



TUGAS AKHIR - TM 141585

# REKONSTRUKSI SIKLUS KOGENERASI PT KKA MENJADI PLTU DENGAN SIMULASI MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK GATE CYCLE

Havi Kurniawan  
NRP 2112 100 025

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Atok Setiyawan, M Eng. Sc.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR – TM141585

**REKONSTRUKSI SIKLUS KOGENERASI PT KKA  
MENJADI PLTU DAN DISIMULASI  
MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK GATE  
CYCLE**

HAVI KURNIAWAN  
NRP. 2112100025

Dosen Pembimbing:  
Dr. Ir. Atok Setiyawan, M Eng. Sc.

PROGRAM SARJANA  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT – TM141585

**RECONSTRUCTION COGENERATION CYCLE PT  
KKA TO BE STEAM GENERATION UNIT AND  
SIMULATED WITH GATE CYCLE SOFTWARE**

HAVI KURNIAWAN  
NRP. 2112100025

Advisory Lecturer  
Dr. Ir. Atok Setiyawan, M Eng. Sc.

BACHELOR PROGRAM  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2017

**REKONSTRUKSI SIKLUS KOGENERASI PT KKA  
MENJADI PLTU DAN DISIMULASIKAN  
MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK *GATE CYCLE***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**HAVI KURNIAWAN**

**NRP. 2112 100 025**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Atok Setiyawan, MSc.Eng (Pembimbing)  
NIP. 196604021989031002
2. Dr. Bambang Arip Dwiyanoro, ST, (Penguji I)  
M.Eng  
NIP. 197804012002121001
3. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT (Penguji II)  
NIP. 197301161997021001
4. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT (Penguji III)  
NIP. 197104051997021001

**SURABAYA**

**JANUARI, 2017**

# **REKONSTRUKSI SIKLUS KOGENERASI PT KKA MENJADI PLTU DAN DISIMULASI MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK GATE CYCLE**

**Nama Mahasiswa** : Havi Kurniawan  
**NRP** : 2112100025  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Atok Setiyawan, M Eng. Sc.

## **ABSTRAK**

PT Kertas Karf Aceh adalah perusahaan pembuatan kertas kantong semen yang mempunyai sistem kogenerasi untuk memproduksi kertas dan menghasilkan listrik untuk kebutuhan perusahaan. Perusahaan ini sudah lama berhenti dikarenakan bahan baku pembuatan kertas kantong semen yang sudah habis yaitu kayu pinus merkusi. Pemerintah wilayah aceh memanfaatkan kembali aset negara ini untuk memenuhi kebutuhan listrik di wilayah aceh dikarenakan pasokan listrik yang kurang. Namun saat dioperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap ini hanya menghasilkan output sebesar 10,5 MW. Sedangkan kapasitas steam turbine menurut spesifikasinya dapat menghasilkan 2x18 MW. Jadi daya yang dihasilkan oleh steam turbine hanya 29 persen dari kapasitas maksimal komponen tersebut. Untuk itulah diperlukan Analisa dan rekonstruksi PLTU KKA dengan mengganti komponen yang kapasitasnya tidak sesuai dan menambahkan feed water heater untuk meningkatkan efisiensi dari pembangkit tersebut.

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan dalam memecahkan masalah dan melakukan proses analisis. Pada tahapan awal dilakukan identifikasi masalah dimana kinerja pembangkit pada PLTU KKA masih kurang maksimal. Dari masalah tersebut dilakukan evaluasi saat pembangkit dalam kondisi existing dan evaluasi terhadap spesifikasi dari tiap-tiap komponen. Jika terdapat komponen yang tidak sesuai maka akan

diganti dan ditambahkan komponen yang baru. Setelah direkonstruksi didapatkan siklus PLTU yang baru. Untuk meningkatkan kinerja pembangkit yang sudah direkonstruksi ini maka ditambahkan komponen feedwater heater dan memvariasikan jumlah feedwater heater. Untuk mengetahui nilai efisiensi, heat rate, dan daya dari pembangkit yang sudah direkonstruksi ini maka akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak gate cycle. Dan untuk mengetahui peningkatan performa dari pembangkit ini maka dibuat juga permodelan pembangkit dalam kondisi existing.

Hasil dari simulasi pada kondisi existing nilai daya netto sebesar 21,19 MW dan efisiensi 18,9 %. Hasil simulasi pembangkit yang baru dengan variasi jumlah feedwater heater didapatkan hasil saat kondisi setelah dimodifikasi ditambahkan 1 feedwater heater didapatkan nilai daya netto sebesar 28,42 MW dan efisiensi 21,6 %. Saat ditambahkan menjadi 2 feedwater heater nilai daya netto menjadi 29,55 MW dan efisiensinya 22,06 %. Juga saat ditambahkan menjadi 3 feedwater heater nilai daya menjadi 29,89 MW dan efisiensinya 22,52 %. Dari hasil tersebut didapatkan peningkatan performa dari kondisi existing dengan kondisi setelah dimodifikasi. Performa terbaik didapatkan pada kondisi setelah dimodifikasi dengan ditambahkan 3 feedwater heater.

**Kata kunci : efisiensi, PLTU, Gate Cycle**

# **RECONSTRUCTION COGENERATION CYCLE PT KKA TO BE STEAM GENERATION UNIT AND SIMULATED WITH GATE CYCLE SOFTWARE**

**Name** : Havi Kurniawan  
**NRP** : 2112100025  
**Department** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Advisory Lecturer** : Dr. Ir. Atok Setiyawan, M Eng. Sc.

## **ABSTRACT**

*PT Paper Karf Aceh is a company manufacturing paper bags of cement which has a cogeneration system for the manufacture of paper and generates electricity for the needs of the company. The company has long stopped due to raw material for making paper bags of cement that has been discharged namely pine wood merkusi. Aceh regional government to re-use state assets to meet the electricity demand in the region of Aceh due to inadequate power supply. However, when operated steam power plant only produces an output of 10.5 MW. While the capacity of steam turbine according to its specifications can produce 2x18 MW. So the power generated by the steam turbine is only 29 percent of the maximum capacity of the component. To that required analysis and reconstruction of the power plant KKA by replacing components that capacity is not appropriate and add the feed water heater to increase the efficiency of the plant.*

*These researches done in several stages in the process of problem solving and analysis. At the initial stage to identify where performance problems at the power plant generating KKA is still less than the maximum. The evaluation of the current problems in the generation and evaluation of the existing condition of the specifications of each component. If there is a component that does not comply it will be replaced and added new components. Once reconstructed obtained a new power plant cycle. To improve the performance of the reconstructed plant is then added to the feedwater heater components and varying the amount of feedwater*

*heater. To determine the value of efficiency, heat rate, and the power of the reconstructed plant is then be simulated using the software gate cycle. And to determine the increase in performance of this plant it is made also in the plant modeling existing condition. The results of the simulation on the existing condition of the value of net power of 21.19 MW and efficiency of 18.9%. The simulation results of new power plants with varying amounts of feedwater heater is obtained when the following conditions are added one feedwater heater modified value obtained net power of 28.42 MW and efficiency of 21.6%. When added to two feedwater heater net power value becomes 29.55 MW and 22.06% efficiency. Also when added to three feedwater heater be 29.89 MW rated power and efficiency is 22.52%. From the results obtained improved performance of the existing condition with the condition after being modified. Best performance is obtained on the condition after being modified with added 3 feedwater heater.*

**Keywords:** *efficiency, PLTU, Gate Cycle*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dihaturkan kehadirat Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua penulis, khususnya Bapak Gatot Dimiyati dan Ibu Tiwul Wiji Astuti yang senantiasa mendoakan, mendorong, dan menyemangati penulis. Terimakasih karena telah menjadi bapak sekaligus ibu terbaik bagi penulis
2. Saudara kandung penulis, Arizal Ramadhan yang selalu mendoakan dan menjadi semangat penulis untuk segera menyelesaikan studinya.
3. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M Eng. Sc.yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT., Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT., dan Dr. Bambang Arip Dwiyantoro, ST. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis tentang Tugas Akhir ini.
5. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
6. Teman-teman angkatan M55 yang senantiasa memberi motivasi, menemani, dan meninggalkan banyak cerita indah bagi penulis selama 4.5 tahun ini.
7. Keluarga Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin, yang memberikan banyak peajaran hidup dan yang selalu memberikan banyak waktu untuk bersenang-senang selama 4,5 tahun ini
8. Teman-teman BPH KURO, yang menjadi keluarga kecil diperkuliahan ini.

9. Teman satu bimbingan Tugas Akhir Ilham yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
10. Teman tidur dikampus yang selalu memberikan semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi

### BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	1
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Manfaat .....	3

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	5
2.2 Komponen – Komponen sistem pembangkit daya uap .....	6
2.2.1 Boiler .....	6
2.2.2 Turbin uap .....	7
2.2.3 Kondensor.....	8
2.2.4 Pompa .....	8
2.2.5 <i>Feedwater Heater</i> .....	9
2.3 Analisis Termodinamika .....	10
2.3.1 Siklus <i>Rankine</i> .....	11
2.3.2 Perhitungan Kerja dan Perpindahan Kalor .....	11
2.3.3 Perhitungan Efisiensi Siklus .....	12
2.3.4 Perhitungan Laju kalor (Heat Rate) .....	13
2.4 Software Gate Cycle.....	13
2.5 Sistem Kogenerasi.....	13
2.6 Penelitian Terdahulu.....	15
2.6.1 Dendi Junaidi (2010) .....	16

2.6.2 Amir vosough (2011).....	17
--------------------------------	----

### **BAB III METODOLOGI**

3.1 Metode Penelitian .....	19
3.2 Flowchart Penelitian.....	19
3.3 Penjelasan Flowchart Penelitian.....	21
3.3.1 Tahap Identifikasi .....	20
3.3.2 Tahap Pengambilan Data dan Analisis .....	21
3.3.3 Tahap Simulasi .....	21
3.3.4 Tahap Pengambilan Kesimpulan.....	21

### **BAB IV ANALISA PEMBAHASAN**

4.1 Permodelan PLTU PT KKA pada saat kondisi <i>existing</i> .....	27
4.2 Melakukan modifikasi pada PLTU KKA untuk meningkatkan daya dan efisiensi pembangkit.....	31
4.2.1 Permodelan PLTU KKA setelah dimodifikasi dan ditambahkan 1 <i>feedwater heater</i> .....	32
4.2.2 Permodelan PLTU KKA setelah dimodifikasi dan ditambahkan 2 <i>feedwater heater</i> .....	35
4.2.3 Permodelan PLTU KKA setelah dimodifikasi dan ditambahkan 3 <i>feedwater heater</i> .....	38
4.3 Analisa daya netto pada kondisi existing dan setelah dimodifikasi dengan variasi jumlah 1-3 <i>feedwater heater</i> ...	41
4.4 Analisa efisiensi pada kondisi existing dan setelah dimodifikasi dengan variasi jumlah 1-3 <i>feedwater heater</i> ...	42

### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran .....	46

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	47
-----------------------------	----

