



---

TUGAS AKHIR – TM141585

**PENGARUH OFF SERVICE HIGH PRESSURE  
HEATER TERHADAP PERUBAHAN MASS FLOW  
RATE DAN PERFORMA PLTU PAITON UNIT 9  
DENGAN SIMULASI TEMPO CYCLE DAN  
GAMBIT-FLUENT**

DEA AULIA PUTRI S  
NRP. 2113100066

Dosen Pembimbing:  
Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng

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



FINAL PROJECT – TM141585

**THE EFFECT OF HIGH PRESSURE HEATER OFF  
SERVICE IN THE CHANGE OF MASS FLOW RATE  
AND PERFORMANCE OF THE PAITON UNIT 9  
POWER PLANT WITH SIMULATION GAMBIT-  
FLUENT AND TEMPOCYCLE**

DEA AULIA PUTRI S  
NRP. 2113100066

Advisory Lecturer  
Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng.

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

**PENGARUH OFF SERVICE HIGH PRESSURE  
HEATER TERHADAP PERUBAHAN MASS FLOW  
RATE DAN PERFORMA PLTU PAITON UNIT 9  
DENGAN SIMULASI TEMPO CYCLE DAN GAMBIT-  
FLUENT**

**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:

**DEA AULIA PUTRI SULAKSONO**

NRP. 2113 100 066

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng. ..... (Pembimbing)  
NIP. 196505051990031005
2. Dr. Ir. Budi Utomo K. W., ME. (Penguji I)  
NIP. 195312191981031001
3. Ary Bachtiar K.P, ST, MT, PhD. (Penguji II)  
NIP. 197105241997021001
4. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT. (Penguji III)  
NIP. 197301161997021001



**SURABAYA**

**JANUARI, 2017**

**PENGARUH *OFF SERVICE HIGH PRESSURE HEATER*  
TERHADAP PERUBAHAN *MASS FLOW RATE* DAN  
PERFORMA PLTU PAITON UNIT 9 DENGAN SIMULASI  
TEMPO CYCLE DAN GAMBIT-FLUENT**

**NamaMahasiswa** : Dea Aulia Putri Sulaksono  
**NRP** : 2113 100 066  
**Jurusan** : Teknik Mesin, FTI  
**DosenPembimbing** : Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng

**ABSTRAK**

*Pada PLTU Paiton 9 yang terletak di Probolinggo memiliki tiga buah high pressure heater. High pressure heater tersebut berjenis shell and tube heat exchanger. High pressure heater digunakan untuk menaikkan efisiensi dari sebuah pembangkit. Pada kondisi nyata high pressure heater sering mengalami kerusakan karena menerima steam yang bertekanan tinggi hasil dari ekstraksi high pressure turbine. Kerusakan tersebut menyebabkan high pressure heater tersebut harus mengalami off service untuk perbaikan. Berdasarkan hal tersebut perlu diadakan lebih lanjut mengenai performa dan mass flow rate akibat dari off service high pressure heater tersebut.*

*Penelitian mengenai pengaruh off service high pressure heater terhadap performa pembangkit dilakukan dengan analisa termodinamika. Dengan menggunakan Piping and Instrumentation Diagram (PID) analisa termodinamika dapat dilakukan dengan bantuan software Tempocycle. Pemodelan PID dilakukan didalam Tempocycle. Sehingga dapat dilakukan pemvariasian sebanyak tiga variasi terhadap off service HPH. Pada Pemodelan turbin uap 2D dilakukan dengan bantuan Software Gambit, dengan memiliki ekstraksi turbin seperti pada Heat and Balance Diagram PLTU Paito unit 9. Pada Pemodelan turbin uap 2D dilanjutkana dengan 3 variasi.*

*Dari simulasi perubahan mass flow rate terhadap performa PLTU Paiton unit 9 didapatkan kesimpulan adalah pada kondisi eksisting mass flow rate pada PLTU Paiton 9 dengan kondisi eksisting yaitu, pada masuk high pressure turbine dengan  $\dot{m}$  577.54 kg/s, lalu pada ekstraksi HPH 1 dengan  $\dot{m}$  sebesar 38.20 kg/s, sedangkan yang menuju HPH 2 sebesar 44.24 kg/s, lalu yang menuju reheater sebesar 495.19 kg/s.  $\dot{m}$  yang menuju HPH 3 sebesar 24.26 kg/s, sedangkan yang menuju deaerator sebesar 27.23 kg/s, sehingga yang menuju LPT sebesar 443.7 kg/s. Pada kondisi HPH 1 off service yaitu, pada masuk high pressure turbine dengan  $\dot{m}$  577.54 kg/s, lalu pada ekstraksi HPH 1 dengan  $\dot{m}$  sebesar 0 kg/s, sedangkan yang menuju HPH 2 sebesar 46.78 kg/s, lalu yang menuju reheater sebesar 530.75 kg/s.  $\dot{m}$  yang menuju HPH 3 sebesar 26 kg/s, sedangkan yang menuju deaerator sebesar 29.19 kg/s, sehingga yang menuju LPT sebesar 475.56 kg/s. Sedangkan pada kondisi HPH 3 off service yaitu, pada masuk high pressure turbine dengan  $\dot{m}$  577.54 kg/s, lalu pada ekstraksi HPH 1 dengan  $\dot{m}$  sebesar 38.20 kg/s, sedangkan yang menuju HPH 2 sebesar 44.24 kg/s, lalu yang menuju reheater sebesar 495.19 kg/s.  $\dot{m}$  yang menuju HPH 3 sebesar 0 kg/s, sedangkan yang menuju deaerator sebesar 27.24 kg/s, sehingga yang menuju LPT sebesar 467.95 kg/s. Pada kondisi eksisting PLTU Paiton Unit 9 memiliki daya netto sebesar 658.397 MW. Efisiensi PLTU sebesar 43.7%, nilai heat rate sebesar 8,232.407 kJ/kWh dan temperatur boiler feedwater sebesar 276.30°C. Saat kondisi HPH 1 off service PLTU Paiton Unit 9 memiliki daya netto sebesar 694.021 MW. Efisiensi PLTU sebesar 43.4%, nilai heat rate sebesar 8,292.966 kJ/kWh dan temperatur boiler feedwater sebesar 248.69°C. Sedangkan saat kondisi HPH 3 off service PLTU Paiton Unit 9 memiliki daya netto sebesar 682.818 MW. Efisiensi PLTU sebesar 43.5%, nilai*

*heat rate sebesar 8,280.441 kJ/kWh dan temperatur boiler feedwater sebesar 260°C.*

