



TESIS (TM142501)

**ANALISIS TERMODINAMIKA PENGARUH
OPERASI *FEEDWATER HEATER* PADA
PERFORMA PLTU 3 BANGKA BELITUNG
MENGUNAKAN *SOFTWARE CYCLE TEMPO***

ERWIYAN FAJAR ANSORI

NRP. 2114 202 002

Dosen Pembimbing:

Budi Utomo Kukuh Widodo, Ir., ME., Dr.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017

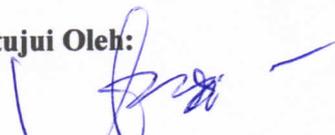
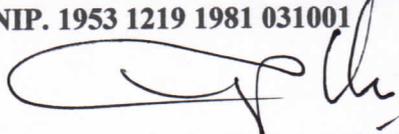
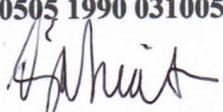
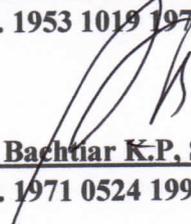
**LEMBAR PENGESAHAN
TESIS**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh November**

**Oleh:
Erwiyani Fajar Ansori
NRP. 2114202002**

**Tanggal Ujian : Rabu, 09 Januari 2017
Priode Wisuda: Maret 2017**

Disetujui Oleh:

- 
1. **Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME** (Pembimbing)
NIP. 1953 1219 1981 031001
- 
2. **Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng** (Penguji)
NIP. 1965 0505 1990 031005
- 
3. **Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng** (Penguji)
NIP. 1953 1019 1979 031002
- 
4. **Ary Bachtiar K.P., ST. MT. Ph.D** (Penguji)
NIP. 1971 0524 1997 021001

an. **Direktur Program Pascasarjana**
Asisten Direktur



Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.
NIP. 19611021 198603 1 001

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NIP. 1960 1202 1987 011001

Analisis Termodinamika Pengaruh Operasi *Feedwater Heater* pada Performa
PLTU 3 Bangka Belitung menggunakan *Software Cycle Tempo*

Name : Erwiyani Fajar Ansori
NRP : 2114202002
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisor : Budi Utomo Kukuh Widodo,Ir.,ME.,Dr

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan pembangkit listrik tenaga uap dengan siklus *Rankine* sederhana pada PLTU 3 Bangka Belitung. Daya yang dihasilkan pada unit pembangkit PLTU 3 Bangka Belitung sebesar 30 MW. PLTU 3 Bangka Belitung terdiri dari satu turbin dan dua jenis sistem *feedwater heater* yang tersusun dari 5 *closed feedwater heater* dan 1 *open feedwater heater*. *Feedwater heater* berfungsi untuk meningkatkan temperatur air sebelum masuk *boiler* sehingga energi yang dibutuhkan *boiler* lebih sedikit dibandingkan tanpa *feedwater heater*. Studi lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui pengaruh operasi *feedwater heater* terhadap performa pembangkit.

Penelitian ini memvariasikan operasi *feedwater heater* pada kondisi *off service* dengan analisis termodinamika menggunakan *software cycle tempo*. Perhitungan *software cycle tempo* menggunakan data *heat balance*. Pemodelan pembangkit dilakukan pada delapan kondisi variasi yaitu variasi 1 kondisi LPH 1 off, variasi 2 kondisi LPH 2 off, variasi 3 kondisi LPH 3 off, variasi 4 kondisi HPH 2 off, variasi 5 kondisi HPH 2 dan LPH 1 off, variasi 6 kondisi HPH 2 dan LPH 2 off, variasi 7 kondisi HPH 2 dan LPH 3 off, variasi 8 HPH 1 off serta dilakukan variasi kalori bahan bakar batubara pada pembangkit.

Hasil penelitian menggunakan *software Cycle Tempo* pada kondisi eksisting menghasilkan daya 30000 kW dan efisiensi 30.04 %. Kondisi eksisting mempunyai efisiensi tertinggi diantara kondisi variasi yang lain. Hasil paling optimal terdapat pada kondisi variasi pertama dengan daya 29.977 kW dan efisiensi 29.967 %, sedangkan hasil paling rendah terdapat pada variasi ke delapan dengan daya 29498 kW dan efisiensi 29.585%. Pada variasi kalori batubara menunjukkan penurunan daya dikarenakan \dot{m}_{steam} yang didapat sangat kecil dan berdampak kepada daya pembangkit.

Kata kunci: PLTU 3 Bangka Belitung, analisis termodinamika, *Software Cycle Tempo*, *feedwater heater*, LHV coal, daya, efisiensi.

Analysis of Thermodynamics of the effect of Feedwater Heater Operation on the
Performance of PLTU 3 Bangka Belitung using Cycle Tempo Software

Name : Erwiyani Fajar Ansori
NRP : 2114202002
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisor : Budi Utomo Kukuh Widodo, Ir., ME., Dr

ABSTRACT

The electric steam power plant with simple Rankine cycle in PLTU 3 Bangka Belitung was used as an object in this study. The power plant unit of PLTU 3 Bangka Belitung produced the power of 30 MW. PLTU 3 Bangka Belitung consists of one turbine and two kinds of feedwater heater system composed of five closed feedwater heaters and one open feedwater heater. The function of feedwater heater is to raise the temperature of water preheating entering the boiler so that the boiler needs less energy. The further study is needed to determine the effect of feedwater heater operation on power plant performance.

This study was performed under varying feedwater heater operation on or off service condition with thermodynamic analysis using cycle tempo software. The extrapolation of cycle tempo software was based on the data of heat balance. The plant modelling was performed under eight variations of condition. Variation one was performed under LPH 1 off condition, variations of three conditions LPH 3 off, variations of four conditions HPH 2 off, variations of five conditions HPH 2 and LPH 1 off, variation of six conditions HPH 2 and LPH 2 off, variations of seven HPH conditions 2 and LPH 3 off, variations of eight HPH 1 off with the variation of coal fuel calorie consumed by the power plant.

The result of this study showed that the existing condition produced the power of 30000 kW and the efficiency value was 30.04%. The existing condition gave the best efficiency value among the other variations of condition. Variation one gave the most optimum result, it produced the power of 29.977 kW and the efficiency value was 29.967%. While the variation eight gave the poorest result variation eight produced the power of 29.948 kW and the efficiency value was 29.585%. The result under the variation of coal calorie showed a decrease in power since \dot{m}_{steam} obtained was so small and it could affect the power plant.

Keywords: Power Plant 3 Bangka Belitung, thermodynamic analysis, Cycle Software
Tempo, feedwater heater, Calorie coal.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, Tuhan penguasa alam, yang selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan tesis ini. Sholawat dan salam tetap kami panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan kami.

Dalam penulisan tesis ini tidak semata-mata karena kemampuan penulis, melainkan karena adanya bantuan dari berbagai pihak yang telah membantu penyusunan proposal tesis ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. Bapak Budi Utomo Kukuh Widodo, Ir., ME., Dr sebagai dosen pembimbing tesis.
2. Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng.Sc., Dr.Eng.sebagai dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan ilmu yang tak ternilai harganya.
3. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng., PhD. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Terimakasih terhadap Tim penguji atas masukan serta arahnya untuk dikehidupan selanjutnya dan motivasinya.
5. Kedua orang tua, adik, serta segenap keluarga besar yang selalu memberikan doa dan motivasinya. Tanpa doa dan motivasi ini penulis tidak bisa menyelesaikan tesis ini dengan baik.
6. Terimakasih terhadap pasangan saya Esa Fesa Susanti Eliazar, S.Farm., Apt. yang tak henti-hentinya memberikan semangat dan motivasi.
7. Seluruh dosen Teknik Mesin yang telah memberikan ilmunya baik secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis. Terima kasih banyak atas ilmu dan didikannya.
8. Rekan-rekan mahasiswa RKE, khususnya TMB 48 yang telah memberikan bantuan dan motivasinya.
9. Terimakasih kepada semua rekan PLTU 3 Bangka Belitung dan Engineer PLTU 3 Bangka Belitung Ibu Dian Mustikaning Kusuma, ST., MT.
10. Seluruh pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan doa, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulisan tesis ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu demi kesempurnaan segala kritik dan saran sangat penulis harapkan. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua dalam pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.
Wassalamu'alaikumWr.Wb

Surabaya, Januari 2017

Penulis

Erwiyani Fajar Ansori

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bahan Bakar Batubara.....	5
2.2 Analisis Termodinamika Pembangkit Listrik Tenaga Uap	6
2.2.1 <i>Rankine Cycle</i>	6
2.2.2 Perhitungan Kerja dan Perpindahan Kalor	7
2.2.3 Analisis <i>Open Feedwater Heater</i>	9
2.2.4 Analisis <i>Closed Feedwater Heater</i>	10
2.2.5 Perhitungan Fraksi Massa	11
2.2.6 Perhitungan Efisiensi Siklus.....	11
2.2.7 Perhitungan Laju kalor (<i>Heat Rate</i>)	12
2.2.8 Boiler Efficiency	12
2.2.9 Jumlah Feedwater Heater	13
2.3 Peralatan-Peralatan Pembangkit Tenaga Uap	14
2.3.1 Boiler.....	14
2.3.2 Turbin	15
2.3.3 Kondensor	16
2.3.4 Pompa.....	16
2.3.5 <i>Feedwater Heater</i>	17
2.3.6 <i>Deaerator</i>	20
2.4 Penjelasan <i>Apparatus</i> Perangkat Lunak <i>Cycle-Tempo</i>	22
2.4.1 Flowchart Perhitungan <i>Cycle-Tempo</i>	25
2.4.2 Prinsip Perhitungan <i>Cycle-Tempo</i>	26

2.5 Hasil dari Diagram Alir	28
2.6 Penelitian Terdahulu	29
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1 Diagram Alir Penelitian	33
3.2 Model pembangkit Bangka Belitung 3	34
3.3 Pemodelan dan Simulasi.....	35
3.4 Hasil Optimasi Yang Di Harapkan	38
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Data dan Moden PLTU 3 Bangka Belitung	39
4.2 Membangun Pemodelan Awal Berdasarkan H.B PLTU 3 Bangka Belitung	42
4.2.1 Perhitungan Termodinamika	42
4.2.2 Perhitungan Fraksi Massa Ekstraksi	43
4.2.3 Menghitung Daya Turbin	48
4.2.4 Kerja Pada Pompa 1 Condensate Pump:	48
4.2.5 Kerja Pada Pompa 2 Boiler Feedwater Pump:	49
4.2.6 Efisiensi Pembangkit	49
4.2.7 Massa Bahan Bakar	49
4.2.8 Heat rate.....	50
4.2.9 Efisiensi boiler	50
4.3 Analisis PLTU 3 Bangka Belitung 2x30 MW setelah dilakukan pemvariasikan	50
4.4 Hasil Penelitian dan Pembahasan	53
BAB V KESIMPULAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN I

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tambahan Pembangkit Baru (minerba.esdm)	1
Gambar 2.1 Skema dan <i>T-s Diagram Rankine Cycle</i>	6
Gambar 2.2 <i>Open Feedwater Heater</i>	9
Gambar 2.3 <i>Closed Feedwater Heater</i>	10
Gambar 2.4 Siklus Regeneratif	11
Gambar 2.5 Skema Efisiensi <i>Boiler Direct Method</i>	12
Gambar 2.6 Komponen <i>Boiler</i>	14
Gambar 2.7 Penampang Samping Turbin Uap	16
Gambar 2.8 <i>Closed Feedwater Heater</i> Tipe U	18
Gambar 2.9 Ketiga zona pada <i>feedwater heater, desuperheating, condensing, dan subcooling zone</i>	19
Gambar 2.10 Bagian-Bagian <i>Deaerator Tray</i>	20
Gambar 2.11 Bagian-Bagian <i>Deaerator Spray</i>	21
Gambar 2.12 <i>Boiler</i> dalam <i>Cycle Tempo</i>	22
Gambar 2.13 Turbin dalam <i>Cycle Tempo</i>	22
Gambar 2.14 Condenser dalam <i>Cycle Tempo</i>	23
Gambar 2.15 <i>Feedwater heater</i> dalam <i>Cycle Tempo</i>	23
Gambar 2.16 <i>Deaerator</i> dalam <i>Cycle Tempo</i>	24
Gambar 2.17 Contoh skema pembangkit dalam <i>Cycle Tempo</i>	27
Gambar 2.18 Distribusi Area VS laju Aliran pada <i>Feedwater</i> (Kuswaha dkk, 2015)	30
Gambar 2.19 Perbandingan Efisiensi Pembangkit terhadap Rasio Ekstraksi Turbin	31
Gambar 2.20 Hubungan Jumlah Penambahan <i>Feedwater Heater</i> dengan Efisiensi PLTU	32
Gambar 2.21 Pengaruh Perbedaan Kerugian Ekstraksi Turbin Uap terhadap Efisiensi <i>Internal Relative</i>	33
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	35
Gambar 3.2 <i>Heat Balance</i> PLTU 3 Bangka Belitung 2 x 30 MW	36
Gambar 3.3 Pemodelan Penelitian berdasarkan <i>software Cycle Tempo 5.0</i>	37
Gambar 3.4 Kondisi Tiap Variasi dengan Menjaga Laju Aliran Massa <i>Main Steam</i>	38
Gambar 3.5 Kondisi Laju Aliran Massa pada <i>Feedwater Heater</i>	38
Gambar 4.1 Pemodelan Sistem PLTU 3 Bangka Belitung	44
Gambar 4.2 Boiler	44
Gambar 4.3 Kondensor	45
Gambar 4.4 Control Volume HPH 1	46
Gambar 4.5 Control Volume HPH 2	46
Gambar 4.6 Control Volume LPH 3	47
Gambar 4.7 Deaerator	48
Gambar 4.8 Control Volume LPH 2	48
Gambar 4.9 Control Volume LPH 3	49
Gambar 4.10 Turbin	50
Gambar 4.11 CFB	50
Gambar 4.12 BFP	51
Gambar 4.13 Grafik Daya pada Kondisi <i>Existing</i> dan Kondisi Variasi Berdasarkan	55
Gambar 4.14 Grafik Efisiensi pada Kondisi <i>Existing</i> dan Kondisi Variasi berdasarkan <i>Cycle Tempo</i>	57
Gambar 4.15 Grafik Power pada variasi <i>msteam</i> berdasarkan <i>Cycle Tempo</i>	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konsumsi Bahan Bakar yang digunakan sampai tahun 2025	5
Tabel 2.2 Typical Number of Feedwater Heater	15
Tabel 3.1 Variasi jumlah feedwater heater.....	37
Tabel 3.2 Variasi Temperatur uap inlet Turbin.....	37
Tabel 4.1 Data Spesifikasi Bahan Bakar	41
Tabel 4.2 Properties Laju Aliran Massa pada FWH Setelah Variasi	53
Tabel 4.3 Properties Pembangkit Setelah Variasi	53
Tabel 4.4 Data Variasi Kalori Batubara Terhadap Daya.....	54

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Badan Pusat Statistik (BPS) merilis total jumlah penduduk di seluruh Indonesia tahun 2016 sebesar 255.461.700 juta jiwa dan menjadi jumlah populasi terbesar keempat di dunia setelah Amerika. Jumlah penduduk Provinsi Kep. Bangka Belitung sebanyak 1.223.296 jiwa, yang bertempat tinggal di daerah perkotaan sebanyak 602.106 jiwa (49,22 persen) dan di daerah pedesaan sebanyak 621.190 jiwa (50,78 persen). Persentase distribusi penduduk kabupaten/kota bervariasi dari yang terendah sebesar 8,70% di Kabupaten Belitung Timur hingga yang tertinggi sebesar 22,66% di Kabupaten Bangka.

Kebutuhan energi listrik yang terus tumbuh menyebabkan pemerintah mengupayakan penambahan kapasitas listrik sebesar 7.000 MW per tahun dan 35.000 MW dalam 5 tahun. Pembagian pengadaan tambahan tenaga listrik dibagi berdasarkan zona, yaitu Sumatera sebesar 8,75 GW, Kalimantan sebesar 1,87 GW, Sulawesi sebesar 2,70 GW, Jawa-Bali sebesar 20,91 GW, Nusa Tenggara sebesar 0,70 GW, Maluku sebesar 0,28 GW, dan Papua sebesar 0,34 GW. Sumber energi yang digunakan meliputi 52% batubara, 24% gas, 11,7% BBM, 6,4% air, 4,4% panas bumi, dan 0,4% energi lainnya. Konsumsi energi rata-rata 199 TWh sedangkan produksi tenaga listrik sebesar 228 TWh (hanya PLN dan IPP).



Gambar 1.1 Tambahan Pembangkit Baru (minerba.esdm)

Rasio elektrifikasi nasional tercatat 84.35%. Golongan pemakaian listrik terbesar adalah golongan rumah tangga yakni sebesar 43%, diikuti industri sebesar 33%, 18% bisnis, dan 6% publik. Mendukung program penambahan kapasitas listrik 35.000 MW, akan di bangun jaringan transmisi di seluruh Indonesia sepanjang 46.597 km yang terdiri dari 2.689 km untuk 70 kV, 33.562 km untuk 150 kV, 5.262 km untuk 275 kV, 3.541 km untuk 500 kV, dan 1.543 km untuk 500 kV DC (SF).

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mencatat kondisi kelistrikan nasional hingga akhir tahun 2014. Data ini menunjukkan bahwa pembangkit yang terpasang sebesar 53.585 MW. Penyumbang daya listrik nasional meliputi perusahaan PLN sebesar 37.280 MW (70%), *Independent Power Producer* (IPP) sebesar 10.995 MW (20%), *Public Private Utility* (PPU) sebesar 2.634 MW (5%), dan Izin Operasi Non BBM (IO) sebesar 2.677 MW (5%). Total sistem kelistrikan di Indonesia pada awal Maret 2015 terdapat 22 sistem, yaitu 6 unit dalam kondisi normal (cadangan lebih dari 20 persen), 11 siaga (cadangan kurang dari 1 unit terbesar), dan 5 defisit (pemadaman sebagian).

Kondisi kelistrikan di Kepulauan Bangka Belitung masih sangat tergantung terhadap PLTD. Pembangunan pembangkit baru sangat dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik setiap harinya. Kondisi kelistrikan tahun 2014 pada Provinsi Kepulauan Bangka Belitung mencapai beban puncak 74.98 MW dengan daya mampu hanya 52,03 MW sedangkan rasio elektrifikasi sekitar 46,20%. Sistem kelistrikan di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung hingga saat ini belum terintegrasi.

Pembangunan PLTU 3 Babel dengan kapasitas 2 x 30 MW merupakan salah satu upaya pemerintah untuk menambah daya listrik di Kepulauan Bangka Belitung. Penambahan kapasitas produksi listrik Kepulauan Bangka Belitung berpengaruh terhadap ketersediaan listrik di Pulau Sumatera. Kapasitas listrik saat ini masih jauh dari kebutuhan listrik di Bangka Belitung, mengakibatkan sektor pariwisata dan masyarakat masih mengalami pemadaman secara bergilir.

Dendi Junaidi, dkk (2010) dalam studi tentang “Kesetimbangan Massa dan Kalor serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai Perubahan Beban dengan Menvariasikan Jumlah *Feedwater Heater*” menyimpulkan bahwa penambahan *feedwater heater* (FWH) akan menaikkan efisiensi instalasi pembangkit listrik namun efisiensi akan menurun jika jumlah *feedwater heater* lebih dari tujuh. Peningkatan efisiensi sangat besar terjadi pada *feedwater heater* diantara 1-4 buah sedangkan penambahan 5-7 buah tidak memberikan peningkatan yang signifikan.

T.Srinivas, dkk (2007) dalam studi tentang “*Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with ‘n’ Number of Feedwater Heaters*” selain melakukan variasi terhadap jumlah *feedwater heater* 1-10 buah, juga terhadap tekanan *boiler*, temperatur uap memasuki turbin, dan temperatur pembakaran. Jenis *feedwater heater* yang digunakan adalah *closed feedwater heater*.

Penelitian ini meninjau bagian PLTU 3 Bangka Belitung 2 x 30 MW. Pembangkit listrik PLTU 3 Bangka Belitung, memiliki dua jenis *feedwater heater* yaitu *high pressure heater* dan *low pressure heater*. Klasifikasi ini berdasarkan pengaruh operasi *feedwater heater*.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana membuat pemodelan dan simulasi PLTU menggunakan *software Cycle Tempo 5.1*.
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur uap panas lanjut terhadap daya pembangkit PLTU 3 Bangka Belitung.
3. Bagaimana pengaruh operasi FWH pada sistem terhadap daya dan efisiensi PLTU 3 Bangka Belitung.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menganalisis permasalahan di atas, terdapat beberapa batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini, yaitu

1. Analisis data berdasarkan pada *heat balance* PLTU 3 Bangka Belitung kapasitas 2 x 30 MW.

2. Operasi dalam keadaan *steady*.
3. Simulasi dilakukan menggunakan *software Cycle Tempo 5.1*.
4. Perubahan energi potensial dan energi kinetik diabaikan.
5. Simulasi tidak menyertakan sistem *gland steam, vent ejector, blow down steam* dan penambahan *make up water*.
6. Pressure Drop diabaikan.
7. P & Q Pada kondisi tetap.
8. Peningkatan kapasitas peralatan 20% dari desain awal.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah menganalisis pengaruh operasi *feedwater heater* menggunakan simulasi pemodelan *software Cycle Tempo 5.1*, sebagai berikut:

1. Membuat pemodelan dan simulasi PLTU 3 Bangka Belitung menggunakan *software Cycle Tempo 5.1*.
2. Mengetahui pengaruh operasi *feedwater heater* terhadap daya pembangkit menggunakan *software Cycle Tempo 5.1*.
3. Mengetahui pengaruh variasi \dot{m}_{steam} terhadap daya pembangkit PLTU 3 Bangka Belitung.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat pada penelitian ini meliputi:

1. Memahami mengevaluasi *heat rate* PLTU 3 Bangka Belitung dengan menggunakan *software Cycle Tempo 5.1*.
2. Mengetahui keadaan kerja optimal *feedwater heater* pada PLTU 3 Bangka Belitung.
3. Memahami konsep peningkatan performa dan efisiensi pada PLTU 3 Bangka Belitung melalui variasi jumlah *feedwater heater*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar Batubara

Indonesia adalah salah satu produsen dan eksportir batubara terbesar di dunia, sesudah Indonesia menjadi eksportir terdepan batubara termal. Porsi signifikan dari batubara termal yang diekspor terdiri dari jenis kualitas menengah (antara 5100 - 6100 kcal/gram) dan jenis kualitas rendah (di bawah 5100 kcal/gram) yang sebagian besar permintaannya berasal dari Cina dan India. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia menjelaskan cadangan batubara Indonesia (*redundant*) diperkirakan habis dalam kurun waktu 83 tahun. Sekitar 60% dari cadangan batubara total Indonesia terdiri dari batubara kualitas rendah yang lebih murah (*sub-bituminous*) yang memiliki kandungan kurang dari 6100 kcal/gram.

Batubara adalah bahan bakar utama pembangkitan listrik. Paling sedikit 27% dari total *output* energi dunia dan lebih dari 39% dari seluruh listrik dihasilkan pembangkit listrik bertenaga batubara. Hal ini disebabkan oleh jumlah batubara yang melimpah, proses ekstraksi yang relatif mudah dan murah, serta persyaratan infrastruktur yang lebih murah dibandingkan dengan sumber daya energi lainnya. Tabel 2.1 Menunjukkan Konsumsi Bahan bakar yang digunakan Indonesia sampai tahun 2025.