### **LAMPIRAN**

### **BIODATA PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen-komponen sistem pembangkit tenaga uap .....	5
Gambar 2.2	Komponen Boiler .....	7
Gambar 2.3	Skema dan T-s Diagram Siklus Rankine .....	10
Gambar 2.4	Hubungan efisiensi pembangkit dengan jumlah feedwater heater .....	15
Gambar 2.5	Tekanan kondensor vs efisiensi termal dan efisiensi .....	16
Gambar 3.1	Flowchart Penelitian .....	20
Gambar 3.2	Diagram proses keseluruhan saat masih sistem kogenerasi .....	22
Gambar 3.3	Build Review pada software Gate Cycle .....	23
Gambar 3.4	Contoh input data properties pada Gas Turbin .....	23
Gambar 3.5	Pemodelan yang belum convergent .....	24
Gambar 3.6	Pemodelan yang sudah convergent .....	24
Gambar 3.7	Contoh spesifikasi komponen setelah pemodelan convergent) .....	25
Gambar 4.1	Diagram proses keseluruhan saat masih sistem kogenerasi .....	27
Gambar 4.2	Hasil permodelan PLTU KKA kondisi existing dengan menghilangkan sistem ko .....	30
Gambar 4.3	Diagram T-S Permodelan 1 feedwater heater .....	33
Gambar 4.4	Hasil permodelan PLTU PT KKA setelah dimodifikasi dengan 1 feedwater .....	34
Gambar 4.5	Diagram T-S Permodelan 3 feedwater heater .....	36
Gambar 4.6	Hasil permodelan PLTU PT KKA setelah dimodifikasi dengan 2 feedwater .....	37
Gambar 4.7	Hasil permodelan PLTU PT KKA setelah dimodifikasi dengan 3 feedwater .....	38
Gambar 4.8	Daya netto pada kondisi existing dan setiap penambahan 1-3 feedwater heater .....	39

Gambar 4.9 Nilai efisiensi pada kondisi existing dan setelah dimodifikasi dengan variasi jumlah feedwater heater.....40

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data inputan pada <i>software gate cycle</i> .....	28
Tabel 4.2	Hasil permodelan PLTU KKA kondisi <i>existing</i> .....	30
Tabel 4.3	Keadaan <i>properties</i> fluida permodelan 1 <i>feedwater heater</i> pada tiap titik .....	33
Tabel 4.4	Hasil permodelan PLTU KKA setelah dimodifikasi dengan 1 <i>feedwater</i> .....	34
Tabel 4.5	Keadaan <i>properties</i> fluida permodelan 2 <i>feedwater heater</i> pada tiap titik .....	36
Tabel 4.6	Hasil permodelan PLTU KKA setelah dimodifikasi dengan 2 <i>feedwater</i> .....	52
Tabel 4.7	Hasil permodelan PLTU KKA setelah dimodifikasi dengan 3 <i>feedwater</i> .....	53

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

PT. Kertas Kraft Aceh (Persero) didirikan pada tahun 1983 untuk memproduksi kertas kantong semen. PT. Kertas Kraft Aceh dibangun di daerah zona industri Lhokseumawe, Aceh Utara dengan memanfaatkan potensi kekayaan alam yang ada di daerah Aceh antara lain kayu pinus merkusi sebagai bahan baku kayu dan gas alam sebagai bahan bakar. PT. KKA mempunyai sistem kogenerasi dalam memanfaatkan energi utamanya yaitu uap air. Uap air ini tidak hanya digunakan untuk membantu proses pembuatan kertas, tetapi juga digunakan untuk menggerakkan turbin uap yang disambung dengan generator listrik untuk menghasilkan energi listrik. Namun, perusahaan ini terhenti total akibat persoalan bahan baku yang sudah habis yaitu kayu pinus.

Kurangnya pasokan listrik di wilayah aceh membuat pemerintah memanfaatkan PT KKA untuk memproduksi energi listrik. Namun saat dioperasikan PLTU KKA menghasilkan listrik hanya 10.5 MW sedangkan kapasitas steam turbine sebenarnya 2 x 18 MW sehingga daya steam turbine terpakai sebesar 29 %. Kinerja dari pembangkit tersebut dinilai sangat kurang. Oleh karena itu, perlu penelitian pada PLTU KKA ini untuk memaksimalkan kinerja pembangkit.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Pembangkit tenaga uap yang dioperasikan oleh PLTU KKA ini menghasilkan listrik hanya 10.5 MW sedangkan kapasitas steam turbine sebenarnya 2 x 18 MW sehingga daya steam turbine terpakai sebesar 23 %. Oleh karena itu, perlu penelitian pada PLTU KKA ini untuk memaksimalkan kinerja pembangkit. Pada PLTU KKA ini masih banyak komponen yang belum dimaksimalkan sesuai dengan kapasitasnya

masing-masing. Seharusnya jika sesuai dengan spesifikasinya turbin uap pada PLTU KKA ini dapat menghasilkan maksimal 18 MW dengan kebutuhan steam flowrate 94 ton/jam. Namun kapasitas maksimal boiler hanya 85 ton/jam sehingga tidak bisa memenuhi kebutuhan steam pada turbin.

Agar mendapatkan efisiensi yang tinggi dari PLTU KKA dilakukan modifikasi siklus dengan mengganti atau menambahkan komponen. Komponen dari PLTU KKA yang masih dipertahankan adalah turbin uap, boiler, kondensor, dan deaerator. Untuk mengetahui performa kerja unit yang sudah dimodifikasi meliputi perubahan nilai efisiensi dan daya yang dihasilkan, maka akan disimulasikan dengan software gate cycle.

### **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merekonstruksi PLTU KKA dengan mengganti komponen yang kapasitasnya tidak sesuai dan menambahkan feed water heater untuk meningkatkan efisiensi.
2. Mendapatkan nilai efisiensi, heat rate, dan daya yang lebih baik dari yang sebelum direkonstruksi.

### **1.4 Batasan Masalah**

Pada analisis berikut diambil beberapa batasan masalah dan asumsi yang akan membantu dalam proses analisis, perhitungan dan pembahasan. Batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Bahan bakar yang digunakan adalah gas alam dengan hasil uji terlampir
2. *Heat Loss* dan kebocoran pada sistem maupun *pipe line* diabaikan
3. Sistem dalam kondisi tunak
4. Energi kinetik dan potensial diabaikan

5. Simulasi dilakukan dengan *software GateCycle Version 5.61.0.r*
6. Tidak dilakukan perhitungan ekonomi.
7. Penambahan ekstraksi pada turbin uap PLTU KKA tidak dibatasi.

### **1.5 Manfaat**

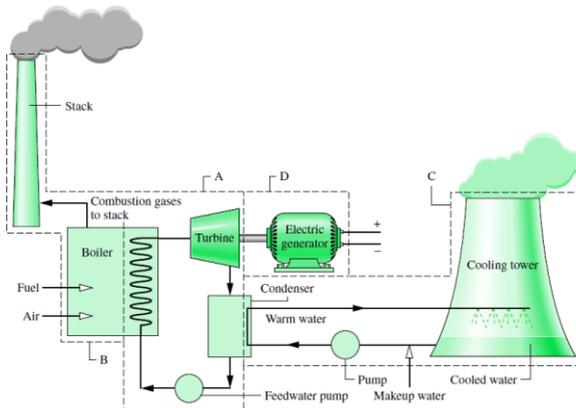
Penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi bagi PT Kertas Kraft Aceh dalam melakukan pengoptimalan PLTU. Sehingga dari sisi teknis diharapkan perusahaan dapat memenuhi kebutuhan listrik negara.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Siklus merupakan rangkaian dari beberapa proses yang dimulai dari satu tingkat keadaan melalui berbagai tingkat keadaan kemudian kembali ke tingkat keadaan semula dan terjadi secara berulang. Dalam penelitian ini siklus yang digunakan pembangkit PT Kertas Karft Aceh adalah siklus pembangkit daya uap. Pada pembangkit tenaga uap, fluida yang mengalami proses-proses tersebut adalah air. Air dalam siklus kerjanya mengalami beberapa proses seperti pemanasan, penguapan, ekspansi, pendinginan, dan kompresi.



**Gambar 2.1** Komponen-komponen sistem pembangkit tenaga uap

Pada gambar 2.1, sistem pembangkit listrik tenaga uap memiliki komponen yang menunjang kinerja dari sistem tersebut yang terdiri dari *boiler*, turbin, kondesor, dan pompa. Pada sistem pembangkit listrik tenaga uap tiap unit massa secara periodik melewati siklus termodinamika pada keempat komponen utama sistem pembangkit tenaga uap tersebut. Fungsi *boiler* adalah

tempat pemanasan air yang hingga menjadi uap. Fungsi dari turbin uap adalah mengubah energi *thermal* uap menjadi energi gerak yang terjadi dikarenakan tekanan uap yang ada menekan sudu turbin. Fungsi dari kondensator adalah mengondensasikan uap keluaran turbin uap menjadi air sehingga dapat dipompa oleh pompa. Fungsi pompa adalah mengalirkan air ke dalam *boiler*.

Salah satu cara meningkatkan efisiensi pembangkit tenaga uap adalah dengan melakukan variasi ekstraksi *steam* atau uap bertekanan dari turbin uap untuk dialirkan ke *feedwater heater* sehingga meningkatkan suhu air yang akan dipanaskan di dalam *boiler*. Peningkatan suhu air masuk *boiler* dapat meningkatkan efisiensi pembangkit tenaga uap karena terjadi pengurangan penggunaan bahan bakar untuk pembakaran dalam *boiler*.

Sumber energi yang digunakan dalam *feedwater heater* berasal dari ekstraksi turbin uap. Bentuk turbin uap yang bertingkat memungkinkan ekstraksi pada turbin uap dilakukan pada beragam tingkatan maupun besar volume uap yang akan diekstraksi. Pengekstraksian uap pada turbin uap dapat mengurangi daya bangkitan turbin namun dapat mengurangi beban *thermal boiler*, sehingga diperlukan perhitungan jumlah aliran massa ekstraksi yang tepat agar ekstraksi turbin uap dapat dimanfaatkan secara optimal.

## **2.2 Komponen – Komponen sistem pembangkit daya uap**

### **2.2.1 Boiler**

*Boiler* atau ketel uap adalah suatu peralatan yang berfungsi sebagai tempat pemanasan air yang masuk ke *boiler* hingga menjadi uap. *Boiler* terdiri dari beberapa bagian seperti ruang bakar, dinding pipa, *burner*, dan cerobong. Pada bagian dasar terdapat *furnace* (ruang bakar) yang berfungsi untuk proses pembakaran guna menghasilkan panas. Panas ini akan digunakan untuk menguapkan air yang berada di dalam pipa tersebut dan uap ini akan menggerakkan turbin. Uap yang dihasilkan *boiler* adalah uap panas lanjut dengan tekanan dan temperatur yang tinggi.

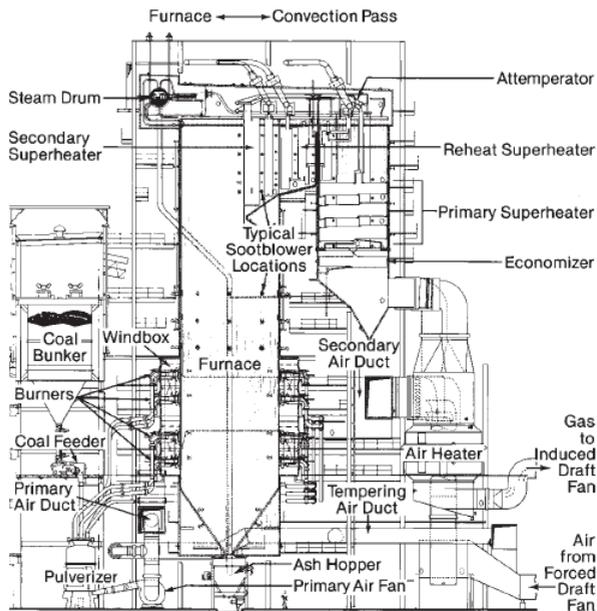


Fig. 15 Coal-fired utility boiler.