***Kata kunci : Off service High Pressure Heater, Performa Pembangkit, Mass Flow Rate, Tempocycle, Fluent***

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **THE EFFECT OF HIGH PRESSURE HEATER OFF SERVICE IN THE CHANGE OF MASS FLOW RATE AND PERFORMANCE OF THE PAITON UNIT 9 POWER PLANT WITH SIMULATION GAMBIT-FLUENT AND TEMPOCYCLE**

**Name** : Dea Aulia Putri S  
**NRP** : 2113100066  
**Department** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Advisory Lecturer** : Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng

## **ABSTRACT**

*At Paiton 9 which is located in Probolinggo has three high pressure heater. The high pressure heater used shell and tube heat exchanger type. High pressure heater is used to increase the efficiency of a power plant. In real conditions of high pressure heater often damaged due to receive a high-pressure steam that results from the extraction of high pressure turbine. The damage causes the high pressure heater should undergo off service for repairs. Based on that there should be more about the performance and mass flow rate as a result of high pressure off service the heater.*

*The studies on the influence of high pressure heater off service to the plant performance conducted by thermodynamic analysis. By using the Piping and Instrumentation Diagram (PID) thermodynamic analysis can be done with the help of software Tempocycle. PID modeling done in Tempocycle. So do many as two variations of the off service concession. In the steam turbine 2D modeling is done with assistance from Software Gambit, by having the extraction turbine as in Heat and Power Plant Balance Diagram Paiton unit 9. And then 2D Modelling steam turbine with two variation.*

*Of simulated changes in mass flow rate on the performance of Paiton unit 9 is the conclusion is the existing condition mass flow rate at Paiton 9 with existing conditions, namely, the incoming high pressure turbine with  $M 577.54 \text{ kg / s}$ , then the extraction*

*HPH 1 to m of 38.20 kg / s, whereas towards HPH 2 of 44.24 kg / s, and then heading reheater amounted to 495.19 kg / s. 3 m to the concession of 24.26 kg / s, while the head deaerator of 27.23 kg / s, so that towards the LPT of 443.7 kg / s. On the condition of HPH 1 off service is, at the entrance of high pressure turbine with M 577.54 kg / s, then the extraction HPH 1 to m at 0 kg / s, whereas towards HPH 2 amounted to 46.78 kg / s, and then heading reheater amounted to 530.75 kg / s. m heading HPH 3 at 26 kg / s, while the head deaerator of 29.19 kg / s, so that towards the LPT of 475.56 kg / s. While the condition of HPH 3 off service is, at the entrance of high pressure turbine with M 577.54 kg / s, then the extraction HPH 1 to m of 38.20 kg / s, whereas towards HPH 2 amounted to 44.24 kg / s, and then heading reheater for 495.19 kg / s. m heading HPH 3 at 0 kg / s, while the head deaerator of 27.24 kg / s, so that towards the LPT of 467.95 kg / s. On the condition of the existing Paiton Unit 9 has a net power of 658 397 MW. The efficiency of power plants amounted to 43.7%, the value of 8,232.407 heat rate kJ / kWh and boiler feedwater temperature of 276.30°C. When conditions HPH 1 off service Paiton Unit 9 has a net power of 694 021 MW. The efficiency of power plants amounted to 43.4%, the value of 8,292.966 heat rate kJ / kWh and boiler feedwater temperature of 248.69°C. Meanwhile, when the condition of HPH 3 off service Paiton Unit 9 has a net power of 682 818 MW. The efficiency of power plants amounted to 43.5%, the value of 8,280.441 heat rate kJ / kWh and boiler feedwater temperature of 260°C.*

**Key words : Off service High Pressure Heater, Power Plant Performance, Mass Flow Rate, Tempocycle, Fluent**

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhanatas-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PENGARUH OFF SERVICE HIGH PRESSURE HEATER TERHADAP PERUBAHAN MASS FLOW RATE DAN PERFORMA PLTU PAITON UNIT 9 DENGAN SIMULASI TEMPO CYCLE DAN GAMBIT-FLUENT”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri-ITS. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Kedua orangtua yang telah memberikan semangat dan doa untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D.selaku ketua jurusan Teknik Mesin FTI ITS dan dosen wali penulis yang senantiasa memberikan semangat dan nasehat selama kuliah.
3. Bapak Prof. Dr.Eng. Prabowo, M.Eng, selaku dosen Pembimbing yang selalu mengarahkan, memberikan bimbingan, inspirasi, semangat, doa, dorongan moral, serta spiritual hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
4. Bapak Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME; Ary Bachtiar K.P., ST, MT, PhD.; dan Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan sempurna.
5. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis menempuh kuliah.
6. Seluruh karyawan Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Teknik Mesin FTI ITS, yang telah memberikan bantuan pengujian spesimen.

7. Rekan–rekan Jurusan Teknik Mesin terutama bidang studi Perpindahan Panas, khususnya Hiro, Aji, Karina, Canny, Mas Andur, Frans, Rini, dan Alim atas bantuannya dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Semua teman-teman Mesin seperjuangan angkatan 2013 atas persaudaraan yang berkesan.
9. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Harapan penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, diharapkan saran dan kritik untuk tahapan pengembangan selanjutnya.

Surabaya, 18 Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>BAB I</b> .....	1
<b>PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan masalah</b> .....	2
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB II</b> .....	5
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Prinsip Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Uap</b> .....	5
2.1.1 <i>Modified Rankine Cycle</i> .....	5
2.1.2 <i>Analisa Termodinamika pada Modified Rankine Cycle</i> .....	6
2.1.3 <b>Perhitungan Fraksi Massa</b> .....	10
2.1.4 <b>Perhitungan Efisiensi Siklus</b> .....	11
2.1.5 <b>Perhitungan Laju kalor (<i>heat rate</i>)</b> .....	12
<b>2.2 Penelitian Terdahulu</b> .....	12
2.2.1 <i>Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with ‘n’ Number of Feedwater Heaters</i> .....	12
2.2.2 <b>Kesetimbangan Massa dan Kalor serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai</b>	

