kJ/jam)

Q_6 = panas sensibel *flue gas* (kJ/jam)

Q_7 = panas yang hilang/*heat loss* (kJ/jam)

Tabel II.6.2.2 Neraca Panas Boiler

Parameter	Q input (kJ/jam)	Q output (kJ/jam)
Panas <i>Feed Water</i> (Q_1)	422.501.534,0427	
Panas Pembakaran Batu Bara (Q_2)	1.661.724.086,0576	
Panas Udara <i>Supply</i> (Q_3)	331.750,4999	
Panas Laten <i>Steam</i> (Q_4)		993.992.470,7362
Panas Sensibel <i>Superheated</i> (Q_5)		452.313.830,9611
Panas Sensibel <i>Flue Gas</i> (Q_6)		49.286.890,0086
Panas yang hilang (Q_7)		588.964.178,8943
Jumlah	2.084.557.370,6002	2.084.557.370,6002

II.6.3 Efisiensi Termal Boiler

Panas yang dipakai untuk memanaskan air menjadi uap = $Q_4 + Q_5$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } Q_4 + Q_5 &= 993.992.470,7362 + 452.313.830,9611 \\ &= 1.446.306.301,6973 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Panas pembakaran batu bara = 1.661.724.086,0576 kJ/jam

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi boiler} &= \frac{Q_4 + Q_5}{Q_2} \times 100\% \\ &= \frac{1.446.306.301,6973 \text{ kJ/jam}}{1.661.724.086,0576 \text{ kJ/jam}} \times 100\% \\ &= 87,0365\% \end{aligned}$$



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



II.6.4 Pembahasan

Boiler atau ketel merupakan suatu bejana tertutup yang menghasilkan *steam*. *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Dalam proses pembakaran boiler menggunakan bahan bakar batu bara. Air yang berada di dalam boiler dipanaskan dari hasil pembakaran bahan bakar sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas ke air tersebut menjadi panas dan berubah wujud menjadi *steam* atau uap. *Steam* ini digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan energi mekanik dalam generator sehingga menghasilkan listrik.

Boiler unit 1 di PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya merupakan boiler jenis *subcritical*. Boiler jenis ini fase yang terbentuk di dalam boiler tidak homogen yang berarti masih terjadi pemisahan antara fasa cair dan fasa gas sehingga memungkinkan untuk terjadi proses yang kontinu, sehingga membutuhkan alat untuk memisahkan fase tersebut yaitu *steam drum*. Air umpan boiler berasal dari air laut yang telah diolah terlebih dahulu. Pengolahan air ini dilakukan karena kandungan mineral pada air laut dapat menyebabkan terjadinya korosi pada pipa-pipa maupun instrumen pada boiler. Proses pengolahan air perlu dijaga kualitasnya agar performa boiler tetap terjaga.

Tujuan dari penjagaan performa boiler yakni untuk mengevaluasi efisiensi boiler sehingga dapat mengetahui persentase kelayakan boiler untuk mengubah air menjadi uap atau *steam*. Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja di dalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Untuk menentukan nilai efisiensi tersebut maka dibutuhkan perhitungan neraca massa dan neraca panas. Perhitungan neraca massa digunakan untuk menentukan jumlah massa yang masuk dan keluar boiler yang menjadi dasar atau acuan dalam perhitungan neraca panas. Perhitungan neraca panas digunakan untuk mengetahui besarnya panas yang masuk dan panas



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



yang keluar dari boiler dan juga digunakan untuk mengetahui besarnya kehilangan panas (*heat loss*) yang terjadi pada saat proses pembakaran.

Pada perhitungan boiler unit 1 ini menggunakan basis 1 jam operasi. Neraca massa terdiri dari komponen *input* dan komponen *output*. Pada bagian *input* neraca massa terdiri dari massa air umpan (*feed water*), massa bahan bakar (batu bara) dan massa udara *supply*. Sedangkan pada bagian *output* terdiri dari massa *steam* dan massa gas buang (*flue gas*). Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil neraca massa *input* sebesar 1.422.888,6071 kg/jam dan neraca massa *output* sebesar 1.422.888,6071 kg/jam. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada massa yang tertinggal di dalam sistem.

Sedangkan pada neraca panas juga terdapat komponen *input* dan komponen *output*. Pada bagian input neraca panas terdiri dari panas air umpan, panas pembakaran bahan bakar, dan panas udara *supply*. Pada bagian *output* neraca panas terdiri dari panas entalpi uap air (*steam*), panas sensibel *superheated*, panas sensibel gas buang (*flue gas*), dan panas yang hilang (*heat loss*). Berdasarkan perhitungan neraca panas yang dilakukan didapatkan hasil jumlah panas *input* sebesar 2.084.557.370,6002 kJ/jam dan jumlah panas *output* sebesar 2.084.557.370,6002 kJ/jam dengan besaran *heat loss* sebanyak 588.964.178,8943 kJ/jam.

Berdasarkan perhitungan neraca panas dapat diketahui bahwa neraca panas *input* dan *output* sebesar 2.084.557.370,6002kJ/jam, dengan jumlah *heat loss* sebesar 588.964.178,8943kJ/jam. Hal ini menyatakan bahwa *heat loss* atau panas yang hilang cukup banyak. Kehilangan panas (*heat loss*) ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya kehilangan panas akibat gas buang. Gas buang yang keluar dari boiler masih memiliki nilai kalor yang tinggi. Selain itu juga bisa terjadi karena adanya H_2 dalam bahan bakar yang mengakibatkan terbentuknya uap air. Kehilangan panas juga disebabkan karena adanya uap air di dalam udara, kehilangan panas akibat radiasi dan konveksi, dan pembakaran tidak sempurna.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan efisiensi boiler sebesar 87,0365%. Menurut (Durkin, 2006) umumnya boiler yang baik memiliki efisiensi setidaknya $>68\%$ agar dapat melakukan proses transfer panas secara maksimal. Pada boiler unit 1 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya dapat disimpulkan bahwa alat ini masih baik beroperasi dengan layak karena memiliki efisiensi $>68\%$. Namun perlu dilakukan *maintenance* untuk meningkatkan performa kinerja boiler.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



BAB III

KESIMPULAN

III.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan penyusunan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya” dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil perhitungan neraca massa sebagai berikut:

Massa masuk = 1.422.888,6071 kg/jam

Massa keluar = 1.422.888,6071 kg/jam

2. Hasil perhitungan neraca panas sebagai berikut:

Panas masuk = 2.084.557.370,6002 kJ/jam

Panas keluar = 2.084.557.370,6002 kJ/jam

3. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan efisiensi termal boiler sebesar 71,7463 % termasuk dalam kategori yang masih cukup layak untuk dioperasikan, namun perlu dilakukan *maintenance* agar dapat melakukan transfer panas secara maksimal.

III.2 Saran

Untuk meningkatkan efisiensi boiler perlunya pembersihan pipa-pipa boiler secara berkala dengan menggunakan *water jet cleaning (chemical cleaning)* untuk menghilangkan kotoran dan kerak dalam pipa-pipa boiler.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M, (2014). *Peralatan Proses dan Utilitas*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Babcock & Wilcox International. 1992. *Steam 40th Edition*, Babcock & Wilcox a Mc Dermott, Company, USA.
- Broughton, J. (t.thn.). "*Process Utility Systems, Introduction to Design, Operation and Maintenance*". 1994: Institution of Chemical Engineers.
- Buhre, B. J. P., et al. 2002. *PF-Fired Supercritical Boilers Operational Issues and Coal Quality Impacts*. Callaghan : University of Newcastle.
- Choi, Soek Min., et al. 2016. *Thermal Characteristics of Tube Bundles in UltraSupercritical Boilers*. Jurnal Energi, Vol. 9, No 10.
- Damanik, D.S., et al. 2022. Purwarupa Miniatur *Water Tube Boiler* Menggunakan Bahan Bakar Gas Kapasitas Uap 20 Kg/Jam. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol. 03, No. 02, Hal 36-37.
- Djosetyoardjo, M. (2003). "Ketel Uap". Jakarta: Pradnya Paramitha.
- Durkin, T. (2006). "*Boiler System Efficiency*". American Society of Heating.
- Heselton, K. E. (2005). "*Boiler Operator's Handbook*". United States of Amerika: The Fairmont Press.
- Hougen, O. d. (1954). *Chemical Process Principle*. New York: John Willey & Sons Inc.
- Kern, D. (1965). *Proses Heat Transfer*. McGraw-Hill.
- L, R. (2001). *Boiler System*. New York: Marcel Dekker AG.
- M.M, E. W. (1985). *Power Plant Technology*. Mc Graw Hill. Perry, R. H. (1997). *Perry Chemical Engineer's Handbook*. 7th edition. . New York: Mc.Graw-Hill Companies. New York: Mc.Graw- Hill Inc.
- Properties of Water and Steam (Thermodynamic Properties of Ordinary Water). (2016). indian institute of technology bombai.
- PT.PLN(PERSERO). (2008). "Modul Pembakaran dan Bahan Bakar". Unit Pendidikan dan Pelatihan Suralaya.