## Gambar 2.2 Komponen Boiler

Komponen yang terdapat didalam boiler yaitu:

- Economizer* yang berfungsi untuk memanaskan air berasal dari HPH.
- Primary superheater* yang berfungsi untuk memanaskan uap air jenuh yang berasal dari *steam drum*.
- Secondary superheater* yang berfungsi untuk memanaskan uap air yang berasal dari *primary superheater* sehingga dihasilkan uap super panas.
- Reheat Superheater* yang berfungsi untuk memanaskan kembali uap air yang diekstraksi dari turbin.

### 2.2.2 Turbin uap

Turbin uap berfungsi untuk mengubah energi *thermal* yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik dalam bentuk

putaran sudu. Uap dengan tekanan dan temperatur yang tinggi mengalir melalui *nozzle* sehingga kecepataannya naik dan mengarah dengan tepat untuk mendorong sudu-sudu turbin yang dipasang pada poros. Poros turbin yang bergerak akibat dorongan *nozzle* tersebut kemudian menghasilkan putaran (energi mekanik).

### 2.2.3 Kondensor

Merupakan peralatan untuk mengondensasikan uap keluaran turbin menjadi air sehingga dapat dipompa oleh pompa. Proses kondensasi dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam kondensor yang berisi pipa-pipa. Uap mengalir di luar pipa sedangkan air sebagai pendingin mengalir melalui bagian dalam pipa. Kebutuhan air untuk pendingin di dalam kondensor sangat besar sehingga biasanya air pendingin diambil dari sumber yang menyediakan cukup banyak air seperti danau atau laut.

### 2.2.4 Pompa

Pompa merupakan peralatan untuk mengalirkan fluida dari tekanan rendah ke tekanan tinggi. 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*.

### 2.2.5 Feed Water Heater

*Feedwater heater* merupakan suatu peralatan yang digunakan pada siklus pembangkit uap *regenerative*. Penggunaan *feedwater heater* ini dapat mengurangi beban *thermal boiler* karena air yang akan masuk *boiler* dipanaskan terlebih dahulu pada *feedwater heater*. Prinsip kerja dari *feedwater heater* adalah memanaskan kembali air keluaran kondensor dengan menggunakan ekstraksi uap dari turbin uap. Pada instalasi tertentu

ditambahkan juga *drain* dari *feedwater heater* untuk dialirkan ke *feedwater heater* lain.

*Feedwater heater* dibagi dalam 2 jenis, yaitu *open feedwater heater* dan *closed feedwater heater*. *Open feedwater heater* dalam pembangkit ini adalah *deaerator*. *Deaerator* berfungsi untuk menghilangkan kandungan oksigen terlarut yang terdapat pada air kondensat dengan cara menyemburkan uap yang juga sekaligus memanaskan air tersebut. *Deaerator* bekerja berdasarkan sifat oksigen yang kelarutannya pada air akan berkurang dengan adanya kenaikan suhu.

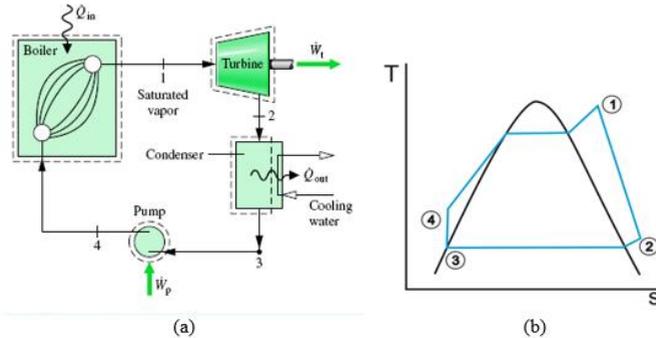
Jenis *Feedwater heater* lainnya adalah *closed feedwater heater*. *Closed feedwater heater* pada pembangkit ini adalah *low pressure heater* dan *high pressure heater*. *Low Pressure Heater* berfungsi untuk melakukan pemanasan awal pada air kondensat yang akan digunakan sebagai fluida kerja. Panas yang diperoleh pada instalasi ini berasal dari uap panas hasil ekstraksi turbin uap.

Hampir sama dengan *low pressure heater*, *high pressure heater* berfungsi untuk melakukan pemanasan awal air sebelum memasuki *boiler*. Perbedaan antara *high pressure heater* dan *low pressure heater* adalah tekanan dan temperatur *outlet* dari *high pressure heater* lebih tinggi dari pada *low pressure heater*.

Performa *feedwater heater* dan *heat transfer surface* ditentukan oleh nilai *temperature terminal differences* (TTD). TTD steam didefinisikan sebagai perbedaan suhu antara suhu uap jenuh pada masuk ke *shell* pemanas dan air kondensate yang keluar dari *feedwater heater*. Namun, harus diingat bahwa semakin kecil TTD, semakin besar akan menjadi permukaan perpindahan panas untuk mencapai kinerja yang diharapkan. Peningkatan efisiensi siklus dengan menggunakan TTD lebih kecil daripada terhadap peningkatan biaya permukaan pemanas.

## 2.3 Analisis Termodinamika

### 2.3.1 Siklus *Rankine*



**Gambar 2.3** Skema dan T-s Diagram Siklus *Rankine*

Siklus *Rankine* adalah siklus termodinamika yang mengubah energi panas menjadi energi mekanik dalam turbin uap yang ditransmisikan poros yang menggerakkan generator listrik. Dalam siklus *Rankine* terdapat 4 proses, dimana setiap proses mengubah keadaan fluida (tekanan dan atau wujud) sebagai berikut :

- Proses 1 – 2 :  
Terjadinya proses ekspansi dari fluida kerja melalui turbin dari uap *superheat* pada kondisi 1 hingga mencapai tekanan kondensor
- Proses 2 – 3 :  
Perpindahan kalor dari fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui kondensor menjadi cairan jenuh pada kondisi 3
- Proses 3 – 4 :  
Terjadinya proses kompresi dalam pompa menuju kondisi 4 dalam daerah cairan hasil kompresi
- Proses 4 – 1 :  
Perpindahan kalor ke fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui *boiler*, untuk menyelesaikan siklus.

### 2.3.2 Perhitungan Kerja dan Perpindahan Kalor

Untuk memudahkan evaluasi pada siklus *Rankine* seperti yang ditunjukkan gambar 2.9 diasumsikan :

1. Perpindahan kalor yang terjadi antara komponen pembangkit dengan sekelilingnya diabaikan.
2. Perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan.
3. Setiap komponen dianggap beroperasi pada kondisi tunak.

Dengan menggunakan prinsip kekekalan massa dan energi dapat dikembangkan persamaan untuk perpindahan energi dari titik-titik kondisi seperti yang telah ditunjukkan dalam gambar 2.9.

➤ Turbin

Uap pada *boiler* pada kondisi 1, yang berada pada temperatur dan tekanan yang sudah dinaikkan, berekspansi melalui turbin untuk menghasilkan kerja dan kemudian dibuang ke kondensor pada kondisi 2 dengan tekanan yang relatif rendah. Dengan mengabaikan perpindahan kalor dengan sekelilingnya, kesetimbangan laju energi dan massa untuk volume atur di sekitar turbin pada kondisi tunak menjadi

$$0 = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_t + \dot{m} \left[ h_1 - h_2 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right] \dots\dots\dots(2.1)$$

atau

$$\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = h_1 - h_2 \dots\dots\dots(2.2)$$

➤ Kondenser

Pada kondensor terjadi perpindahan kalor dari uap ke air pendingin yang mengalir dalam aliran yang terpisah. Uap terkondensasi dan temperatur air pendingin meningkat. Pada kondisi tunak, kesetimbangan laju massa dan energi untuk volume atur yang melingkupi bagian kondensasi dari penukar kalor adalah

$$\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} = h_2 - h_3 \dots\dots\dots(2.3)$$

➤ Pompa

Kondensat cair yang meninggalkan kondensor di kondisi 3 di pompa dari kondensor ke dalam *boiler* yang bertekanan lebih tinggi. Dengan menggunakan volume atur di sekitar pompa dan mengasumsikan tidak ada perpindahan kalor dengan sekitarnya, kesetimbangan laju massa dan energi adalah

$$\frac{W_p}{\dot{m}} = h_4 - h_3 \dots\dots\dots(2.4)$$

➤ Boiler

Fluida kerja menyelesaikan siklus ketika cairan yang meninggalkan pompa pada kondisi 4 dipanaskan dan diuapkan di dalam *boiler*. Dengan menggunakan volume atur yang melingkupi tabung *boiler* dan drum yang mengalirkan air pengisian dari kondisi 4 ke kondisi 1, kesetimbangan laju massa dan energi menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_1 - h_4 \dots\dots\dots(2.5)$$

**2.3.3 Perhitungan Efisiensi Siklus**

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

$$\eta = \frac{W_t/\dot{m} - W_p/\dot{m}}{Q_{in}/\dot{m}} \dots\dots\dots(2.6)$$

### 2.3.4 Perhitungan Laju kalor (*Heat Rate*)

Laju kalor (*heat rate*) adalah jumlah energi yang ditambahkan melalui perpindahan kalor ke dalam siklus, biasanya dalam Kcal, untuk menghasilkan satu unit keluaran kerja netto, biasanya dalam kW-h. Oleh karena itu, laju kalor berbanding terbalik dengan efisiensi *thermal*, memiliki satuan Kcal/kW-h.

$$\text{Heatrate} = \frac{\text{Totalfuelheatinput (Kcal)}}{\text{Electricalgeneration (kW-h)}} \dots\dots\dots(2.7)$$

## 2.4 Software Gate Cycle

*Gate Cycle* adalah *software* yang digunakan untuk menganalisa unjuk kerja dari sebuah *power plant*. *Gate Cycle* menggunakan proses termodinamika, perpindahan dan mekanika fluida dalam menjalankan perhitungan simulasinya. *Gate Cycle* yang digunakan peneelitian ini adalah versi 5.61.

*Software* ini dapat membuat sebuah pembangkit listrik dengan desain yang kita inginkan ataupun sesuai *template* yang sudah disediakan oleh *Gate Cycle*. Selain itu, kita juga dapat menentukan *properties* yang akan bekerja pada tiap komponen dalam desain pembangkit tersebut. Hasil yang didapat dari *software* ini adalah efisiensi, *heat rate*, *load* yang dihasilkan, kadar polutan yang dilepas, *losses* yang terjadi, konsumsi bahan bakar, suhu, tekanan, kelembaban udara sekitar, dan lain-lain. Selain itu juga kita dapat langsung mendapatkan grafik yang kita inginkan hasil iterasi *software Gate Cycle* ini.

*Gate Cycle* juga mempunyai proses yang disebut *cycle link*, dimana proses ini digunakan untuk menentukan *input* dan *output* parameter apa yang kita inginkan dari *power plant* yang telah dimodelkan sebelumnya.

## 2.5 Sistem Kogenerasi

Menurut definisinya, kogenerasi adalah suatu proses pembangkitan dan pemanfaatan energi dalam bentuk yang berbeda secara serempak dari energi bahan bakar untuk menghasilkan

tingkat efisiensi maksimum, ekonomis dan ramah lingkungan. Aplikasi kogenerasi yang lazim digunakan adalah pembangkitan energi listrik dan pembangkitan energi termal. Energi listrik akan dipakai untuk catu daya bagi peralatan kelistrikan. Energi termal akan digunakan untuk membangkitkan uap air atau untuk proses pendinginan sebuah *absorption chiller*.