<b>Perubahan Beban dengan Menvariasikan Jumlah     <i>Feedwater Heater</i></b> .....	14
2.2.3 <b>Simulasi Gatecycle Pengaruh <i>Off Service High Pressure Heater</i> terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap 200 MW PT. PJB Gresik</b> .....	15
<b>BAB III</b> .....	17
<b>METODOLOGI</b> .....	17
3.1 <b>Pemodelan <i>Turbine</i> pada Gambit <i>Fluent</i></b> .....	17
3.1.1 <b>Tahap <i>Pre-Processing</i> Menggunakan <i>Software Gambit</i></b> .....	18
3.2 <b>Pemodelan PLTU Paiton unit 9 pada <i>Cycletempo</i></b> .....	21
3.3 <b>Analisa Termodinamika Performa Pembangkit</b> .....	25
3.4 <b>Analisa Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap</b> ....	26
3.5 <b>Variasi pada <i>High Pressure Heater</i></b> .....	31
<b>BAB IV</b> .....	27
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	27
4.1 <b><i>Flow</i> Visualisasi</b> .....	27
4.1.1 <b>Hasil <i>Flow</i> Visualisasi</b> .....	27
4.2 <b>Analisa Perhitungan Daya</b> .....	28
4.3 <b>Analisa Performa Pembangkit</b> .....	31
4.3.1 <b>Pengaruh <i>Off Service</i> HPH terhadap Daya netto</b> .....	32
4.3.2 <b>Pengaruh <i>Off Service</i> HPH terhadap Efisiensi</b> .....	33
4.3.3 <b>Pengaruh <i>Off Service</i> HPH terhadap <i>Heat Rate</i></b> .....	34
4.3.4 <b>Pengaruh <i>Off Service</i> HPH terhadap Temperatur <i>Boiler feedwater</i></b> .....	36
<b>BAB V</b> .....	39
<b>KESIMPULAN dan SARAN</b> .....	39
5.1 <b>Kesimpulan</b> .....	39
5.2 <b>Saran</b> .....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	41
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 PLTU Paiton 9.....	1
Gambar 2.1 Cara Kerja pembangkit Listrik dengan Bahan Bakar Batu Bara. ....	6
Gambar 2.2 <i>Modiefied Rankine cycle</i> .....	6
Gambar 2.3 <i>Open feedwater heater</i> .....	8
Gambar 2.4 <i>Closed feedwater heater</i> . ....	9
Gambar 2.5 Siklus <i>regenerative</i> .....	11
Gambar 2.6 Perbandingan efisiensi pembangkit terhadap rasio ekstraksi <i>steam turbine</i> .....	13
Gambar 2.7 Hubungan Jumlah Penambahan <i>Feedwater Heater</i> dengan efisiensi Pembangkit .....	14
Gambar 2.8 Pengaruh <i>Off Service High Pressure Heater</i> terhadap Efisiensi Pembangkit <sup>31</sup> .....	15
Gambar 3.1 Rancangan PLTU Paiton unit 9 .....	17
Gambar 3.2 (a) <i>Model High Pressure turbine</i> .....	18
Gambar 3.2 (b) <i>Model Intermediate Pressure turbine</i> .....	18
Gambar 3.3 Meshing pada Model di <i>Software Gambit</i> .....	19
Gambar 3.4 Model Turbin Asli .....	19
Gambar 3.5 Kondisi Batas Permodelan yang digunakan.....	20
Gambar 3.6 <i>Heat and Mass Balance</i> PLTU Paiton unit 9. ....	21
Gambar 3.7 Permodelan PLTU Paiton unit 9 pada <i>Tempocycle</i> ..	22
Gambar 3.8 Diagram T-S model PLTU Paiton unit 9 .....	26
Gambar 4.1 Profil aliran massa pada turbin <i>High Pressure</i> .....	28
Gambar 4.2 Profil aliran massa pada turbin <i>Intermediate Pressure</i> .....	29
Gambar 4.3 Profil aliran massa pada turbin <i>Low Pressure</i> ...	30
Gambar 4.4 Profil aliran massa pada <i>Boiler Feed Pump</i> .....	31
Gambar 4.5 Pengaruh <i>off service</i> terhadap <i>power output</i> .....	32
Gambar 4.6 Pengaruh <i>off service</i> terhadap efisiensi. ....	33
Gambar 4.7 Pengaruh <i>off service</i> terhadap <i>heat rate</i> .....	35
Gambar 4.8 Pengaruh <i>off service</i> terhadap temperatur .....	36

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> <i>Boundary Condition</i> yang digunakan pada simulasi .	20
<b>Tabel 3.2</b> Parameter input yang digunakan pada simulasi..	20
<b>Tabel 3.3</b> Parameter input di dalam mendesain PLTU Paiton unit 9 di Cycletempo .....	23
<b>Tabel 3.4</b> Variasi <i>off service</i> dan dampaknya pada performa pembangkit .....	27



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang



. **Gambar 1.1** PLTU Paiton 9

Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting untuk kebutuhan manusia. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut didirikan pembangkit – pembangkit listrik. Salah satu pembangkit listrik yang ada yaitu PLTU Paiton. PLTU Paiton memiliki beberapa unit, yaitu unit satu sampai Sembilan. Namun yang relatif baru adalah unit Sembilan. PLTU Paiton unit 9 terletak di pantai utara Jawa yaitu Desa Bhinor, Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo. PLTU Paiton 9 seperti pada gambar 1.1 diatas memiliki peralatan yaitu dua buah *low pressure turbine*, satu buah *intermediate pressure turbine*, satu buah *high pressure turbine*, empat buah *low pressure heater*, tiga buah *high pressure heater*, satu buah *deaerator*, satu buah *condenser*, satu buah *boilerfeed pump turbine*, dan dua buah *boiler feed pump*. PLTU Paiton 9 menghasilkan daya sebesar 660 MW yang akan menyuplai aliran listrik Jawa – Bali.

Pada PLTU Paiton 9 memiliki *high pressure heater* yang berupa shell and tube heat exchanger sering mengalami masalah. Karena *high pressure heater* menerima uap bertekanan tinggi dari *high pressure turbine* sering terjadi kebocoran - kebocoran. Hal tersebut menyebabkan *high pressure heater* tersebut harus mengalami *off service* karena proses perbaikan. Sehingga *high pressure heater* yang digunakan menjadi berkurang.