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



- Rohmah, Nur Fahmi. 2022. Efisiensi Kinerja *Mixed Bed Demineralizer* Pada Area WTP Unit 1 dan 2 PT. Sumber Segara Primadaya (PLTU) Cilacap. Yogyakarta : UPN Veteran Yogyakarta.
- Sudirmanto. & Efendi, AF. 2020. Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kerja Turbin dan Produksi Listrik PLTU Unit 1 Sebalang Menggunakan Simulasi Cycle Tempo. *Jurnal Power Plant*, Vol. 8, No. 1, Hal 8.
- Yaws, C. L. (2008). *Thermophysical properties of chemicals and hydrocarbons*. William Andrew



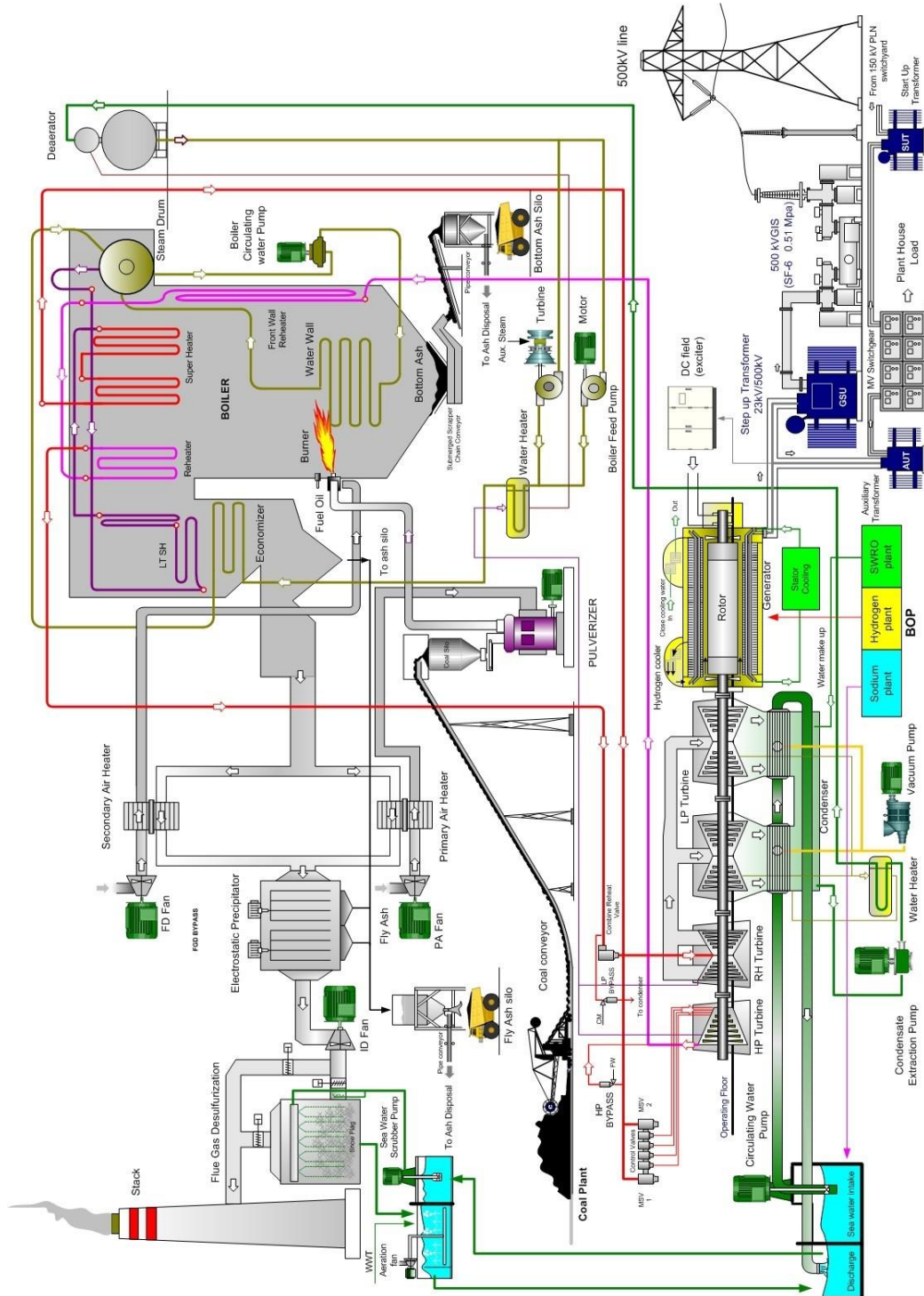
TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



LAMPIRAN

1. PFD PLTU





TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



4. Tabel Superheated Steam

SUPERHEATED STEAM

v in m ³ /kg, u in kJ/kg, h in kJ/kg, s in kJ/(kg ^o K)								
P= 160 bar					P= 180 bar			
T	v	u	h	s	v	u	h	s
360	0.0111	2538	2716	5.461	0.0081	2418	2564	5.192
400	0.0143	2719	2948	5.817	0.0119	2673	2887	5.689
450	0.017	2866	3138	6.091	0.0146	2837	3100	5.995
500	0.0193	2986	3295	6.301	0.0168	2965	3267	6.218
550	0.0213	3097	3438	6.480	0.0187	3079	3416	6.405
600	0.0232	3202	3573	6.640	0.0204	3188	3556	6.570
650	0.025	3305	3705	6.786	0.0221	3292	3690	6.719
700	0.0267	3407	3834	6.922	0.0236	3397	3821	6.858
750	0.0284	3507	3961	7.050	0.0251	3499	3951	6.988
800	0.03	3608	4088	7.171	0.0266	3600	4079	7.110

SUPERHEATED STEAM

v in m ³ /kg, u in kJ/kg, h in kJ/kg, s in kJ/(kg ^o K)								
P= 200 bar					P= 240 bar			
T	v	u	h	s	v	u	h	s
400	0.0099	2620	2818	5.554	0.0067	2479	2639	5.239
450	0.0127	2806	3060	5.902	0.0098	2738	2973	5.720
500	0.0148	2942	3238	6.140	0.0117	2897	3178	5.994
550	0.0166	3061	3393	6.335	0.0134	3026	3347	6.207
600	0.0182	3174	3538	6.505	0.0148	3145	3501	6.387
650	0.0197	3281	3675	6.658	0.0161	3259	3645	6.548
700	0.0211	3387	3809	6.799	0.0174	3366	3784	6.695
750	0.0225	3490	3940	6.931	0.0186	3473	3919	6.830
800	0.0239	3592	4070	7.054	0.0197	3579	4052	6.957
900	0.0264	3782	4310	7.267	0.0219	3787	4312	7.189

SUPERHEATED STEAM

v in m ³ /kg, u in kJ/kg, h in kJ/kg, s in kJ/(kg ^o K)								
P= 280 bar					P= 320 bar			
T	v	u	h	s	v	u	h	s
400	0.0038	2224	2331	4.749	0.0024	1979	2056	4.324
450	0.0076	2662	2875	5.537	0.006	2572	2764	5.346
500	0.0096	2845	3114	5.857	0.0079	2794	3047	5.725
550	0.0111	2989	3300	6.090	0.0094	2950	3251	5.981
600	0.0124	3116	3463	6.282	0.0106	3085	3425	6.186
650	0.0136	3234	3614	6.451	0.0117	3209	3583	6.363
700	0.0147	3347	3758	6.603	0.0127	3326	3733	6.520
750	0.0158	3455	3898	6.742	0.0137	3438	3876	6.664
800	0.0168	3563	4033	6.872	0.0146	3548	4015	6.797
900	0.0187	3775	4299	7.108	0.0163	3763	4285	7.037