Sistem kogenerasi adalah serangkaian atau pembangkitan secara bersamaan beberapa bentuk energi yang berguna (biasanya mekanika dan termal) dalam satu sistem yang terintegrasi. Sistem CHP (*Combined Heat & Power*) terdiri dari sejumlah komponen individu – mesin penggerak (mesin panas), generator, pemanfaatan kembali panas, dan sambungan listrik – tergabung menjadi suatu integrasi. Jenis peralatan yang menggerakkan seluruh sistem (mesin penggerak) mengidentifikasi secara khusus sistem CHPnya. Mesin penggerak untuk sistem CHP terdiri dari mesin *reciprocating*, pembakaran atau turbin gas, turbin uap, turbin mikro dan sel bahan bakar. Mesin penggerak ini dapat membakar berbagai bahan bakar, yaitu gas alam, batubara, minyak bakar, dan bahan bakar alternatif untuk memproduksi daya poros atau energi mekanis. Meskipun umumnya energi mekanis dari mesin penggerak digunakan untuk menggerakkan generator untuk membangkitkan listrik, tetapi dapat juga digunakan untuk menggerakkan peralatan yang bergerak seperti kompresor, pompa, dan fan. Energi termal dari sistem dapat digunakan untuk penerapan langsung dalam proses atau tidak langsung untuk memproduksi uap air, udara panas untuk pengeringan, atau juga air dingin untuk proses pendinginan.

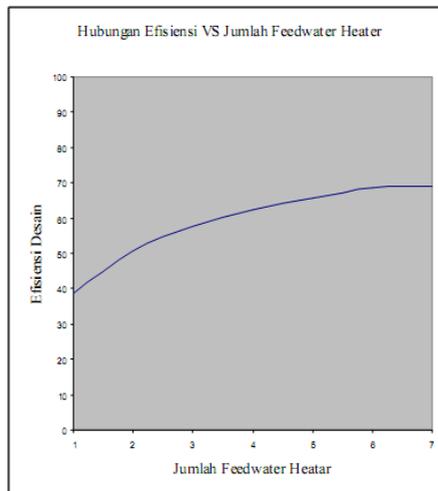
Sistem kogenerasi pada perusahaan PT KKA ini, memanfaatkan energi uap yang dihasilkan boiler untuk proses pembuatan kertas kantong semen dan pembangkitan energi listrik untuk kebutuhan perusahaan dalam satu sistem yang terintegrasi. Uap yang dihasilkan oleh boiler digunakan untuk memutar turbin uap yang seporos dengan generator sehingga dapat menghasilkan

energi listrik. Turbin uap ini mempunyai ceratan uap air yang digunakan untuk proses pembuatan dari kertas kantong semen tersebut. Kedua proses ini berlangsung bersamaan sehingga dapat meningkatkan efisiensi yang maksimum.

## 2.6 Penelitian Terdahulu

### 2.6.1 Dendi Junaidi (2010)

Dalam penelitian yang berjudul “**Kesetimbangan Massa dan Kalor Serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pada Berbagai Perubahan Beban Dengan Menvariasikan Jumlah *Feedwater Heater***”, membahas tentang perhitungan kesetimbangan massa dan kalor serta efisiensi suatu instalasi pembangkit listrik (siklus Rankine reheater) dengan menvariasikan penggunaan satu buah *feedwater heater* sampai tujuh buah *feedwater heater*.



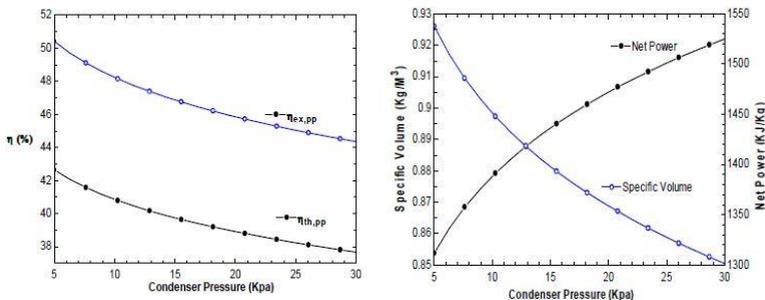
**Gambar 2.4** Hubungan efisiensi pembangkit dengan jumlah *feedwater heater*

Pada gambar 2.4 menjelaskan bahwa setiap penambahan *feedwater heater* akan menaikkan efisiensi pembangkit. Pada

penambahan 1 dan 2 *feedwater heater* terjadi peningkatan efisiensi yang signifikan. Namun saat penambahan 5 sampai 7 *feedwater heater* perubahannya sangat kecil dan cenderung stabil. Dapat disimpulkan jika penambahan diatas 7 *feedwater heater* maka tidak akan meningkatkan efisiensi dari pembangkit tersebut.

### 2.6.2 Amir vosough (2011)

Dalam penelitian yang berjudul “*Improvement Power Plant Efficiency with Condenser Pressure*”, menganalisa energi dan exergy maupun dampak dari variasi tekanan kondensor pada pembangkit listrik model subcritical. Analisa ini menunjukkan tekanan kondensor adalah parameter penting yang berdampak pada *output power*, dan *exergy efficiency*.



**Gambar 2.5.a** Tekanan kondensor vs efisiensi termal dan efisiensi

**2.5.b** Tekanan kondensor vs *Net power* dan *specific volume*

Pada gambar 2.5.a menunjukkan efek dari tekanan kondensor pada performa pembangkit. Efek tersebut sangat jelas bahwa efisiensi berkurang dengan peningkatan parameter tekanan kondensor. Berkurangnya tekanan dan temperatur kondensor akan menghasilkan *power output* yang lebih besar dengan *mass flow rate steam* dan *input* bahan bakar ke boiler, mengakibatkan kerja

dari turbine lebih besar. Pada gambar 2.5.b menunjukkan tekanan kondensor dibandingkan dengan *net power* dan *specific volume*. Berkurangnya *enthalpy* dari keluaran turbin menyebabkan kerja turbin meningkat. Oleh karena itu dalam meningkatkan kerja turbin, tekanan kondensor seharusnya berkurang. Walaupun, ada batasan pada pengurangan tekanan kondensor yaitu, faktanya pengurangan tekanan condenser menyebabkan berkurangnya kualitas uap air atau meningkatkan tetesan air di keluaran turbin yang dapat menyebabkan erosi pada sudu turbin bagian akhir. Oleh karena itu batasan tekanan optimal pada kondensor adalah dari 6.9 kPa sampai 13.8 kPa.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

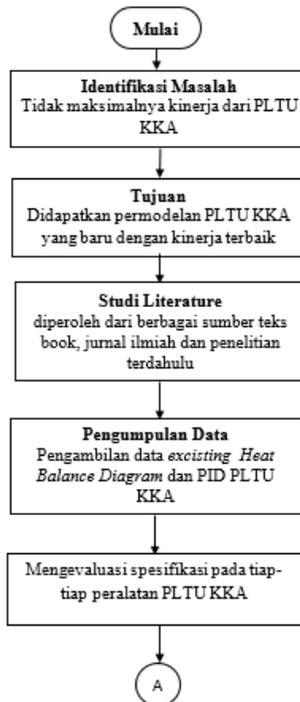
## BAB III METODOLOGI

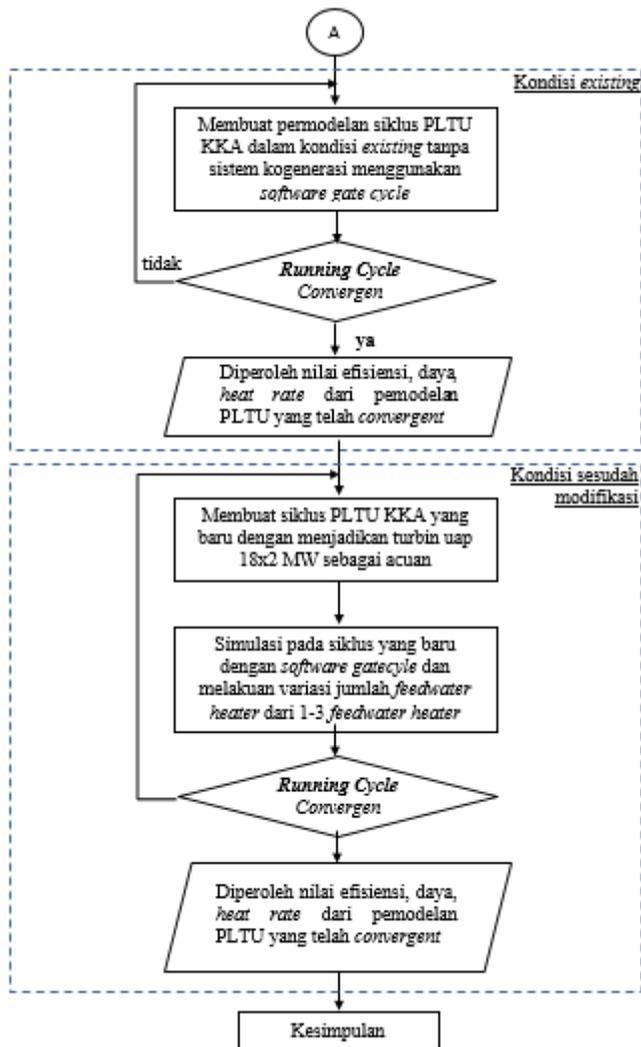
### 3.1 Metodologi

Metodologi merupakan kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir. Metodologi penulisan tugas akhir ini mencakup semua kegiatan yang dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisis terhadap permasalahan tugas akhir.

### 3.2 Flowchart Penelitian

Kerangka atau alur berpikir digunakan untuk mempermudah proses penelitian. Adapun kerangka berpikir penelitian ini dijelaskan pada *flowchart* penelitian dibawah ini,





Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

### **3.3 Penjelasan Flowchart Penelitian**

Proses dalam penyelesaian penelitian ini melalui beberapa tahap sebagai berikut.

#### **3.3.1 Tahap Identifikasi**

Pada tahapan awal identifikasi dilakukan pengamatan terhadap masalah yang dirumuskan menjadi tujuan dari penelitian yaitu merancang kembali PLTU KKA dengan mengubah komponen yang tidak sesuai dengan kapasitas komponen yang terbesar yaitu *steam turbine* dan menambahkan *feed water heater* untuk meningkatkan efisiensi. Studi literature mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan analisis termodinamika PLTU. Studi literature ini diperoleh dari berbagai sumber teks book, salah satunya yang berjudul *Fundamental of Engineering Thermodynamics* oleh Michael J. Moran. Dan penulis juga memasukan beberapa sumber lain seperti jurnal ilmiah dan beberapa penelitian terdahulu.

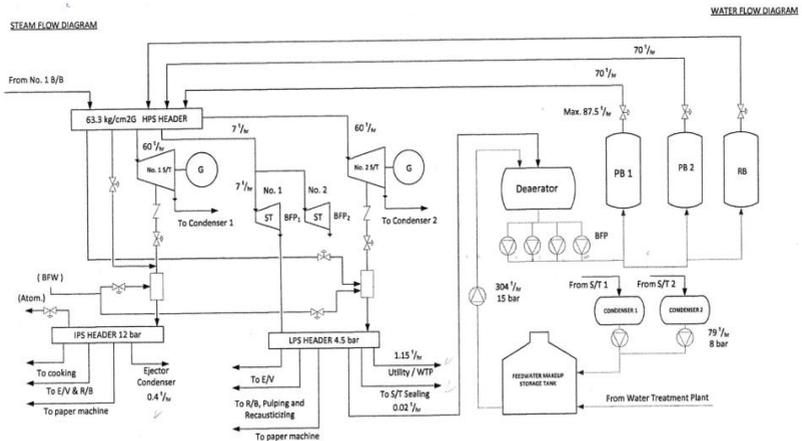
#### **3.3.2 Tahap Pengambilan Data dan Analisis**

Dari studi literatur dan observasi mengenai pembangkit listrik tenaga uap, dilakukan pengambilan data pada PLTU KKA. Data-data yang dibutuhkan adalah Heat Balance Diagram dari PLTU KKA.