Berdasarkan masalah diatas perlu diadakan penelitian lebih lanjut apabila salah satu *high pressure heater* mengalami kerusakan sehingga performa dari pembangkit listrik akan mengalami perubahan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pembangkit tenaga uap secara umum terdiri dari *boiler*, turbin uap, kondensor dan juga pompa. Peningkatan efisiensi dari pembangkit tenaga uap dengan menambah *feedwater heater* untuk meningkatkan temperatur fluida yang akan dipanaskan pada *boiler*. Sehingga energi yang digunakan untuk memanaskan fluida lebih sedikit. Sumber energy untuk pemanasan pada *feedwater heater* berasal dari ekstraksi turbin uap. Pada PLTU Paiton unit 9 *high pressure turbine* yang digunakan sering mengalami kerusakan akibat penerimaan uap bertekanan tinggi dari *high pressure turbine*. Hal tersebut menyebabkan *high pressure heater* harus di *off service* untuk proses perbaikan. Hal tersebut menjadikan jumlah *high pressure heater* yang bekerja berkurang, oleh karena itu Analisa dalam tugas akhir ini bermaksud meneliti pengaruh adanya performah *high pressure heater* pada kondisi normal. Lalu pengaruh *off service high pressure heater* terhadap performa pembangkit dengan menggunakan simulasi *software Cycletempo*. Pada saat kondisi normal bagaimana *mass flow rate* dari sebuah turbin. Pada kondisi sebuah *high pressure heater off service*, *mass flow rate*

berubah. Hal tersebut menggunakan simulasi *porous media* pada Gambit - Fluent

### **1.3 Batasan Masalah**

Beberapa batasan masalah dan asumsi yang ada dalam penelitian ini yaitu:

1. Analisa berdasarkan data operasi PLTU PT PJB unit 9, Paiton.
2. *Steady state*.
3. Efek energi kinetik dan potensial diabaikan.
4. Perpindahan panas pada system tersebut hanya mengamati perpindahan panas secara konduksi dan konveksi serta mengabaikan perpindahan panas secara radiasi.
5. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan analisa termodinamika, perpindahan panas, standar ASME PTC6-2004 dan perhitungan yang bersumber dari jurnal internasional.
6. Turbin bersifat *adiabatic*.
7. Media yang digunakan untuk menurunkan tekanan yaitu *porous media*.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui *mass flow rate* dari sebuah turbin pada kondisi normal dengan simulasi Gambit – Fluent.
2. Mengetahui pengaruh *off service high pressure heater* terhadap *mass flow rate* pada sebuah turbin dengan simulasi Gambit – Fluent.
3. Mengetahui performa pembangkit pada kondisi normal dengan simulasi Cycletempo
4. Mengetahui pengaruh *off service high pressure heater* terhadap performa pembangkit melalui simulasi Cycletempo.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Meningkatkan kemampuan untuk mendesain system pembangkit melalui pemanas regenerative dengan analisa termodinamika
2. Dapat digunakan sebagai informasi dalam perancangan pembangkit listrik tenaga uap terutama pada bagian *high pressure heater*.
3. Mengetahui *mass flow rate* dari sebuah turbin pada kondisi normal dengan simulasi Gambit – Fluent.
4. Mengetahui pengaruh *off service high pressure heater* terhadap *mass flow rate* pada sebuah turbin dengan simulasi Gambit – Fluent.
5. Mengetahui performa pembangkit pada kondisi normal dengan simulasi Cycletempo
6. Mengetahui pengaruh *off service high pressure heater* terhadap performa pembangkit melalui simulasi Cycletempo.

## **BAB II**

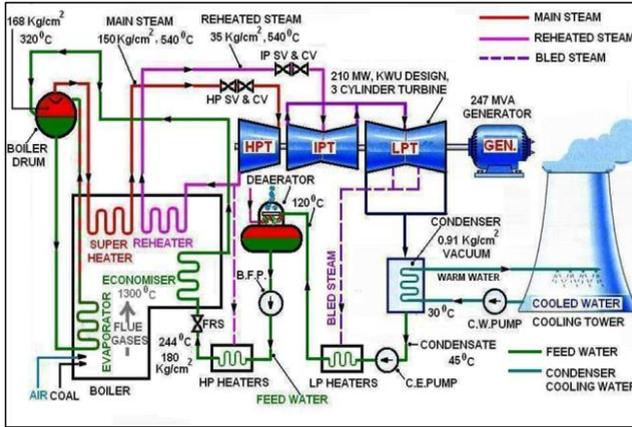
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Prinsip Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Uap**

##### **2.1.1 Modified Rankine Cycle**

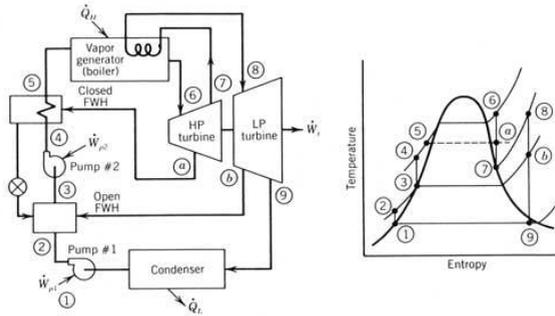
Pada sebuah PLTU, yang berbahan dasar batu bara. Memiliki siklus kerja pada gambar 2.1 yaitu berdasarkan pada siklus Rankine. Namun kebanyakan digunakan siklus Rankine yang telah dimodifikasi. Pada gambar 2.1 dapat dilihat dari air yang berasal dari *high pressure heater* masuk ke *economizer*, lalu setelah dipanaskan di *economizer* air menuju *drum* untuk dipanaskan menjadi *saturated steam*. Namun air yang tidak membentuk steam akan di alirkan untuk dievaporasi oleh *waterwall tube*. Setelah itu *saturated steam* akan dipanaskan menjadi *superheat steam* di *superheater*. Pada kebanyakan PLTU tidak memiliki hanya satu buah *superheater*, melainkan dua buah hingga tiga buah *superheater*. Setelah itu *superheat steam* mengalir menuju *high pressure turbine*, *superheat steam* akan menggerakkan sudu-sudu turbin dan akan menghasilkan daya. Keluar dari *high pressure turbine*, *superheated steam* akan menuju *reheater* untuk dinaikan temperaturnya. Namun sebagian *steam* dari *high pressure turbine* dialirkan juga menuju *high pressure heater*. Dari *reheater* steam akan dialirkan lagi menuju *intermediate pressure turbine*. Pada *intermediate pressure turbine* akan mengalirkan sebagian menuju *deaerator* dan sebagian menuju *low pressure turbine*. Pada *low pressure turbine* sebagian uap akan dialirkan menuju *condenser*, dan dialirkan juga menuju *low pressure heater*. Air dari kondensor akan dipanaskan oleh uap yang berasal dari *low pressure turbine* di *low pressure heater*. Setelah itu air dari *low pressure heater* akan dipompa menuju *deaerator* untuk dipanaskan dengan uap yang berasal dari *intermediate pressure turbine*. Lalu air tersebut dialirkan menuju *high pressure heater* untuk pemanasan yang terakhir kalinya. Pemanasan air pada *high pressure heater* menggunakan

hasil ekstraksi uap yang berasal dari *high pressure turbine*. Lalu air kembali ke siklus awal.