Seftiana Dewi Nur'Aini (021210040)

Program Studi D3 Teknik Kimia - Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Industri

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



5. Tabel Saturated Steam

Tables in SI Units 721

TABLE A-2 (Continued)

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid v _f × 10 ³	Sat. Vapor v _g	Sat. Liquid u _f	Sat. Vapor u _g	Sat. Liquid h _f	Evap. h _{fg}	Sat. Vapor h _g	Sat. Liquid s _f	Sat. Vapor s _g	
50	.1235	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	8.0763	50
55	.1576	1.0146	9.568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.9913	55
60	.1994	1.0172	7.671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.9096	60
65	.2503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	7.8310	65
70	.3119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	7.7553	70
75	.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824	75
80	.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122	80
85	.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445	85
90	.7014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791	90
95	.8455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159	95
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549	100
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387	110
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296	120
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269	130
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299	140
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379	150
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502	160
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663	170
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857	180
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079	190
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323	200
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585	210
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861	220
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146	230
240	33.44	1.2291	0.05976	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437	240
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730	250
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019	260
270	54.99	1.3023	0.03564	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301	270
280	64.12	1.3321	0.03017	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8571	280
290	74.36	1.3656	0.02557	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7821	290
300	85.81	1.4036	0.02167	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	5.7045	300
320	112.7	1.4988	0.01549	1444.6	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	5.5362	320
340	145.9	1.6379	0.01080	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.0	3.6594	5.3357	340
360	186.5	1.8925	0.006945	1725.2	2351.5	1760.5	720.5	2481.0	3.9147	5.0526	360
374.14	220.9	3.155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	4.4298	374.14

Source. Tables A-2 through A-5 are extracted from J. H. Keenan, F. G. Keyes, P. G. Hill, and J. G. Moore, *Steam Tables*, Wiley, New York, 1969.



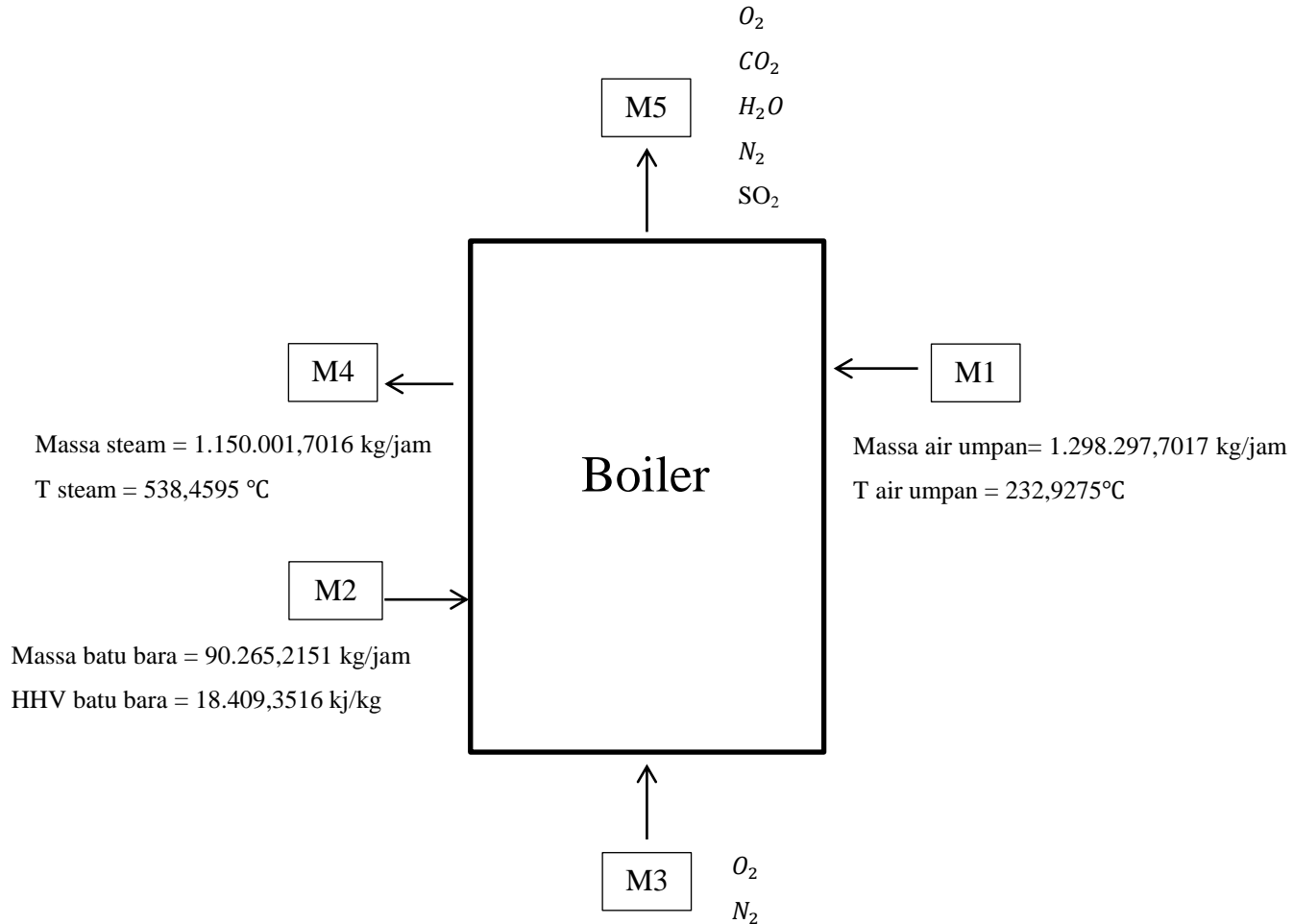
TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



PERHITUNGAN

I. Perhitungan Neraca Massa Boiler



Dimana :

M1 = massa air umpan (kg/jam)

M2 = massa batu bara (kg/jam)

M3 = massa udara supply (kg/jam)

M4 = massa produksi *steam* (kg/jam)

M5 = massa *flue gas* (kg/jam)



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



A. Input

1. Massa air umpan boiler/*feed water* = 1.298,2977 T/H
= 1.298.297,7017 kg/jam
2. Menghitung massa batu bara
Massa batu bara = 90,26521516 T/H
= 90.265,2152 kg/jam

Tabel I.A.1 Data Komposisi Batu Bara

Unsur	% berat
Total moisture (H_2O)	31,01
Ash content	4,77
Total sulfur (S)	0,53
Carbon (C)	46,16
Hidrogen (H_2)	3,45
Nitrogen (N)	0,82
Oksigen (O)	13,26
Total	100

(Sumber : Uji Batu Bara Unit 1 bulan Maret)

Menghitung laju alir massa komponen batu bara

- Unsur Total moisture (H_2O)

Laju alir massa = %berat \times laju alir massa batu batu bara masuk

$$= 31,01\% \times 90.265,2152 \text{ kg/jam}$$

$$= 27.991,2432 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Laju alir mol} = \frac{\text{laju alir massa} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}}\right)}{BM}$$

$$= \frac{27.991,2432 \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}}\right)}{18}$$

$$= 1.555,0691 \text{ kmol/jam}$$



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Dengan cara yang sama didapat hasil sebagai berikut:

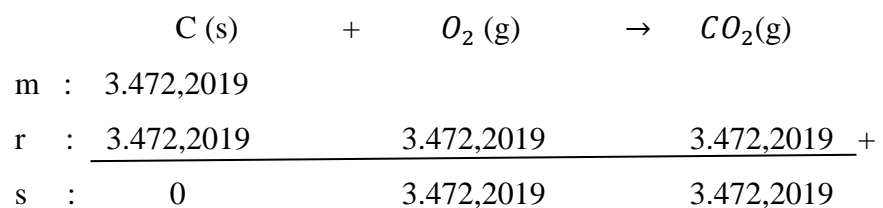
Tabel I.A.2 Hasil Perhitungan laju alir komponen batu bara

Unsur	% berat	Laju alir massa (kg/jam)	Berat molekul (kg/kmol)	Laju alir mol (kmol/jam)
Total moisture (H_2O)	31,01	27.991,2432	18	1.555,0691
Ash content	4,77	4.305,6508	0	-
Total sulfur (S)	0,53	478,4056	32	14,9502
Carbon (C)	46,16	41.666,4233	12	3.472,2019
Hydrogen (H_2)	3,45	3.114,1499	2	1.557,0750
Nitrogen (N)	0,82	740,1748	14	52,8696
Oksigen (O)	13,26	11.969,1675	16	748,0730
TOTAL	100	90.265,2152		7.400,2387