#### **3.3.3 Tahap Simulasi**

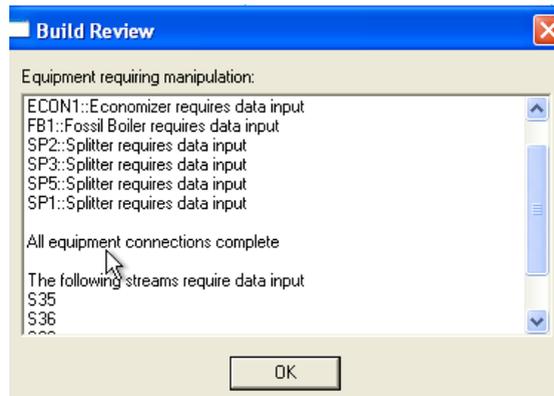
Dari data yang didapat akan dibuat permodelan dengan menggunakan *software gate cycle*. Permodelan dirancang sesuai dengan modifikasi yang sudah dilakukan. Setelah itu memasukkan data *properties* pada setiap komponen. Jika permodelan sudah konvergen, maka akan didapat nilai *efficiency*, *heat rate* dan *power output* sesuai dengan data *excisting*. Berikut ini tahapan dalam pembuatan simulasi dengan *gate cycle*:

1. Membuat pemodelan PLTU pada *software Gate Cycle* berdasarkan *heat balance diagram* yang sudah dimodifikasi.



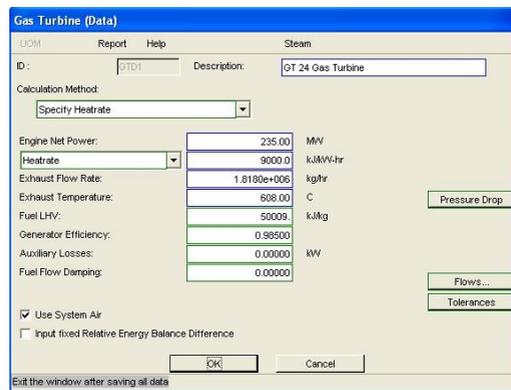
**Gambar 3.2** Diagram proses keseluruhan saat masih sistem kogenerasi

2. Mengecek keterhubungan rangkaian pemodelan pada menu “Build Review”. Jika terdapat keterangan “*All equipment connections complete*” mengindikasikan bahwa rangkaian sudah terhubung dengan benar.



**Gambar 3.3** Build Review pada software Gate Cycle

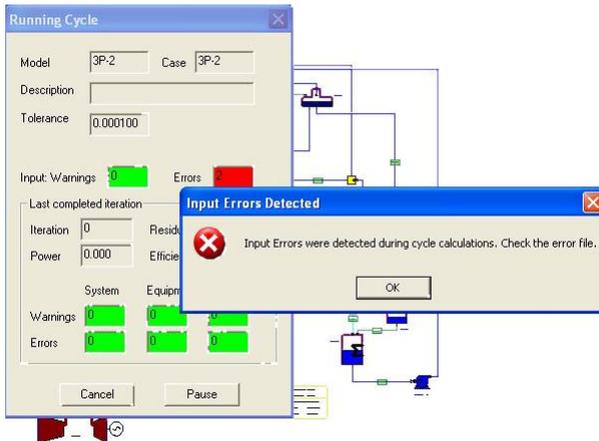
3. Memasukkan data *properties* pada setiap komponen berdasarkan spesifikasi sesuai dengan kebutuhan dalam mencapai target daya .



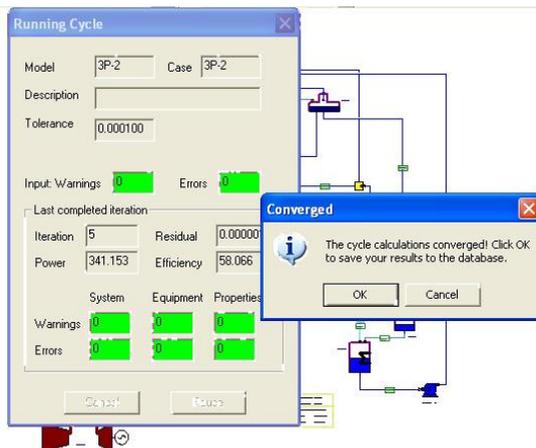
**Gambar 3.4** Contoh input data properties pada Gas Turbin

4. Melakukan “*running*” pada pemodelan yang telah dibuat. Jika masih belum *convergent*, tinjau *error* dan *warning* yang terjadi kemudian diperbaiki hingga didapat hasil yang *convergent*. pemodelan yang sudah “*convergent*”

ditandai dengan munculnya output berupa nilai daya dan efisiensi.

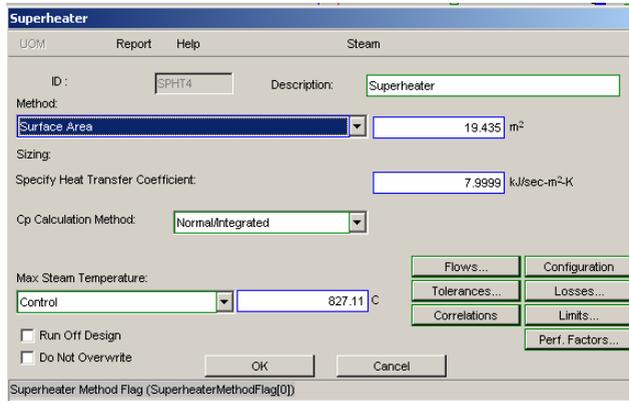


**Gambar 3.5** Pemodelan yang belum *convergent*



**Gambar 3.6** Pemodelan yang sudah *convergent*

5. Mendapatkan data spesifikasi dari setiap komponen penyusun PLTU pada simulasi *gate cycle* . Data diambil dengan cara membuka data input setiap komponen yang telah terisi secara otomatis setelah simulasi *convergent*.



**Gambar 3.7** Contoh spesifikasi komponen setelah pemodelan *convergent*

### 3.3.4 Tahap Pengambilan Kesimpulan

Tahapan ini merupakan ujung dari analisis simulasi pada PLTU KKA dengan menarik kesimpulan yang didapat berupa, daya, *heat rate*, dan efisiensi yang didapatkan dari simulasi pembangkit.

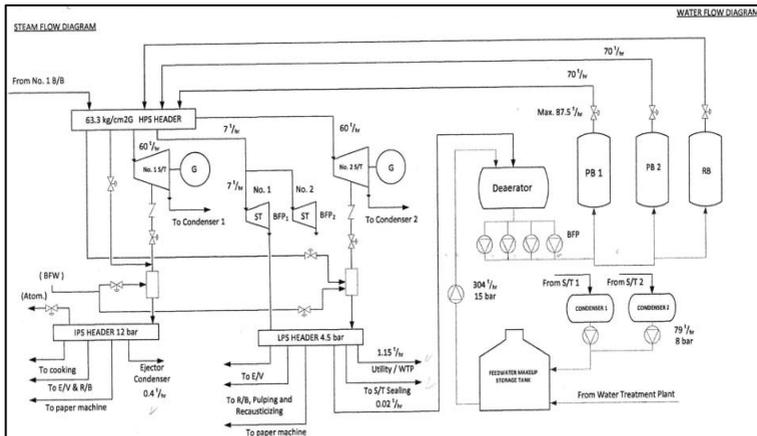
***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Permodelan PLTU PT KKA pada saat kondisi *existing*

Untuk mengetahui peningkatan performa permodelan PLTU KKA setelah dimodifikasi, maka harus ada permodelan saat kondisi *existing* sebagai pembanding. Permodelan harus dilakukan dalam Gatecycle berdasarkan PID yang sudah ada. Pembuatan model pada Gatecycle berdasarkan skema pada gambar 4.1.

Komponen pada PLTU KKA terdiri dari 2 boiler, yang komponen pendukungnya yaitu terdiri dari *superheater*, *economizer*, dan *steam drum*. Kemudian 2 turbin uap yang mempunyai ceratan dengan tekanan sebesar 490,33 Kpa dan 1245 kg/ cm<sup>2</sup>, serta terdapat sebuah 2 kondensor dan 1 deaerator. Pembangkit ini juga mempunyai 2 *condensate pump*, 1 *deaerator feed pump*, 1 *boiler feed pump* dengan digerakkan oleh turbin. Setelah itu komponen tersebut dirangkai sesuai dengan urutan berdasarkan ketentuan pada skema diagram proses seperti pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Diagram proses keseluruhan saat masih sistem kogenerasi

Untuk membuat permodelan dalam kondisi *existing*, data yang dimasukkan didalam permodelan sesuai dengan data spesifikasi tiap alat yang terlampir pada lampiran 1. Permodelan dirancang seperti gambar 4.2, kemudian data inputan pada tabel 4.1 dimasukkan pada tiap-tiap komponen dan dilakukan 2 kali simulasi dengan *main steam boiler flowrate* yang berbeda yaitu yang pertama di simulasikan dengan memaksimalkan boiler sesuai spesifikasi dengan uap yang dihasilkan sebesar 87,5 ton/jam. Tetapi, saat setiap boiler menghasilkan uap dengan maksimal sebesar 87,5 ton/jam, uap air yang masuk kedalam masing-masing turbin sebesar 84 ton/jam, dikarenakan uap air sebesar 7 ton/jam digunakan untuk memutar turbin yang menggerakkan *boiler feed pump*. Sesuai dengan spesifikasi, masing-masing turbin mempunyai kapasitas *exhaust flow* yang berbeda. Untuk turbin 1 yang mempunyai ceratan pada tekanan 490,33 kpa , maksimal *exhaust flow* hanya sebesar 61,7 ton/jam.

**Tabel 4.1** Data inputan pada *software gate cycle*

NO	Komponen	Parameter input	Data input	Satuan	
1	<b>BOILER</b>	fossil boiler	LHV	14813	Btu/lb
			fuel flow	6,552	ton/hour
			steam exit temp	440	C
			flue gas exit	700	C
		economizer	surface area cooling	422	m <sup>2</sup>
		steam drum	pressure exit	5883	kpa
2	<b>STEAM TURBINE</b>	outlet pressure		91,66	kpa
			flow rate	8,668	ton/hour

		extraction to deaerator	pressure	490,33	kpa
		extraction to fwh	flow rate	0,58241	ton/hour
			pressure	122,8	kpa
3	<b>CONDENSOR</b>	pressure		91,66	kpa
		cooling water temp. rise		8	C
		water cooling	pressure	245,17	kpa
			temp.	32	C
4	<b>PUMP 1</b>	Outlet pressure		490,33	kpa
5	<b>FEEDWATER HEATER</b>	TTD (Terminal Temp Difference)		5	C
6	<b>DEAERATOR</b>	Outlet pressure		490,33	kpa
7	<b>PUMP 2</b>	Outlet pressure		5884	kpa

Sedangkan turbin 2 yang mempunyai ceratan pada tekanan  $12,7 \text{ kg/cm}^2$  maksimal *exhaust flow* hanya sebesar 67,13 ton/jam. Dikarenakan uap air yang masuk ke masing-masing turbin sebanyak 84 ton/jam, maka untuk turbin 1 uap air yang diceratkan sebesar 22,3 ton/hour dan untuk turbin 2 sebesar 16,87 ton/jam. Padahal uap air yang diceratkan oleh turbin 1, yang dapat digunakan oleh *deaerator* sebesar 20,7 ton/jam pada tekanan  $5 \text{ kg/cm}^2$ . Dikarenakan sistem kogenerasi dari PT KKA sudah dihilangkan, maka sisa uap air yang tidak digunakan tersebut akan dibuang. Hal tersebut yang membuat efisiensi yang didapat hanya 17,23 %. Maka dari itu sangat tidak dianjurkan memaksimalkan kapasitas boiler pada PLTU KKA ini.