**Gambar 2.1** Cara Kerja pembangkit Listrik dengan Bahan Bakar Batu Bara

**2.1.2 Analisa Termodinamika pada *Modified Rankine Cycle***



**Gambar 2.2** *Modiefied Rankine cycle*

Untuk mengevaluasi siklus *rankine* seperti yang ditunjukkan gambar 2.2 diatas, perpindahan kalor yang terjadi antara komponen pembangkit dengan sekelilingnya diabaikan untuk memudahkan analisis. Perubahan energi kinetik dan potensial juga diabaikan. Setiap komponen dianggap beroperasi

pada kondisi tunak. Dengan menggunakan prinsip kekekalan massa dan energi, kita dapat mengembangkan persamaan untuk perpindahan energi dari titik-titik kondisi seperti yang telah ditunjukkan dalam gambar 2.2

- **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

$$0 = \dot{Q}_{CY} - \dot{W}_t + \dot{m} \left[ h_1 - h_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right] \quad (2.1)$$

Sehingga

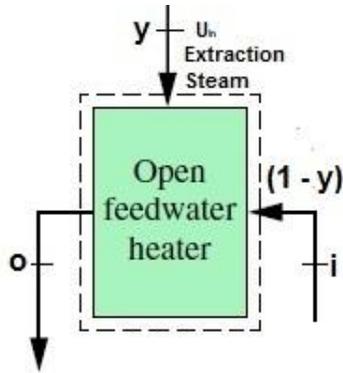
$$\frac{\dot{W}_p}{\dot{m}} = h_2 - h_1 \dots \dots \dots (2.2)$$

Atau

$$\frac{\dot{W}_p}{\dot{m}} = h_4 - h_3 \dots \dots \dots (2.3)$$

- ***Open feedwater Heater***

*Open feedwater heater* berasal dari air di *condenser* dan uap hasil ekstraksi dari *e* bercampur jadi satu. Sehingga suhu fluida kerja menjadi naik.



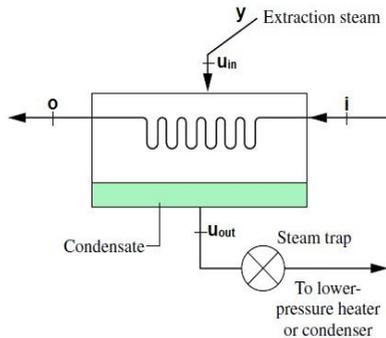
**Gambar 2.3** *Open feedwater heater*

Fraksi  $y$  dapat dihitung dengan menerapkan prinsip-prinsip konservasi massa dan konservasi energi pada volume terkontrol di sekeliling pemanas air-pengisian. Jika tidak terjadi perpindahan kalor antara pemanas air-pengisian dan lingkungan sekitarnya serta efek energi kinetik dan potensial dapat diabaikan, kesetimbangan laju massa dan energi pada kondisi *steady* akan menghasilkan

$$0 = yh_{uin} + (1 - y)h_i - h_o \dots \dots \dots (2.4)$$

- ***Closed Feedwater Heater***

Berkebalikan dari *open feedwater heater*, *Closed feedwater heater* tidak terjadi pencampuran antara hasil dari ekstraksi turbin dan air dari *open feedwater heater*. Namun karena *closed feedwater heater* merupakan *heat exchanger* maka uap yang didinginkan dari turbin akan dikondensasikan pada sisi *shell* sementara *feedwater* (air pengumpan) akan masuk melalui sisi *tube* dan menyerap panas dari uap tadi sehingga akan meningkatkan temperaturnya.



**Gambar 2.4** *Closed feedwater heater*

Fraksi dari aliran total yang diekstraksi  $y$  dapat dihitung dengan menerapkan prinsip-prinsip konservasi massa dan konservasi energi pada volume atur di sekeliling pemanas tertutup. Dengan mengasumsikan tidak terjadi perpindahan kalor antara pemanas air pengisian dan lingkungan sekelilingnya dan mengabaikan efek energi kinetik dan potensial, kesetimbangan laju massa dan energi pada kondisi *steady state* dapat disederhanakan menjadi,

$$0 = y(h_{u_{in}} - h_{u_{out}}) + (h_i - h_o) \dots\dots\dots(2.5)$$

atau

$$y = \frac{h_o - h_i}{(h_{u_{in}} - h_{u_{out}})} \dots\dots\dots(2.6)$$

- **Boiler**

*Fluida* kerja menyelesaikan siklus ketika cairan yang meninggalkan pompa pada kondisi 4 dipanaskan sampai jenuh 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

$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_5 - h_6 \dots \dots \dots (2.7)$$

- **Turbine**

*Steam* yang berasal dari boiler akan menuju turbin. Dalam turbin uap akan berekspansi sehingga menggerakkan sudu-sudu pada turbin. Dalam kasus ini boiler pada kondisi 6, yang berada pada temperatur dan tekanan yang sudah dinaikkan, berekspansi melalui turbin untuk menghasilkan kerja dan kemudian dimasukkan lagi ke reheater pada kondisi 7, 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

$$\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = h_6 - h_7 \dots \dots \dots (2.8)$$

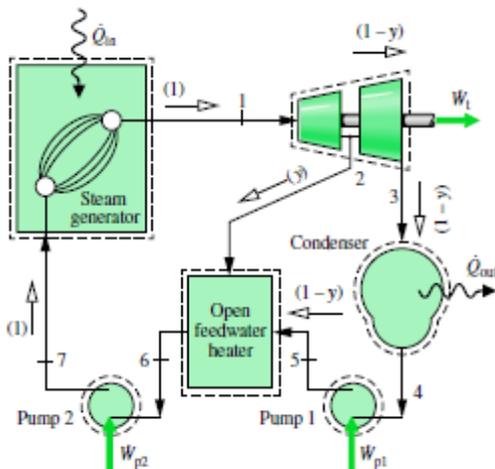
- **Reheater**

*Steam* yang telah menggerakkan *high pressure turbine*, tekanan steam akan menurun lalu untuk menaikkan daya, *steam* akan dinaikkan temperturnya pada *reheater*. *Steam* masuk ke reheater pada kondisi 7 dan akan keluar ada kondisi 8. Dengan mengabaikan perpindahan kalor dengan sekelilingnya, kesetimbangan laju energi dan *massa* untuk *volume* atur di sekitar turbin pada kondisi tunak menjadi

$$\frac{\dot{Q}_{reheat}}{\dot{m}} = h_7 - h_8 \dots \dots \dots (2.9)$$

### 2.1.3 Perhitungan Fraksi Massa

Perhitungan fraksi massa digunakan untuk mengetahui laju aliran yang melalui di setiap masing-masing komponen pembangkit. Fraksi massa biasa sering digunakan pada siklus generative .