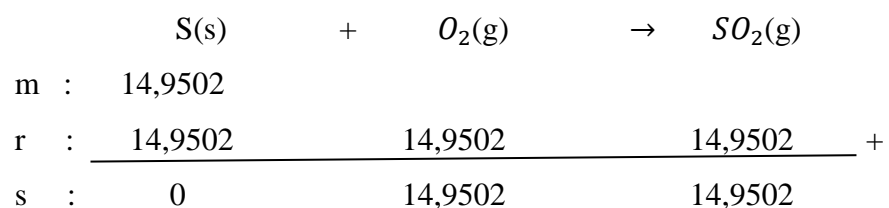
3. Menghitung massa udara *supply*

Massa udara *supply* diperoleh dari reaksi pembakaran dengan persamaan stoikiometri sebagai berikut:

- Reaksi pembakaran carbon



- Reaksi pembakaran sulfur



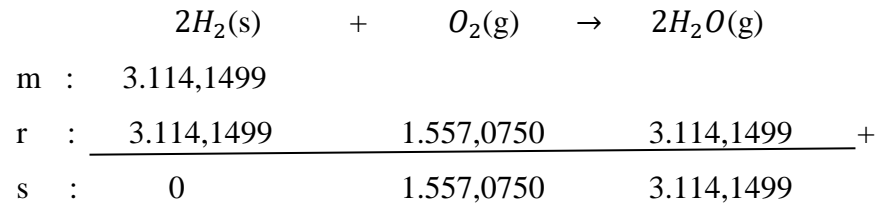


TUGAS AKHIR

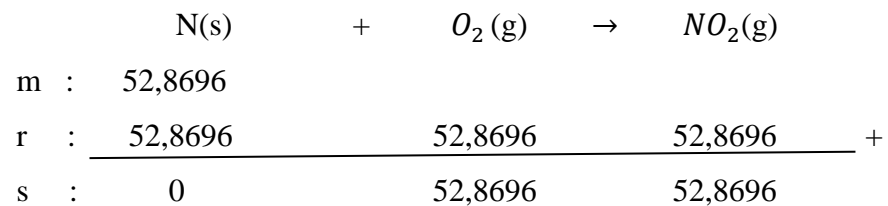
Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



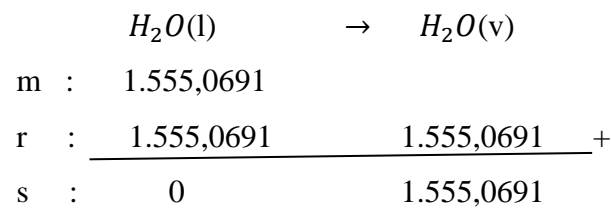
- Reaksi pembakaran hidrogen



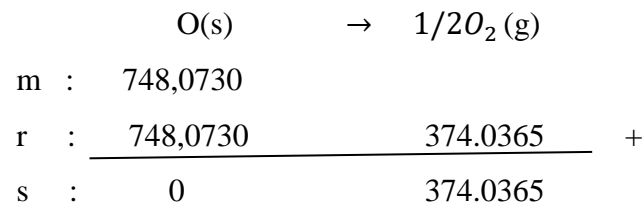
- Reaksi pembakaran nitrogen



- Perubahan air menjadi uap



- Perubahan unsur O menjadi O_2



Maka laju alir mol O_2 yang diperlukan untuk proses pembakaran adalah sebagai berikut:

Tabel I.A.3 Laju Alir Mol O_2 yang bereaksi

Oksigen untuk proses pembakaran	Laju alir mol (kmol/jam)
C	3.472,2019
H	1.557,0750
N	52,8696
S	14,9502
Total	5.097,0967



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Kandungan oksigen (O_2) yang terdapat di dalam batu bara dapat diketahui pada perubahan O menjadi O_2 yaitu sebesar 374.0365 kmol/jam.

Sehingga oksigen yang disediakan oleh udara dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

Oksigen yang disediakan oleh udara = jumlah oksigen proses pembakaran – oksigen yang terkandung dalam batu bara.

$$= 5.097,0967 - 374.0365$$

$$= 4.723,0602 \text{ kmol/jam}$$

Kandungan udara terdiri dari 21% O_2 dan 79% N_2 . Sehingga dapat dihitung udara stoikiometri.

$$\begin{aligned} \text{- Udara stoikiometri} &= 21\% \times 4.723,0602 \text{ kmol/jam} \\ &= 991,8426 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

Setelah diketahui jumlah udara stoikiometri langkah selanjutnya adalah menghitung nilai O_2 sebenarnya dengan asumsi *excess*. *Excess* batu bara yaitu antara 15-20%. Diasumsikan pembakaran berlangsung sempurna yaitu O_2 dibuat *excess* sebesar 20%.

$$\begin{aligned} \text{- Udara aktual} &= 120\% \times \text{udara stoikiometri} \\ &= 120\% \times 991,8426 \text{ kmol/jam} \\ &= 1.190,2112 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

Mencari komposisi udara aktual

$$\begin{aligned} \text{- Mencari n } O_2 \text{ excess } 20\% &= 21\% \times \text{udara aktual} \\ &= 21\% \times 1.190,2112 \text{ kmol/jam} \\ &= 249,9443469 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Massa } O_2 \text{ sesungguhnya} &= n O_2 \text{ excess } 20\% \times \text{BM } O_2 \\ &= 249,9443 \text{ kmol/jam} \times 32 \text{ kg/mol} \\ &= 7.998,2191 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



- Mencari $n_{N_2 \text{ excess } 20\%} = 79\% \times \text{udara aktual}$
 $= 79\% \times 1.190,2112 \text{ kmol/jam}$
 $= 940,2668 \text{ kmol/jam}$
- Massa N_2 sesungguhnya $= n_{O_2 \text{ excess } 20\%} \times \text{BM } N_2$
 $= 940,2668 \text{ kmol/jam} \times 28 \text{ kg/mol}$
 $= 26.327,4712 \text{ kg/jam}$

Setelah mengetahui massa O_2 dan N_2 sesungguhnya maka dapat dihitung massa udara *supply* dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Massa udara } \textit{supply} &= \text{massa } O_2 + \text{massa } N_2 \\ &= 7.998,2191 \text{ kg/jam} + 26.327,4712 \text{ kg/jam} \\ &= 34.325,6903 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

B. Output

1. Menghitung massa *flue gas* keluar cerobong/*stack*

Flue gas merupakan gas buang yang keluar melalui cerobong asap hasil pembakaran dan dibuang ke udara lingkungan. Berdasarkan reaksi pembakaran komponen *flue gas* terdiri dari CO_2 , NO_2 , H_2O , SO_2 , N_2 , dan O_2 .

- $O_2 \text{ flue gas} = n_{\text{Udara aktual}} - n_{\text{Udara stoikiometri}}$
 $= 1.190,2112 \text{ kmol/jam} - 991,8426 \text{ kmol/jam}$
 $= 198,3685 \text{ kg/jam}$
- $CO_2 \text{ flue gas} = \text{Laju alir mol} \times \text{BM}$
 $= 3.472,2019 \text{ kmol/jam} \times 44 \text{ kg/kmol}$
 $= 152.776,8855 \text{ kg/jam}$

Dengan cara yang sama maka didapat hasil pada Tabel I.A.4 Data komponen *flue gas* sebagai berikut:



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Tabel I.A.4 Data komponen *flue gas*

Unsur	BM (kg/kmol)	Laju alir mol (kmol/jam)	Laju alir massa (kg/jam)
CO_2	44	3.472,2019	152.776,8855
NO_2	46	52,8696	2.432,0028
H_2O	18	4.669,2190	8.4045,9418
SO_2	64	14,9502	956,8113
N_2	28	940,2668	26.327,4712
O_2	32	198,3685	6.347,7929
Total		9347,8761	272.886,9056

2. Menghitung *steam* yang diproduksi

Laju alir *steam* dari boiler sebesar. Hasil ini diperoleh melalui rata rata data log sheet pabrik selama 7 hari yaitu dari tanggal 1 Maret 2024-7 Maret 2024 yaitu sebesar 1150.0017 T/H atau 1.150.001,7016 kg/jam.