Pada simulasi kedua uap yang dihasilkan oleh masing-masing boiler diturunkan menjadi 68,62 ton/jam, agar tidak ada uap air yang terbuang sia-sia. Dalam penggunaannya, uap air yang masuk pada turbin 1 sebesar 63.11 ton/ hour, pada turbin 2 masuk sebesar 67,13 ton/jam, dan 7 ton/jam untuk turbin penggerak *boiler feed pump*. Pada turbin 1 uap air diceratkan pada tekanan 5 kg/cm<sup>2</sup> sejumlah 1,41 ton/hour digunakan untuk komponen *deaerator*. Sehingga sisa uap air dari ceratan masing-masing turbin tidak ada. Hal ini menyebabkan efisiensi yang didapatkan mencapai 18,94% dan daya yang dihasilkan 27,198 MW.

#### **4.2. Melakukan modifikasi pada PLTU KKA untuk meningkatkan daya dan efisiensi pembangkit**

Untuk mendapatkan peningkatan performa dari PLTU KKA, maka perlu adanya modifikasi atau merekonstruksi ulang pembangkit ini. Pertama perubahan yang dilakukan adalah mengubah sistem pembangkit yang mana terdapat 2 turbin dengan kapasitas sama dijalankan dalam satu siklus, akan diubah menjadi setiap masing-masing turbin dijalankan pada siklus yang berbeda. Kedua, *boiler feed pump* yang digerakkan turbin diganti dengan *boiler feed pump* yang digerakkan oleh motor. Ketiga menghilangkan *deaerator feed pump* dan *condensate pump*, lalu diganti dengan pompa bertekanan 490,33 Kpa sesuai dengan tekanan pada *deaerator*. Yang terakhir menambahkan komponen *feedwater heater*. Jumlah komponen *feedwaterheater* akan divariasikan dari 1-3 *feedwaterheater* dan besar tekanan ceratan uap air pada setiap *feedwater heater* disesuaikan dengan tekanan ceratan uap air pada PLTU Bangka Belitung sebagai referensi yang terdapat pada lampiran. Pada PLTU Bangka Belitung terdapat 2 *high pressure heater* dan 3 *low pressure heater*, *feedwater heater* yang dijadikan referensi adalah 1 *low pressure heater* dengan tekanan 317 Kpa dan 2 *high pressure heater* dengan tekanan 1435,3 Kpa dan 2735 Kpa. Parameter yang ditetapkan pada permodelan yang divariasikan ini adalah keluaran uap air pada turbin uap dijaga 61,99 ton/jam. Agar diketahui perbedaan

performa dari pembangkit yang sudah dimodifikasi, selanjutnya pembangkit ini dimodelkan dalam *software gate cycle* dan dibahas pada sub bab berikut ini:

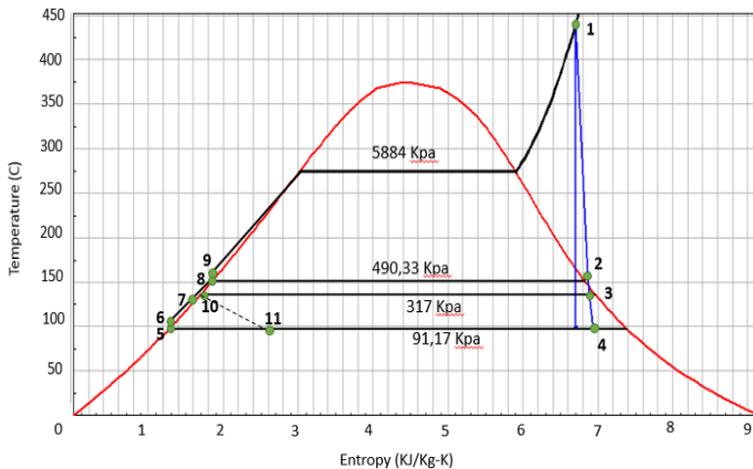
#### **4.2.1 Permodelan PLTU KKA setelah dimodifikasi dan ditambahkan 1 *feedwater heater*.**

Permodelan dirancang dengan 1 *feedwater heater* yang ditempatkan sebagai *low pressure heater* dengan tekanan 317 Kpa seperti gambar 4.3 dan dilakukan 2 kali simulasi. Pertama di simulasikan dengan memaksimalkan kapasitas turbin sesuai spesifikasi dengan daya maksimal 18 MW pada *generator output*. Tetapi, saat turbin dimaksimalkan sesuai kapasitasnya, uap air yang dibutuhkan sebesar 95,65 ton/jam. Dikarenakan maksimal *exhaust flow* pada turbin hanya sebesar 61,7 ton/jam, maka uap air yang masuk kedalam turbin akan diceratkan untuk *feedwater heater* sebesar 6,19 ton/jam pada tekanan 317 Kpa dan sisanya diceratkan pada tekanan 490,33 kpa sebesar 27,76 ton/jam, yang mana 3,83 ton/jam digunakan untuk komponen deaerator dan dikarenakan sistem kogenerasi sudah dihilangkan, sisanya akan dibuang. Pada permodelan ini didapatkan efisiensi 19,188 %, hal ini dikarenakan terdapat uap air yang diceratkan terbuang dengan sia-sia. Walaupun daya yang dihasilkan bisa maksimal, pada kondisi ini tidak dapat dilakukan, karena telah membuang energi dengan sia-sia.

Pada simulasi kedua dengan 1 *feedwater heater* uap air yang dihasilkan oleh masing-masing boiler diturunkan menjadi 69,23 ton/jam, agar tidak ada uap air yang terbuang sia-sia. Dalam penggunaannya, uap air yang masuk pada turbin 1 sebesar 69,23 ton/ hour, uap air diceratkan pada tekanan 490 kpa sejumlah 2,78 ton/hour digunakan untuk komponen *deaerator* dan uap air yang diceratkan pada tekanan 317 kpa sebesar 4,6 ton/jam digunakan untuk *feedwater heater* 1. Sehingga sisa uap air dari ceratan masing-masing turbin tidak ada. Hal ini menyebabkan efisiensi yang didapatkan mencapai 21,66 % dan daya yang dihasilkan 28,42 MW.

**Tabel 4.3** Keadaan *properties* fluida permodelan 1  
*feedwater heater* pada tiap titik

NO	FLOW	TEMPERATURE	PRESSURE	ENTHALPY
	ton/hour	C	Kpa	kJ/kg
1	69,228	440	5884	3281,04
2	2,772	158,15	490,33	2762,92
3	4,464	135,43	317	2691,48
4	61,992	97,07	91,17	2504,77
5	66,456	97,07	91,17	406,7
6	66,456	97,11	490,33	407,19
7	66,456	130,43	490,33	548,28
8	69,228	151,11	490,33	636,95
9	69,228	151,99	6178,19	644,25
10	4,464	135,43	317	569,51



**Gambar 4.3** Diagram T-S Permodelan 1 *feedwater heater*



#### 4.2.2 Permodelan PLTU KKA setelah dimodifikasi dan ditambahkan 2 *feedwater heater*

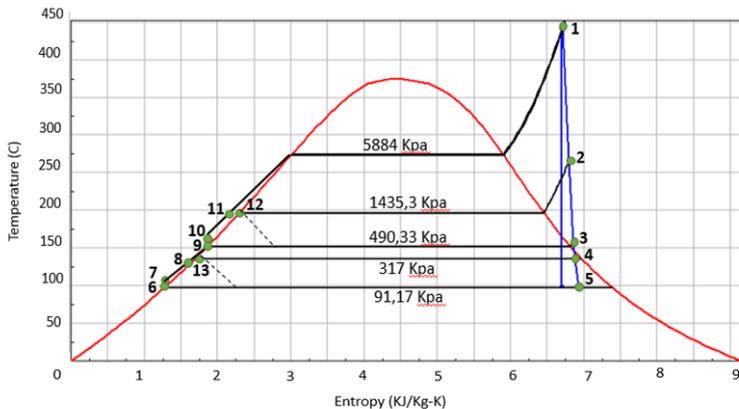
Permodelan dirancang dengan 2 *feedwater heater* yang ditempatkan sebagai *low pressure heater* pada tekanan 317 Kpa dan *high pressure heater* pada tekanan 1435,3 Kpa seperti gambar 4.4 dan dilakukan 2 kali simulasi. Pertama di simulasikan dengan memaksimalkan kapasitas turbin sesuai spesifikasi dengan daya maksimal 18 MW pada *generator output*. Tetapi, saat turbin dimaksimalkan sesuai kapasitasnya, uap air yang dibutuhkan sebesar 98,1 ton/jam. Dikarenakan maksimal *exhaust flow* pada turbin hanya sebesar 61,7 ton/jam, maka uap air yang masuk kedalam turbin akan diceratkan untuk *feedwater heater* 1 sebesar 5,87 ton/jam pada tekanan 317 kpa, *feedwater heater* 2 sebesar 7,99 ton/jam pada tekanan 1435 Kpa dan sisanya diceratkan pada tekanan 490,33 kpa sebesar 27,96 ton/jam, yang mana 2,92 ton/jam digunakan untuk komponen deaerator dan dikarenakan sistem kogenerasi sudah dihilangkan, sisanya akan dibuang. Pada permodelan ini didapatkan efisiensi 19,92 %, hal ini dikarenakan uap air yang diceratkan terbuang dengan sia-sia. Walaupun daya yang dihasilkan bisa maksimal, pada kondisi ini tidak dapat dilakukan, karena telah membuang energi dengan sia-sia.

Pada simulasi kedua dengan menggunakan 2 *feedwater heater* uap air yang dihasilkan oleh masing-masing boiler diturunkan menjadi 74,75 ton/jam, agar tidak ada uap air yang terbuang sia-sia. Dalam penggunaannya, uap air yang masuk pada turbin 1 sebesar 74,75 ton/ hour, uap air diceratkan pada tekanan 490 kpa sejumlah 2,21 ton/hour digunakan untuk komponen *deaerator*, uap air yang diceratkan pada tekanan 317 kpa sebesar 4,46 ton/jam digunakan untuk *feedwater heater* 1 dan uap air yang diceratkan pada tekanan 1435 kpa sebesar 6,06 ton/jam digunakan untuk *feedwater heater* 2 . Sehingga sisa uap air dari ceratan masing-masing turbin tidak

ada. Hal ini menyebabkan efisiensi yang didapatkan mencapai 22,07 % dan daya yang dihasilkan 29,23 MW.