**Gambar 2.5** Siklus *regenerative*

Berdasarkan gambar 2.9, dengan menggunakan volume atur. Laju aliran massa untuk setiap komponen dapat dianalisa

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_3 = \dot{m}_1 \dots \dots \dots (2.10)$$

lalu,

$$\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1} + \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = 1 \dots \dots \dots (2.11)$$

Jika fraksi dari aliran total yang diekstraksi pada kondisi 2 diwakili oleh *variabel*  $y$  ( $y = \dot{m}_2 / \dot{m}_1$ ), fraksi dari aliran total yang melewati turbin tingkat kedua adalah

$$\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = 1 - y \dots \dots \dots (2.12)$$

**2.1.4 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 :

$$\eta = \frac{W_t/\dot{m} - W_p/\dot{m}}{\dot{Q}_{in}/\dot{m}} \dots\dots\dots(2.13)$$

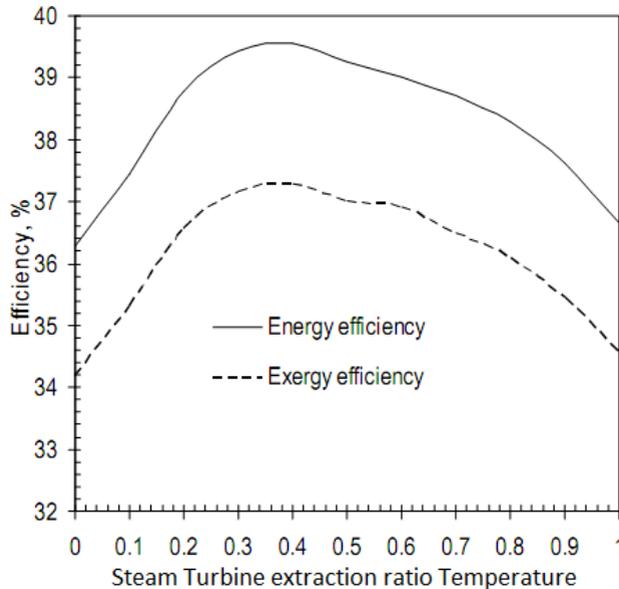
### 2.1.5 Perhitungan Laju kalor (*Heat Rate*)

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

$$Heatrate = \frac{Totalfuelheatinput (Kcal)}{Electricalgeneration (kW-h)} \dots\dots\dots(2.14)$$

## 2.2 Penelitian Terdahulu

### 2.2.1 *Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with 'n' Number of Feedwater Heaters*

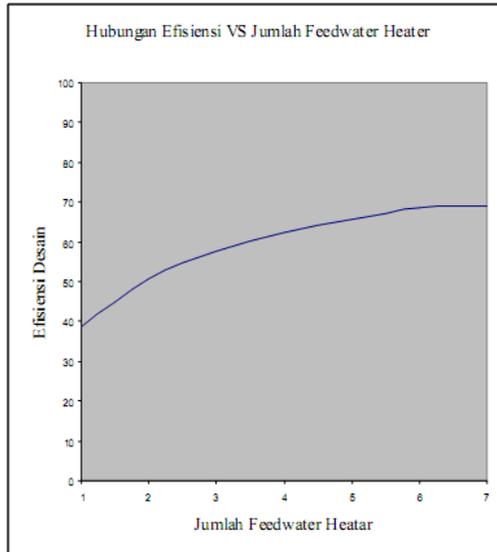


**Gambar 2.6** Perbandingan efisiensi pembangkit terhadap rasio ekstraksi *steam turbine*

T. Srinivas dkk dalam jurnalnya yang berjudul “*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*, temperature 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*. Gambar 2.6 menunjukkan efisiensi maksimum yang didapatkan dari penelitian ini didapatkan ketika 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.

### 2.2.2 Kestimbangan Massa dan Kalor serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai Perubahan Beban dengan Menvariasikan Jumlah *Feedwater Heater*



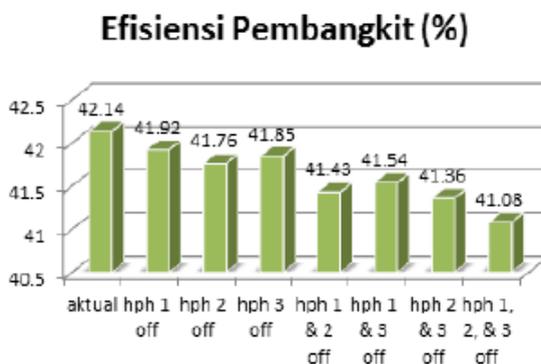
**Gambar 2.7** Hubungan Jumlah Penambahan *Feedwater Heater* dengan efisiensi Pembangkit

Dendi Junaidi dkk, dalam papernya berjudul “**Kestimbangan Massa dan Kalor serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai Perubahan Beban dengan Menvariasikan Jumlah *Feedwater Heater***” pada gambar 2.7 menyimpulkan bahwa penambahan *feedwater heater* akan menaikkan efisiensi instalasi pembangkit listrik, namun kenaikan efisiensi akan stabil jika jumlah *feedwater heater* lebih dari 7.

Pada saat penambahan *feedwater heater* sebanyak satu sampai tiga buah terjadi kenaikan efisiensi yang signifikan.

Dendi Junaidi dk melakukan simulasi dengan sebuah permulaan siklus rankine sederhana. Lalu ditambahkan satu *open feedwater heater*. Pada *heater* kedua ditambahkan satu *close feedwater heater*. Pada penambahan selanjutnya ditambahkan tiap dua buah *closed feedwater heater* terdapat satu buah *open feedwater heater*. Parameter pada simulasi yang menjadi input meliputi kondisi uap keluar *Boiler* (tekanan dan temperatur) serta laju uap massa yang masuk dan keluar dari *Boiler*, sedangkan parameter lainnya divariasikan tergantung kondisi jumlah *feedwater heater*. Peningkatan efisiensi yang dimaksud dalam simulasi ini adalah perbandingan kenaikan temperatur air yang akan diuapkan didalam *Boiler* dan berkurangnya penggunaan bahan bakar dengan rugi-rugi yang disebabkan akibat penambahan tiap *feedwater heater* seperti rugi-rugi aliran, gesekan dan tekanan.