Tabel 2.1 Konsumsi Bahan Bakar yang digunakan sampai tahun 2025

	<i>ENERGY MIX 2011</i>	<i>ENERGY MIX 2025</i>
MINYAK BUMI	50%	23%
BATUBARA	24%	30%
GAS ALAM	20%	20%
ENERGI TERBARUKAN	6%	26%

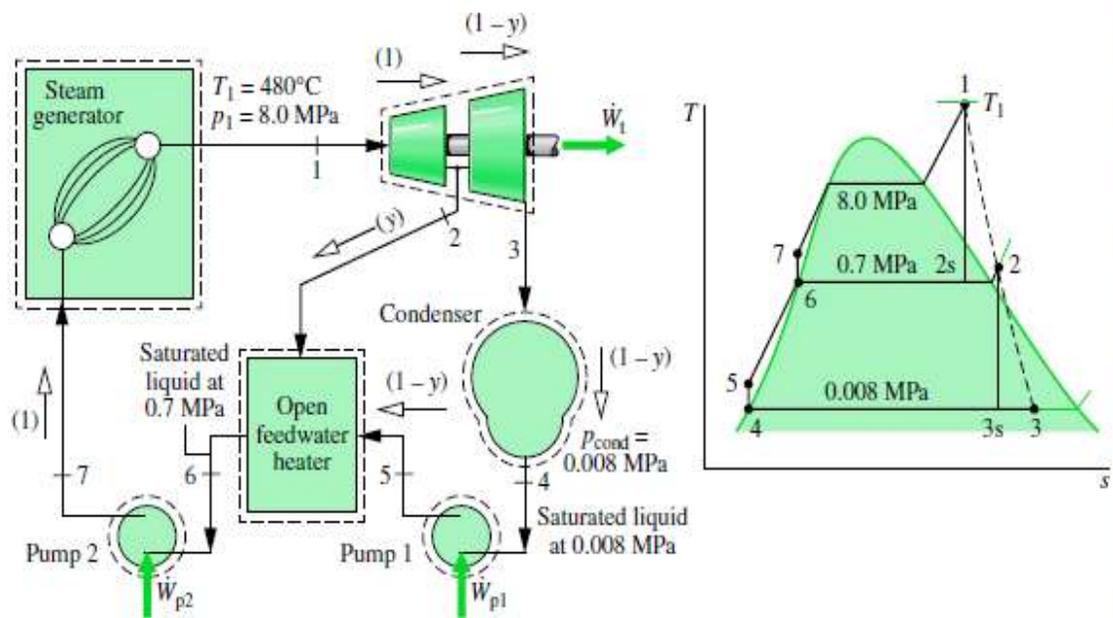
Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM)

2.2 Analisis Termodinamika Pembangkit Listrik Tenaga Uap

2.2.1 Rankine Cycle

Rankine Cycle adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas di suplai secara eksternal pada aliran tertutup, biasanya menggunakan air sebagai fluida kerja. Siklus ini menghasilkan 80% dari seluruh energi listrik yang dihasilkan di seluruh dunia. Sumber panas yang utama untuk *Rankine Cycle* adalah batubara, gas alam, minyak bumi, nuklir, dan panas matahari.

Efisiensi *Rankine Cycle* biasanya dibatasi oleh fluida kerja. Uap memasuki turbin pada temperatur 545°C dan temperatur kondensor sekitar 30°C. Fluida pada *Rankine Cycle* merupakan fluida tertutup dan digunakan secara konstan. Berbagai jenis fluida dapat digunakan pada siklus ini tetapi air dipilih karena karakteristik fisika dan kimia yang dimiliki tidak beracun dan murah. Proses *Rankine Cycle* ditunjukkan pada Gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2.1 Skema dan $T-s$ Diagram Rankine Cycle

Gambar 2.1 Mengambarkan diagram temperatur – entropi untuk *Rankine Cycle* dengan 7 tingkat keadaan. Masing-masing *set point* merupakan serangkaian proses perubahan kondisi fluida kerja meliputi tekanan dan atau wujudnya. Berikut ini penyelesaian serangkaian proses tersebut.

- Proses 1 – 2:
Uap masuk ke turbin dan mengalami ekspansi *isentropis*, sehingga tekanan temperaturnya turun.
- Proses 3 – 4:
Uap yang di ekspansi masuk kondensor untuk dikondensasikan. Proses ini adalah *isobar isothermis*, dan terjadi didalam kondensor.
- Proses 4 – 5:
Air dipompa dari tekanan P_4 menjadi P_5 . Proses ini adalah langkah kompresi *isentropis*.
- Proses 5 - 6:
Proses menghilangkan gas-gas yang terkandung dalam air, sesudah melalui proses pemurnian air (*water treatment*). Selain itu *deaerator* berfungsi sebagai pemanas awal air sebelum dimasukkan kedalam *boiler*.
- Proses 6 – 7:
Air dipompa dari tekanan P_6 menjadi P_7 . Langkah ini adalah langkah kompresi *isentropis*, dan proses ini terjadi pada *boiler feed pump*.
- Proses 7 – 1:
Air bertekanan ini dinaikan temperaturnya hingga mencapai titik cair jenuh lalu air berubah wujud menjadi uap jenuh, setelah itu uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap lanjut. Langkah ini ada isobar dan terjadi dalam *boiler*.

2.2.2 Perhitungan Kerja dan Perpindahan Kalor

Rankine Cycle menggabungkan perpindahan kalor antara komponen pembangkit dengan sekelilingnya. Sehingga energi kinetik dan potensial juga diabaikan. Analisis kerja siklus *Rankine Cycle* beroperasi pada kondisi tunak. Prinsip kekekalan masa dan energi dapat digunakan menghitung perpindahan energi dari titik-titik kondisi seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.1

- **Turbin**

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak "*assembly rotor-blade*". Fluida yang bergerak memutar baling-baling dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Adapun persamaan energi untuk menghitung turbin adalah:

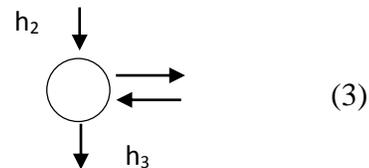
$$0 = \cancel{\dot{Q}_{CV}} - \dot{W}_t + \dot{m} \left[h_1 - h_2 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right] \quad (1)$$

$$\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = h_1 - h_2 \quad (2)$$

- **Kondensor**

Kondensor adalah suatu alat penukar panas. Dapat juga sebagai penukar kalor yang berfungsi untuk fluida. Dalam aplikasinya kondensor diletakkan diluar ruangan sehingga tidak mengganggu proses pendinginan. Panas yang dilepas oleh kondensor dapat di hitung dengan persamaan:

$$\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} = h_2 - h_3$$

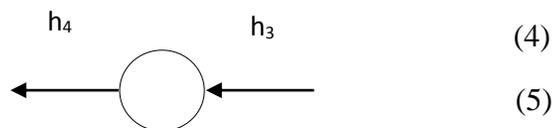


- **Pompa**

Kondensat cair yang meninggalkan kondensor di pompa dari kondensor menuju *feedwater heater*. Kerja pompa dan kesetimbangan energi dapat dihitung dengan persamaan.

$$\frac{\dot{W}_p}{\dot{m}} = h_4 - h_3$$

$$h_4 = h_3 + V (P_4 - P_3)$$



- **Feedwater Heater**

Analisis *feedwater heater* untuk mencari aliran uap dan tekanan ekstraksi dilakukan mulai dari *feedwater heater* tekanan tinggi ke tekanan rendah. Menghitung massa aliran uap ekstraksi dan tekanan ekstraksi pada setiap *feedwater heater*. Dengan mengetahui kondisi temperatur dan tekanan ekstraksi pada setiap *feedwater heater*, entalpi dapat dengan mudah diketahui menggunakan tabel uap (di dalam perhitungan menggunakan rumus-rumus termodinamika yang dikeluarkan oleh

IAPWS, sehingga laju aliran massa dapat dicari dengan persamaan:

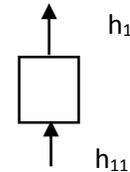
$$m_s h_{si} + m_w h_{wi} = m_s h_{se} + m_w h_{we} \quad (6)$$

- **Boiler**

Air menyelesaikan siklus ketika cairan yang meninggalkan pompa pada kondisi keempat dipanaskan sampai jenuh dan diuapkan di dalam boiler. Dengan menggunakan *control volume* yang melingkupi tabung boiler dan drum yang mengalirkan air pengisian dari kondisi keempat ke kondisi pertama, kesetimbangan laju aliran massa dan energi dapat di evaluasi dengan persamaan:

$$0 = \dot{Q}_{CV} - \dot{W}_t + \dot{m} \left[h_1 - h_{11} + \frac{V_1^2 - V_4^2}{2} + g(z_1 - z_4) \right] \quad (7)$$

$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_{11} - h_1 \quad (8)$$



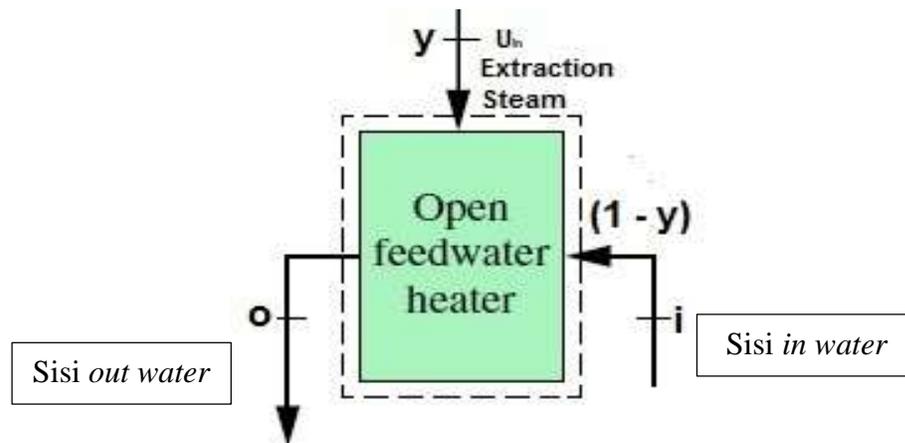
- **Efisiensi Termal**

Efisiensi termal mengukur rasio untuk keluaran energi yang masuk ke air melalui boiler. Efisiensi termal dari Rankine Cycle dapat di hitung:

$$\eta = \frac{Wt/m' - Wp/m'}{Q'_{in}/m'} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \quad (9)$$

2.2.3 Analisis Open Feedwater Heater

Perpindahan panas pada *heat exchanger* ini dilakukan secara konveksi. Pada *open feedwater heater*, *extraction steam* bertemu dan bercampur dengan fluida kerja. Fraksi y dapat dihitung dengan menerapkan prinsip-prinsip *conservation of mass and*



Gambar 2.2 Open Feedwater Heater

energy pada *control volume* di sekeliling pemanas. Jika tidak terjadi perpindahan kalor antara sistem dan lingkungan serta energi kinetik dan potensial diabaikan, maka kesetimbangan laju *mass and energy* pada kondisi tunak menghasilkan persamaan berikut:

$$0 = y h_{uin} + (1 - y) h_i - h_o \quad (10)$$

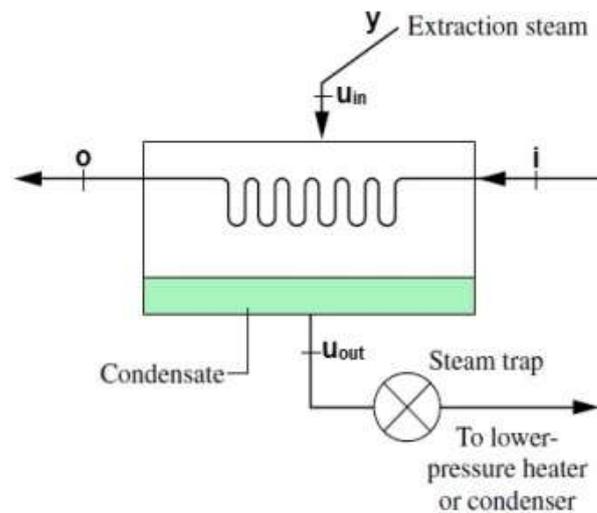
$$0 = y \dot{m}_{uin} + (1 - y) \dot{m}_i - \dot{m}_o \quad (11)$$

2.2.4 Analisis Closed Feedwater Heater

Closed feedwater heater merupakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Uap dari turbin ceratan (*extraction*) berada pada sisi *shell*, sementara *feedwater heater* (air pengumpan) berada pada sisi *tube* dan menyerap panas dari uap sisi *shell* sehingga meningkatkan temperatur *feedwater heater*. Fraksi dari aliran total dapat dihitung dengan menerapkan prinsip-prinsip *conservation mass and energy* pada *control volume*. Dengan mengasumsikan tidak terjadi perpindahan kalor antara sistem pengisian dan lingkungan serta mengabaikan energi kinetik dan potensial, maka kesetimbangan laju *mass and energy* pada kondisi *steady state* menjadi persamaan berikut ini:

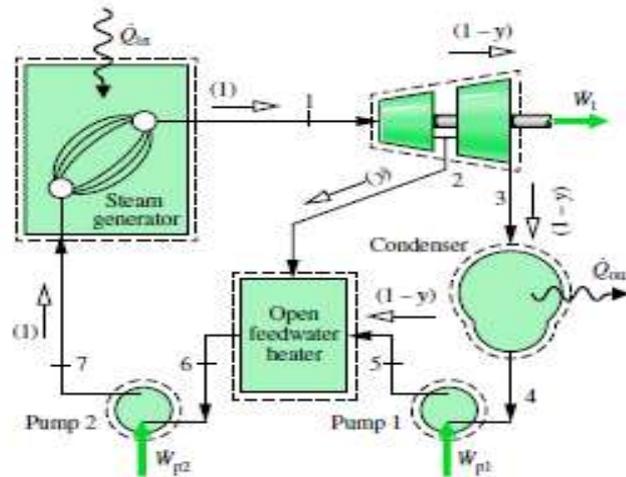
$$0 = y(h_{uin} - h_{uout}) + (h_i - h_o) \quad (12)$$

$$y = \frac{h_o - h_i}{(h_{uin} - h_{uout})} \quad (13)$$



Gambar 2.3 *Closed Feedwater Heater*

2.2.5 Perhitungan Fraksi Massa



Gambar 2.4 Siklus Regeneratif

Perhitungan fraksi massa digunakan untuk mengetahui laju aliran yang melalui bagian dari komponen pembangkit. Fraksi massa sering digunakan pada siklus regeneratif. Gambar 2.4 menunjukkan siklus regeneratif sebagai langkah awal yang penting dalam menganalisis siklus regeneratif yaitu dengan melakukan evaluasi terhadap laju aliran massa yang melalui setiap komponen.

Dengan menggunakan satu *control volume* yang melewati satu tingkatan turbin, kesetimbangan laju massa pada kondisi tunak, persamaan seperti berikut ini:

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (14)$$

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_3 = \dot{m}_1 \quad (15)$$

Keterangan:

\dot{m}_1 adalah laju massa yang masuk ke dalam turbin

\dot{m}_2 adalah laju massa yang di ekstrak

\dot{m}_3 adalah nilai berdasarkan unit massa yang melewati turbin

2.2.6 Perhitungan Efisiensi Siklus

Efisiensi *Rankine Cycle* mengukur seberapa banyak energi yang masuk ke dalam air melalui *boiler* yang dikonversi menjadi keluaran kerja netto. Efisiensi *Rankine Cycle* dijelaskan dalam bentuk rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\dot{W}_t/\dot{m} - \dot{W}_p/\dot{m}}{\dot{Q}_{in}/\dot{m}} \quad (16)$$

2.2.7 Perhitungan Laju kalor (*Heat Rate*)

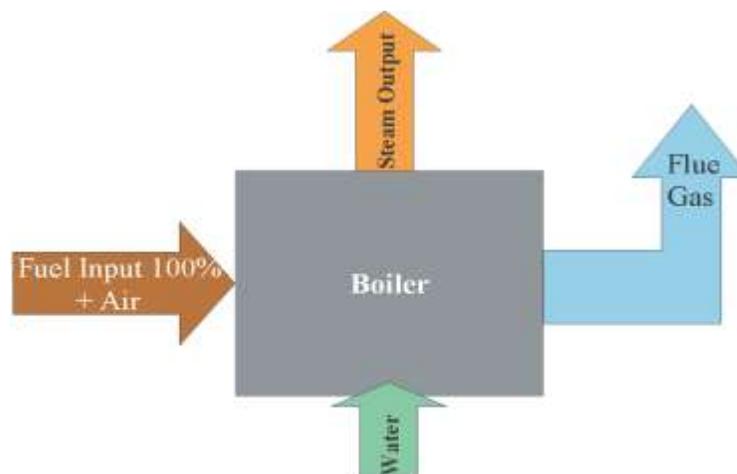
Laju kalor (*heat rate*) adalah jumlah energi yang ditambahkan melalui perpindahan kalor ke dalam siklus. Kerja netto menghasilkan satuan kJ, oleh karena itu laju kalor berbanding terbalik dengan efisiensi termal dalam satuan kJ/kW-h.

$$\text{Heat rate} = \frac{\text{Total fuel heat input (kJ)}}{\text{Electrical generation (kW-h)}} \quad (17)$$

2.2.8 Boiler Efficiency

Perhitungan efisiensi *boiler* pada penelitian ini berdasarkan *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) PTC 4.1. Metode yang dapat digunakan untuk menghitung efisiensi *boiler* yaitu metode langsung (*Direct Method*). Perhitungan efisiensi *boiler* ini nantinya digunakan untuk menghitung nilai efisiensi *boiler*.

Metode perhitungan langsung adalah perhitungan efisiensi dengan membandingkan nilai *output* dan *input*. Energi yang didapat dari fluida kerja (*water* dan *steam*) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar *boiler*. Keuntungan metode langsung antara lain pekerja pabrik dapat dengan cepat mengevaluasi efisiensi *boiler*, memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan dan memerlukan sedikit instrumen untuk pemantauan. Kerugian metode langsung adalah tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah dan tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh



Gambar 2.5 Skema Efisiensi *Boiler Direct Method*

pada berbagai tingkat efisiensi. Gambar 2.5 skema efisiensi *boiler* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\dot{m} \cdot (h_{\text{steam}} - h_{\text{water}})}{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{HHV}} \cdot 100\% \quad (18)$$

dengan:

- \dot{m} = laju uap yang dihasilkan (kg/jam)
- \dot{m}_{fuel} = laju bahan bakar (kg/jam)
- HHV = nilai kalor bawah bahan bakar (kcal/kg)
- h_{steam} = Entalpi uap (kJ/kg)
- h_{water} = Entalpi air pengisi (kJ/kg)

2.2.9 Jumlah *Feedwater Heater*

Pembangkit listrik tenaga uap dengan menggunakan *feedwater heater* dari *Rankine Cycle Regenerative*. Siklus ini merupakan salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi termal dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yaitu meningkatkan temperatur fluida yang masuk ke dalam *boiler* dengan menambah komponen yaitu *feedwater heater*.

Proses pemanasan yang terjadi di dalam *feedwater heater* dengan proses ceratan (*extraction*) uap dari turbin. Dengan ceratan ini, kerja turbin menjadi lebih kecil tetapi dengan penggunaan *feedwater heater* kebutuhan panas (*heat added*) lebih rendah. Hal ini menekan kerugian kerja secara keseluruhan sehingga efisiensi ketel uap menjadi lebih baik. Jumlah penambahan *feedwater heater* dibatasi berdasarkan kapasitas pembangkit. Pada Tabel 2.2 dapat dilihat *unit size* dengan *feedwater heater* yang di rekomendasikan.

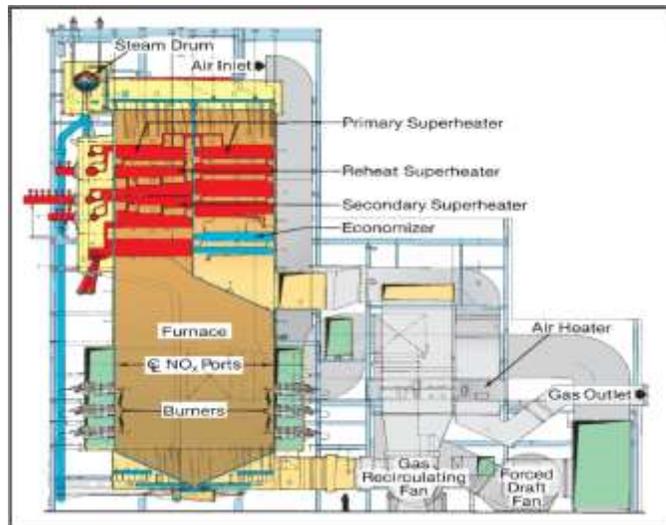
Tabel 2.2 *Typical Number of Feedwater Heater*

Unit Size (MW)	Number of Heater
0 – 50	3-5
50 – 100	5 or 6
100 – 200	5 – 7
Over 200	6 – 8

Sumber: *EBooks Power Engineering (Black and Veatch, 2006)*

2.3 Peralatan-Peralatan Pembangkit Tenaga Uap

2.3.1 Boiler



Gambar 2.6 Komponen *Boiler*

Gambar 2.6 menunjukkan bagian-bagian dan fungsi kerja pada Boiler. *Boiler* adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah air menjadi uap yang biasanya terdapat pada suatu perangkat pembangkit. *Boiler* mempunyai susunan komponen-komponen yaitu *furnace*, *steam drum*, *superheated*, *reheated*, *air heater* dan *economizer*. Di dalam *boiler* terdapat pipa-pipa yang berisi air dengan *furnace* sehingga menghasilkan panas yang berasal dari pembakaran bahan bakar. Panas inilah untuk menguapkan air yang berada dalam pipa-pipa tersebut. Uap yang dihasilkan *boiler* adalah uap *superheater* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Selanjutnya uap ini untuk menggerakkan sudu-sudu turbin.

Posisi dari komponen-komponen yang terdapat di *boiler* ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan secara umum fungsi dari tiap komponen adalah sebagai berikut:

- *Furnace*: Komponen ini merupakan tempat pembakaran bahan bakar. Beberapa bagian dari *furnace* diantaranya *burner*, *windbox*, dan *exhaust for flue gas*.
 - *Steam Drum*: Komponen ini merupakan tempat penampungan air panas dan *steam* yang telah dibangkitkan. *Steam* masih bersifat jenuh (*saturated steam*).
- Superheater*: Komponen ini merupakan kumpulan pipa *boiler* yang terletak di jalan aliran gas panas hasil pembakaran. Panas dari gas ini dipindahkan ke

saturated steam yang ada dalam pipa superheater, sehingga berubah menjadi superheated steam.

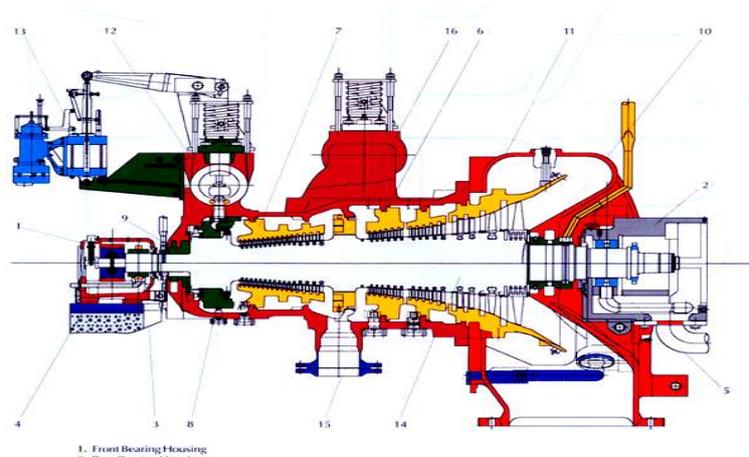
- *Reheater*: Komponen ini tempat pemanasan ulang steam yang telah melalui turbin uap yang telah terkondensasikan dan dipanaskan ulang melalui *boiler*. Selanjutnya, *steam* ini digunakan untuk *low pressure* turbin.
- *Air Heater*: Komponen ini merupakan ruang pemanas yang digunakan untuk memanaskan udara luar yang diserap untuk meminimalisasi udara lembab yang akan masuk ke *windbox* untuk pembakaran. Udara luar ini dipanaskan dengan sisa hasil panas (*flue gas*) yang dihasilkan dari pembakaran di *furnace*.
- *Economizer*: jenis penukar kalor antara gas dan cairan, dimana dengan sistem ini kalor dari gas asap *boiler* dimanfaatkan sebagai pemanas air untuk produksi ataupun sebagai umpan air ke *boiler*.

2.3.2 Turbin

Turbin uap merupakan suatu penggerak awal yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, secara langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pada bidang industri, pembangkit listrik, dan pada bidang transportasi.

Turbin terdiri dari dua bagian utama, yaitu *stator* dan *rotor* yang merupakan komponen utama pada turbin kemudian ditambah komponen lainnya yang meliputi pendukungnya, seperti bantalan, kopling dan sistem bantuan agar kerja turbin dapat lebih baik. Sebuah turbin uap memanfaatkan energi kinetik air yang bertambah akibat penambahan energi termal.

Fungsi utama turbin untuk mengubah energi panas yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Uap dengan tekanan dan temperatur yang tinggi mengalir melalui *nozzle* sehingga kecepatannya naik dan untuk mendorong sudu-sudu turbin. Akibatnya, poros turbin bergerak menghasilkan putaran (energi mekanik) untuk menggerakkan generator listrik.