**Tabel 4.5** Keadaan *properties* fluida permodelan 2 *feedwater heater* pada tiap titik

NO	FLOW	TEMPERATURE	PRESSURE	ENTHALPY
	ton/hour	C	Kpa	kJ/kg
1	74,736	440	5884	3281,04
2	6,084	265,19	1435,3	2961,82
3	2,196	157,36	490,33	2761,11
4	4,464	135,43	317	2689,51
5	61,992	97,07	91,17	2502,4
6	66,456	97,07	91,17	406,7
7	66,456	97,11	490,33	407,19
8	66,456	130,43	490,33	548,28
9	74,736	151,11	490,33	636,95
10	74,736	151,99	6178,19	644,25
11	74,736	191,21	6178,19	825,17
12	4,464	135,43	317	569,51
13	6,084	196,21	1435,3	835,31



**Gambar 4.5** Diagram T-S Permodelan 2 *feedwater heater*



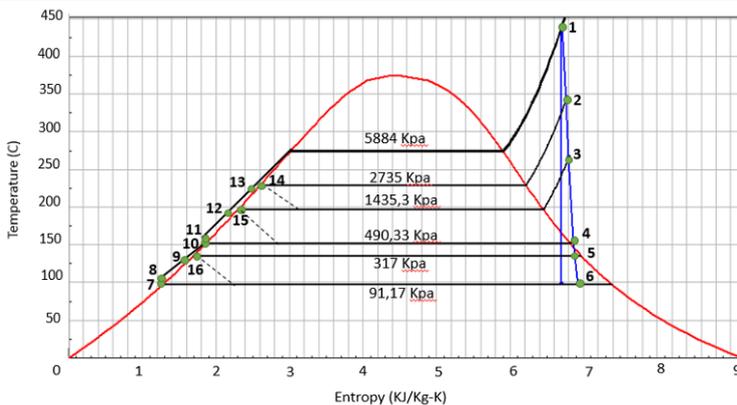
#### **4.2.1 Permodelan PLTU KKA setelah dimodifikasi dan ditambahkan 3 *feedwater heater***

Permodelan dirancang dengan 3 *feedwater heater* ditempatkan sebagai low pressure heater pada tekanan 317 Kpa dan 2 high pressure heater pada tekanan 1435,3 Kpa dan 2735 seperti gambar 4.4 dan dilakukan 2 kali simulasi. Pertama di simulasikan dengan memaksimalkan kapasitas turbin sesuai spesifikasi dengan daya maksimal 18 MW pada generator output. Tetapi, saat turbin dimaksimalkan sesuai kapasitasnya, uap air yang dibutuhkan sebesar 98,1 ton/jam. Dikarenakan maksimal exhaust flow pada turbin hanya sebesar 61,7 ton/jam, maka uap air yang masuk kedalam turbin akan diceratkan untuk *feedwater heater* 1 sebesar 5,87 ton/jam pada tekanan 317 kpa, *feedwater heater* 2 sebesar 7,99 ton/jam pada tekanan 1435 Kpa dan sisanya diceratkan pada tekanan 490,33 kpa sebesar 27,96 ton/jam, yang mana 2,92 ton/jam digunakan untuk komponen deaerator dan dikarenakan sistem kogenerasi sudah dihilangkan, sisanya akan dibuang. Pada permodelan ini didapatkan efisiensi 19,92 %, hal ini dikarenakan uap air yang diceratkan terbuang dengan sia-sia. Maka tidak dianjurkan untuk memaksimalkan kapasitas dari turbin.

Pada simulasi kedua dengan menggunakan 3 *feedwater heater* uap air yang dihasilkan oleh masing-masing boiler diturunkan menjadi 78,85 ton/jam, agar tidak ada uap air yang terbuang sia-sia. Dalam penggunaannya, uap air yang masuk pada turbin 1 sebesar 78,85 ton/ hour, uap air diceratkan pada tekanan 490 kpa sejumlah 1,54 ton/hour digunakan untuk komponen deaerator, uap air yang diceratkan pada tekanan 317 kpa sebesar 4,46 ton/jam digunakan untuk *feedwater heater* 1, uap air yang diceratkan pada tekanan 1435 kpa sebesar 6,62 ton/jam digunakan untuk *feedwater heater* 2, dan uap air yang diceratkan pada tekanan 2735 kpa sebesar 5,52 ton/jam digunakan untuk *feedwater heater* 3 . Sehingga sisa uap air dari ceratan masing-masing turbin tidak ada. Hal ini menyebabkan efisiensi yang didapatkan mencapai 29,52 % dan daya yang dihasilkan 29,98MW

**Tabel 4.7** Keadaan properties fluida permodelan 3 feedwater heater pada tiap titik

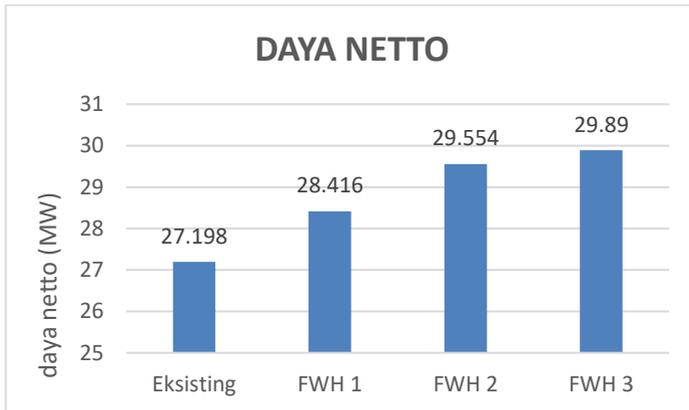
NO	FLOW	TEMPERATURE	PRESSURE	ENTHALPY
	ton/hour	C	Kpa	kJ/kg
1	79,848	440	5884	3281,04
2	5,22	340,21	2735	3100,48
3	6,624	264,72	1435,3	2960,73
4	1,548	156,73	490,33	2759,66
5	4,464	135,43	317	2687,94
6	61,992	97,07	91,17	2500,5
7	66,456	97,07	91,17	406,7
8	66,456	97,11	490,33	407,19
9	66,456	130,43	490,33	548,28
10	79,848	151,11	490,33	636,95
11	79,848	151,99	6178,19	644,25
12	79,848	191,21	6178,19	815,17
13	79,848	223,77	6178,19	962,09
14	4,464	135,43	317	569,51
15	11,7	196,21	1435,3	835,31
16	5,22	196,21	2735	835,87



**Gambar 4.7** Diagram T-S Permodelan 3 feedwater heater



#### 4.3. Analisa daya netto pada kondisi *existing* dan setelah dimodifikasi dengan variasi jumlah 1-3 *feedwater heater*.



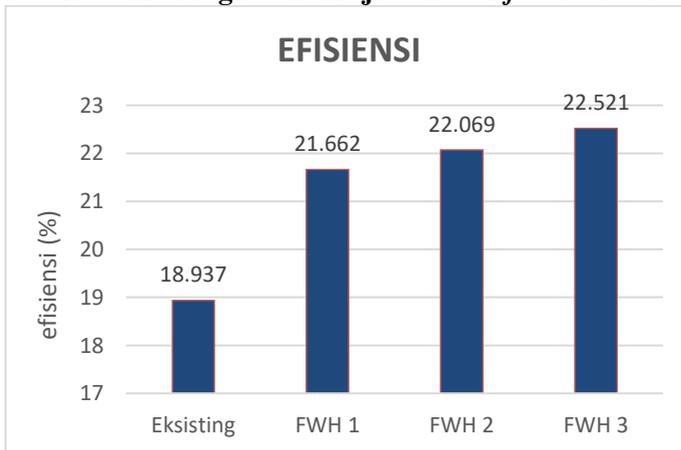
**Gambar 4.9** Daya netto pada kondisi *existing* dan setiap penambahan 1-3 *feedwater heater*.

Gambar 4.9 dapat kita diperoleh sebuah tren grafik daya pembangkit netto dan , nilai daya tersebut diperoleh berdasarkan nilai daya yang dihasilkan oleh turbin setelah dikurangi oleh pemakaian sendiri untuk pompa sebagai pendukung system pembangkit tersebut. Data pada gambar 4.4 didapatkan langsung dari *software* Gatecycle dengan mevariasikan penambahan jumlah 1-3 *feedwater heater*, dengan menjadikan keluaran turbin uap sebagai acuan yang ditetapkan sebesar 61,99 ton/jam dan menjaga kondisi tidak ada ceratan uap yang terbuang.

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa tren grafik diawali dengan kondisi aktual pada PLTU PT KAA adalah dengan daya keluaran terendah dibandingkan dari semua variasi yang ditambahkan 1-3 *feedwater heater*. Seharusnya saat ditambahkan *feedwater heater* daya yang dihasilkan seharusnya berkurang dikarenakan setiap penambahan *feedwater heater* akan bertambah juga ceratan uap air pada turbin uap dengan laju uap air yang masuk turbin dijaga tetap.

Namun pada kondisi permodelan ini, yang dijaga tetap adalah laju uap air yang keluar dari turbin uap sebesar 16,99 ton/jam, dikarenakan sesuai dengan spesifikasi turbin uap pada PT KKA yang mempunyai keluaran turbin maksimal 16,99 ton/jam. sehingga setiap penambahan 1-3 *feedwater heater*, jumlah uap air yang masuk ke dalam turbin uap juga meningkat yaitu, dari 69,228; 74,736; 79,848. Pada saat kondisi *existing* daya yang dihasilkan terkecil dari pada variasi lainnya, dikarenakan laju uap air yang akan masuk turbin uap berkurang karena digunakan untuk memutar turbin yang digunakan untuk menggerakkan *boiler feed pump*. Jadi laju uap air yang masuk ke turbin berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan, sehingga terjadi peningkatan daya dari setiap penambahan *feedwater heater*. Semakin meningkat uap air yang masuk kedalam turbin, maka daya yang dihasilkan semakin besar dan daya yang terbesar didapatkan pada permodelan dengan variasi 3 *feedwater heater*.

#### 4.4. Analisa efisiensi pada kondisi *existing* dan setelah dimodifikasi dengan variasi jumlah 1-3 *feedwater heater*



**Gambar 4.10** Nilai efisiensi pada kondisi *existing* dan setelah dimodifikasi dengan variasi jumlah *feedwater heater*

Gambar 4.9 menunjukkan tren peningkatan efisiensi pembangkit dari kondisi sebelum dan sesudah dilakukan pemvariasian. Pada kondisi *existing* nilai efisiensi pembangkit adalah 18,937 %. Semakin rendah efisiensi pembangkit maka semakin buruk performa pembangkit. Hal ini menunjukkan perbandingan nilai jumlah daya yang dihasilkan dengan jumlah bahan bakar yang masuk.

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa tren grafik diawali dengan kondisi aktual pada PLTU PT KAA adalah dengan efisiensi terendah dibandingkan dari semua variasi yang ditambahkan 1-3 *feedwater heater*. Ini sesuai dengan setiap penambahan *feedwater heater* akan meningkatkan efisiensi dari pembangkit.

Tren grafik dari kondisi *existing* mengalami peningkatan hingga penambahan 3 *feedwater heater*. Nilai efisiensi terkecil yaitu dari kondisi *existing* dikarenakan dengan daya yang kecil, nilai bahan bakar yang dibutuhkan lebih besar dari pada kondisi saat ditambahkan *feedwater heater*. Selisih dari efisiensi kondisi *existing* dengan kondisi setelah dimodifikasi cukup signifikan dikarenakan selisih dari bahan bakar juga besar. Walaupun terjadi peningkatan laju bahan bakar dengan variasi 1-3 *feedwater heater*, nilai efisiensinya masih meningkat dikarenakan daya yang dihasilkan juga meningkat. Efisiensi terbaik dengan ditambahkan 3 *feedwater heater*.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan pembahasan mengenai keseluruhan hasil simulasi dan perhitungan terhadap PLTU PT KKA pada kondisi *existing* dan kondisi setelah dimodifikasi dengan penambahan *feedwater heater* maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Permodelan saat kondisi *existing* hasil yang diperoleh tanpa adanya uap air yang terbuang adalah daya netto sebesar 21,19 MW dan efisiensi 18,9 %.
2. Permodelan setelah dimodifikasi dan ditambahkan 1 *feedwater heater* hasil yang diperoleh tanpa adanya uap air yang terbuang adalah daya netto sebesar 28,118 MW dan efisiensi 21,662%.
3. Permodelan setelah dimodifikasi dan ditambahkan 2 *feedwater heater* hasil yang diperoleh tanpa adanya uap air yang terbuang adalah daya netto sebesar 29,23 MW dan efisiensi 22,069%.
4. Permodelan setelah dimodifikasi dan ditambahkan 3 *feedwater heater* hasil yang diperoleh tanpa adanya uap air yang terbuang adalah daya netto sebesar 29,52 MW dan efisiensi 22,52 %.
5. Setiap penambahan *feedwater heater* terjadi peningkatan daya dan efisiensi. Permodelan yang mempunyai performa terbaik adalah setelah dimodifikasi dan ditambahkan 3 *feedwater heater*.