### 2.2.3 Simulasi Gatecycle Pengaruh *Off Service High Pressure Heater* terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap 200 MW PT. PJB Gresik



**Gambar 2.8** Pengaruh *Off Service High Pressure Heater* terhadap Efisiensi Pembangkit

Akbar Kurnia dkk, dalam papernya berjudul “**Simulasi Gatecycle Pengaruh Off Service High Pressure Heater terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap 200 MW PT. PJB Gresik**” pada gambar 2.8 menyimpulkan bahwa semakin banyak High pressure heater yang off service maka akan menurunkan efisiensi sebuah pembangkit. Kemudian ada beberapa high pressure heater yang vital karena jika high pressure heater tersebut off service maka akan memiliki penurunan performa yang besar.

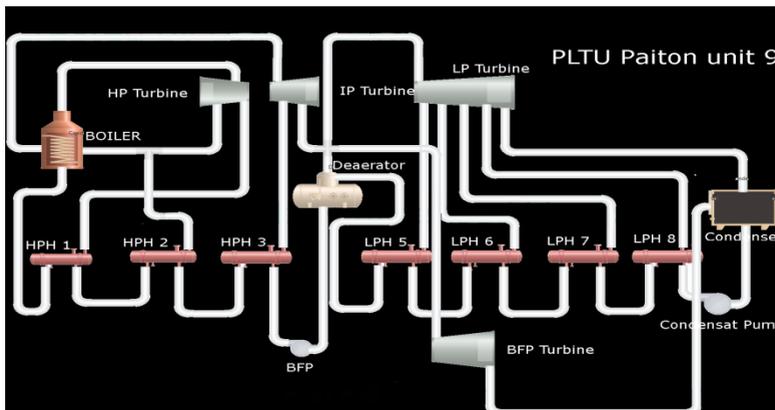
Akbar Kurnia dkk menemodelkan PLTU Gresik pada *software Gatecycle*. *Software Gatecycle* akan melakukan perhitungan terhadap efisiensi sistem selama dalam kondisi tunak. Pada software tersebut akan diisikan data sesuai dengan kerja PLTU yang dianalisa. Pada software tersebut membutuhkan inputan data laju aliran bahan bakar, karakteristik bahan bakar dan spesifikasi bahan bakar.

### BAB III METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan pada pengaruh mass flow rate dan off service high pressure heater pada PLTU Paion unit 9. Pada Penelitian ini dilakukan melalui analisa dua buah software yang berbeda. Pada penelitian pengaruh mass flow rate digunakan analisa melalui software *Gambit-Fluent* . Pada analisa performa pembangkit digunakan *Cycltempo*

#### 3.1 Pemodelan Turbine pada Gambit Fluent

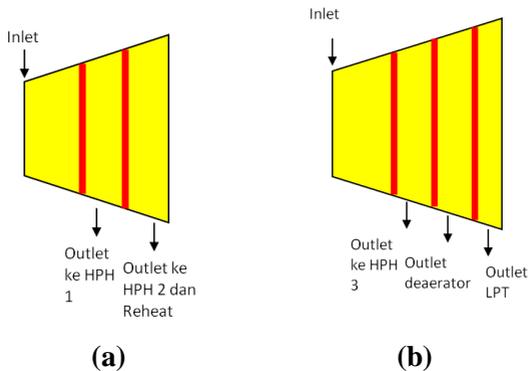
Pada PLTU Paiton unit 9, terdapat 3 buah HPH yang digunakan untuk sistem *regenerative steam*. HPH tersebut mendapatkan sumber panas dari hasil ekstraksi high pressure turbine, dan hasil ekstraksi intermediate turbine seperti pada gambar 3.1. Dari gambar 3.1 dapat diketahui bahwa pada high pressure turbine terdapat tiga ekstraksi, sedangkan pada intermediate pressure turbine terdapat dua ekstraksi . Pada penggambaran pada gambit, dilakukan beberapa computational domain.



Gambar 3.1 Rancangan PLTU Paiton unit 9

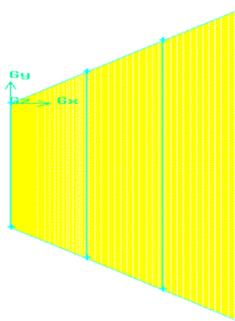
### 3.1.1 Tahap Pre-Processing Menggunakan Software Gambit

1. Membuat Geometri *High pressure turbine* dan *Intermediate pressure turbine* dengan geometri 2D, yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 (a) dan (b). pada pemodelan turbin yang ada ukuran inlet dan outlet turbin masing-masing sebesar 1 m, dan sudut kemiringan sebesar  $37^\circ$ .



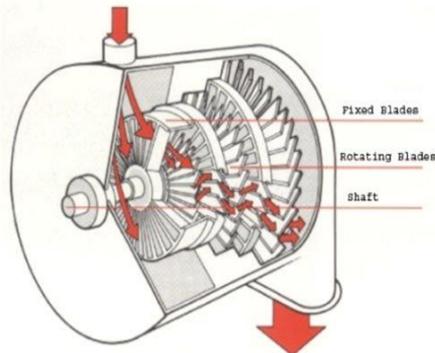
**Gambar 3.2** Model (a) *High Pressure Turbine*, (b) *Intermediate Pressure Turbin* pada Gambit

2. Membuat meshing volume dengan bentuk *rectangular grid*, seperti pada Gambar 3.3. Meshing dengan bentuk *rectangular grid* dipilih karena model memiliki bentuk yang menyerupai trapesium sehingga nilai pengamatan yang didapatkan sesuai.



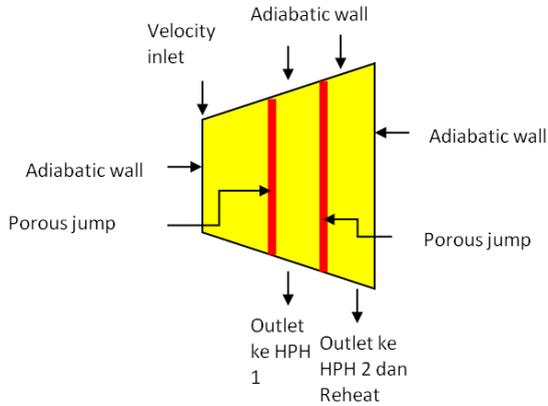
**Gambar 3.3** Meshing pada Model diSoftware Gambit.