Gambar 2.7 Penampang Samping Turbin Uap

Berdasarkan tipe turbin yang digunakan, dapat dibedakan berdasarkan tekanannya:

- a) Turbin tekanan rendah
- b) Turbin tekanan sedang
- c) Turbin tekanan tinggi

2.3.3 Kondensor

Kondensor adalah alat untuk mengubah uap yang digunakan untuk memutar turbin menjadi air dengan sistem kondensasi. Hasil dari kondensasi ditampung dalam *hot well* kemudian dipompa ke *boiler* dengan melalui *feedwater heater*. Instalasi ini, kondensor yang digunakan adalah jenis *shell and tube* dengan fluida dingin yang berasal dari danau atau air laut. *Water Treatment Plant (WTP)* adalah proses menghilangkan kandungan mineral (*demineralisasi*) yang diambil dari *raw water* (air bebas garam namun masih mengandung mineral logam). Proses WTP: Air laut – *Desalination Plant* – *Raw Water Tank (Air Tawar)* – *Demineralization Plant (Air Demine)* – *Make Up Water Tank – Unit (Condenser – Deaerator – Steam Drum – Steam Turbin)*.

2.3.4 Pompa

Pompa merupakan peralatan untuk mengalirkan air dari tekanan rendah ke tekanan tinggi. Pompa pada pembangkit tenaga uap terdiri dari beragam jenis dan fungsi, salah satunya adalah *boiler feed pump*. *Boiler feed pump* menjadi bagian tidak terpisahkan dari sebuah pembangkit tenaga uap, dimana pompa ini memiliki

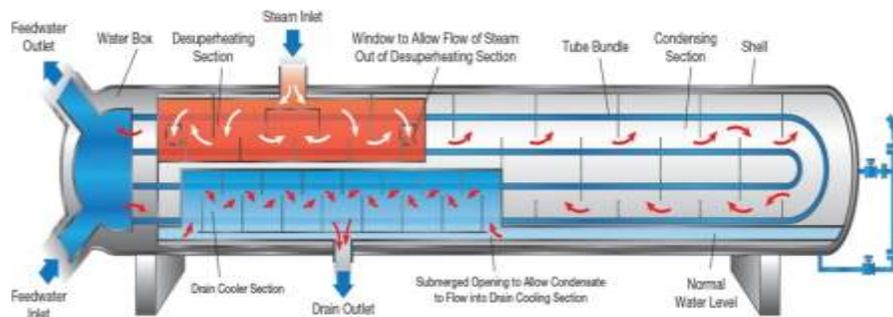
fungsi untuk menyuplai air dalam proses pembakaran di dalam *boiler*. Air yang dimaksud merupakan hasil penyulingan uap keluaran dari kondensor, untuk air dalam kondisi uap dibutuhkan energi yang lebih besar dibandingkan dalam kondisi cair. Jenis Pompa yang banyak digunakan di PLTU adalah:

- *Condensate pump* adalah sebuah pompa yang berfungsi untuk memompa air pengisi dari *hot well* (penampung air kondensor) ke *deaerator*.
- *Boiler feed pump* adalah pompa bertekanan tinggi yang berfungsi untuk memompa air dari *deaerator* ke *boiler*.

2.3.5 Feedwater Heater

Feedwater heater merupakan peralatan yang digunakan pada siklus pembangkit uap *regenerative*. Dengan adanya *feedwater heater* ini, diharapkan ada dua hal yang bisa dicapai. Pertama untuk meningkatkan temperatur air dari *feedwater heater* yang dapat meningkatkan efisiensi keseluruhan. Kedua, yaitu untuk meminimalkan efek termal pada *boiler*. Prinsip kerja dari *feedwater heater* yaitu dengan memanaskan air keluaran kondensor dengan menggunakan ceratan uap dari turbin dan pada instalasi tertentu ditambahkan juga *drain* dari *feedwater heater* lainnya. Umumnya, *feedwater heater* menggunakan gabungan beberapa pemanas dengan tekanan tertentu sesuai dengan tekanan yang dicerat dari turbin. Jumlah dan tipe dari *feedwater heater* sangat tergantung dari siklus uapnya dan tekanan operasi dari siklus. Pada umumnya, *plant* yang kecil hanya memiliki sedikit *feedwater heater*. Sedangkan pada pabrik industri besar atau pada pembangkit listrik yang besar terdapat 5 sampai 7 *feedwater heater* merupakan bagian dari desain pabrik atau pembangkit tersebut.

Feedwater heater dapat diklasifikasikan baik sebagai tipe *closed* dan *open* maupun yang dirancang untuk beroperasi pada tekanan rendah atau tinggi. *Closed feedwater heater* merupakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Uap yang di cerat dari turbin di kondensasi pada sisi *shell* sementara *feedwater* (air pengumpan) masuk melalui sisi *tube* dan menyerap panas dari uap tadi sehingga meningkatkan temperaturnya.



Gambar 2.8 *Closed Feedwater Heater Tipe U*

Kebanyakan dari *feedwater heater* memiliki *bundle* yang terdiri dari *tube-tube* dalam jumlah besar yang dibengkokkan dalam bentuk U *Tube-tube* tersebut dapat di-*expand* atau dilepas ke *tube sheet* pada salah satu dari *shell*. Sejumlah *baffle* dan piringan pendukung *tube* digunakan untuk mengarahkan aliran, meminimalkan vibrasi *tube*, dan mengurangi erosi dan menaikkan perpindahan panas. *Feedwater heater* memiliki biaya terendah dan biasanya memiliki bentuk yang panjang, horizontal, serta didesain untuk dua haluan dengan kecepatan air yang tinggi.

Design U-tube seperti ditunjukkan Gambar 2.8 merupakan pilihan yang paling disukai untuk penggunaan *feedwater heater* pada pembangkit listrik saat ini. Desain seperti ini dapat meminimalkan masalah ekspansi dari *tube* yang terhubung dengan *tube sheet*. Akan tetapi karena bentuknya yang berupa U maka *heat exchanger* jenis ini tidak mudah untuk dibersihkan secara mekanik. Tetapi dengan penggunaan kualitas air yang bagus maka permasalahan ini dapat dikurangi secara signifikan.

Feedwater heater beroperasi pada tiga zona operasi. Ketiga zona tersebut yaitu:

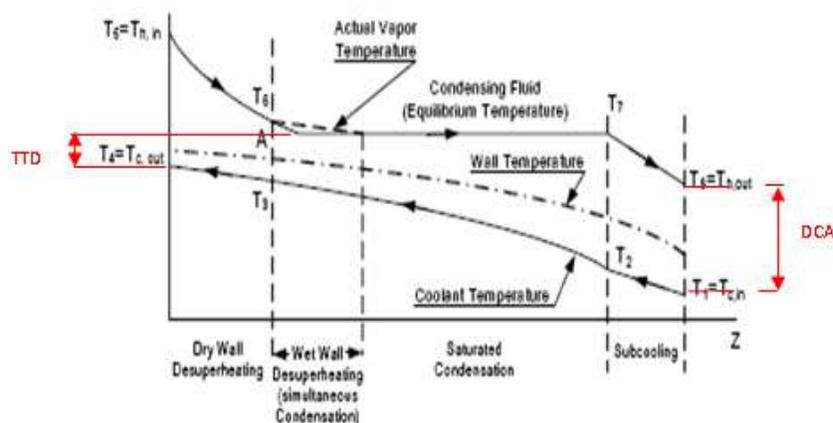
- *Desuperheating zone* (DSZ): daerah dalam sisi *shell* yang disekat-sekat oleh *baffle*. Pada zona ini terjadi penurunan temperatur uap panas lanjut sampai pada temperatur uap jenuhnya. Pada zona ini tidak terjadi perubahan fasa.
- *Condensing zone* (CZ): daerah terbesar pada *feedwater heater*. Pada zona ini terjadi proses perubahan fasa yaitu uap jenuh berubah menjadi cair jenuh.
- *Sub cooling zone* (SCZ): daerah yang juga disekat-sekat oleh *baffle*.

Pada zona ini terjadi penurunan temperatur sampai dibawah temperatur cair jenuh untuk mengurangi potensi kerusakan dan erosi pada pipa dan katup akibat *flashing*. Perubahan fase tidak terjadi pada zona ini.

TTD merupakan singkatan dari *terminal temperature difference* yang berarti selisih antara temperatur saturasi uap ceratan dan temperatur keluar dari air pengumpan. DCA merupakan singkatan dari *drain cooling temperatur*, yaitu selisih antara temperatur uap ceratan keluar dari pemanas dengan temperatur *feedwater* masuk pemanas. *Subcooling zone* memiliki fungsi sebagai berikut:

- Memanfaatkan energi sisa dari *drains*.
- Mengurangi *flashing* pada pipa keluaran *drains*.
- Mencegah *water hammer* pada pipa *drains*.
- Memanaskan *feedwater* sebelum memasuki *economizer*.

Sub cooling zone dilengkapi beberapa alat penunjang, yaitu selubung (*shrouding*), *drains inlet*, *drains outlet*, *end plate (SCZ inlet plate)*, dan *close-off plate (plate yang memisahkan antara SCZ dan shell)*. Mengurangi efek dari *flashing* dan erosi pada pipa dan katup-katup, maka dibuat temperatur keluaran dari *drain* berada pada kondisi *sub cooled* dibawah temperatur saturasi. Level ketinggian dari cairan pada sisi *shell* dibuat setinggi mungkin. Hal ini bertujuan agar *tube-tube* pada SCZ selalu terendam oleh cairan pada sisi *shell*.



Gambar 2.9 Ketiga zona pada *feedwater heater*, *desuperheating*, *condensing*, dan *subcooling zone*.

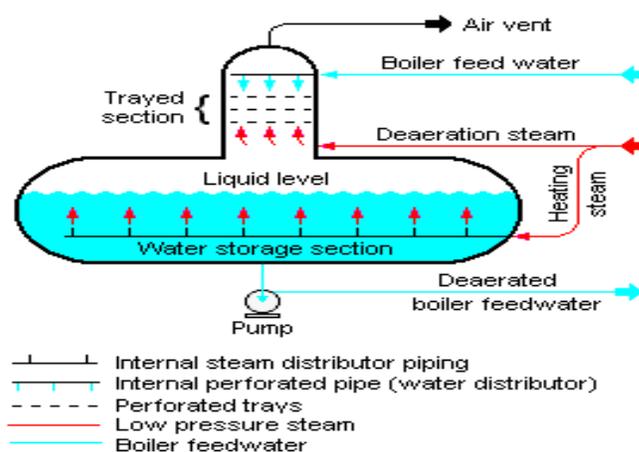
2.3.6 Deaerator

Deaerator berfungsi menghilangkan kandungan oksigen atau gas-gas terlarut lainnya pada air umpan sebelum masuk *boiler*. *Deaerator* bekerja berdasarkan sifat oksigen yang larut pada air berkurang dengan adanya kenaikan suhu. *Deaerator* terdiri dari dua *drum*, pertama *drum* yang lebih kecil merupakan tempat pemanasan pendahuluan dan pembuangan gas-gas dari air umpan, sedangkan kedua *drum* yang lebih besar merupakan tempat penampungan air umpan sebelum masuk *boiler*.

Drum kecil terdapat *spray nozzle* yang berfungsi menyemprotkan air umpan menjadi butiran-butiran air halus pada proses pemanasan dan pembuangan gas-gas lebih sempurna, dan gas-gas yang tidak terkondensasi dibuang ke atmosfer melalui saluran *vent* pada *drum* kecil.

Oksigen dan gas-gas terlarut dalam air umpan perlu dihilangkan karena dapat menyebabkan senyawa oksida menjadi karat pada pipa dan peralatan pembangkit yang terbuat dari logam. Air jika bereaksi dengan karbondioksida terlarut dapat menyebabkan korosi lebih lanjut. Terdapat dua jenis *deaerator* yang sering digunakan yaitu tipe *Tray* dan tipe *Spray*.

Deaerator tipe *Tray* (Gambar 2.10) terdiri dari bagian *domed deaeration* yang dipasang diatas silinder *vessel horizontal* yang berfungsi sebagai tangki penyimpanan

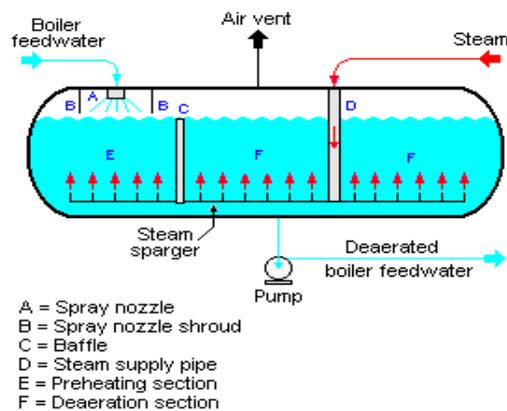


Gambar 2.10 Bagian-Bagian *Deaerator Tray*

air dari *boiler*. Prinsip kerja *deaerator* masuk melalui bagian atas *deaerator* melewati *tray* dan uap masuk melalui bagian bawah. *Tray* menyebabkan permukaan kontak antara air dengan uap menjadi lebih luas. Gas-gas yang tidak terlarut dipisahkan oleh uap dan keluar melalui lubang bagian atas *deaerator*. Saluran ventilasi terdiri dari katup yang hanya memperbolehkan uap untuk keluar. Air umpan yang telah di-deaerasi mengalir ke dalam tangki penyimpanan yang kemudian dipompa ke *boiler*. Uap pemanas bertekanan rendah yang memasuki tangki *deaerator* bagian bawah melalui pipa *sparger* ditujukan untuk menjaga air umpan tetap hangat.

Deaerator tipe *Spray* hanya terdiri dari tangki *horizontal* yang berfungsi sebagai tempat *dieresis* dan tempat penyimpanan air. Gambar 2.11 menunjukkan bahwa tipe *deaerator spray* memiliki bagian pemanasan awal dan bagian *dieresis* yang dipisahkan oleh penyekat. Uap bertekanan rendah masuk melalui tangki dengan disemprotkan dari bagian bawah tangki sedangkan air umpan disemprotkan dari atas dan dipanaskan oleh uap yang disemprotkan ke atas oleh *stem sparger*.

Fungsi dari *spray nozzle* dan bagian *preheater* adalah untuk memanaskan air umpan sampai suhu saturasi sehingga memudahkan proses pengurangan gas-gas terlarut yang kemudian dipisahkan melalui lubang di atas tangki, dan jenis ventilasi yang digunakan dengan *deaerator* tipe *tray*, begitu juga dengan air umpan yang telah di-*dieresis* dipompa ke *boiler*.

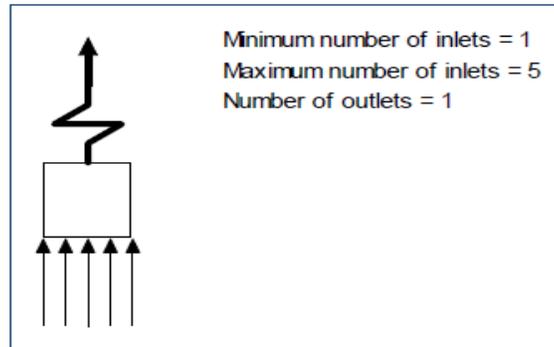


Gambar 2.11 Bagian-Bagian *Deaerator Spray*

2.4 Penjelasan Apparatus Perangkat Lunak Cycle Tempo

Perangkat lunak *cycle tempo* mempunyai beberapa peralatan *apparatus* dalam pembuatan diagram alir. Penelitian ini menggunakan beberapa *apparatus* yang diperlukan penjelasan secara khusus di antaranya:

A. Boiler

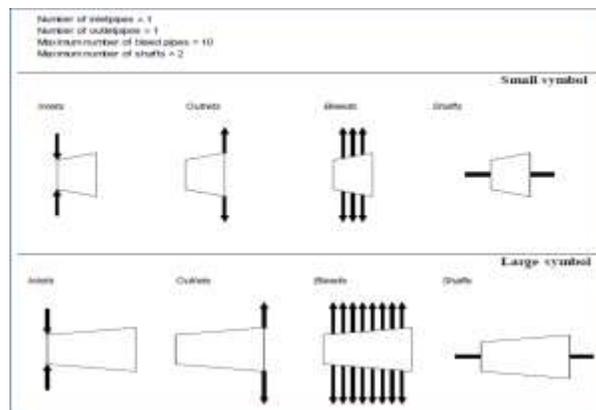


Gambar 2.12 Boiler dalam Cycle Tempo

Pada *boiler* dalam *Cycle Tempo* terdapat *economizer*, *evaporator*, dan *superheated* dalam satu bagian *boiler*. *Inlet boiler* tersebut dapat mencapai 5 *inlet* sedangkan untuk *outlet boiler* hanya satu *outlet* berupa *steam*.

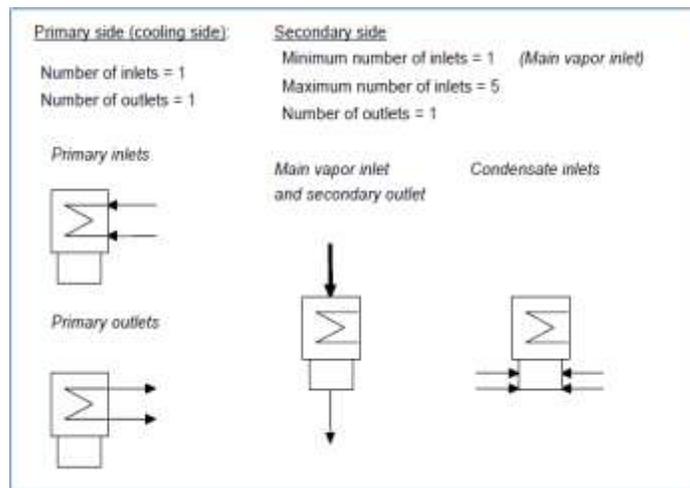
B. Turbin

Pada *Cycle Tempo* terdapat 2 jenis turbin yang berbeda yaitu turbin dengan *small symbol* dan *large symbol* dengan perbedaan yang terdapat pada jumlah ekstraksi yang ada. Pada turbin terdapat maksimum 8 ceratan untuk *inlet* dan *outlet* bila melebihi dari jumlah tersebut dapat digunakan lebih dari 1 turbin.



Gambar 2.13 Turbin dalam Cycle Tempo

C. Condenser



Gambar 2.14 Condenser dalam Cycle Tempo

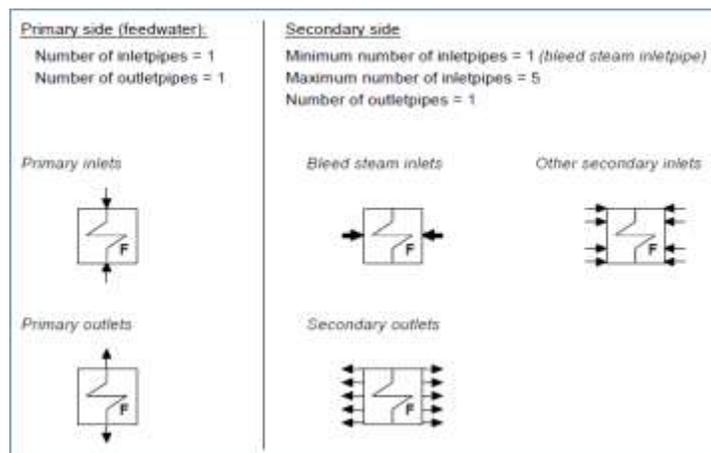
Pada *condenser* ini terdapat dua kondisi berdasarkan *Energy Equations Code*:

EEQCOD = 1: *Energy equation* dari *apparatus* digunakan untuk menghitung laju aliran massa

EEQCOD = 2: *Energy equation* dari *apparatus* digunakan untuk menghitung *enthalpy* dari *inlet* atau *outlet condenser*

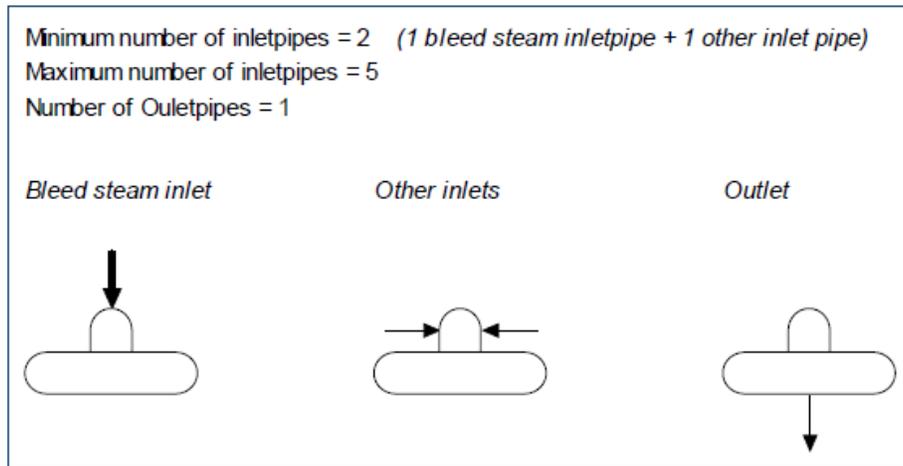
D. FeedWater heater

Pada *feedwater heater* digunakan uap ekstraksi dari turbin. *Secondary inlet* pada *feedwater heater* ini ditujukan sebagai ekstraksi uap dari turbin



Gambar 2.15 Feedwater heater dalam Cycle Tempo

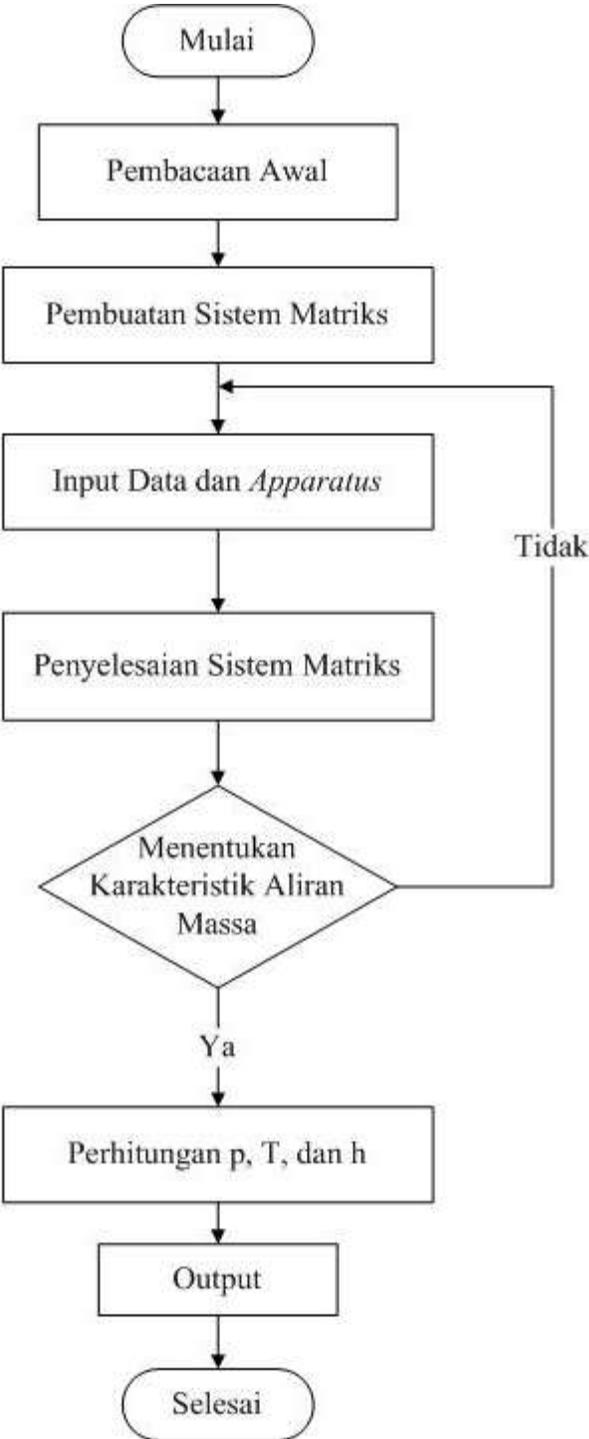
E. Deaerator



Gambar 2.16 Deaerator dalam Cycle Tempo

Deaerator digunakan sebagai kontak heater pada umumnya yang diasumsi pada keadaan cair jenuh saat di outlet.