#### **5.1. Saran**

Berikut ini adalah beberapa saran untuk penelitian berikutnya, yaitu:

1. Dibutuhkan *heat balance* yang lebih jelas dalam perancangan PLTU PT KKA untuk memenuhi permintaan.

2. Dibutuhkan pelatihan yang formal dari lembaga yang berpengalaman terhadap penggunaan *Gate Cycle* sehingga dapat memaksimalkan penggunaan *software*.

## DAFTAR PUSTAKA

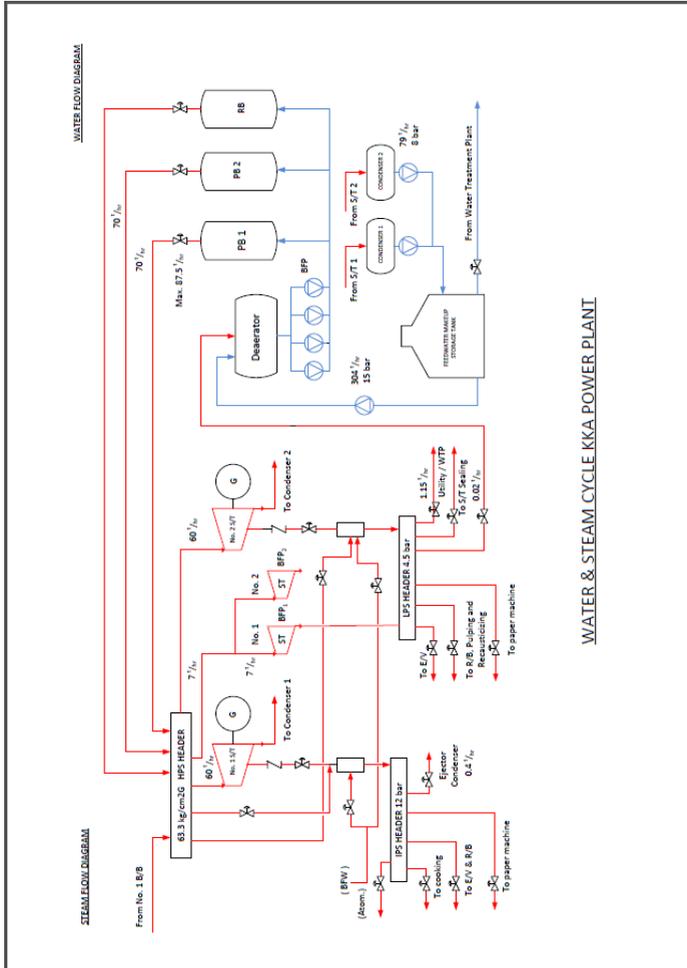
- [1] Moran, Michael J. Shapiro, Howard N. 2005. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.
- [2] Incropera, Frank P. Dewitt, David P. Bergman, Theodore L. Lavine, Adrienne S. 2007. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Hoboken : John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.
- [3] Kiameh, Philip. 2002. Power Generation Handbook: Selection, Applications, Operation, and Maintenance. New York : McGraw-Hill Professional..
- [4] Junaidi, Dendi. 2010. Keseimbangan Massa dan Kalor Serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pada Berbagai Perubahan Beban Dengan Menvariasikan Jumlah Feedwater Heater. Yogyakarta : Univesitas Gajah Mada.
- [5] Vosough, Amir. 2011. Improvement Power Plant Efficiency with Condenser Pressure. Iran: Islamic Azad University.
- [6] Littler, D.J. 1991. Turbines, Generators and Associated Plant. London: British Electricity International.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# LAMPIRAN

## Lampiran 1

Diagram proses keseluruhan saat masih sistem kogenerasi



## Lampiran 2

### Spesifikasi Bahan Bakar

Spesifikasi Gas Lama (Tahun 1989)	Spesifikasi Gas Saat ini
GCV 9062 kCal/Nm <sup>3</sup>	GCV 9395.8
CO <sub>2</sub> 15.084	kCal/Nm <sup>3</sup>
N <sub>2</sub> 0.274	CO <sub>2</sub>
Methane 76.081	N <sub>2</sub>
Ethane 5.129	Methane 92.6
Propane 2.008	Ethane 4.79
i-butane 0.395	Propane 1.18
n-butane 0.462	i-butane 0.18
i-pentane 0.177	n-butane 0.16
n-pentane 0.113	i-pentane 0.01
Hexane 0.27	n-pentane 0
	Hexane 0

### Spesifikasi Design Peralatan PT. KKA

- Power Boiler

Type	2 drums, natural circulation, water tube
Max Continuous Rating	87.5 Ton/jam

Superheater outlet pressure	63.3 kg/cm <sup>2</sup> g
Superheater outlet temperature	443°C
Feedwater Temp at economiser inlet	125°C
Draft system	Forced draft
Fuel	Natural Gas
GCV	9,180 kCal/Nm <sup>3</sup>
Konsumsi	7,520 Nm <sup>3</sup> /jam at MCR
Boiler efisiensi based on GCV of fuel	83.8% at MCR

- Steam Turbin 1

Type	Single automatic extraction, multi valve, multi stage, impulse, geared, condensing
Output	18,000 kW at generator terminal
Revolution	6250 rpm at turbin shaft, 1500 rpm at reduction gear output shaft
Steam condition: Inlet	59,7 kg/cm <sup>2</sup> G - 440°C

Extraction	12,7 kg/cm <sup>2</sup> G
Exhaust	683,8 mmHg vac
No of stage	7
No of control valve	2
Maximum throttle flow	145,181 kg/jam
Maximum exhaust flow	67,132 kg/jam
Minimum exhaust flow	2,000 kg/jam

- Steam Turbin 2

Type	Idem
Output	Idem
Revolution	Idem
Steam condition:	
Inlet	Idem
Extraction	5 kg/cm <sup>2</sup> G
Exhaust	683,8 mmHg vac – 0.9 bar
No of stage	Idem
Maximum throttle flow	136,058 kg/jam
Maximum exhaust flow	61,700 kg/jam
Minimum exhaust flow	2,000 kg/jam

- Steam surface condensor

Type	Horizontal, Shell & tube
Vacuum	683.8 mmHg Vac
Cooling Surface	1686 m <sup>2</sup>
Shell Side: Condensing Capacity Condensate water temperature Vacuum Number of pass	62000 Kg/Jam 46,13°C 683,8 mmHg vac 1
Tube Side: Cooling water capacity Inlet water temperature Outlet water temperature Inlet water pressure Cleanliness factor	4,150,000 kg/jam 32°C 40°C 2 – 2.5 kg/cm <sup>2</sup> G 0.85
Material shell & tube side	Mild steel (SS41)

- Steam turbine (BFPT)

Output	780 kW
Exhaust pressure	5 kg/cm <sup>2</sup> G

- Deaerator make up Pump

Temperature of fluid	Nor. 75°C. max 90°C
Capacity	6 m <sup>3</sup> /min
Total head	105m
Drive	160 kW x 4P motor

- Boiler Feed Pump

Type	Centrifugal, horizontal multistage turbo
Capacity	1.92 m <sup>3</sup> /min
Discharge head	936 m
Suction head	24 m
Total head	912 m
Speed	3600 rpm

- Condensate Pump

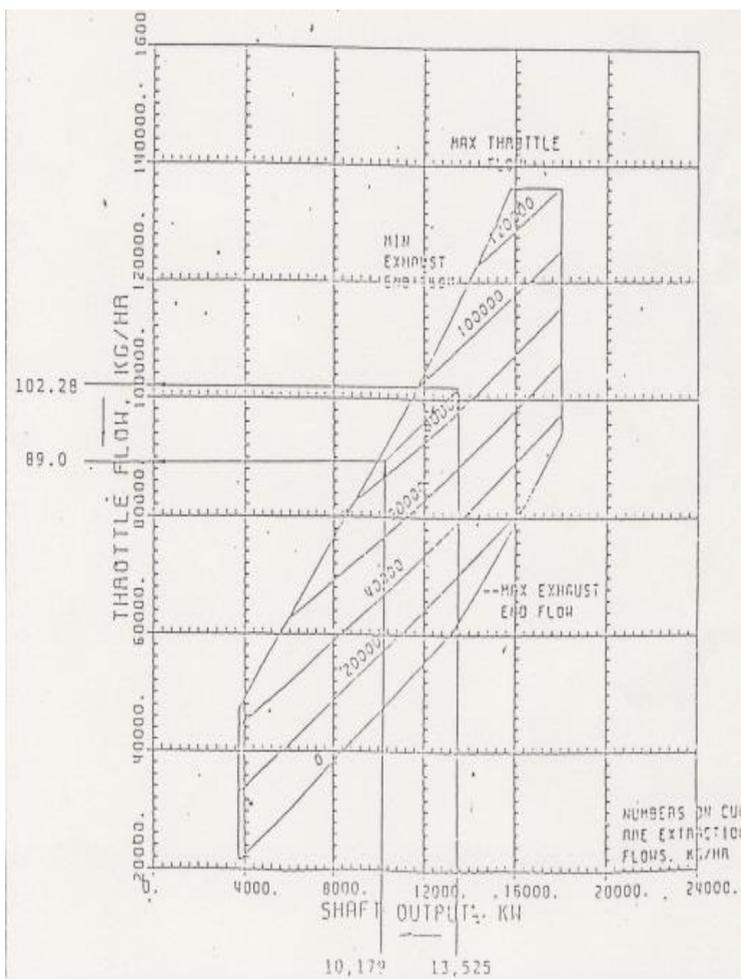
Type	Vertical, centrifugal
Capacity	1.4m <sup>3</sup> /min atau 84m <sup>3</sup> /jam
Total Head	50m
Temperature fluid	46.1°C
Drive	22 W x 2P motor

- Cooling Tower

Waterflowrate supplied to cooling tower	11,400 m <sup>3</sup> /jam
Inlet water temperature	41.3°C
Outlet water temperature	32°C
Ambient wet bulb temperature	Max 27°C

### Lampiran 3

### Diagram spesifikasi turbin uap





***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BIODATA PENULIS



**Havi Kurniawan** dilahirkan di Gresik, 09 Agustus 1994 anak yang terlahir dari orangtua terbaik bernama Gatot Dimiyati dan Tiwul Wiji Astuti. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDN 1 Pongangan, Gresik pada tahun 2000-2006. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMP N 1 Gresik pada tahun 2006-2009, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMA N 1 Gresik pada tahun 2009-2012. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi staff Divisi Organisasi Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM) 2013-2014. Pada tahun 2014-2015, penulis aktif menjadi Ketua Biro Non-Tool Divisi ORG. Pada tahun 2015-2016, penulis aktif menjadi Wakil Ketua Bidang Internal Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM).

Motto hidup penulis adalah “Jadilah orang yang bermanfaat bagi sekitarmu” menjadikan penulis lebih bersemangat dan berusaha keras untuk senantiasa memberikan manfaat dan berguna bagi agama, nusa dan bangsa. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email [havikurniawan@gmail.com](mailto:havikurniawan@gmail.com).

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***