Tabel I.B.2 Neraca Massa Boiler

Parameter	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
Massa air umpan (M1)	1.298.297,7017	
Massa batu bara (M2)	90.265,2152	
Massa udara <i>supply</i> (M3)	34.325,6903	
Massa <i>Steam</i> (M4)		1.150.001,7016
Massa <i>Flue Gas</i> (M5)		272.886,9056
Jumlah	1.422.888,6071	1.422.888,6071



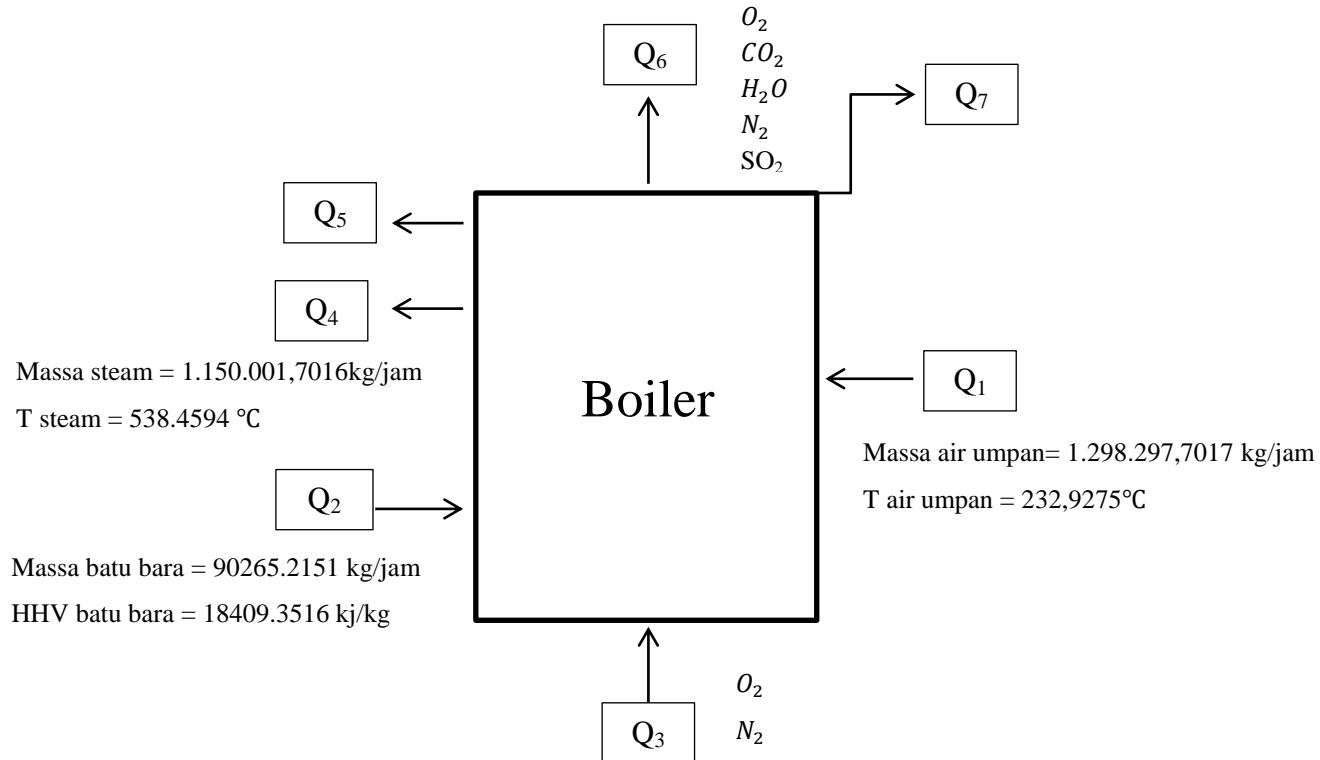
TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



II. Perhitungan Neraca Panas

II.6.2 Neraca Panas Boiler



Dimana :

Q_1 = panas air umpan/*feed water* (kJ/jam)

Q_2 = panas pembakaran bahan bakar (kJ/jam)

Q_3 = panas udara *supply* (kJ/jam)

Q_4 = panas laten *steam* (kJ/jam)

Q_5 = panas sensibel *superheated* (kJ/jam)

Q_6 = panas sensibel *flue gas* (kJ/jam)

Q_7 = panas yang hilang/*heat loss* (kJ/jam)

A. *Input*

1. Air Umpan Masuk (Q_1)

Panas sensibel

Massa air umpan masuk = 1.298.297,7017 kg/jam

BM H_2O = 18 kg/kmol

Seftiana Dewi Nur'Aini (021210040)

Program Studi D3 Teknik Kimia - Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik Industri

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



$$\begin{aligned} \text{Mol air umpan masuk} &= \frac{\text{massa air umpan masuk}}{BM H_2O} \\ &= \frac{1.298.297,7017 \text{ kg/jam}}{18 \text{ kg/kmol}} \\ &= 72.127,6501 \text{ kmol/jam} \\ &= 72.127.650,0929 \text{ mol/jam} \\ \text{Temperatur air umpan masuk} &= 232,9275 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 506,0775 \text{ }^\circ\text{K} \\ \text{Temperatur air umpan keluar} &= 295,9957 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 569,1457 \text{ }^\circ\text{K} \\ \text{Presssure} &= 160 \text{ bar} \end{aligned}$$

Tabel II.A.1 Data *Heat Capacity of Liquid*

Nama	A	B	C	D
H ₂ O	92,053	-3,9953 × 10 ⁻²	-2,1103 × 10 ⁻⁴	5,3469 × 10 ⁻⁷

(Sumber : yaws handbook of thermodynamics and physical of chemical compound)

$$C_p = A + (B \cdot T) + (C \cdot T^2) + (D \cdot T^3)$$

$$\begin{aligned} \int_{506,0775}^{569,1457} C_p dT &= (A + (B \cdot T) + (C \cdot T^2) + (D \cdot T^3)) dT \\ &= A \cdot (T_2 - T_1) + \frac{B}{2} (T_2^2 - T_1^2) + \frac{C}{3} (T_2^3 - T_1^3) + \frac{D}{4} (T_2^4 - T_1^4) \\ &= 92,053(569,1457 - \\ &\quad 506,0775) + \frac{-3,9953 \times 10^{-2}}{2} (569,1457^2 - \\ &\quad 506,0775^2) + \frac{-2,1103 \times 10^{-4}}{3} (569,1457^3 - \\ &\quad 506,0775^3) + \frac{5,3469 \times 10^{-7}}{4} (569,1457^4 - 506,0775^4) \\ &= 5.857,6917 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Q Air Umpan Masuk (Q}_1\text{)} &= n \text{ air umpan} \times \int_{506,0775}^{569,1457} C_p dT \\ &= 72.127.650,0929 \text{ mol/jam} \times 5.857,6917 \text{ J/mol} \\ &= 422.501.534.042,7090 \text{ J/jam} \\ &= 422.501.534,0427 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



2. Menghitung *Heating Value* Bahan Bakar (Q_2)

$$\text{Massa bahan bakar} = 90.265,2152 \text{ kg/jam}$$

$$\text{HHV bahan bakar} = 4397 \text{ kkal/kg}$$

$$= 18409.3516 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_2 = m \text{ bahan bakar} \times \text{HHV batu bara}$$

$$= 90.265,2152 \text{ kg/jam} \times 18.409,3516 \text{ kJ/kg}$$

$$= 1.661.724.086,0576 \text{ kJ/jam}$$

3. Menghitung panas sensibel udara *supply* (Q_3)

Panas sensibel udara *supply* terdiri dari panas komponen N_2 dan panas komponen O_2 yang masuk ke dalam *burner* beserta kelembabpan udara berupa H_2O .

$$T \text{ referensi} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T \text{ udara masuk ke boiler} = 35 \text{ }^\circ\text{C} = 308,15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$n_{N_2} = 940,2668 \text{ kmol/jam} = 940.266,8289 \text{ mol/jam}$$

$$n_{O_2} = 198,3685 \text{ kmol/jam} = 198.368,5293 \text{ mol/jam}$$

Menghitung nilai C_p dengan mengetahui komponen A, B, C, D, dan E.