2.4.1 Flowchart Perhitungan Cycle-Tempo



2.4.2 Prinsip Perhitungan *Cycle Tempo*

Cycle Tempo memiliki *closed* dan *open system* dalam kombinasi sistemnya. Penomoran yang urut diperlukan dalam mempersiapkan *input* data untuk semua skema proses dari pipa dan *apparatus* agar mudah untuk diidentifikasi dan urutan siklus tidak terpecah. Prosedur perhitungan ini terdapat 7 tahapan yaitu:

A. Langkah 1 : Pembacaan Awal

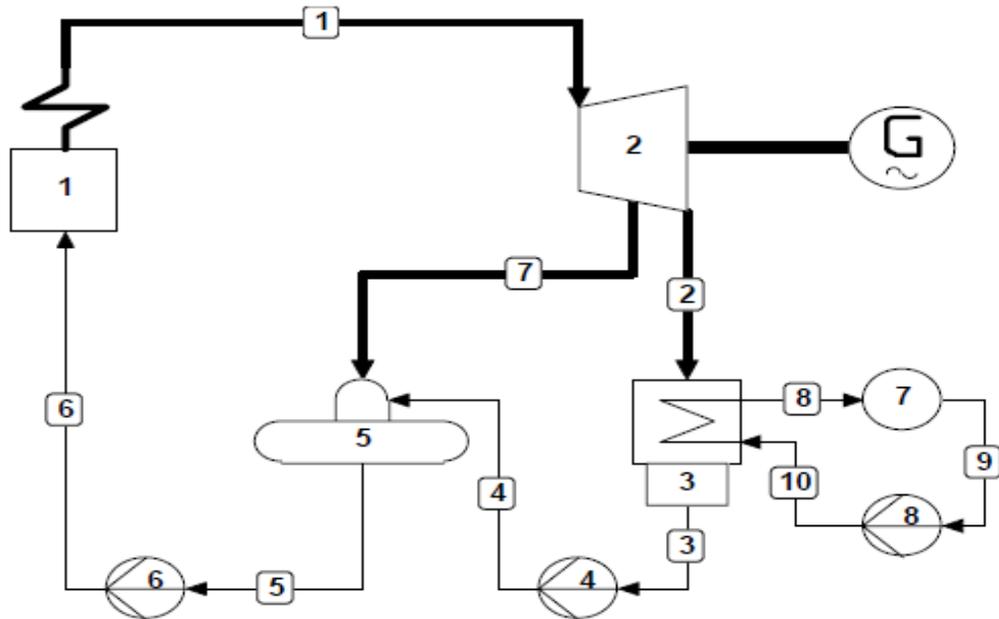
Dalam pembacaan awal yang perlu di perhatikan adalah

- a. Parameter yang menentukan ukuran dari sistem, seperti banyak *apparatus*, pipa, turbin, dll.
- b. Data *apparatus* yang lebih spesifik yang berada pada tiap *apparatus*.
- c. *Topology* dari sistem yang menjelaskan program bagaimana pipa dapat terhubung dengan tiap *apparatus*.
- d. Medium data tiap pipa.
- e. Pembacaan awal data pilihan yang menjelaskan data tambahan lain yang diperlukan dalam perhitungan

Dalam memasukkan *input* data diperlukan pengecekan tiap langkah dikarenakan untuk setiap langkah yang *error* pasti langsung terdapat pesan *error* dari *software* ini. Data-data tersebut harus dimasukkan agar mendapatkan hasil yang mendekati kondisi aktual dari pembangkit.

B. Langkah 2 : Pembuatan Sistem Matriks

Perhitungan dimulai dengan melakukan pembuatan sistem matriks untuk perhitungan aliran masa. Perhitungan ini dilakukan agar dapat menentukan jumlah aliran masa sebanding dengan jumlah pipa. Jumlah aliran masa dan jumlah pipa yang tidak sebanding mendapatkan *pesan error* dari program sehingga program berhenti.



Gambar 2.17 Contoh skema pembangkit dalam *Cycle Tempo*

C. Langkah 3 : *Input Data dan Apparatus*

Langkah yang dilakukan dalam *input data dan apparatus* adalah pembuatan skema sistem pembangkit terlebih dahulu. Proses *input data* awal pada tiap apparatus dapat dilakukan setelah membangun skema agar membantu perhitungan sistem.

D. Langkah 4 : *Penyelesaian Sistem Matriks*

Pada *Cycle Tempo* digunakan hukum eliminasi *Gauss*. Perhitungan *enthalpy* di substitusi menggunakan perhitungan analisis energi untuk mendapatkan aliran masa pada sistem.

E. Langkah 5 : *Menentukan Karakteristik Aliran Massa*

Langkah untuk menentukan karakteristik dari iterasi utama adalah dengan menentukan jumlah pipa dengan aliran masa. Jika kondisi tersebut sudah terpenuhi, maka aliran masa yang terakhir dihitung adalah hasil dari sistem tersebut. Kondisi ini kembali ke langkah 2 bila kondisi tersebut tidak *convergent*.

F. Langkah 6 : Perhitungan p, T, dan h

Pressure, *temperature*, dan *enthalpy* yang belum diketahui pada langkah 3 *input* data dan apparatus memerlukan pengecekan dari setiap *apparatus* pada langkah 5. Program yang berhasil *running* dapat dilihat pada pesan “*Data for all Pipes*” untuk mengetahui:

- Aliran Massa
- Tekanan masuk dan keluar
- Temperatur masuk dan keluar
- *Enthalpy* masuk dan keluar

G. Langkah 7 : Output

Output dari *Cycle Tempo* dapat ditentukan melalui *running* skema yang sudah *convergent* dengan membuka “*system efficiencies*” pada *Cycle Tempo*. Hasil yang didapatkan dari langkah tersebut adalah daya dari efisiensi *netto* serta *gross*.

2.5 Hasil dari Diagram Alir

Setelah data yang diperoleh dimasukkan dalam tiap apparatus dan hasil dari diagram alir tersebut dapat *run* tanpa terjadi *error* dalam memasukkan data maka hasil yang didapat dari pembuatan diagram alir tersebut diantaranya sebagai berikut:

- **Efisiensi Sistem**

Efisiensi sistem yang diperoleh meliputi:

- *input energy*
- *energy consumption*
- *power production*
- *heat production*

- **Energy Balance**

- *Energy balance* yang diperoleh meliputi:
- laju aliran energi dalam *enthalpy*
- laju aliran energi dari total energi saat *environtal condition* (*water as liquid*) ditambahkan *higher heating value*

- laju aliran energi dari total energi saat *environtal condition (water as vapor)* dikurangi *lower heating value*
- ***Composition of Fluids***
Composition of Fluids diperoleh bila perhitungan data GASMIX dan FUEL dimasukkan dalam *apparatus*.
- ***Heating Value***
Heating Value ini juga didapat bila perhitungan data GASMIX dan FUEL dimasukkan dalam *apparatus*.
- **Data untuk semua pipa**
- ***Losses in Pipes***
- ***Energy and Exergy flows***
- ***Exergy Values in the System***
- ***Rotating Equipment***
- **Motor dan Generator**
- ***Heat Exchanging Equipment***

2.6 Penelitian Terdahulu

Kuswaha dkk, (2015) menunjukkan gambaran kondisi aliran *off design and design operasion high pressure heater*. Analisis menggunakan metode LMTD, untuk mencari besaran distribusi luasan area tiap zona dan profil temperatur drain *feedwater heater*. Performa pada *feedwater water heater* dilakukan evaluasi berdasarkan parameter *terminal temperattur different (TTD)*, serta *drain cooler approach (DCA)*. Sehingga dapat diketahui perubahan pada temperatur dan *efesiensi feedwater heater* tersebut. Tabel 2.3 Menunjukkan hasil Penelitian off design pada high pressure heater

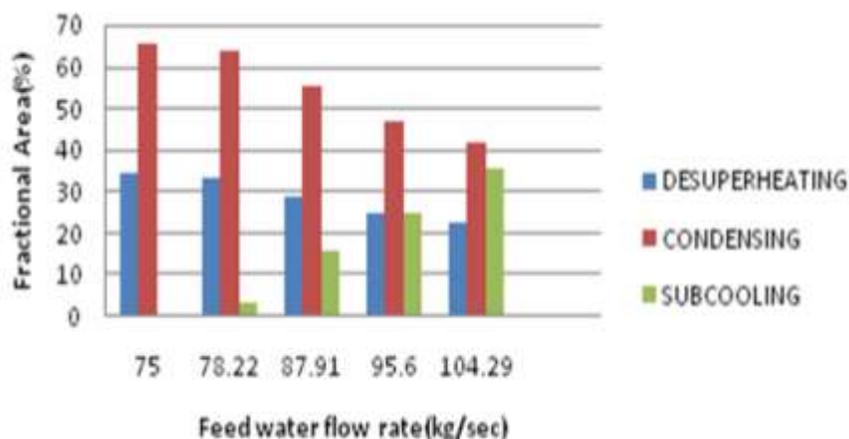
Tabel 2.3 Hasil perhitungan metode LMTD terhadap perubahan temperatur.

M_s (kg/s)	Q (kJ/s)	T_{t1} (°C)	T_{t2} (°C)	T_{t3} (°C)	T_{s4} (°C)
7.56	16373.8	237.23	230.82	196.95	227.20
7.2	16215.4	236.35	23.250	197.98	208.46
6.87	15677.7	235.55	229.73	198.95	201.97
6.3	14542.3	232.17	226.83	198.6	196.26
6.18	14253	231.98	226.74	199.05	196.7
5.5	12692.3	228.09	223.43	198.8	196.4

Sumber: Kuswaha dkk, (2015)

Berdasarkan Tabel 2.3 diperoleh laju aliran massa uap yang bervariasi ketika pembangkit pada kondisi dibawah performa desain. Untuk lebih jelasnya distribusi temperatur ditunjukkan pada Gambar 2.18

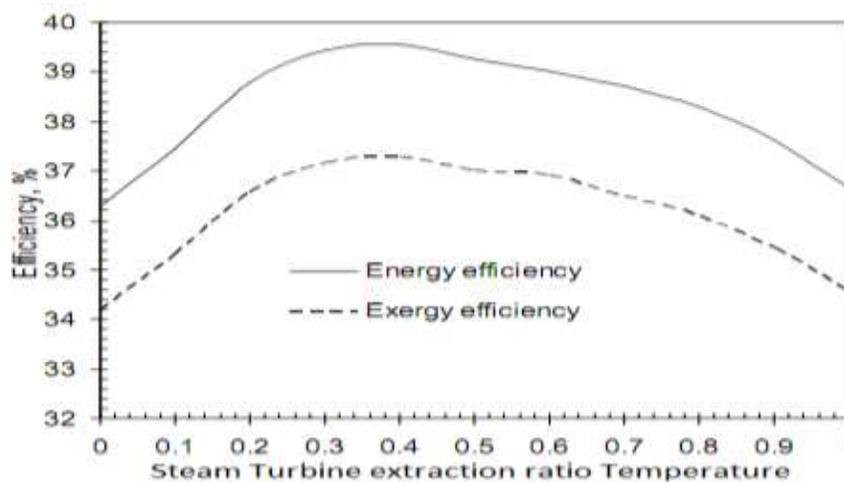
Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa luasan area *desuperheating zone*, dan *condensing zone* selalu searah secara proporsional terhadap laju aliran massa uap. Tetapi berbanding terbalik dengan laju aliran massa *feedwater*. Dimana perubahan temperatur air keluaran *feedwater heter* akan memberikan dampak pada kasus *off design*. Karena laju perpindahan panas akan meningkat jika laju aliran massa uap dan air umpan meningkat.



Gambar 2.18 Distribusi Area VS laju Aliran pada *Feedwater* (Kuswaha dkk, 2015)

T.Srinivas, dkk (2007) melakukan studi tentang “*Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with ‘n’ Number of Feedwater Heaters*” selain melakukan variasi jumlah *feedwater heater* yang digunakan, juga memvariasikan tekanan *boiler*, temperatur uap memasuki turbin dan temperatur pada pembakaran dengan variasi jumlah *feedwater heater* dari 1 hingga 10. Jenis *feedwater heater* yang digunakan dalam penelitian dari penggunaan 1 *feedwater heater* hingga 10 adalah jenis *closed feedwater heater*.

Berdasarkan Gambar 2.19 efisiensi maksimum dari penelitian ini diperoleh ketika rasio uap pemanasan *feedwater heater* yang digunakan memiliki rasio 0.2-0.4 (20% - 40%) terhadap hasil ekstraksi. Hal ini menunjukkan bahwa laju aliran massa dengan hasil optimum didapat ketika ekstraksi dari steam turbin 20%-40% dibandingkan jumlah aliran massa uap yang memasuki turbin uap

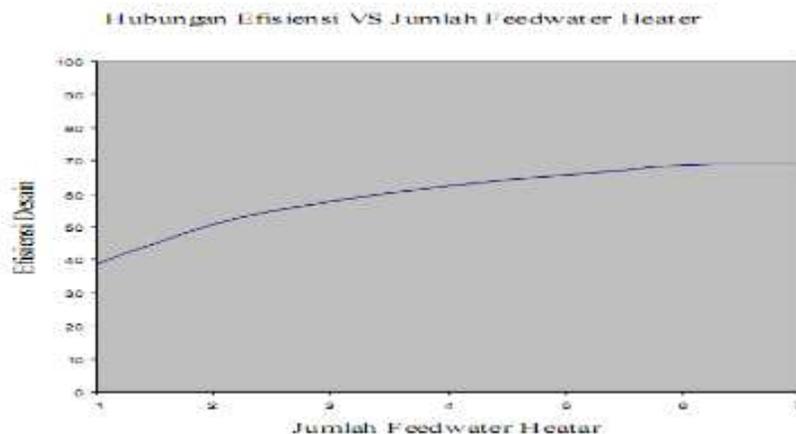


Gambar 2.19 Perbandingan Efisiensi Pembangkit terhadap Rasio Ekstraksi Turbin

Dendi Junaidi, dkk (2010) melakukan studi tentang “Keseimbangan Massa dan Kalor serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai Perubahan Beban dengan Memvariasikan Jumlah *Feedwater Heater*” studi ini menyimpulkan bahwa penambahan *feedwater heater* akan menaikkan efisiensi instalasi pembangkit listrik, namun kenaikan efisiensi akan menurun jika jumlah *feedwater heater* lebih dari 5. Penurunan tersebut dapat terlihat dari penambahan jumlah 1 hingga 5 *feedwater heater*

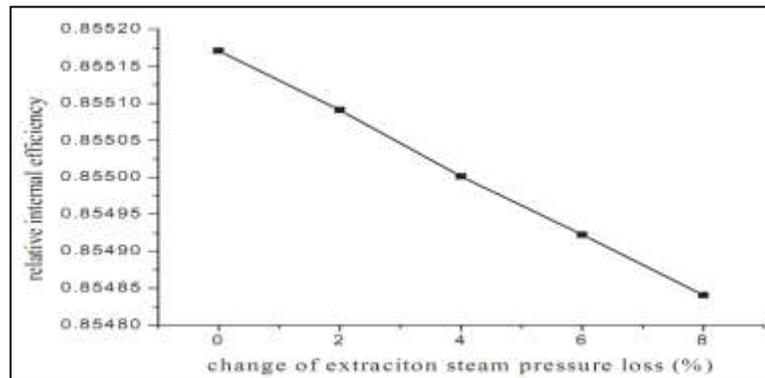
dengan peningkatan paling signifikan adalah ketika penambahan 1 dan 2 *feedwater heater*.

Gambar 2.20 merupakan hasil *running* dengan sistem *Rankine Cycle* sederhana menggunakan komponen yaitu dari *boiler*, turbin uap, kondensor dan pompa sebagai model acuan. Kemudian, dilakukan penambahan 1 *open feedwater heater* sebagai *feedwater heater* pertama dan *close feedwater heater* untuk penambahan *feedwater heater* selanjutnya. Pada penambahan lebih dari 2 *feedwater heater* digunakan 1 *open feedwater heater* dan sisanya menggunakan *closed feedwater heater*, begitu seterusnya sampai berjumlah 7 *feedwater heater*. Parameter pada simulasi yang menjadi parameter input meliputi kondisi uap keluar boiler (tekanan dan temperatur) serta laju uap masa yang masuk dan keluar dari boiler, sedangkan parameter lainnya melakukan variasi berdasarkan kondisi jumlah *feedwater heater*.



Gambar 2.20 Hubungan Jumlah Penambahan *Feedwater Heater* dengan Efisiensi Pembangkit.

Yong Li dan Chao Wang (2013) melakukan “*Study on The Effect of Regenerative System on Power Type Relative Internal Efficiency of Nuclear Steam Turbine*”. Mereka menyimpulkan bahwa perubahan nilai efisiensi suatu pembangkit pasti terjadi ketika pada turbin uap dilakukan proses ekstraksi. Perubahan beberapa bagian pada sebuah sistem regeneratif mengakibatkan perubahan pada jumlah aliran massa ekstraksi turbin uap, perubahan ekstraksi itu akan mengakibatkan daya turbin dan pembakaran pada boiler berubah, dan akhirnya perubahan daya pada turbin dan boiler mengakibatkan efisiensi internal relatif berubah. Gambar 2.21 menunjukkan bahwa melihat perubahan efisiensi pembangkit juga perlu diperhatikan perubahan efisiensi pada turbin uap serta boiler yang berada pada sistem.



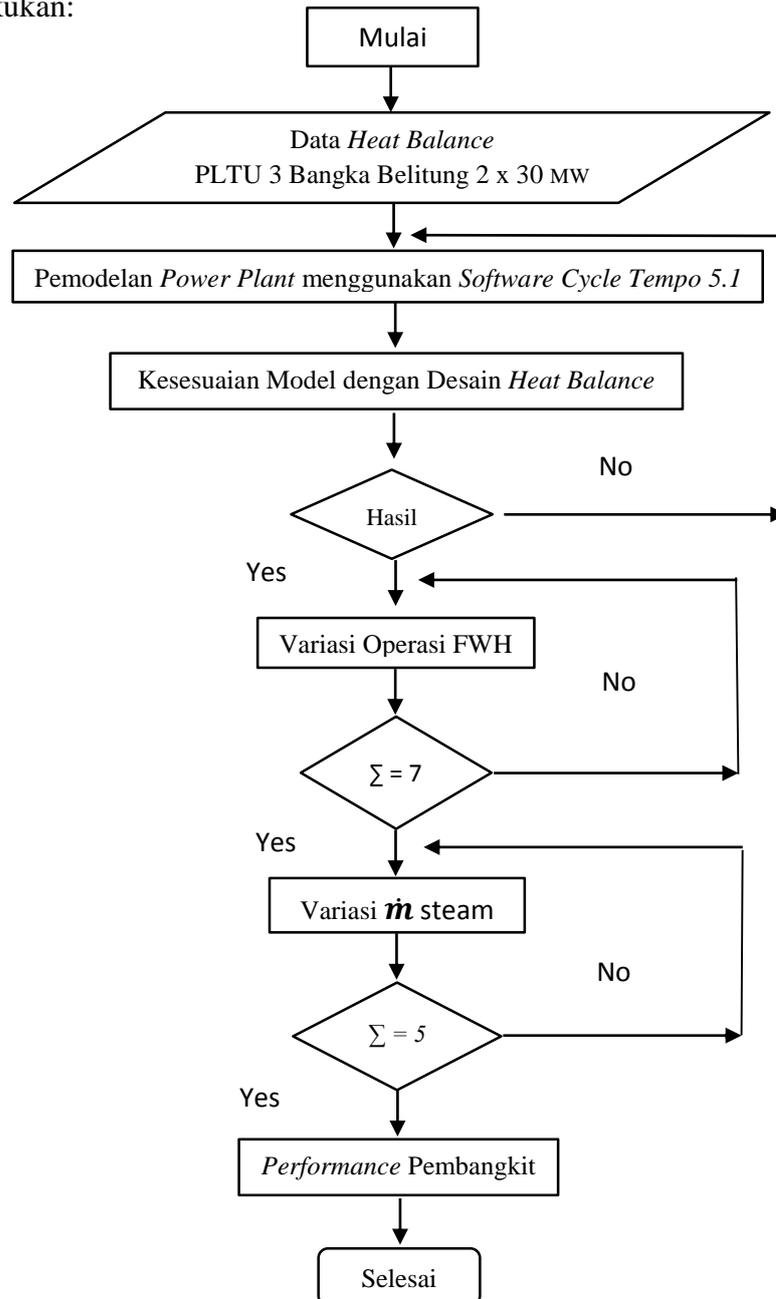
Gambar 2.21 Pengaruh Perbedaan Kerugian Ekstraksi Turbin Uap terhadap Efisiensi *Internal Relative*.

Halaman ini Sengaja dikosongkan

BAB 3 METODE PENELITIAN

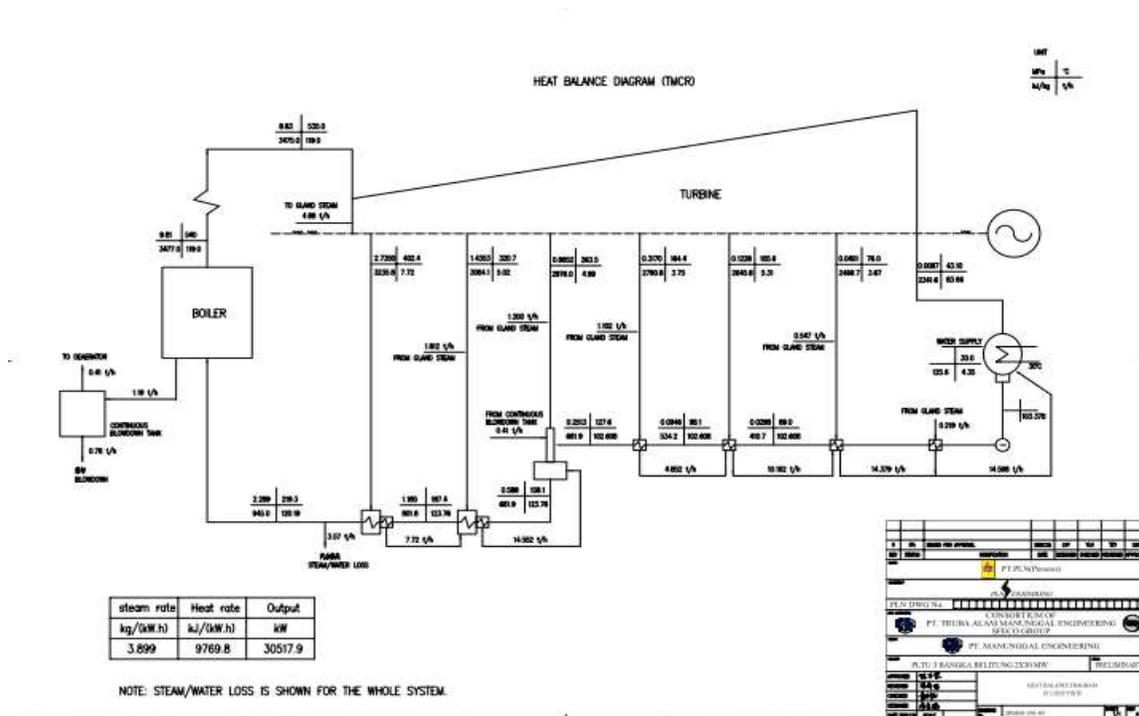
3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir (*flow chart*) dari tahapan penelitian yang dilakukan:



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

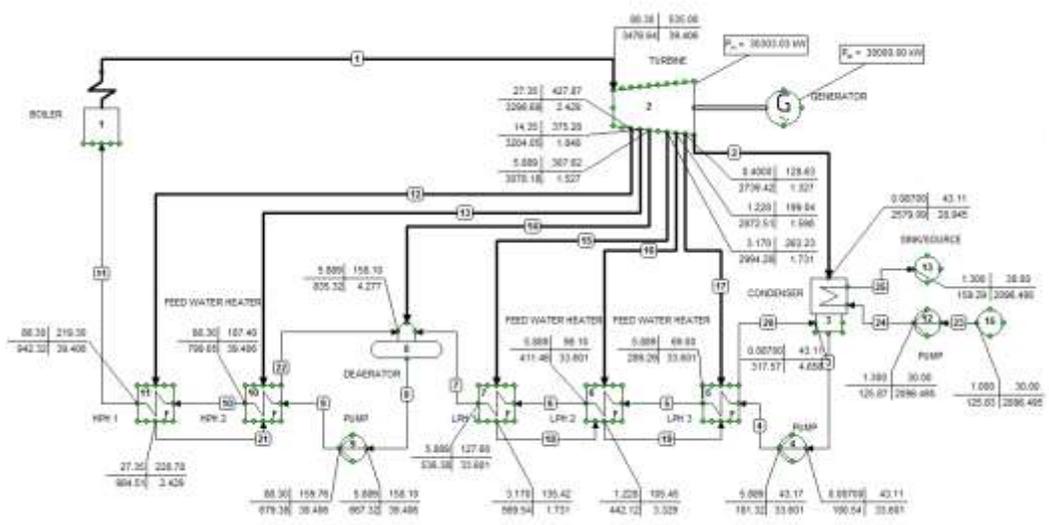
3.2 Model Desain Pembangkit Bangka Belitung



Gambar 3.2 Heat Balance PLTU 3 Bangka Belitung 2 x 30 MW

Gambar 3.2 merupakan model pembangkit listrik tenaga uap PLTU 3 Bangka Belitung dengan daya *gross output* sebesar 30517.9kW. Model pembangkit menggunakan satu boiler, satu turbin uap yang dikopel dengan generator, satu kondensor, dua *high pressure feedwater heater*, satu *deaerator*, dan tiga *low pressure feedwater heater*. Turbin uap terdiri enam ekstraksi yang menuju *closed feedwater heater* dan menuju *open feedwater*.

Desain pembangkit menggunakan *software Cycle Tempo 5.0* dengan memasukkan data yang peroleh dari desain *heat balance* pembangkit, sehingga desain pembangkit ini dapat berjalan seperti yang diinginkan. Data dimasukkan adalah data *properties* dan gambar P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*). Hasil desain *Cycle Tempo* adalah berupa analisis termodinamika *performance* seperti Gambar 3.3 dibawah ini:



Gambar 3.3 Pemodelan Penelitian berdasarkan *software Cycle Tempo 5.0*

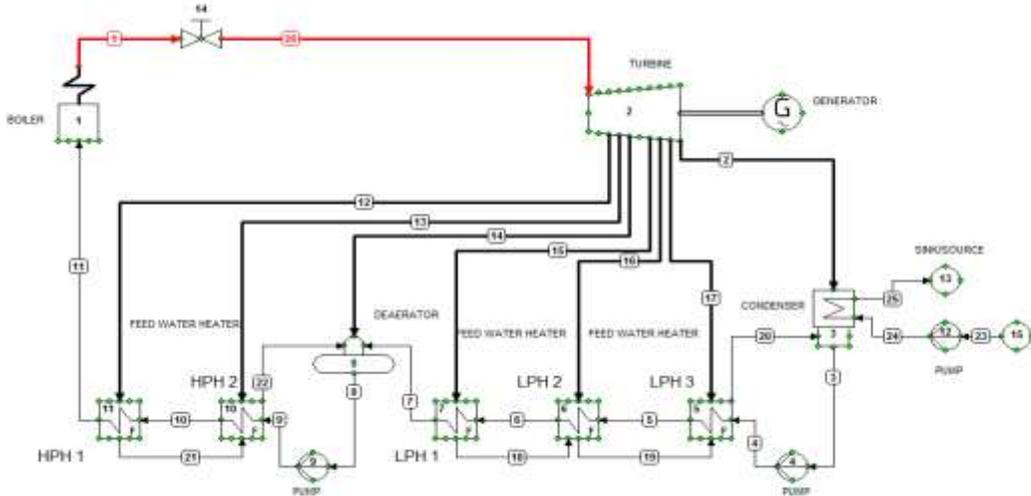
3.3 Pemodelan dan Simulasi

Proses pemodelan dan simulasi dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuat skema model *power plant* yang dianalisis yaitu variasi operasi *feedwater heater*.
2. Menjalankan *software Cycle Tempo*. Jika masih terdapat *error*, ikuti perintah yang terdapat pada list *error*. Setelah tidak terdapat *error* pada pemodelan, masukkan nilai parameter operasional yang dibutuhkan *apparatus* pada setiap komponen.
3. Menjalankan *software Cycle Tempo*, kemudian diuji apakah konvergen atau tidak. Jika tidak, cek kembali *list error* dan ikuti perintah yang terdapat di dalamnya.
4. Setelah maka dapat mengetahui nilai daya yang dihasilkan, *heat rate*, efisiensi serta data-data performa yang dihasilkan oleh *power plant*.

Skema penelitian meliputi jumlah variasi operasi FWH dan mencari pemodelan desain PLTU yang terbaik dalam nilai daya dan efisiensi pembangkit serta memvariasikan temperatur uap lanjutan masuk turbin uap.

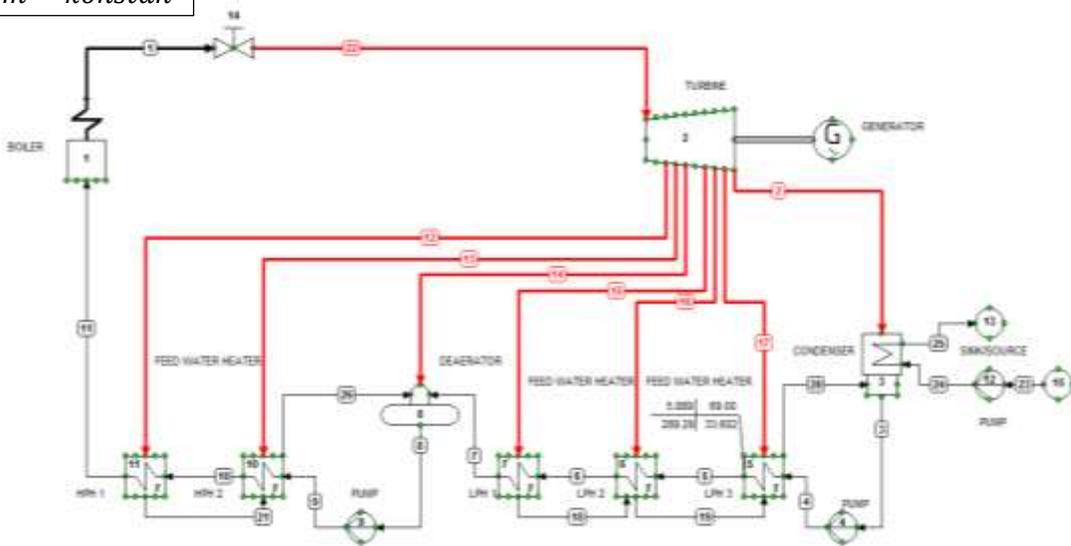
$$\dot{m} = \text{konstan}$$



Gambar 3.4 Kondisi Tiap Variasi dengan Menjaga Laju Aliran Massa *Main Steam*

Laju aliran massa pada *main steam* dijaga tetap dengan tujuan hasil pada setiap variasi dapat dibandingkan. Variasi dilakukan dengan menutup laju aliran massa menuju tiap-tiap *feedwater heater* dengan tujuan agar dapat diperoleh informasi mengenai pengaruh jumlah operasi *feedwater heater* terhadap performa pembangkit. Berdasarkan variasi yang dilakukan, maka hasil dilihat dari perbandingan daya dan efisiensi pembangkit. Hasil berdasarkan kondisi optimal yang dibutuhkan oleh pembangkit mencapai daya dan efisiensi.

$$\dot{m} = \text{konstan}$$



Gambar 3.5 Kondisi Laju Aliran Massa pada *Feedwater Heater*.

Tesis ini meneliti dampak variasi operasional dari *feedwater heater* (FWH) dalam pembangkit (*power plant*). Hal ini dilakukan dengan mematikan FWH secara berurutan. Kemudian dilakukan simulasi dengan *software Cycle Tempo* mengenai pengaruh *off service* FWH terhadap pembangkit. Berikut adalah variasi dari operasi FWH yang dilaksanakan.

Tabel 3.1 Variasi Jumlah *Feedwater Heater*

No	Variasi	HPH 1	HPH 2	LPH 3	LPH 2	LPH 1
1.	Eksisting	ON	ON	ON	ON	ON
2.	Variasi 1	ON	ON	OFF	ON	ON
3.	Variasi 2	ON	ON	ON	OFF	ON
4.	Variasi 3	ON	ON	ON	ON	OFF
5.	Variasi 4	OFF	ON	ON	ON	ON
6.	Variasi 5	ON	OFF	ON	ON	ON
7.	Variasi 6	ON	OFF	OFF	ON	ON
8.	Variasi 7	ON	OFF	ON	OFF	ON
9.	Variasi 8	ON	OFF	ON	ON	OFF

Tabel 3.2 Variasi \dot{m}_{steam} terhadap Daya Pembangkit

No.	Variasi	\dot{m}_{steam}
1.	Eksisting	39.406
2.	Variasi a	37.771
3.	Variasi b	37.07
4.	Variasi c	36.367
5.	Variasi d	35.66
6.	Variasi e	34.954

3.4 Hasil yang Diharapkan

Berdasarkan beberapa skema variasi dilakukan terhadap jumlah operasi *feedwater heater* dan variasi nilai kalori batubara. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini meliputi:

1. Nilai pengaruh jumlah operasi *feedwater heater* terhadap daya dan efisiensi.
2. Nilai pengaruh Kcal batubara terhadap daya pembangkit.
3. Perbandingan semua skema dari hasil terbaik dalam variasi jumlah operasi *feedwater heater* dan temperatur uap lanjut.

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Model PLTU 3 Bangka Belitung

Analisis performa PLTU yang dilakukan menggunakan data *heat balance* di PLTU 3 Bangka Belitung sebagai acuan pembahasan. Data operasi kerja pada PLTU 3 Bangka Belitung kapasitas 2 x 30 MW sebagai berikut:

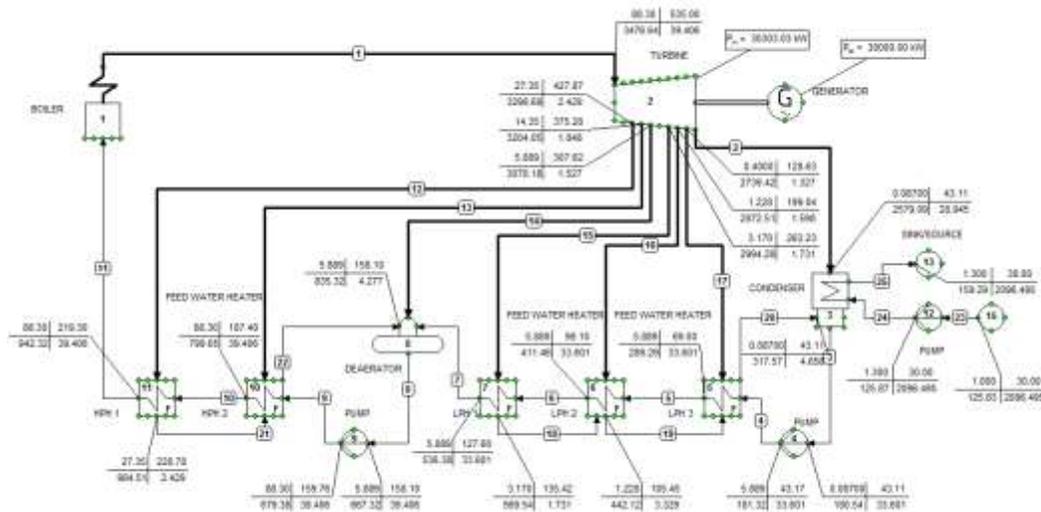
Tabel 4.1 Data Spesifikasi Bahan Bakar

Parameter		Unit	Result			
			AR	ADB	DB	DAFB
Total Moisture		%	39.27	-	-	-
Proximate	Moisture in the analysis Sample	%	-	12.81	-	-
	Ash Content	%	3.75	5.36	6.15	-
	Volatile Matter	%	30.65	44.00	50.46	53.77
	Fixed Carbone	%	26.35	37.83	43.39	46.23
Total Sulfur		%	0.15	0.21	0.24	0.26
Gross Calorific Value		Kcal/Kg	3813	5474	6278	6689
Ultimate	Total Carbon	%	-	58.16	66.70	-
	Total Hydrogen	%	3.13	4.49	5.15	-
	Nitrogen	%	-	0.75	0.86	0.92
	Oxygen	%	-	18.22	-	-
Hard grove Grind ability Index		Index Point	59			
Size Test		Size fraction	70mm	50mm	32mm	2.38mm
		%	100	100	80	20
Slagging Index			0.14 (Low)			
Fouling Index			0.24 (Medium)			
Ash Fusion Temperature (Reduction)	Initial Deformation Temp	°C	1150			
	Spherical Temp	°C	1160			
	Hemispherical Temp	°C	1170			
	Fluidized Temp/ Fluid	°C	1190			
Ash Analysis parameter	Unit	Result	Ash Analysis Parameter	Unit	Result	
SiO ₂	%	41.73	Na ₂ O	%	0.41	
Al ₂ O ₂	%	12.66	K ₂ O	%	0.76	
Fe ₂ O ₃	%	18.80	TiO ₂	%	2.70	
CaO	%	10.12	MnO ₂	%	0.40	
MgO	%	4.02	P ₂ O ₅	%	0.25	
O ₃	%	8.00		%		

- Spesifikasi Desain
 - Kapasitas *Output* : 2 x 30 MW
 - Bahan Bakar : *Low Rank Coal*
- Spesifikasi Alat PLTU 3 Bangka Belitung
 - A. *Boiler*
 - Boiler Model* : CG-130/9.81-MX19
 - BMCR : 130 t/h
 - B-ECR : 119 t/h
 - Rated Steam Temperature* : 540 °C
 - Rated Steam Pressure (g)* : 9.81 Mpa
 - Flue Gas Temperature* : 140 °C
 - Desulfurization efficiency* : 85%
 - B. *Turbine*
 - Manufacturer: China Changing Energy Company*
 - Model* : N30-8.83/535
 - Valves Wide Open Mode* : 31.99 MW
 - Turbine Max Continuous Rating Mode* : 30.52 MW
 - Turbine Heat Acceptance Mode* : 30.09 MW
 - Main Steam Pressure* : 8.83 Mpa
 - Main Steam Temperature* : 535 °C
 - Final Feedwater Temperature* : 218.7 °C
 - Cooling Water Temperature* : 30 °C
 - C. *Generator*
 - Model* : QF-30-2
 - Rated Capacity* : 37.5MVA
 - Rated Power* : 30 MW
 - Rated rotation Speed* : 3000r/min
 - Phase* : 50 Hz
 - D. *Condenser*
 - Mode* : N-2500-1 *surficial*
 - Condensing Area* : 2500 m²
 - Steam discharge pressure* : 8.7 – 11.8 kPa
 - Cooling water quality* : *sea water*
 - Cooling water intakes temperature* : 30 °C
 - Cleanness coefficient* : 0.85
 - Cooling water flow (Max)* : 6272 t/h
 - E. *Condensate Pump*
 - Water temperature at pump intakes* : 45.5 °C

<i>Medium Specific Gravity</i>	: 0.995 t/m ²	
<i>Pressure at pump intakes</i>	: 0.04 Mpa (a)	
<i>Flow at pump outlet</i>	: 120 T/h	
<i>Pressure at pump outlet</i>	: 1.44 Mpa (a)	
F. Low Pressure Heater		
	<i>Tube side</i>	<i>Shell side</i>
<i>Design Pressure</i>	: 1.588	0.6 Mpa
<i>Design Temperature</i>	: 225	225 °C
<i>Maximum working pressure</i>	: 1.588	0.6 Mpa
<i>Medium</i>	: <i>Condensate steam</i>	
<i>Testing Pressure</i>	: 2.25	0.85 Mpa
G. Deaerator		
<i>Mode</i>	: <i>fixed sliding fixed</i>	
<i>Design Pressure</i>	: 1.1 Mpa	
<i>Design Temperature</i>	: 320 °C	
<i>Running Temperatur (Max)</i>	: 350 °C	
<i>Max. Running pressure</i>	: 0.65MPa	
<i>Effective volume of water tank</i>	: 40 m ³	
<i>Rated capacity</i>	: 150 t/h	
<i>Water discharge temperature</i>	: 158.1	
H. Feedwater Pump		
<i>Flow</i>	: 70 t/h	
<i>Head</i>	: 14.76 Mpa	
<i>Efficiency</i>	: %	
<i>Medium Temperature</i>	: 158.1 °C	
<i>Rotation speed</i>	: 2970 r/min	
<i>Motor Power</i>	: 500 kW	
I. High Pressure Heater		
	<i>Tube Side</i>	<i>Shell Side</i>
<i>Design Pressure (Mpa)</i>	: 18	3.0
<i>Design Temperature °C</i>	: 200	400
<i>MAWP</i>	: 17.5	2.9
<i>Medium Name</i>	: <i>water</i>	<i>Steam</i>
<i>Join Efficiency</i>	: 1	1
<i>Hydraulic Test Pressure (Mpa)</i>	: 22.5	5.0
<i>Area of Heat Transfer m³</i>	: 100	

4.2 Membangun Pemodelan Awal berdasarkan H.B PLTU 3 Bangka Belitung

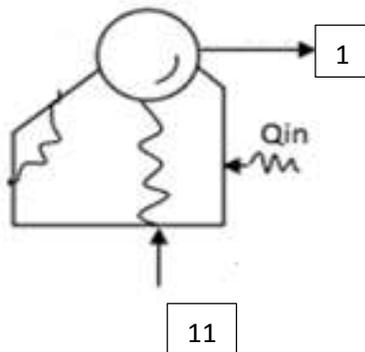


Gambar 4.1 Pemodelan Sistem PLTU 3 Bangka Belitung

Pemodelan PLTU 3 Bangka Belitung menggunakan *software Cycle Tempo*. Data parameter dari *input initial condition* berupa tekanan (P) = 88.3 bar, temperatur (T) = 535°C dan *mass flow rate* (\dot{m}) sebesar 39.406 kg/s. Hasil simulasi *Cycle Tempo* pada daya *Gross output* sebesar 30000 kW menunjukkan efisiensi pembangkit sebesar 30.040%. Daya netto 29370 kW dan efisiensi sebesar 29.410%. Pemodelan yang digunakan untuk menganalisis sistem pembangkit pada kondisi existing.

4.2.1 Perhitungan Termodinamika

1. Menghitung Panas yang Diserap Boiler



Gambar 4.2 Boiler

$$\frac{\dot{Q}_{boiler}}{\dot{m}} = h_1 - h_{11}$$

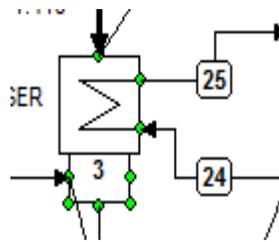
$$\dot{Q}_{boiler} = (h_1 - h_{11})\dot{m}$$

$$\dot{Q}_{boiler} = (3476.64 - 942.32) \text{ kJ/kg} \times 39.406 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{boiler} = 99867 \text{ kJ/s}$$

2. Menghitung Kondensator

Menghitung kesetimbangan energi dan massa pada kondensator



Gambar 4.3 Kondensator

$$\dot{m}_2 \cdot h_2 = \dot{Q}_{condensator} + \dot{m}_3 \cdot h_3$$

$$\dot{Q}_{condensator} = \dot{m}_2 \cdot h_2 - \dot{m}_3 \cdot h_3$$

$$\dot{Q}_{condensator} = 28.945 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (2579.09 - 180.54) \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{condensator} = 69426 \text{ kJ/s}$$

4.2.2 Perhitungan Fraksi Massa Ekstraksi

Perhitungan fraksi massa ekstraksi dilakukan dengan menggunakan hukum termodinamika I dengan asumsi adiabatik, energi kinetik dan energi potensial diabaikan serta tidak terdapat kerja yang keluar masuk sistem

Menentukan fraksi massa pada *high pressure feedwater heater 1*

Data awal yang dibutuhkan untuk menentukan fraksi massa pada *high pressure heater* sebagai berikut:

- Pada sisi *steam*

$$h_{12} = 3298.69 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

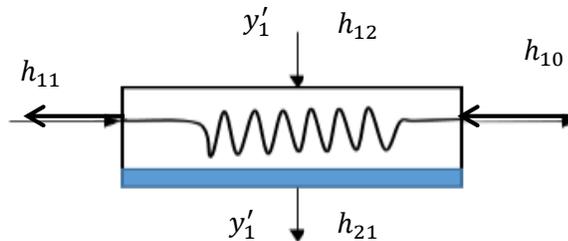
$$h_{21} = 984.51 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- Pada sisi *water*

$$h_{10} = 799.65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{11} = 942.32 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Berikut gambar *control volume* pada *high pressure heater*:



Gambar 4.4 Control Volume HPH 1

Perhitungan untuk menentukan fraksi massa yang dibutuhkan pada *feedwater heater* sebagai berikut:

$$y'_1(h_{12} - h_{21}) = h_{11} - h_{10}$$

$$y'_1 = \frac{h_{11} - h_{10}}{h_{12} - h_{21}}$$

$$y'_1 = \frac{942.32 - 799.65}{3298.69 - 984.51} = 0.061$$

Menentukan fraksi massa pada *high pressure feedwater heater 2*

Data awal yang dibutuhkan untuk menentukan fraksi massa pada *high pressure heater* sebagai berikut:

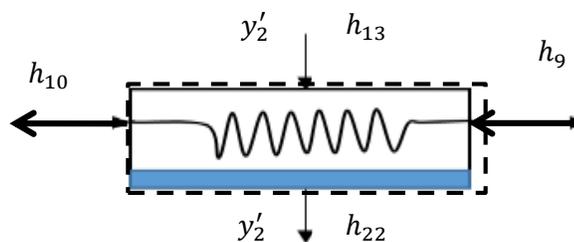
➤ Pada sisi *steam*

$$h_{13} = 3204.05 \frac{kJ}{kg} \quad h_{22} = 835.32 \frac{kJ}{kg}$$

➤ Pada sisi *water*

$$h_9 = 679.38 \frac{kJ}{kg} \quad h_{10} = 799.65 \frac{kJ}{kg}$$

Berikut gambar *control volume* pada *high pressure heater*:



Gambar 4.5 Control Volume HPH 2

Perhitungan untuk menentukan fraksi massa yang dibutuhkan pada *feedwater heater* sebagai berikut:

$$y'_2(h_{13} - h_{22}) = (y'_2 + 1 - y'_1)(h_{10} - h_9)$$

$$y'_2 = \frac{(1 - y'_1)(h_{10} - h_9)}{h_{13} - h_{22}}$$

$$y'_2 = \frac{(0.939)(799.65 - 679.38)}{3204.05 - 835.32} = 0.0476$$

Menentukan fraksi massa pada *low pressure feedwater heater 3*

Data awal yang dibutuhkan untuk menentukan fraksi massa pada *low pressure heater* sebagai berikut:

➤ Pada sisi *steam*

$$h_{15} = 2994.28 \frac{kJ}{kg}$$

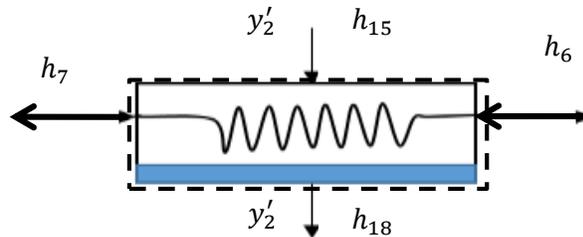
$$h_{18} = 569.54 \frac{kJ}{kg}$$

➤ Pada sisi *water*

$$h_6 = 411.46 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_7 = 536.38 \frac{kJ}{kg}$$

Berikut gambar *control volume* pada *low pressure heater*:



Gambar 4.6 Control Volume LPH 3

Perhitungan untuk menentukan fraksi massa yang dibutuhkan pada *feedwater heater* sebagai berikut:

$$y'_4(h_{15} - h_{18}) = (y'_4 + 1 - y'_2 - y'_3 - y'_4)(h_7 - h_6)$$

$$y'_4 = \frac{(1 - y'_2 - y'_3 - y'_4)(h_7 - h_6)}{h_{15} - h_{18}}$$

$$y'_4 = \frac{(0.8914(0.176))(536.38 - 411.46)}{2994.28 - 569.54} = 0.008$$

Menentukan fraksi massa pada *deaerator*

Data awal yang dibutuhkan untuk menentukan fraksi massa pada *deaerator* sebagai berikut:

➤ Pada sisi *steam*

$$h_{14} = 3078.18 \frac{kJ}{kg}$$

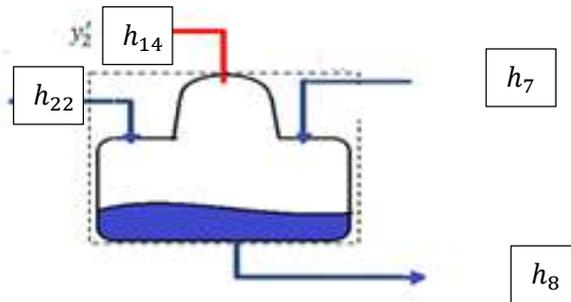
$$h_{22} = 835.32 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_7 = 536.38 \frac{kJ}{kg}$$

➤ Pada sisi *water*

$$h_8 = 667.32 \frac{kJ}{kg}$$

Berikut gambar *control volume* pada *deaerator*:



Gambar 4.7 Deaerator

Perhitungan untuk menentukan fraksi massa yang dibutuhkan pada *deaerator* sebagai berikut:

$$(1 - y'_1 - y'_2 - y'_3)(h_7) + y'_3(h_{14}) + y'_2(h_{22}) = h_8$$

$$(1 - 0.061 - 0.0476 - y'_3) (536.38 \text{ kJ/kg}) + y'_3 (3078.18 \text{ kJ/kg}) + 0.0476 (835.32 \text{ kJ/kg}) = 667.32 \text{ kJ/kg}$$

$$3556.3y'_3 = 627.559$$

$$y'_3 = 0.176$$

Menentukan fraksi massa pada *low pressure heater 4*

Data awal yang dibutuhkan untuk menentukan fraksi massa pada *low pressure heater* sebagai berikut:

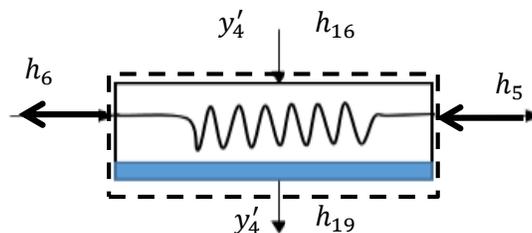
➤ Pada sisi *steam*

$$h_{16} = 2872.51 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_{19} = 442.12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

➤ Pada sisi *water*

$$h_6 = 411.46 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_5 = 289.29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Berikut gambar *control volume* pada *low pressure heater*:



Gambar 4.8 Control Volume LPH 2

Perhitungan untuk menentukan fraksi massa yang dibutuhkan pada *feedwater heater* sebagai berikut:

$$y'_5(h_{16} - h_{19}) = (y'_5 + 1 - y'_1 - y'_2 - y'_3 - y'_4 - y'_5)(h_6 - h_5)$$

$$y'_5 = \frac{(1 - y'_1 - y'_2 - y'_3 - y'_4)(h_6 - h_5)}{(h_{16} - h_{19})}$$

$$y'_5 = \frac{(0.7074)(122.17)}{(2450.39)}$$

$$y'_5 = 0.03$$

Menentukan fraksi massa pada *low pressure heater 5*

Data awal yang dibutuhkan untuk menentukan fraksi massa pada *low pressure heater* sebagai berikut:

➤ Pada sisi *steam*

$$h_{17} = 2739.42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

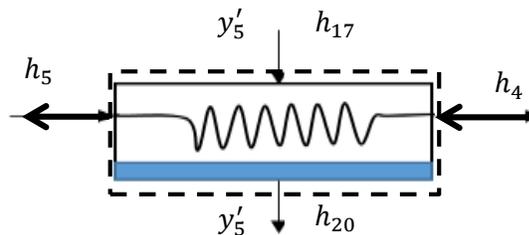
$$h_{20} = 317.57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

➤ Pada sisi *water*

$$h_5 = 289.29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_4 = 181.32 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Berikut gambar *control volume* pada *low pressure heater*:



Gambar 4.9 Control Volume LPH 3

Perhitungan untuk menentukan fraksi massa yang dibutuhkan pada *feedwater heater* sebagai berikut:

$$y'_6(h_{17} - h_{20}) = (y'_6 + 1 - y'_1 - y'_2 - y'_3 - y'_4 - y'_5)(h_5 - h_4)$$

$$y'_6 = \frac{(1 - y'_1 - y'_2 - y'_3 - y'_4 - y'_5)(h_5 - h_4)}{(h_{17} - h_{20})}$$

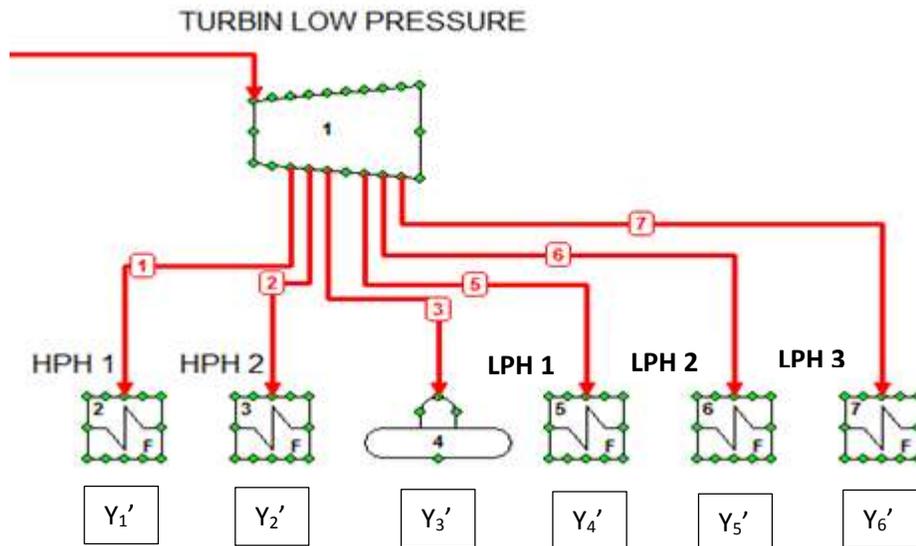
$$y'_6 = \frac{(0.6774)(107.97)}{(2421.85)}$$

$$y'_6 = 0.03$$

Perhitungan termodinamika dilakukan dengan menghitung efisiensi pembangkit.

Perhitungan efisiensi pembangkit dapat ditunjukkan pada perhitungan di bawah ini:

4.2.3 Menghitung Daya Turbin



Gambar 4.10 Turbin

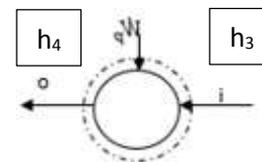
$$\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = h_1 - (1 - y'_1 - y'_2 - y'_3 - y'_4 - y'_5 - y'_6)h_2 - y'_1 \cdot h_3 - y'_2 \cdot h_4 - y'_3 \cdot h_3$$

$$\begin{aligned} \dot{W}_{turbin} = & \left[3476.64 \text{ kJ/kg} - (3298.69 \times 0.061) \text{ kJ/kg} - (3204.05 \times 0.0476) \text{ kJ/kg} \right. \\ & - (3078.18 \times 0.176) \text{ kJ/kg} - (2994.28 \times 0.008) \text{ kJ/kg} \\ & - (2872.51 \times 0.030) \text{ kJ/kg} - (2739.42 \times 0.03) \text{ kJ/kg} \\ & \left. - (2579.09 \times 0.7158) \text{ kJ/kg} \right] \times \dot{m} \text{ kg/s} \\ \dot{W}_{turbin} = & 754.9311 \text{ kJ/kg} \times 39.406 \text{ kg/s} = 29948 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.2.4 Kerja Pada Pompa 1 Condensate Pump:

$$\frac{\dot{W}_{pompa}}{\dot{m}} = (h_4 - h_3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\dot{W}_{pompa}}{\dot{m}} &= (181.32 - 180.54) \text{ kJ/kg} \times 33.601 \text{ kg/s} \\ &= 26.208 \text{ kW} \end{aligned}$$

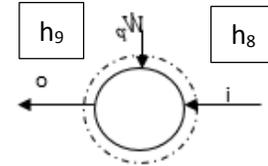


Gambar 4.11 CFB

4.2.5 Kerja Pada Pompa 2 Boiler Feedwater Pump:

$$\frac{\dot{W}_{pompa}}{\dot{m}} = (h_9 - h_8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\dot{W}_{pompa}}{\dot{m}} &= (679.38 - 667.32) \text{ kJ/kg} \times 39.406 \text{ kg/s} \\ &= 475.23 \text{ kW} \end{aligned}$$



Gambar 4.12 BFP

- Total kerja pompa 4 dan 9 per unit massa yang melalui turbin adalah

$$\dot{W}_{total\ pompa} = 26.208 + 475.23 = 501.438 \text{ kW}$$

4.2.6 Efisiensi Pembangkit

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi pembangkit} &= \frac{\dot{W}_{turbin} - \dot{W}_{pompa}}{\dot{Q}_{boiler}} \\ \text{Efisiensi pembangkit} &= \frac{29434 \text{ kW} - 26.208 \text{ kW} - 475.23 \text{ kW}}{98839.65 \text{ kW}} \\ \text{Efisiensi pembangkit} &= 29\% \end{aligned}$$

Kesimpulan hasil perhitungan termodinamika atau menggunakan *software Cycle Tempo* menunjukkan hasil mendekati sama. *Boiler* menghasilkan panas pada perhitungan sebesar 98839.65kW, sedangkan menggunakan *software* sebesar 99824.33 kW. Oleh karena itu, dengan menggunakan *software Cycle Tempo* dapat dijadikan acuan perhitungan pembangkit listrik. Hasil analisis secara termodinamika diperoleh daya turbin 29477 kW sedangkan hasil simulasi *Cycle Tempo* 30302 kW.

4.2.7 Massa Bahan Bakar

$$\begin{aligned} \dot{m}_{BB} &= \frac{\dot{m}_{steam}(h_1 - h_{11})}{HHV} \\ \dot{m}_{BB} &= \frac{33.05 \text{ kg/s}(3476.64 - 942.32) \text{ kJ/kg}}{22918.5 \text{ kJ/kg}} \\ \dot{m}_{BB} &= 3.65 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

4.2.8 Heat Rate

Gross Plant Heat Rate

$$\text{Gross heat rate} = \frac{\dot{m}_{\text{bahanbakar}} \text{LHV}_{\text{bahan bakar}}}{\text{Power Gross}}$$

$$\text{Gross heat rate} = \left[\frac{3.65 \text{ kg/s} \times 22918.5 \text{ kJ/kg}}{30000 \text{ kW}} \right] \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$\text{Gross heat rate} = 10038.3 \text{ kJ/kWh}$$

4.2.9 Efisiensi boiler

Menghitung efisiensi boiler menggunakan *direct method*

$$(\eta_{\text{Boiler}}) = \frac{\dot{m}_s (h_s - h_w)}{\dot{m}_{bb} \times \text{LHV}}$$

$$(\eta_{\text{Boiler}}) = \frac{33.05 \text{ kg/s} (3476.64 - 942.32) \text{ kJ/kg}}{3.65 \text{ kg/s} \times 22918.5 \text{ kJ/kg}}$$

$$(\eta_{\text{Boiler}}) = 0.84\%$$

4.3 Analisis PLTU 3 Bangka Belitung 2x30 MW Setelah Dilakukan Variasi

Variasi dilakukan dengan tidak melihat kondisi *excessive flow* dikarenakan *excessive flow* dalam turbin terbuang ke dalam tiap-tiap *feedwater heater*. Laju aliran massa sisa yang berada di setiap *feedwater heater* divariasikan mengalir ke dalam *feedwater heater* yang lainnya. Laju aliran massa setiap *feedwater heater* ditentukan berdasarkan daya yang dihasilkan, dengan harapan mendekati daya pada kondisi *existing*. Laju aliran massa yang diatur tetap untuk membatasi nilai daya yang terlampaui tinggi sehingga *excessive flow* juga tidak terjadi. *Excessive flow* pada high pressure heater tidak terjadi bila total jumlah ekstraksi pada *feedwater heater* tidak sampai 20% dari jumlah dari aliran Massa main steam dan jika *feedwater heater* mengalami *excessive flow*.

Tabel 4.2 Properties Laju Aliran Massa pada FWH Setelah Variasi

	\dot{m} HPH 1	\dot{m} HPH 2	Deaerator	\dot{m} LPH 1	\dot{m} LPH 2	\dot{m} LPH 3	Kondensor
Eksisting	2.429	1.848	1.527	1.731	1.598	1.325	28.978
Variasi 1	2.429	1.848	1.527	0	1.945	1.671	29.986
Variasi 2	2.429	1.848	1.527	1.731	0	1.917	29.954
Variasi 3	2.429	1.848	1.527	1.731	1.598	0	30.273
Variasi 4	2.429	0	1.76	1.931	1.798	1.525	29.996
Variasi 5	2.429	0	1.727	0	2.131	1.725	31.394
Variasi 6	2.429	0	1.728	1.731	0	1.725	31.794
Variasi 7	2.429	0	1.727	1.731	1.598	0	31.921
Variasi 8	0	2.048	1.728	1.931	1.797	1.525	30.378

Data Tabel 4.2 menunjukkan laju aliran massa pada setiap variasi operasi FWH dikarenakan daya yang dihasilkan turbin berbeda. Hasil variasi *feedwater heater* menunjukkan bahwa laju aliran massa pada kondisi aktual berada di kondisi *on service*. Sedangkan pada variasi pertama mengalami *off service* pada LPH 1. Perpindahan laju aliran massa pada variasi ke dua menunjukkan LPH 2 pada kondisi *off service* laju aliran massa menuju ke LPH 3 sebesar 1.917 kg/s. Hasil laju aliran massa variasi ke enam menunjukkan HPH 2 dalam keadaan *off service* dan laju aliran massa menuju deaerator dan LPH 1 sebesar 20% yaitu 1.727 kg/s & 1.931 kg/s.

Tabel 4.3 Properties Pembangkit Setelah Variasi

	\dot{Q}_{Boiler} (kW)	Power (kW)	η_{plant} (%)
Eksisting	99867.37	30000	30.04
Variasi 1	99867.37	29977	29.967
Variasi 2	99867.37	29898	29.838
Variasi 3	99867.37	29841	29.817
Variasi 4	99867.37	29756	29.831
Variasi 5	99867.37	29727	29.737
Variasi 6	99867.37	29619	29.659
Variasi 7	99867.37	29598	29.638
Variasi 8	99867.37	29498	29.585

Data Tabel 4.3 Menunjukkan variasi pengaruh operasi *feedwater heater* sebagai referensi penelitian dengan menggunakan *software Cycle Tempo*. Hasil pada kondisi aktual dengan menjaga \dot{Q}_{Boiler} sebesar 99867.37 kW dan \dot{m}_{steam} 39.406 kg/s menghasilkan daya sebesar 30000 kW dan efisiensi pembangkit sebesar 30.040%.

Variasi ke delapan menunjukkan hasil yang paling rendah dibanding variasi lainnya. Hasil variasi ke delapan mendapatkan daya sebesar 29498 kW dan efisiensi sebesar 29.585%. Oleh sebab itu dengan melakukan simulasi didapatkan pengaruh pada *off service* pada *feedwater heater*.

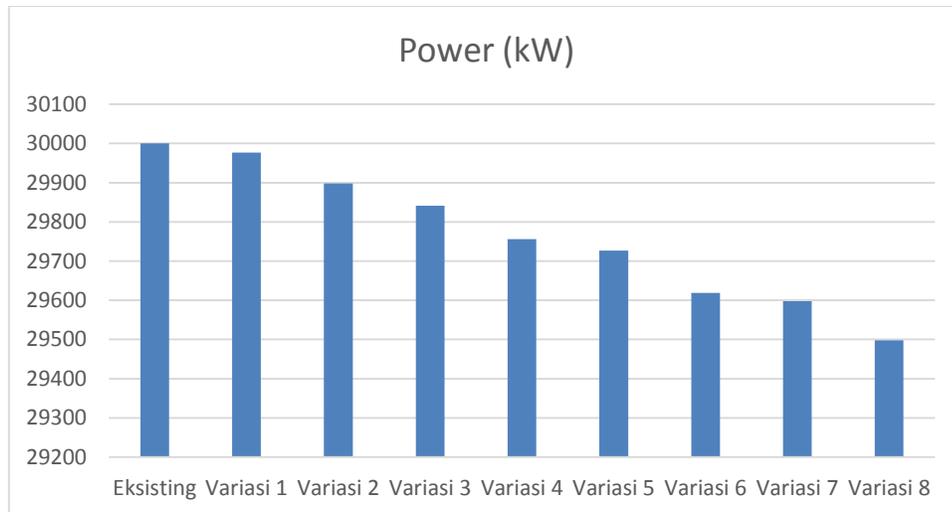
Tabel 4.4 Data Variasi Kalori Batubara Terhadap Daya

No.	Variasi	\dot{Q}_{Boiler}	LHV (kJ/kg)	\dot{m}_{steam}	Daya (kW)
1.	Eksisting	99867	24903	39.406	30000
2.	Variasi a	95723	23848	37.771	28831
3.	Variasi b	93947	23430	37.070	28296
4.	Variasi c	92165	23012	36.367	27759
5.	Variasi d	90373	22593	35.660	27219
6.	Variasi e	88584	22175	34.954	26680

Data Tabel 4.4 menunjukkan pengaruh variasi temperatur uap lanjut terhadap performa pembangkit. Hasil pada kondisi aktual menghasilkan daya dan efisiensi yang paling optimal dalam penelitian tesis ini dengan daya sebesar 30000 kW dan efisiensi sebesar 30.040%. Kalori batubara pada variasi pertama sebesar 23848.8 kJ/kg dengan telah menghasilkan daya sebesar 28831 kW dan efisiensi sebesar 27.970 %. Kalori batubara tipe medium 21756 kJ/kg menghasilkan daya sebesar 26680 kW dan efisiensi sebesar 27.837 %. Pengaruh kalori batubara pada Tabel 4.4 yang menunjukkan hasil besaran kalori batubara yang dapat berpengaruh kepada panas yang di hasilkan pada ruang bakar. Semakin tinggi Kalori batubara berpengaruh kepada jenis pembangkit dan daya rancang bangun pembangkit.

4.4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.4.1 Analisis Daya



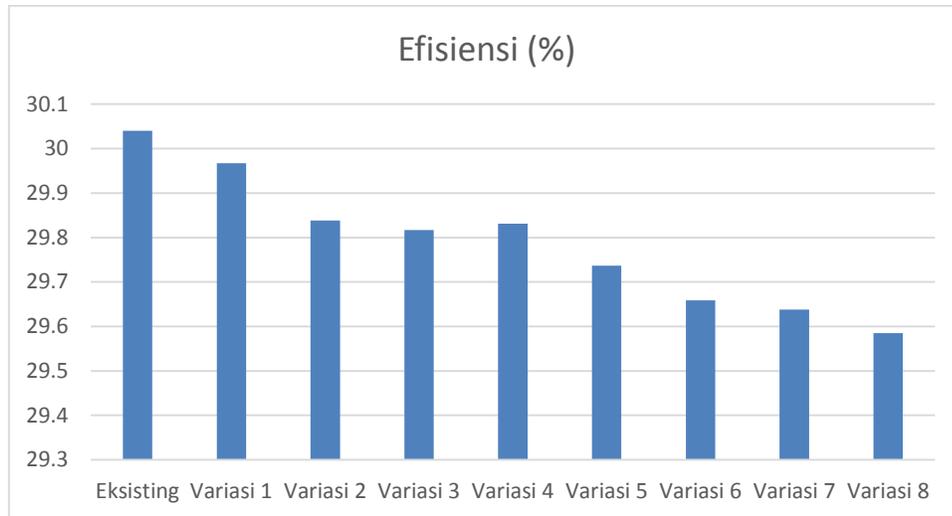
Gambar 4.13 Grafik Daya pada Kondisi *Existing* dan Kondisi Variasi Berdasarkan *Cycle Tempo*.

Gambar 4.13 menunjukkan grafik nilai hasil daya pembangkit. Nilai daya diperoleh berdasarkan hasil turbin setelah dikurangi konsumsi daya oleh pompa dan kompresor sebagai pendukung sistem pembangkit. Data langsung didapatkan dari *software cycle-tempo* dengan melakukan variasi *feedwater heater* dengan mempertahankan kondisi \dot{Q}_{Boiler} sebesar 99867.37 kW dan \dot{m}_{steam} 39.406 kg/s sesuai dengan kondisi variasi pembangkit.

Grafik kondisi *existing* pada PLTU 3 Bangka Belitung dengan hasil daya 30000kW. Variasi yang memiliki hasil daya terbesar berada pada variasi ke empat, yaitu kondisi HPH 1 off dalam keadaan mati. Hasil laju aliran massa dari HPH 1 menuju pada HPH 2. Keadaan ini membuat laju aliran massa *feedwater heater* selanjutnya cukup besar untuk membuat daya total dari variasi pertama menjadi 29977 kW. Variasi ke delapan memiliki daya yang paling rendah dibanding daya variasi lainnya. Pada variasi ini, HPH 2 dan LPH 3 dalam kondisi mati (*OFF*), sehingga laju aliran Massa menuju HPH 1 dan LPH 3. Daya yang dihasilkan sebesar 29498 kW.

Hal ini sesuai dengan Penelitian Yong Li dan Chao Wang (2013) yang menyatakan perubahan nilai efisiensi suatu pembangkit pasti terjadi ketika pada turbin uap dilakukan proses ekstraksi. Perubahan beberapa bagian pada sebuah sistem regeneratif mengakibatkan perubahan pada jumlah aliran massa ekstraksi turbin uap, perubahan ekstraksi itu akan mengakibatkan daya turbin dan pembakaran pada boiler berubah, dan akhirnya perubahan daya pada turbin dan boiler mengakibatkan efisiensi internal relatif berubah.

4.4.2 Analisis Efisiensi pembangkit Setelah dan Sebelum Dilakukan Variasi



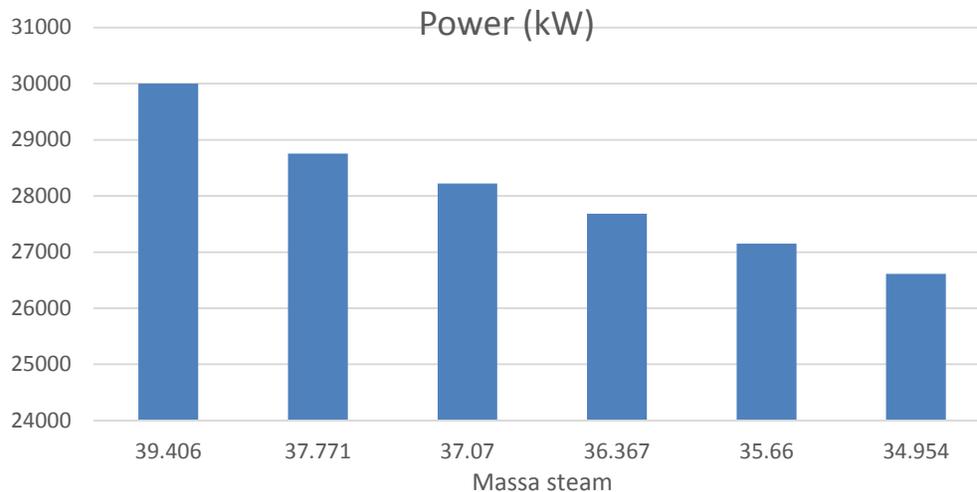
Gambar 4.14 Grafik Efisiensi pada Kondisi *Existing* dan Kondisi Variasi berdasarkan *Cycle Tempo*

Gambar 4.14 menunjukkan grafik efisiensi pembangkit dari kondisi sebelum dan sesudah dilakukan variasi. Kondisi *existing* nilai efisiensi pembangkit adalah 30.04 %, yang merupakan efisiensi terbesar dari semua variasi. Semakin rendah efisiensi pembangkit maka semakin buruk pembangkit beroperasi. Efisiensi adalah perbandingan nilai jumlah daya yang dihasilkan dengan jumlah bahan bakar masuk. Hasil perhitungan efisiensi menggunakan *Cycle Tempo* menjelaskan bahwa tren efisiensi dari *existing* sampai variasi ke empat mengalami penurunan. Efisiensi yang rendah menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar yang digunakan cenderung besar.

Konsumsi bahan bakar yang besar digunakan, namun daya turun dikarenakan sisa dari laju aliran massa dari *feedwater heater* yang dimatikan mengalir menuju *feedwater heater* saat kondisi terbuka daripada mengakibatkan daya tersebut cenderung tidak naik. Efisiensi paling rendah dalam tesis ini adalah variasi ke delapan, dengan efisiensi yang dihasilkan hanya 29.585. *Power* dari variasi pertama ini menunjukkan nilai paling besar disebabkan oleh laju aliran massa LPH 1 kembali ke turbin dikarenakan pada keadaan mati, menyebabkan naiknya daya pembangkit yang cukup signifikan.

Hal ini sesuai dengan buku (*Black and Veatch, 2006. Power Engineering Black and Veatch*), yang menyatakan berdasarkan grafik pada Gambar 4.14 dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah *feedwater heater* digunakan maka efisiensi siklus yang dihasilkan semakin baik, namun peningkatan *feedwater heater* tambahan dari masing-masing menghasilkan tingkat panas yang rendah untuk menghasilkan kenaikan beban berikutnya sehingga diperlukan jumlah *feedwater heater* yang ideal agar didapat efisiensi siklus. Namun penambahan jumlah *feedwater heater* menambah biaya dan membatasi kerja turbin. Jumlah penambahan *feedwater heater* dibatasi berdasarkan kapasitas pembangkit.

4.4.3 Analisis *Power* terhadap Pengaruh Kalori Barubara pada Pembangkit



Gambar 4.15 Grafik *Power* pada variasi \dot{m}_{steam} berdasarkan *Cycle Tempo*

Gambar 4.15 merupakan grafik variasi \dot{m}_{steam} berdasarkan variasi LHV bahan bakar pada pembangkit. Hasil grafik menunjukkan pengaruh kalori batubara terhadap daya yang dihasilkan. Pengaruh besaran kalori batubara yang digunakan berdampak terhadap \dot{m}_{steam} yang dihasilkan. Kondisi eksisting menghasilkan daya sebesar 30000kW dan menjadi daya paling tinggi. Variasi a menghasilkan daya sebesar 28831 kW dengan \dot{m}_{steam} sebesar 37.771 kg/s. Semakin kecil \dot{m}_{steam} yang berasal dari LHV batubara berdampak kepada daya yang dihasilkan pembangkit.