Tabel II.A.2 *Heat Capacity of Gas*

Nama	A	B	C	D	E
O_2	29,526	$-8,90 \times 10^{-3}$	$3,81 \times 10^{-5}$	$-3,26 \times 10^{-8}$	$8,86 \times 10^{-12}$
N_2	29,342	$-3,54 \times 10^{-3}$	$1,01 \times 10^{-5}$	$-4,31 \times 10^{-9}$	$2,59 \times 10^{-13}$

(Sumber : *yaws handbook of thermodynamics and physical of chemical compound*)

Nilai C_p dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$C_p = A + (B.T) + (C.T^2) + (D.T^3) + (E.T^4)$$

$$\int_{T \text{ referensi}}^{T \text{ udara}} C_p dT = (A + (B.T) + (C.T^2) + (D.T^3) + (E.T^4)) dT$$



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



- Untuk komponen O_2

$$\int_{298,15}^{308,15} C_p dT = (A+(B.T)+(C.T^2)+(D.T^3)+(E.T^4)) dT$$

$$\int_{298,15}^{308,15} C_p dT = (A.T+\frac{B}{2}.T^2+\frac{C}{3}.T^3+\frac{D}{4}.T^4+\frac{E}{5}.T^5)dT$$

$$= A.(T udara-Tref)+\frac{B}{2}.(T udara^2 - T ref^2)+\frac{C}{3}.$$

$$(T udara^3 - T ref^3)+\frac{D}{4} . (T udara^4 -$$

$$T ref^4)+\frac{E}{5} . (T udara^5 - T ref^5)$$

$$= 29,342 (308,15-298,15)+\frac{-8,90 \times 10^{-3}}{2} (308,15^2-$$

$$298,15^2) + \frac{3,81 \times 10^{-5}}{3} (308,15^3-298,15^3) +$$

$$\frac{-3,26 \times 10^{-8}}{4} (308,15^4-298,15^4) + \frac{8,86 \times 10^{-12}}{5}$$

$$(308,15^5-298,15^5)$$

$$= 294,9374 \text{ J/mol}$$

- Untuk komponen N_2

$$\int_{298,15}^{308,15} C_p dT = (A+(B.T)+(C.T^2)+(D.T^3)+(E.T^4)) dT$$

$$\int_{298,15}^{308,15} C_p dT = (A.T+\frac{B}{2}.T^2+\frac{C}{3}.T^3+\frac{D}{4}.T^4+\frac{E}{5}.T^5)dT$$

$$= A.(T udara-Tref)+\frac{B}{2}.(T udara^2 - T ref^2)$$

$$+\frac{C}{3} . (T udara^3 - T ref^3)+\frac{D}{4} . (T udara^4 -$$

$$T ref^4)+\frac{E}{5} . (T udara^5 - T ref^5)$$

$$= 29,626(308,15-298,15)+\frac{-3,54 \times 10^{-3}}{2} (308,15^2-$$

$$298,15^2) + \frac{1,01 \times 10^{-5}}{3} (308,15^3-298,15^3) +$$

$$\frac{-4,31 \times 10^{-9}}{4} (308,15^4-298,15^4) + \frac{2,59 \times 10^{-13}}{5}$$

$$(308,15^5-298,15^5)$$

$$= 290,6028 \text{ J/mol}$$



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



- Setelah nilai C_p masing-masing komponen diketahui maka dapat dihitung Q_{O_2} dan Q_{N_2}

$$Q_x = n_x \times \int_{T_{referensi}}^{T_{udara}} C_p dT$$

Nilai Q_{O_2}

$$Q_{O_2} = n_{O_2} \times \int_{T_{referensi}}^{T_{udara}} C_p dT$$

$$Q_{O_2} = 198.368,5293 \text{ mol/jam} \times 294,9374 \text{ J/mol}$$

$$Q_{O_2} = 58.506.295,0435 \text{ J/jam}$$

Nilai Q_{N_2}

$$Q_{N_2} = n_{N_2} \times \int_{T_{referensi}}^{T_{udara}} C_p dT$$

$$Q_{N_2} = 940.266,8289 \text{ mol/jam} \times 290,6028 \text{ J/mol}$$

$$Q_{N_2} = 273.244.204,8374 \text{ J/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } Q \text{ total } (Q_3) &= \text{Massa } Q_{O_2} + \text{Massa } Q_{N_2} \\ &= 58.506.295,0435 \text{ J/jam} + \\ &\quad 273.244.204,8374 \text{ J/jam} \\ &= 331.750.499,8809 \text{ J/jam} \\ &= 331.750,4999 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

B. Output

1. Menghitung Laten *Steam*

$$\text{Massa steam} = 1.150.001,7016 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Suhu steam} = 350,6415 \text{ }^\circ\text{C}$$

Berdasarkan *steam* tabel *saturated* untuk uap air dengan suhu 350,6415 $^\circ\text{C}$ dapat dicari dengan cara interpolasi sehingga memiliki hasil nilai *hfg* sebesar 864,34 kJ/kg.

Setelah mendapatkan nilai *hfg*, Q_4 dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_4 = \text{massa steam} \times \text{hfg}$$



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Jadi entalpi *steam* sebesar:

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= 1.150.001,7016 \text{ kg/jam} \times 864,34 \text{ kJ/kg} \\
 &= 993.992.470,7362 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

2. Panas sensibel uap *superheated*

$$\begin{aligned}
 T_{\text{superheated}} &= 538,4594 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &= 811,6094 \text{ }^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{steam}} &= 350,6415 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &= 623,7915 \text{ }^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

$$\text{Massa steam} = 1.150.001,7016 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned}
 n_{\text{steam}} &= \text{massa steam/BM } H_2O \\
 &= 1.150.001,7016 \text{ kg/jam} / 18 \text{ kmol/kg} \\
 &= 63.888,9834 \text{ kmol/jam} = 63.888.983,4206 \text{ mol/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel II.A.3 *Heat Capacity of Gas*

Nama	A	B	C	D	E
H_2O	33,933	$-8,42 \times 10^{-3}$	$2,99 \times 10^{-5}$	$-1,78 \times 10^{-8}$	$3,96 \times 10^{-12}$

Nilai C_p dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \int_{623,7915}^{811,6094} C_p dT &= (A + (B \cdot T) + (C \cdot T^2) + (D \cdot T^3) + (E \cdot T^4)) dT \\
 \int_{623,7915}^{811,6094} C_p dT &= (A \cdot T + \frac{B}{2} \cdot T^2 + \frac{C}{3} \cdot T^3 + \frac{D}{4} \cdot T^4 + \frac{E}{5} \cdot T^5) dT \\
 &= A \cdot (T_{\text{superheated}} - T_{\text{steam}}) + \frac{B}{2} \cdot (T_{\text{superheated}}^2 - T_{\text{steam}}^2) + \frac{C}{3} \cdot (T_{\text{superheated}}^3 - T_{\text{steam}}^3) + \frac{D}{4} \cdot (T_{\text{superheated}}^4 - T_{\text{steam}}^4) + \frac{E}{5} \cdot (T_{\text{superheated}}^5 - T_{\text{steam}}^5) \\
 &= 33,933 (811,6094 - 623,7915) + \frac{-8,42 \times 10^{-3}}{2} (811,6094^2 - 623,7915^2) + \frac{2,99 \times 10^{-5}}{3} (811,6094^3 - 623,7915^3) + \frac{-1,78 \times 10^{-8}}{4} (811,6094^4 - 623,7915^4) + \frac{3,96 \times 10^{-12}}{5} (811,6094^5 - 623,7915^5)
 \end{aligned}$$



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



$$623,7915^4) + \frac{3,96 \times 10^{-12}}{5} (811,6094^5 -$$

$$623,7915^5)$$

$$= 7.079,6843 \text{ J/mol}$$

Q5

$$= n_{\text{steam}} \times \int_{623,7915}^{811,6094} C_p dT$$

$$= 63.888.983,4206 \text{ mol/jam} \times 7.079,6843 \text{ J/mol}$$

$$= 452.313.830.961,056 \text{ J/jam}$$

$$= 452.313.830,9611 \text{ kJ/jam}$$

3. Menghitung Panas Sensibel *Flue Gas* (Q₆)

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_{\text{flue gas}} = 172,3743 \text{ }^\circ\text{C} = 445,5243 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$n_{\text{CO}_2} = 3472,2019 \text{ kmol/jam} = 3.472.201,943 \text{ mol/jam}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 4669,2190 \text{ kmol/jam} = 4.669.218,991 \text{ mol/jam}$$

$$n_{\text{N}_2} = 940,2668 \text{ kmol/jam} = 940.266,8289 \text{ mol/jam}$$

$$n_{\text{O}_2} = 198,3685 \text{ kmol/kjam} = 198.368,5293 \text{ mol/jam}$$

$$n_{\text{SO}_2} = 14,9502 \text{ kmol/jam} = 14.950,1763 \text{ mol/jam}$$

Menghitung C_p CO_2 dengan menggunakan komponen A, B, C, D, dan E dari *Heat Capacity of Gas*.