Kuswaha dkk, (2015) laju aliran massa uap yang bervariasi ketika pembangkit pada kondisi dibawah performa desain laju aliran massa uap. Tetapi berbanding terbalik dengan laju aliran massa *feedwater*. Dimana perubahan temperatur air keluaran *feedwater heter* dapat memberikan dampak pada kasus *off design*. Karena laju perpindahan panas dapat meningkat jika laju aliran massa uap dan air umpan meningkat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan pembahasan mengenai keseluruhan perhitungan dan simulasi pengaruh variasi operasi *feedwater heater* dan kalori batubara pada PLTU 3 Bangka Belitung, diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Hasil penelitian yang menggunakan *software Cycle Tempo* pada kondisi *existing* adalah daya sebesar 30000 kW dan efisiensi sebesar 30.040. Pada kondisi *existing* ini masih paling bagus kondisinya dibanding kondisi variasi yang telah dilakukan.
2. Hasil variasi yang memiliki nilai paling rendah adalah variasi ke delapan. Variasi ke delapan mengalami daya paling rendah dikarenakan pengaruh hilangnya jumlah FWH di setiap tingkatan temperatur yang terjadi. Hasil yang didapat pada variasi ke delapan yaitu daya 29598 kW dan efisiensi 29.638%.
3. Hasil variasi *feedwater heater* ke empat menunjukkan daya meningkat sangat signifikan dibanding daya lain ya tetapi berbanding terbalik dengan efisiensi yang diperoleh. Daya meningkat sangat besar dan efisiensi yang kecil konsumsi bahan bakar menjadi lebih boros atau pembakaran di boiler tidak maksimal. Boiler melakukan pemanasan ulang terhadap air yang berada pada *feedwater heater*.
4. Kalori batubara semakin tinggi yang digunakan maka dapat berdampak terhadap nilai panas batubara. Tingginya kalori batubara yang digunakan menyebabkan nilai \dot{m}_{steam} bervariasi dan dapat menjadi nilai Power yang dihasilkan.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat di berikan setelah dilakukannya penelitian antara lain sebagai berikut:

1. Diharapkannya ada penelitian lebih lanjut terhadap variasi operasi *feedwater heater* dan dapat dijadikan solusi pada operasi PLTU 3 Bangka Belitung.
2. Perlunya dilakukan peneliti lebih lanjut terkait dengan penggunaan *software Cycle tempo*, karena ada kemungkinan kesalahan dalam pengaturan pemodelan power plant pada saat melakukan simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ankur Geete, dkk (2013).“*Thermodynamic analysis of 120 MW thermal power plant with combined effect of constant inlet pressure (124.61 bar) and different inlet temperatures*”
- Yong Li dan Chao Wang (2013).“*Study on The Effect of Regenerative System on Power Type Relative Internal Efficiency of Nuclear Steam Turbine*”.
- Dendi Junaidi, dkk (2010). melakukan studi tentang “Keseimbangan Massa dan Kalor serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai Perubahan Beban dengan Memvariasikan Jumlah *Feedwater Heater*”
- (Srinivas, Gupta, & Reddy), (2007). Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with “ n ” Number of Feedwater Heaters, *10(4)*, 177–185.
- Moran saphiro, (2006). *Fundamental of Engineering Termodinamics*. John Wiley & Sons Inc.
- Black And Veatch, (1996). *Power plant engineerin*.
- Training Manual. *Cycle Tempo Version 5.1 Delft University of Technology (TU Delft)*.
- El Wakil, (1998). *Power Plant Technology* 2nd Printing.
- Kumar Rayaprolu, (2009) *Boiler For Power and Process*

Halaman ini sengaja dikosongkan



SI 01-107015

LIK-MINBA05-01
Rev 03**SERTIFIKAT PENGAMBILAN SAMPEL DAN ANALISA***(Certificate of Sampling and Analysis)*

No : CDA-0904168052/1050.K/30/D.3B/2014/04/2016

Nama Kapal / Tongkang / (Name of tugboat / barge) : TB. ASP 18 / BG. PERSADA 2789
 Komoditas / (Commodity) : Coal in bulk
 Kuantitas / (Quantity) : 5,910.421 Metric Tons
 Pelabuhan Muat / (Port of Loading) : Jetty Rantau Mulia Kencana, Palembang, Sumatera Selatan
 Pelabuhan Bongkar / (Port of Discharging) : Jetty PLTU Bangka Baru, Bangka Belitung
 Pembeli / (Notify Party) : PT. PLN Batubara
 Penerima / (Consigned) : PT. PLN (Persero) Wilayah Bangka Belitung Sektor Pembangkitan
 Pengirim / (Shipper) : PT. Usaha Maju Makmur
 Tanggal Survei / (Date of Survey) : April 17th up to April 18th, 2016

General Condition of Sample : Coal sampling taken at the time of loading with sampling point on belt conveyor at Jetty Rantau Mulia Kencana, Palembang, Sumatera Selatan. Condition of coal is crushed, moist to wet, and dusty. The Color coal is brownish black.
 Sampling Method : In Accordance with ASTM Method, representative sample was taken by manual scope from large loading by conveyor from the above source in 1 lot. Total increment was collected in 85 increments or 17 bags and 5 bags 5A.
 Sample Preparation : Gross sample was crushed, mixed, reduced and pulverized into one analysis sample for laboratory test.

Spesifikasi / Specification :

Parameter	Unit	Result				Methods
		AR	ADB	DB	DAFB	
Total Moisture	%	33.79	-	-	-	ASTM D 3302-12
Proximate	Moisture in the Analysis Sample	-	11.43	-	-	ASTM D 3173-12
	Ash Content	4.31	6.03	6.81	-	ASTM D 3174-12
	Volatiles Matter	33.79	43.87	46.53	53.14	ISO 562:2010
	Fixed Carbon	%	28.91	38.68	43.67	46.06
Total Sulphur	%	0.28	0.38	0.42	0.46	ASTM D 4239-14
Gross Calorific Value	Kcal/Kg	4194	5033	6334	6757	ASTM D 3865-12
Hardgrove Grindability Index	Index Point	59				ASTM D 409-12
Size Test	Size Fraction	- 20 mm - 30 mm	- 30 mm - 50 mm	- 50 mm - 75 mm	- 75 mm - 100 mm	ASTM D 4749-12
		99	96	78	18	
Ash Fusion Temperature (Reduction)	Initial Deformation temp.	1220				ASTM D 1857-10
	Spherical Temp.	1240				
	Hemispherical Temp.	1270				
	Fluidized Temp./Fluid	1280				

Tanggal dikeluarkan / Date of issued : April 22nd, 2016

Dilaporkan oleh / Reported by

Analyst


Lutfia Apipah
 2014/SI-Minerba/021

Disetujui oleh / Approved by


Adhie Syaiful Bahman Putra
 2014/SI-Minerba/021

Sertifikat ini ditembuskan ke :

- 1) Direktorat Pembinaan Pengusahaan Batubara
- 2) Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi
- 3) Dinas Pertambangan dan Energi Kabupaten / Kota

This certificate/report reflects our finding at time and place of inspection and does not refer to any other matter. This certificate/report is issued without prejudice and on the understanding that it does not relieve parties from their contractual obligations. All inspection covered in this certificate/report have been carried out to the best of our knowledge and ability and in accordance with practice and standard generally accepted in trade. Our responsibility is limited to the exercise of reasonable care and due diligence.

This certificate is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.pia.co.id

SI 01-107002

LIK-MINBA05-03
Rev 03



SERTIFIKAT KUANTITAS BATUBARA
(Certificate Of Weight)

No : COW-0904168052/1050.K/30/DJB/2014/04/2016

Nama Kapal / Tongkang / (Name of tugboat / barge) : TB. ASP 18 / BG. PERSADA 2789
Komoditas / (Commodity) : Coal in bulk
Kuantitas / (Quantity) : 5,910.421 Metric Tons
Pelabuhan Muat / (Port of Loading) : Jetty Rantau Mula Kencana, Palembang, Sumatera Selatan
Pelabuhan Bongkar / (Port of Discharging) : Jetty PLTU Bangka Baru, Bangka Belitung
Pembeli / (Notify Party) : PT. PLN Batubara
Penerima / (Consignee) : PT. PLN (Persero) Wilayah Bangka Belitung Sektor
Pembangkitan
Pengirim / (Shipper) : PT. Usaha Maju Makmur
Tanggal Survei / (Date of Survey) : April 17th up to April 18th, 2016

SERTIFIKAT INI UNTUK MENYATAKAN, bahwa atas permintaan pengirim, kami ada di kapal / tongkang tersebut pada saat sebelum, selama dan setelah pemuatan batubara untuk tujuan menentukan kuantitas batubara pada kapal / tongkang tersebut dengan menggunakan metode Draft Survey. / THIS IS TO CERTIFY, that at the request of the shipper, we attended on board the above vessel prior to, during and after loading for the purpose of determining the quantity of the above cargo by Draft Survey method.

Menurut data relevan yang tersedia di atas kapal / tongkang dan sebagai mana tercantum dalam Laporan terlampir, kami menyebutkan jumlah batubara yang dimuat sebesar ; / According to the relevant data available on board and as detailed in the attached report, we conducted mentioned figure of cargo :

5,910.421 Metric Tons

Sertifikat ini mengacu pada hasil pembacaan draft kapal / tongkang dan perhitungan serta mencerminkan temuan kami hanya pada waktu dan tempat yang ditunjukkan di atas. / This certificate refers to ships draft reading and calculation and reflects our findings at time and place indicated above only.

Tanggal dikeluarkan / Date of issued : April 20th, 2016

Dilaporkan oleh / Reported by

Surveyor


Bandar Sampurna Putra
2015/SI-Minerba/036

Disetujui oleh / Approved by


Adhe Syaiful Rahman Putra
2014/SI-Minerba/036

Sertifikat ini ditembuskan ke :

- 1) Direktorat Pembinaan Pengusahaan Batubara
- 2) Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi
- 3) Dinas Pertambangan dan Energi Kabupaten / Kota

This certificate/report reflects our finding at time and place of inspection and does not refer to any other matter. This certificate/report is issued without prejudice and on the understanding that it does not relieve parties from their contractual obligations. All inspection covered in this certificate/report have been carried out to the best of our knowledge and ability and in accordance with codes and standards generally accepted in trade. Our responsibility is limited to the exercise of reasonable care and due diligence.

This certificate is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.pln.co.id



SI 01- 102907

LIX-MINBA05-01
Rev 02

SERTIFIKAT PENGAMBILAN SAMPEL DAN ANALISA

(Certificate of Sampling and Analysis)

No : COA-2103167007/1050.K/30/DJB/2014/03/2016

Nama Tugboat / Barge* / (Name of tugboat / barge)	: TB. DELTA 107 / BG. DELTA 259
Komoditas / (Commodity)	: Coal in bulk
Reference Number	: -
Peabuhan Muat / (Port of Loading)	: Sungai Puhing, Kalimantan Selatan
Peabuhan Bongkar / (Port of Discharging)	: Jetty PLTU Air Anyir, Bangka Belitung
Pembeli / (Notify Party)	: PLTU Air Anyir, Bangka Belitung
Penerima / (Consignee)	: PT. PLN (Persero) Wilayah Bangka Belitung Sektor Pembangkitan
Pengirim / (Shipper)	: PT. BATARA BATARI SINERGY NUSANTARA
Tanggal Survei / (Date of Survey)	: March 03 rd up to March 09 th , 2016

THIS IS TO CERTIFY that the sampling and analysis sample have been conducted by surveyor. The following details of activities noted as follows :

General Condition of Sample : As far as visible, appearance of size was 0 - 70 mm, moist and color was brownish black.

Sampling Method : In accordance with ASTM Method, representative sample was taken by manual scope during unloading from the source. Total increment was collected in approximately 82 increments or 10 bags.

Sample Preparation : Gross sample was sizing, composite, crushed, mixed, reduced and pulverized into one composite analysis for laboratory test.

Analysis Result : The analysis results was noted as follows:

Parameter	Unit	Result				Methods
		AR	ADB	DB	DAFB	
Total Moisture	%	39.27	-	-	-	ASTM D 3302-12
Proximate	Moisture in the Analysis Sample	%	-	13.81	-	ASTM D 3175-11
	Ash Content	%	3.73	5.30	6.15	ASTM D 3174-12
	Volatile matter	%	50.85	44.09	30.96	ASTM D 3175-11
	Fixed Carbon	%	26.35	37.83	61.89	By Difference
Total Sulphur	%	0.15	0.21	0.24	0.26	ASTM D 4330-14
Gross Calorific Value	Kcal/Kg	3813	5474	6279	6689	ASTM D 5865-13
Ultimate	Total Carbon	%	-	38.16	66.78	ASTM D 3372-14
	Total Hydrogen	%	3.13	4.46	5.15	-
	Nitrogen	%	-	0.75	0.66	0.92
	Oxygen	%	-	18.22	-	By Difference
Hardgrove Grindability Index	Burner Point			50		ASTM D 400-12
Size Test	Size Fraction	- 20 mm	- 50 mm	- 75 mm	- 200 mm	ASTM D 6799-12
	%	100	100	80	20	
Slinging Index				0.14		(LOW)
Feeding Index				0.34		(MEDIUM)
Ash Fusion Temperature (Reduction)	Initial Deformation Temp.	°C		1130		ASTM D 1857-10
	Spherical Temp.	°C		1190		
	Horizontal Temp.	°C		1170		
	Fluidity Temp./Fluid	°C		1190		
Ash Analysis Parameter	Unit	Result	Ash Analysis Parameter	Unit	Result	Methods
SiO ₂	%	41.73	Fe ₂ O ₃	%	0.41	Ignited at 800°C ASTM D 3682-13
Al ₂ O ₃	%	12.46	K ₂ O	%	0.76	
Fe ₂ O ₃	%	18.80	CaO	%	2.70	
CaO	%	10.12	MgO	%	0.49	
MgO	%	4.02	P ₂ O ₅	%	0.25	
SO ₂	%	8.00				

Tanggal dikeluarkan : March 16th, 2016

Diaportkan oleh / Reported by

Analisis / Analyst

LUTFA ARIYAH

2014/SI-Minerba/021

Sertifikat ini ditembuskan ke :

- 1) Direktorat Pembinaan Pengusahaan Batubara
- 2) Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi
- 3) Dinas Pertambangan dan Energi Kabupaten / Kota

This certificate/report reflects our finding at time and place of inspection and does not refer to any other matter. This certificate/report is issued without prejudice and on the understanding that it does not relieve parties from their contractual obligations. All inspection covered in this certificate/report have been carried out to the best of our knowledge and ability and in accordance with practice and standard generally accepted in trade. Our responsibility is limited to the exercise of reasonable care and due diligence.

This certificate is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.ptsi.co.id

Disetujui oleh / Approved by

HERMAN KRISNANTO
Head of Power Plant Superintending



SI 01- 102906

LJK-MINBA05-03
Rev 02

SERTIFIKAT KUANTITAS BATUBARA

(Certificate Of Weight)

No : COW - 2103167007/1050.K/30/DJB/2014/03/2016

Nama Tugboat / Barge* / (Name of tugboat / barge)	: TB. DELTA 107 / BG. DELTA 259
Komoditas / (Commodity)	: Coal in bulk
Kuantitas / (Quantity)	: 5,588.890 MT
Voyage / Shipment	: 32 / 73
Pelabuhan Muat / (Port of Loading)	: Sungai Puting, Kalimantan Selatan
Pelabuhan Bongkar / (Port of Discharging)	: Jetty PLTU Air Anyir, Bangka Belitung
Pembeli / (Notify Party)	: PLTU Air Anyir, Bangka Belitung
Penerima / (Consignee)	: PT. PLN (Persero) Wilayah Bangka Belitung Sektor Pembangkitan
Pengirim / (Shipper)	: PT. BATARA BATARI SINERGY NUSANTARA
Tanggal Survei / (Date of Survey)	: March 03 rd up to March 09 th , 2016

SERTIFIKAT INI UNTUK MENYATAKAN, bahwa atas permintaan penerima, kami ada di kapal / tongkang tersebut pada saat sebelum, selama dan setelah pembongkaran batubara untuk tujuan menentukan kuantitas batubara pada kapal/tongkang tersebut dengan menggunakan metode Draft Survey. / *THIS IS TO CERTIFY, that at the request of the consignee, we attended on board the above vessel prior to, during and after unloading for the purpose of determining the quantity of the above cargo by Draft Survey method.*

Menurut data relevan yang tersedia di atas kapal / tongkang dan sebagaimana tercantum dalam Laporan terlampir, kami menyebutkan jumlah batubara yang dibongkar sebesar : / *According to the relevant data available on board and as detailed in the attached report, we conducted mentioned figure of cargo :*

5,588.890 Metric Tons

Sertifikat ini mengacu pada hasil pembacaan draft kapal / tongkang dan perhitungan serta mencerminkan temuan kami hanya pada waktu dan tempat yang ditunjukkan di atas. / *This certificate refers to ships draft reading and calculation and reflects our findings at time and place indicated above only.*

Tanggal dikeluarkan / *Date of issued* : March 11th, 2016

Dilaporkan oleh / *Reported by*

Surveyor


EKO PRASETYO
2014/SI-Minerba/013

Disetujui oleh / *Approved by*

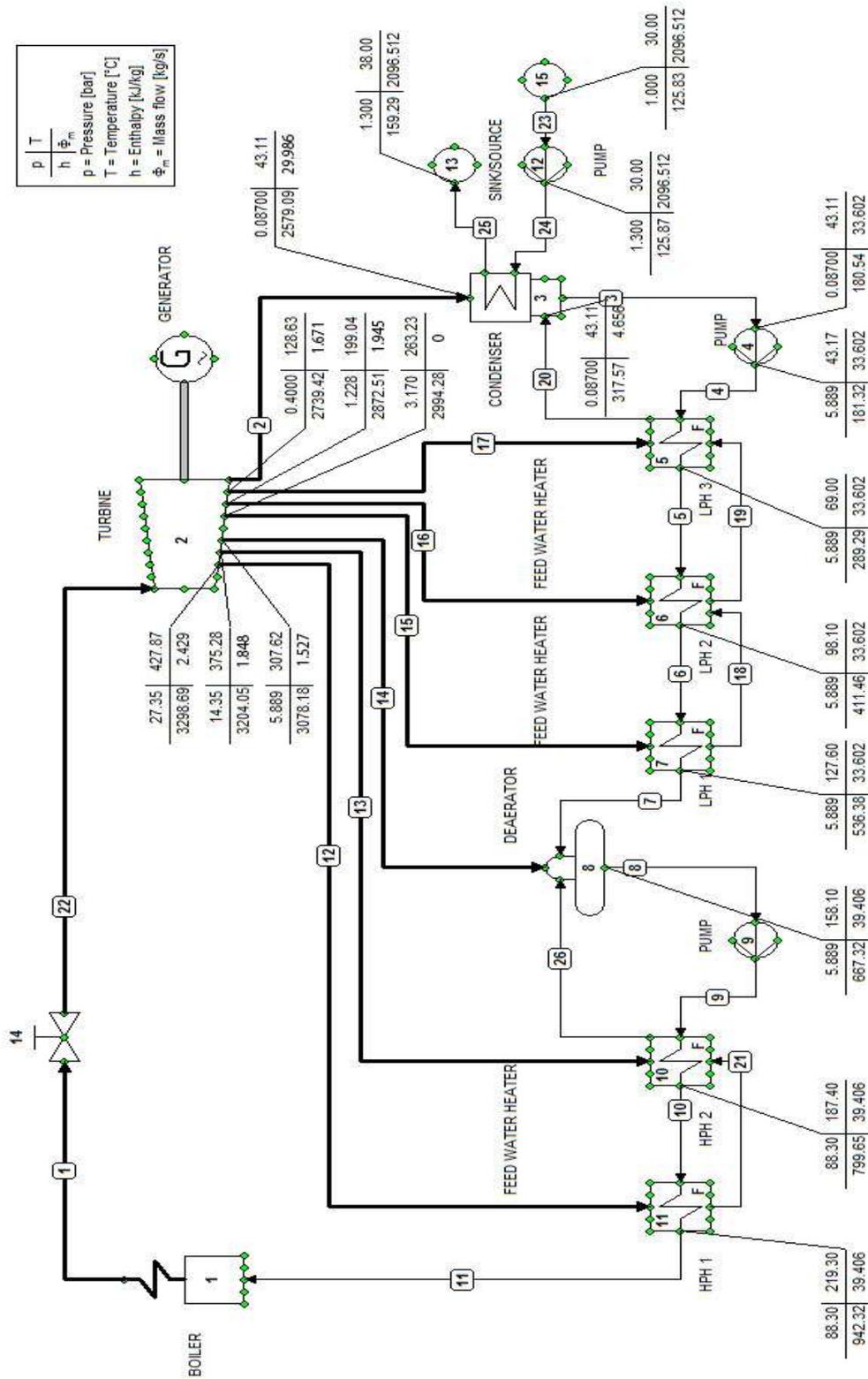

HERMAN KRISNANTO
Head of Power Plant Superintending

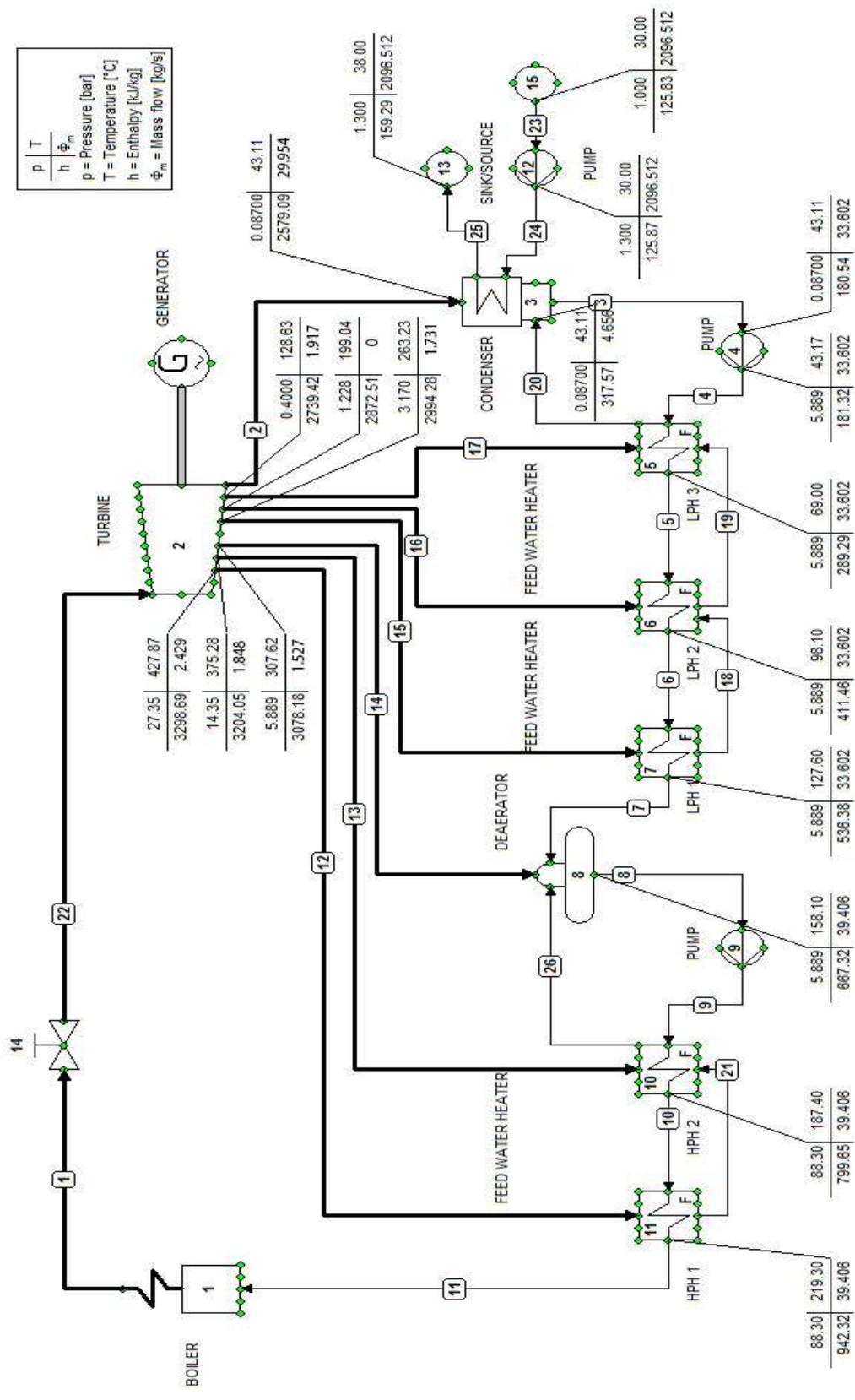
Sertifikat ini ditembuskan ke :