Tabel II.B.2 *Heat Capacity of Gas*

Nama	A	B	C	D	E
CO_2	27,437	$4,23 \times 10^{-2}$	$-1,96 \times 10^{-5}$	$4,00 \times 10^{-9}$	$-2,99 \times 10^{-13}$
H_2O	33,933	$-8,42 \times 10^{-3}$	$2,99 \times 10^{-5}$	$-1,78 \times 10^{-8}$	$3,96 \times 10^{-12}$
NO_2	32,791	$-7,43 \times 10^{-4}$	$8,17 \times 10^{-5}$	$-8,29 \times 10^{-8}$	$2,44 \times 10^{-11}$
O_2	29,526	$-8,90 \times 10^{-3}$	$3,81 \times 10^{-5}$	$-3,26 \times 10^{-8}$	$8,86 \times 10^{-12}$
N_2	29,342	$-3,54 \times 10^{-3}$	$1,01 \times 10^{-5}$	$-4,31 \times 10^{-9}$	$2,59 \times 10^{-13}$
SO_2	29.637	$3,4735 \times 10^{-2}$	$9,2903 \times 10^{-6}$	$-2,9885 \times 10^{-8}$	$1,0937 \times 10^{-11}$

(Sumber : yaws handbook of thermodynamics and physical of chemical compound)



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Nilai Cp dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$C_p = A + (B \cdot T) + (C \cdot T^2) + (D \cdot T^3) + (E \cdot T^4)$$

$$\int_{T_{\text{referensi}}}^{T_{\text{flue gas}}} C_p dT = (A + (B \cdot T) + (C \cdot T^2) + (D \cdot T^3) + (E \cdot T^4)) dT$$

- Untuk komponen CO_2

$$\int_{T_{\text{referensi}}}^{T_{\text{flue gas}}} C_p dT = (A + (B \cdot T) + (C \cdot T^2) + (D \cdot T^3) + (E \cdot T^4)) dT$$

$$\int_{298,15}^{445,5243} C_p dT = (A + (B \cdot T) + (C \cdot T^2) + (D \cdot T^3) + (E \cdot T^4)) dT$$

$$\begin{aligned} \int_{298,15}^{445,5243} C_p dT &= (A \cdot T + \frac{B}{2} \cdot T^2 + \frac{C}{3} \cdot T^3 + \frac{D}{4} \cdot T^4 + \frac{E}{5} \cdot T^5) dT \\ &= A \cdot (T_{\text{udara}} - T_{\text{ref}}) + \frac{B}{2} \cdot (T_{\text{udara}}^2 - T_{\text{ref}}^2) \\ &\quad + \frac{C}{3} \cdot (T_{\text{udara}}^3 - T_{\text{ref}}^3) + \frac{D}{4} \cdot (T_{\text{udara}}^4 - T_{\text{ref}}^4) \\ &\quad + \frac{E}{5} \cdot (T_{\text{udara}}^5 - T_{\text{ref}}^5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 27,437 (445,5243 - 298,15) + \frac{4,23 \times 10^{-2}}{2} \\ &\quad (445,5243^2 - 298,15^2) + \frac{-1,96 \times 10^{-5}}{3} \\ &\quad (445,5243^3 - 298,15^3) + \frac{4,00 \times 10^{-9}}{4} \\ &\quad (445,5243^4 - 298,15^4) + \frac{-2,99 \times 10^{-13}}{5} \\ &\quad (445,5243^5 - 298,15^5) \\ &= 5.989,2259 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, untuk nilai Cp CO_2 , H_2O , N_2 , dan O_2 dapat dilihat dalam Tabel II.B.3.

Tabel II.B.3 Cp Flue Gas

No	Nama komponen	Cp (J/mol)
1.	CO_2	5.989,2259
2.	H_2O	5.027,7401
3.	N_2	4.302,0913
4.	O_2	4.419,8209
5.	SO_2	6.260,8851



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Dengan diketahui C_p setiap komponen maka dapat diketahui nilai panas sensibel *flue gas* yaitu:

$$Q_6 = n \text{ komponen} \times \int_{T_{\text{referensi}}}^{T_{\text{flue gas}}} C_p dT$$

- Untuk CO_2

$$Q_{CO_2} = 3.472.201,943 \text{ mol/jam} \times 5.989,2259 \text{ J/mol}$$

$$Q_{CO_2} = 20.795.801.917 \text{ J/jam}$$

$$Q_{CO_2} = 20.795.801,92 \text{ kJ/jam}$$

Dengan cara yang sama di dapat hasil sebagai berikut:

Tabel II.B.4 Nilai Q Komponen *Flue Gas*

Nama	n (mol/jam)	C_p (J/mol)	Q (J/jam)	Q (kJ/jam)
CO ₂	3.472.201,94	5.989,225932	20.795.801.917,450	20.795.801,9175
O ₂	198.368,529	4.419,820938	876.753.379,2124	876.753.3792
H ₂ O	4.669.218,99	5.027,740117	23.475.619.633,9782	23.475.619,634
N ₂	940.266,829	4.302,091298	4.045.113.742,1111	4.045.113,7421
SO ₂	14.950,17626	6.260,8851	93.601.335,8682	93.601,33589
TOTAL			49.286.890.008,6200	49.286.890,0086

4. Menghitung Panas yang Hilang (Q_7)

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{input}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\
 &= 2.084.557.370,6002 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{output}} &= Q_4 + Q_5 + Q_6 \\
 &= 1.495.593.191,7059 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= Q_{\text{input}} - Q_{\text{output}} \\
 &= 2.084.557.370,6002 \text{ kJ/jam} - 1.495.593.191,7059 \text{ kJ/jam} \\
 &= 588.964.178,8943 \text{ KJ/jam}
 \end{aligned}$$



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Tabel II.B.5 Neraca Panas Boiler

Parameter	Q input (kJ/jam)	Q output (kJ/jam)
Panas <i>Feed Water</i> (Q_1)	422.501.534,0427	
Panas Pembakaran Batu Bara (Q_2)	1.661.724.086,0576	
Panas Udara <i>Supply</i> (Q_3)	331.750,4999	
Panas Laten <i>Steam</i> (Q_4)		993.992.470,7362
Panas Sensibel <i>Superheated</i> (Q_5)		452.313.830,9611
Panas Sensibel <i>Flue Gas</i> (Q_6)		49.286.890,0086
Panas yang hilang (Q_7)		588.964.178,8943
Jumlah	2.084.557.370,6002	2.084.557.370,6002

III. Efisiensi Termal Boiler

Panas yang dipakai untuk memanaskan air menjadi uap = $Q_4 + Q_5$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } Q_4 + Q_5 &= 993.992.470,7362 + 452.313.830,9611 \\ &= 1.446.306.301,6973 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Panas pembakaran batu bara} = 1.661.724.086,0576 \text{ kJ/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi boiler} &= \frac{Q_4 + Q_5}{Q_2} \times 100\% \\ &= \frac{1.446.306.301,6973 \text{ kJ/jam}}{1.661.724.086,0576 \text{ kJ/jam}} \times 100\% \\ &= 87,0365\% \end{aligned}$$



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



5. Surat Diterima Kerja Praktik

Nomor : /324/SLAPGU/2023
Lampiran : -
Perihal : Persetujuan Praktek Kerja Lapangan/PKL

Suralaya, 27 Desember 2023
Kepada
Yth. DEKAN UNIVERSITAS
PEMBANGUNAN NASIOAL
"VETERAN" YOGYAKARTA
Jl. Babarsari 2 Tambakbayan
Yogyakarta 55281