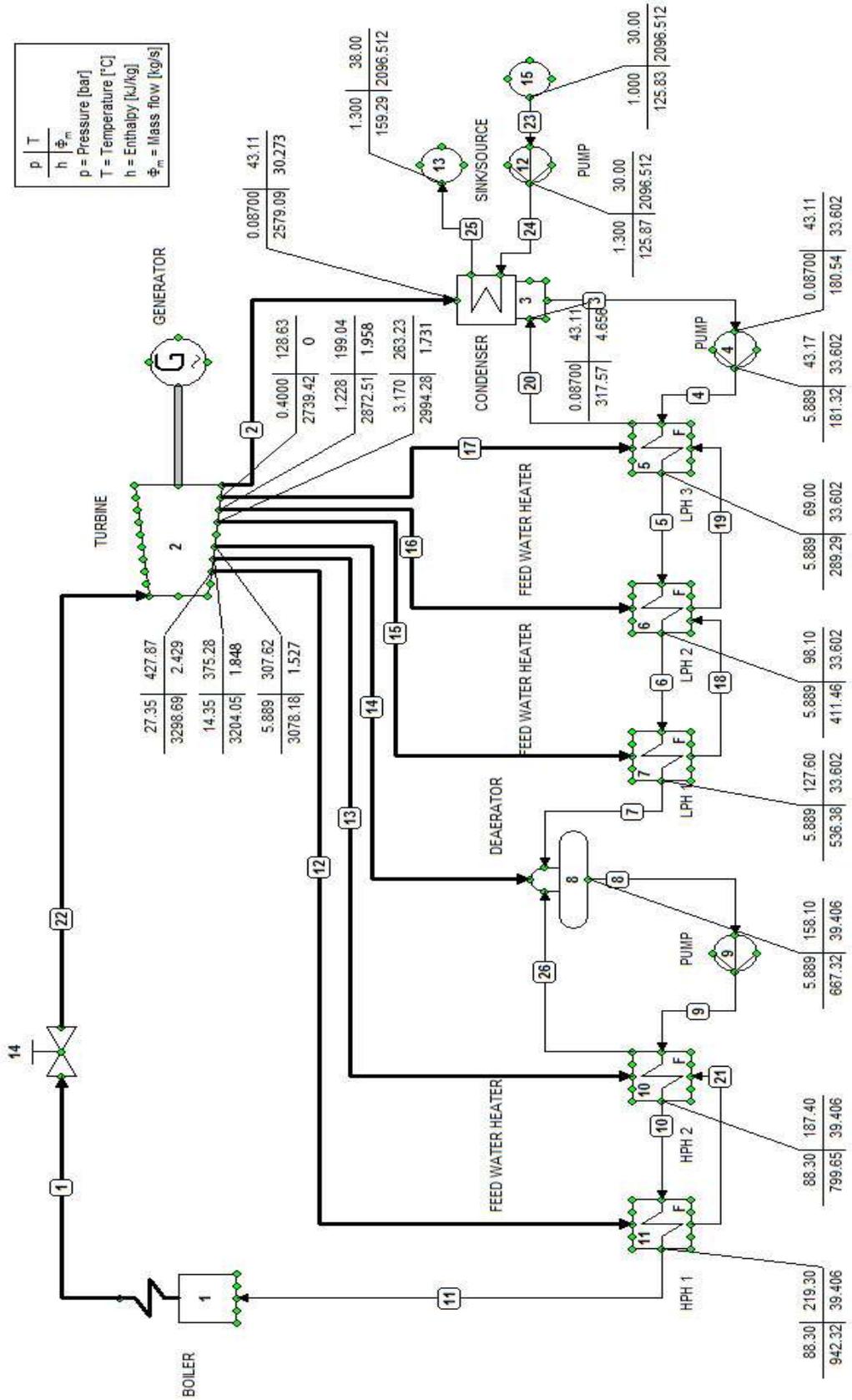
- 1) Direktorat Peminaan Perusahaan Batubara
- 2) Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi
- 3) Dinas Pertambangan dan Energi Kabupaten / Kota

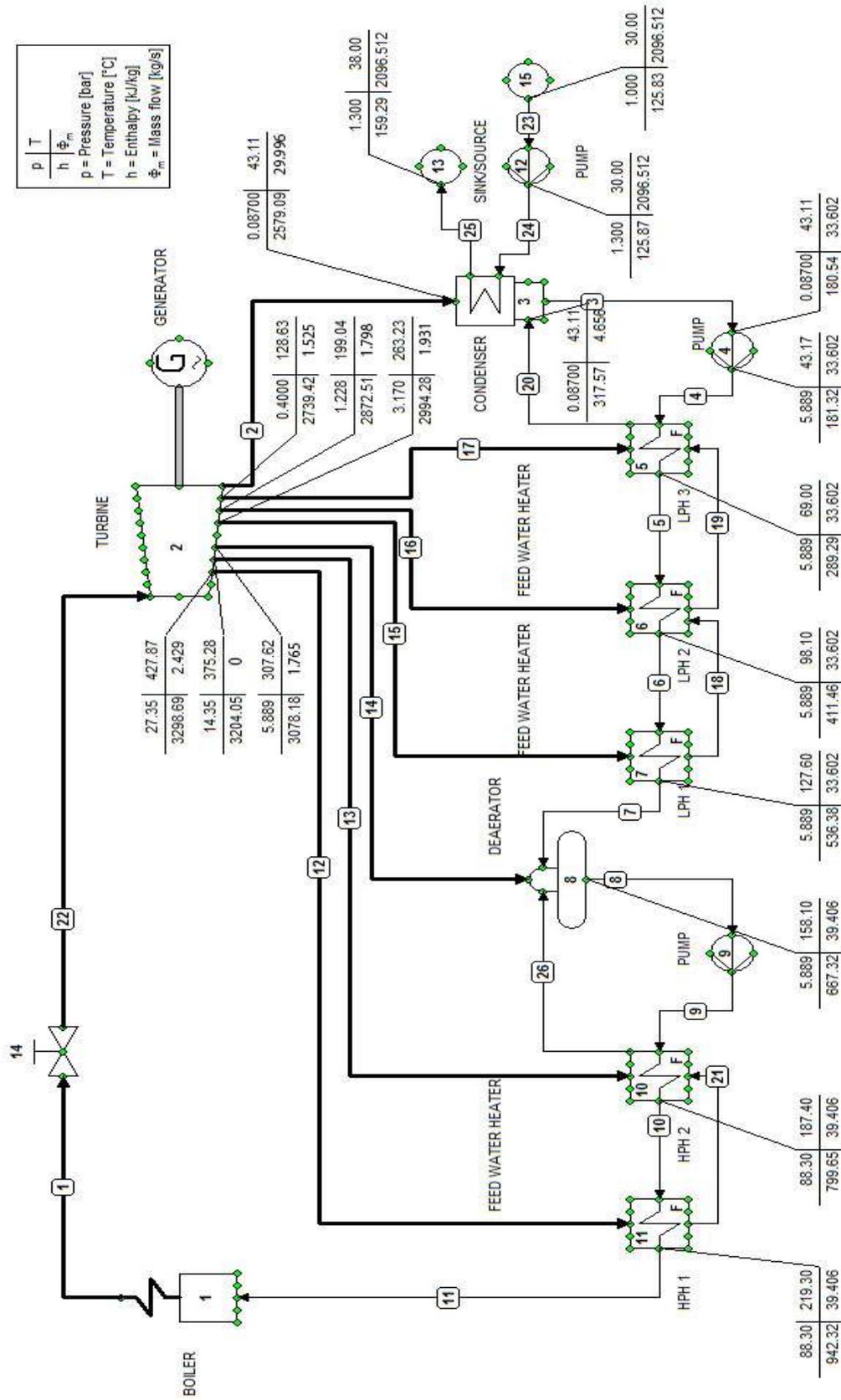
This certificate/report reflects our finding at time and place of inspection and does not refer to any other matter. This certificate/report is issued without prejudice and on the understanding that it does not release parties from their contractual obligations. All inspection covered in this certificate/report have been carried out to the best of our knowledge and ability and in accordance with practice and standard generally accepted in trade. The responsibility is limited to the exercise of reasonable care and due diligence.

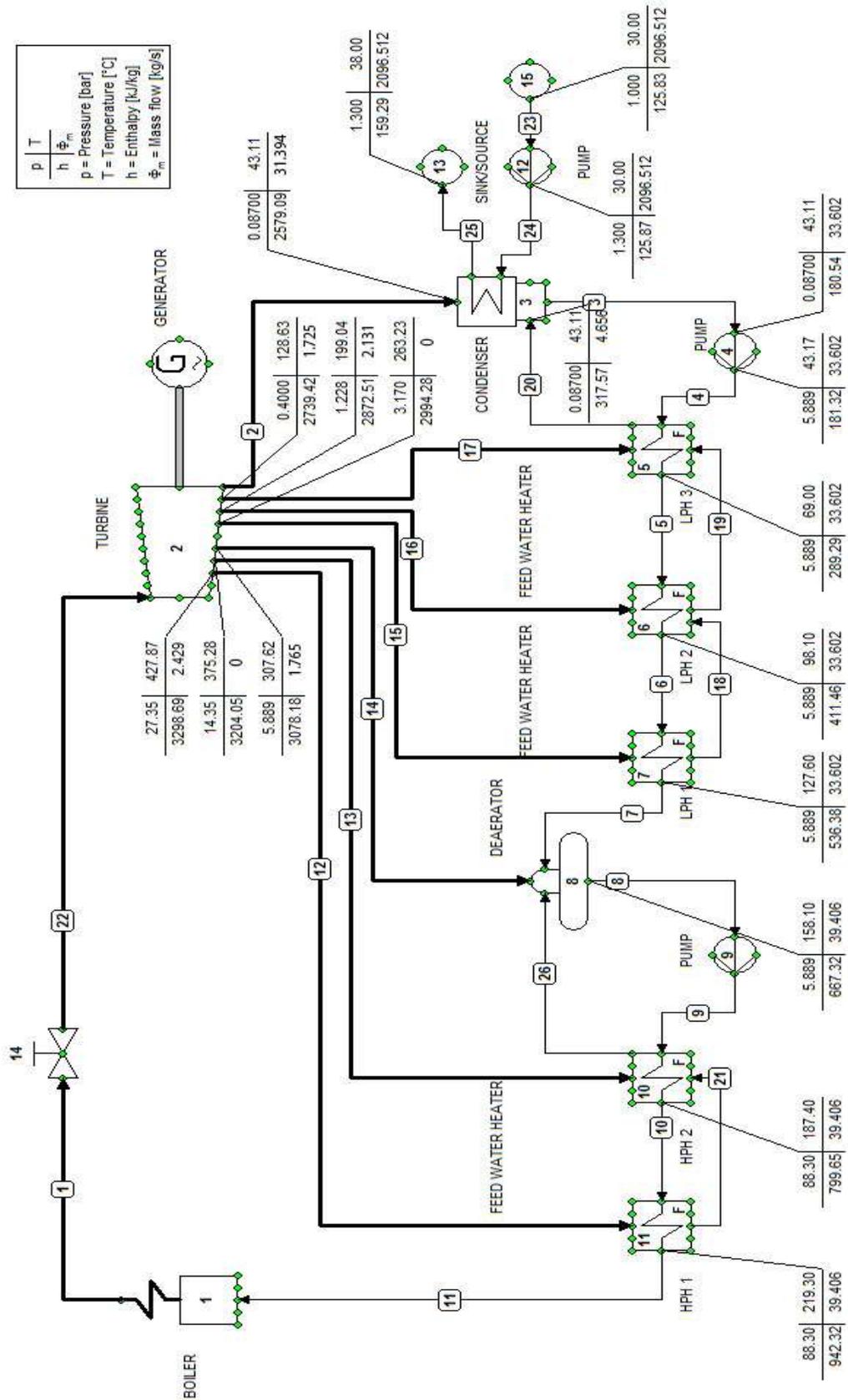
This certificate is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.plu.co.id

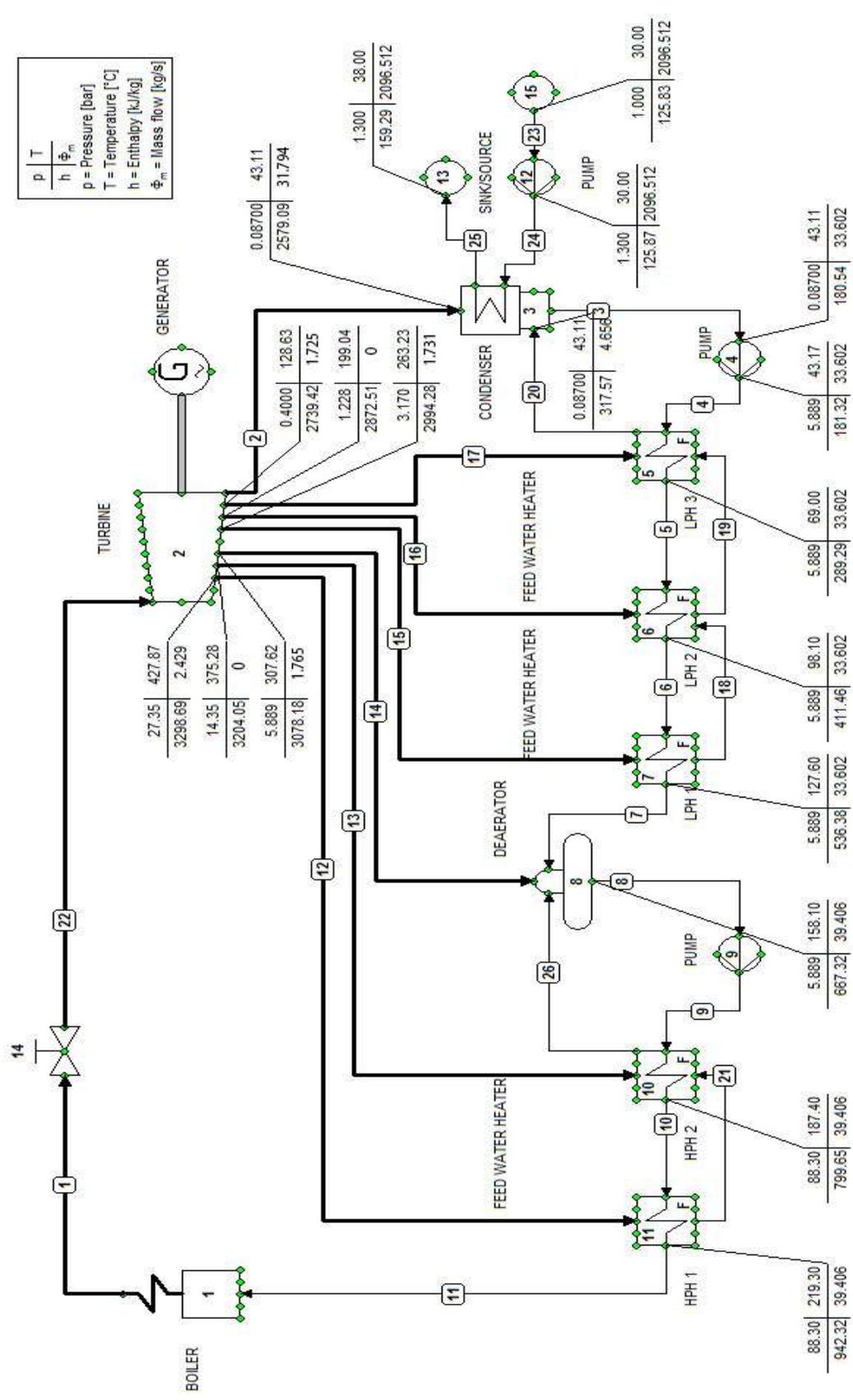


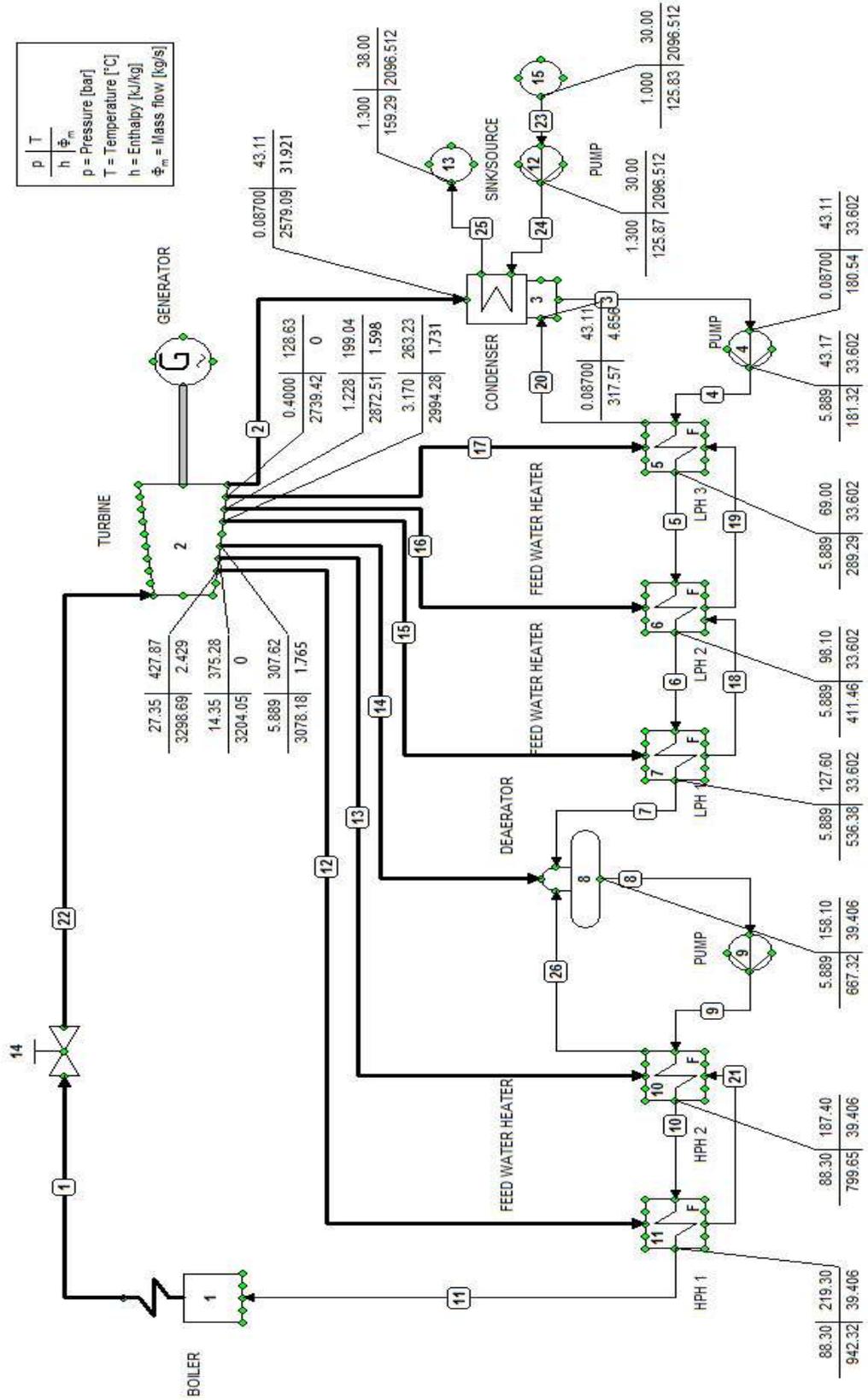


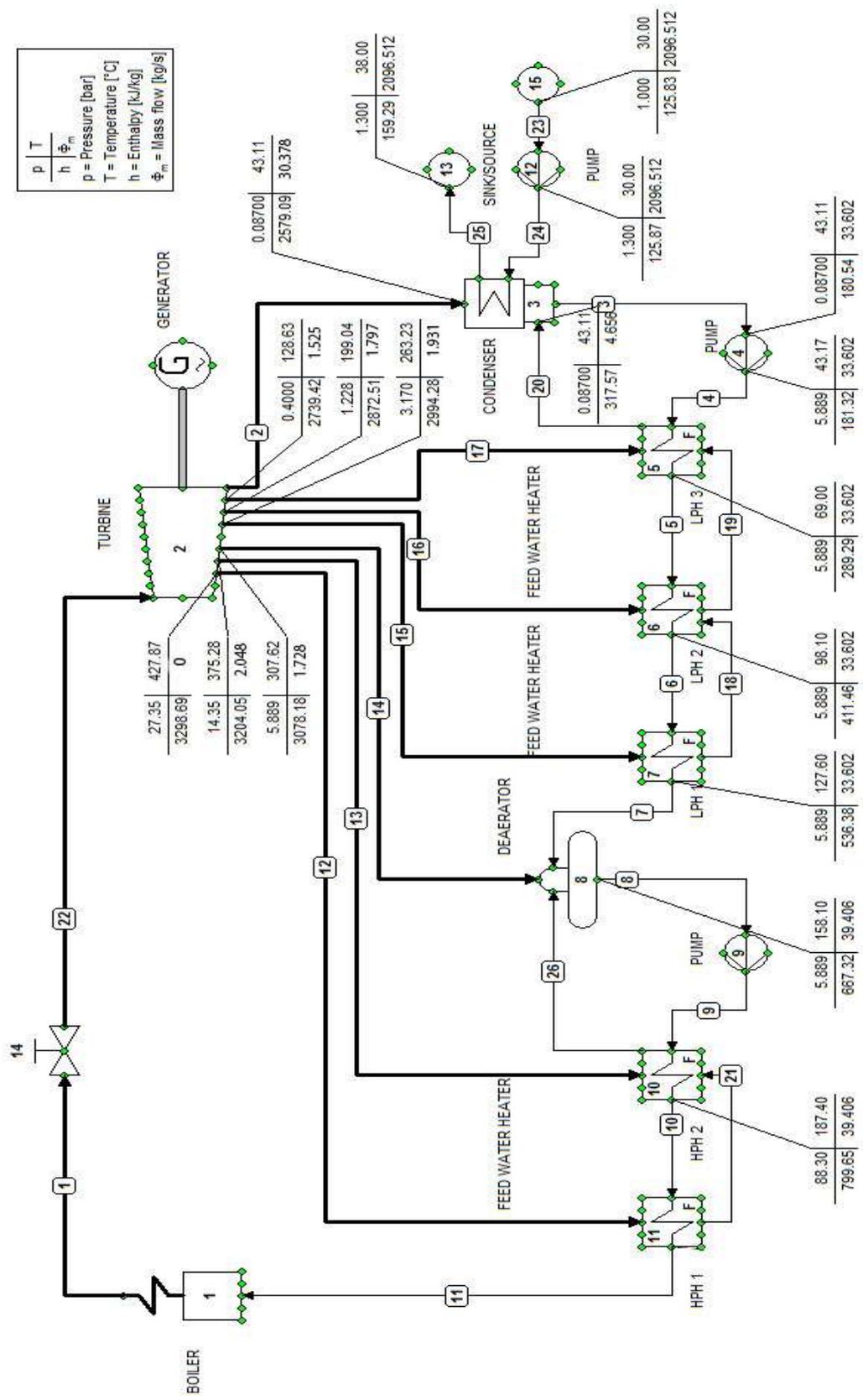












BIODATA PENULIS



Erwiyani Fajar Ansori, Lahir di Guntung Payung, Kota Banjarbaru Kalimantan Selatan pada tanggal 31 Maret 1991, penulis adalah putra pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Muhammad Aini dan Ibu Mamik Sumarmi. Pendidikan dasar ditempuh di SD Kandangan Kota 4 Kab. Hulu Sungai Selatan, lulus pada tahun 2003. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP Negeri 1 Kandangan Kab. Hulu Sungai Selatan, lulus pada tahun 2006. Pendidikan menengah atas ditempuh pada SMA Shalahuddin Kota Malang, Jawa Timur dan lulus pada tahun 2009. Pada tahun 2009 melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi tepatnya di Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang (UMM), Jawa Timur. Gelar Sarjana Teknik (ST) diperoleh setelah menamatkan pendidikannya pada tahun 2013. Pada Tahun 2013 melanjutkan Kursus bahasa Asing di Goethe Institut Surabaya. Penulis melanjutkan studi pada tahun 2014 Pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tepatnya di Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin Program Studi Rekayasa Konversi Energi. Saat ini penulis mempunyai keinginan untuk mengembangkan hasil dari tesisnya menjadi penelitian-penelitian lanjut di bidang Pembangkit Listrik.