Menjawab Surat Permohonan No.841/UN62.12/KM/2023 Tanggal 22 Desember 2023 Perihal Permohonan Praktek Kerja Lapangan (PKL), dengan ini disampaikan bahwa :

a. Permohonan tersebut dapat diterima dan dilaksanakan mulai tanggal **01 Maret 2024 s/d 29 Maret 2024** dengan peserta sebagai berikut :

NAMA	NIM	JURUSAN
FARADIBA KHAIRUNNISA A	021210001	TEKNIK KIMIA
DIAN PRASETYANI	021210011	TEKNIK KIMIA
SEFTIANA DEWI NUR'AINI	021210040	TEKNIK KIMIA

b. Calon peserta PKL agar hadir pada Jam 07.00 Wib dan registrasi di Pos 1 Kemanan Suralaya PGU
c. Calon peserta PKL diwajibkan memakai Safety shoes, dan Almamater selama mengikuti kegiatan Job Training di perusahaan.
d. Calon peserta PKL tidak merokok, sesuai Kepdir PLN no.514.K/DIR/2010.
e. Selama melaksanakan PKL di PT. PLN Indonesia Power Suralaya PGU, calon peserta tidak mendapat fasilitas apapun dan akan mentaati tata tertib yang berlaku.
f. Calon peserta PKL tidak diperkenankan memakai Kaos, Jeans dan celana ketat, dan setiap Jumat harus mengikuti senam pagi serta memakai seragam training lengkap.
g. Calon peserta PKL diharuskan hadir opening sesuai dengan tanggal pemanggilan PKL, dan waktu yang telah ditentukan tidak dapat diubah.
h. Apabila calon peserta PKL tidak hadir dalam 2 kali 24 jam berarti dianggap telah **MENGUNDURKAN DIRI**
i. Calon peserta PKL diharuskan mengikuti closing sesuai dengan ketentuan management Suralaya PGU

Email : administrasi.humas@indonesiapower.co.id
Jl. Raya PLTU Suralaya Merak, Cilegon - Banten 42439
T 62 - 254 - 571 230, 571 240
F 62 - 254 - 571 235
W www.plnindonesiapower.co.id

CS Dipindai dengan CamScanner

Seftiana Dewi Nur'Aini (021210040)
Program Studi D3 Teknik Kimia - Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Industri
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



PLN
Indonesia Power
SURALAYA PGU

j. Setelah closing PKL, Helm di kembalikan ke Div. Humas.

Demikian disampaikan, atas perhatian dan kerja sama diucapkan terima kasih.

PLN INDONESIA POWER
MANAGER SDM & HUMAS
KRISSLOANA KENDALI

Email : administrasi.humas@plnindonesiapower.co.id

Jl. Raya PLTU Suralaya Merak, Cilegon - Banten 42439
T 62 - 254 - 571 230, 571 240
F 62 - 254 - 571 235 www.plnindonesiapower.co.id

CS Dipindai dengan CamScanner




TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



6. Surat Tugas Kerja Praktik

**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.fti.upnyk.ac.id

SURAT TUGAS
Nomor : A1 /UN62.12/KM/2024

Dekan Fakultas Teknik Industri UPN "Veteran" Yogyakarta memberikan tugas kepada,

No	Nama	NPM	Prodi/Program	Dosen Pembimbing /NIDN
1.	Faradiba Khairunnisa A	021210001	Teknik Kimia/ Diploma Tiga	Dr. Putri Restu Dewati, S.T., M.Eng 0030088603
2.	Dian Prasetyani	021210011	Teknik Kimia/ Diploma Tiga	Yuli Ristianingsih, S.T., M.Eng. 0013078503
3.	Seftiana Dewi Nur'aini	021210040	Teknik Kimia/ Diploma Tiga	Dr. Retno Ringgani, S.T., M.Eng. 0026115303


untuk melaksanakan Kerja Praktik pada,
Periode : 1 Maret 2024 s.d 29 Maret 2024
Tempat : PT. PLN Indonesia Power Suralaya
Jl. Raya PLTU Suralaya Merak, Cilegon-Banten 42439

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.

12 Januari 2024

a.n. Dekan
Wakil Dekan Bidang Akademik


Dr. Apriani Soepardi, S.T.P., M.T.
NIPPK 197311182021212005

Tembusan:

1. Dekan (sebagai laporan);
2. Kajar Teknik Kimia;
3. Dosen Pembimbing,
FTI UPN "Veteran" Yogyakarta

Seftiana Dewi Nur'Aini (021210040)
Program Studi D3 Teknik Kimia - Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Industri
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



7. Surat Keterangan Lulus Kerja Praktik



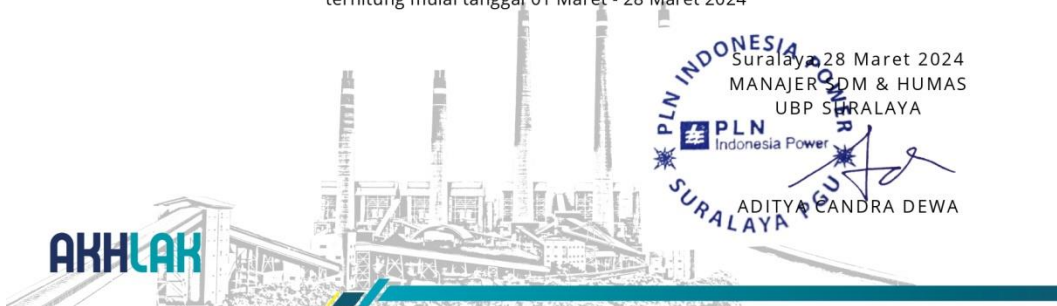
SURAT KETERANGAN

Nomor : 046/Skt/324/UBPSLA/2024

Diberikan Kepada :

Nama : SEFTIANA DEWI NUR'AINI
Nim : 021210040
Jurusan : TEKNIK KIMIA
Institusi : UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA

Menerangkan bahwa yang bersangkutan telah melaksanakan Praktek Kerja Lapangan di Bidang " EFFICIENCY ENGINEERING PT PLN INDONESIA POWER UBP SURALAYA" terhitung mulai tanggal 01 Maret - 28 Maret 2024






TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



8. Lembar Penilaian B3


KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK KIMIA
 Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Yogyakarta 55283
 Telepon 0274-486889, 487154, 487155 & Fax 0274-486889

B - 3

LEMBAR PENILAIAN KERJA PRAKTEK MAHASISWA
PRODI TEKNIK KIMIA, FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA

Identitas Pembimbing/Penilai

Nama : ROCKY MURTI WIJANARNO

Jabatan : ASISTANT MANAGER EFISIENSI ENGINEERING UBP ILA

Perusahaan/Instansi : PT. PLN INDONESIA POWER UBP SURALAYA

Identitas Mahasiswa

Nama : SEFTIANA DEWI NUR'AINI

NIM : 021210040

Unsur yang dinilai (dalam angka):

1. Disiplin : 92

2. Penguasaan Materi : 91

3. Tugas Khusus* : 92 (pelaporan kerja praktek ke perusahaan)

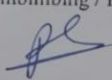
Rata-rata : 91,6

Catatan : Untuk kecermatan dan ketelitian agar lebih ditingkatkan

*) Jika ada tugas khusus dari perusahaan /instansi

SURALAYA, 28 Maret 2024

Pembimbing / Penilai


ROCKY MURTI WIJANARNO

Keterangan Nilai:

Nilai Angka	Nilai huruf	Sebutan
$X \geq 85$	A	Istimewa
$80 \leq X < 85$	B+	Baik Sekali
$75 \leq X < 80$	B	Baik
$70 \leq X < 75$	C+	Cukup Baik
$60 \leq X < 70$	C	Cukup
$50 \leq X < 60$	D	Kurang

Seftiana Dewi Nur'Aini (021210040)
Program Studi D3 Teknik Kimia - Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Industri
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



9. Dokumentasi



Dokumentasi bersama *Operator Unit 2* PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Dokumentasi bersama *Operator Coal Handling* dan Pembimbing Lapangan



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Dokumentasi bersama Pembimbing Lapangan (Divisi *Efficiency Engineering*)



Dokumentasi Penutupan Kerja Praktik Periode Maret 2024



TUGAS AKHIR

Menghitung Neraca Massa, Neraca Panas, dan Efisiensi Termal pada Boiler Unit 1 Kapasitas 400 MW PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya



Dokumentasi *Tour Plant*