3. Mendefinisikan kondisi batas atau parameter-parameter yang terjadi pada aliran. Pada batasan yang digunakan untuk inlet yaitu *velocity inlet*. Dipilih *velocity inlet* karena pada aliran yang ada memiliki *Mach number* kurang dari 0.3, sehingga terjadi aliran *incompressible*. Pada dinding-dinding turbin memiliki batasan *adiabatic wall*, karena pada model turbin dianggap tidak terjadi perpindahan panas antara sistem dengan lingkungan. Pada outlet menggunakan *boundary* sebagai *outflow*, karena pada outlet yang diukur berupa kecepatan dan tekanan. Pada turbin asli terdapat sudu-sudu turbin seperti pada gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Model Turbin Asli

Sementara itu pada pemodelan turbin yang dilakukan sudu-sudu pada turbin disederhanakan menjadi *porous media*. *Porous media* dipilih karena digunakan sebagai media penurunan tekanan dan penyebar aliran, sehingga keluaran menjadi tertentu pada outlet.



**Gambar 3.5** Kondisi Batas Permodelan yang digunakan

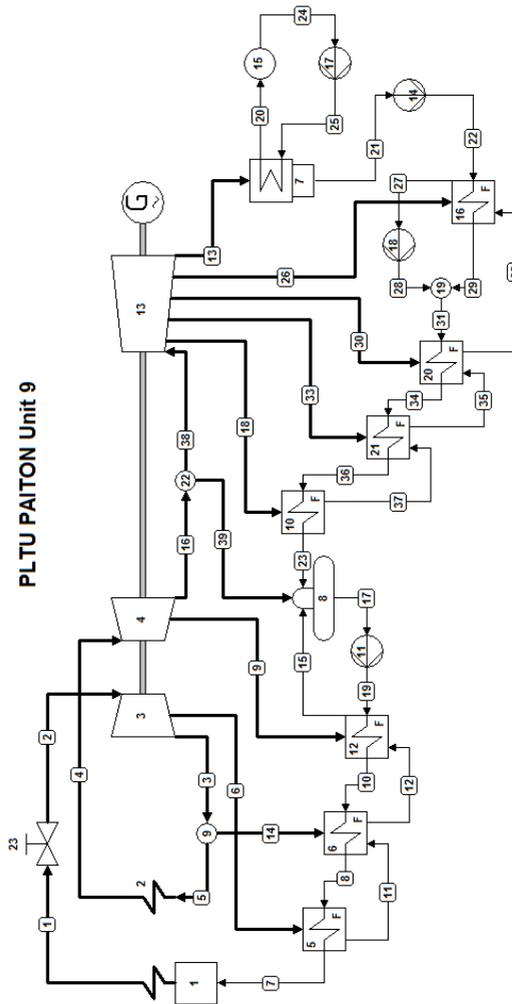
**Tabel 3.1** *Boundary Condition* yang digunakan pada simulasi

	<i>Boundary Condition</i>
Inlet	<i>Velocity inlet</i>
Oulet	<i>Outflow</i>
Dinding-dinding turbin	<i>Adiabatic wall</i>
Sudu-sudu turbin	<i>Porous Jump</i>

**Tabel 3.2** Parameter input yang digunakan pada simulasi

Parameter		Inputan
Material	Steam	$C_p = 2788.19 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$
		$\mu = 1.52 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$
Boundary Conditions	Inlet	Mass flow rate 571.29 kg/s
	Porous Jump 1	62 bar
	Porous jump 2	22 bar
	Porous jump 3	16 bar





**Gambar 3.7** Pemodelan PLTU Paiton unit 9 pada Tempcycle

Seperti pada gambar 3.7 adalah hasil membangun pembangkit pada Cycletempo dengan kondisi awal/eksisting. Proses membangun pembangkit pada Cycletempo diawali dengan memasukkan data yang kita peroleh dari desain asli pembangkit. Secara berurutan, data parameter yang kita masukkan diawali dari komponen boiler, turbin, HPH (pemanas air-pengisian tertutup), deaerator, kondenser, dan *economizer*.

Parameter-parameter di table bawah adalah parameter yang apabila divariasikan akan sangat mempengaruhi kondisi PLTU bila saat Cycletempo tersebut dijalankan (*running*). Pada desain yang telah ada akan diiputkan hasil mass flow rate yang telah didapatkan dari *Software* Fluent

**Tabel 3.3** Parameter input di dalam mendesain PLTU Paiton unit 9 di Cycletempo

No	Komponen	Parameter	Data input	Satuan
1	Boiler	Bahanbakar Fluidaker ja input	107.1 571.269	kg/s kg/s
2	Turbin	Efisiensi ekspansi isentroik -Turbin HP -Turbin IP -Turbin LP Jumlah ekstraksi -Turbin HP -Turbin IP -Turbin LP	0.67880 0.95 0.9  2 2 5	
3	Kondenser	Temperatur coling water masuk	29.1	°C

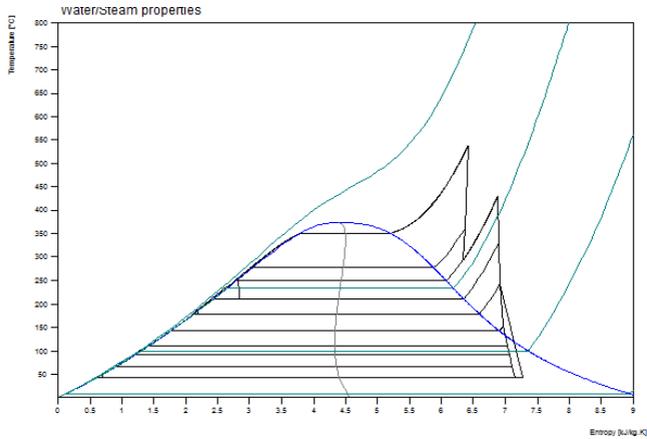
		Temperatur coling water keluar Pendinginan yang dikehendaki Tekanan outlet yang dikehendaki keluar dari kondenser	38.2  0.087	°C  bar
4	<i>Closed feedwater heater</i>	Saluran pendekatan temperature air yang keluar -HPH1 Tekanan steam masuk Tekanan steam keluar Temperatur air keluar -HPH2 Tekanan steam masuk Tekanan steam keluar Temperatur air keluar -HPH3 Tekanan steam masuk Tekanan steam keluar Temperatur air keluar	   61.6  59.73  253.4  39.5  38.4  214  19.5  18.49  185.2	   bar  bar  °C  bar  bar  °C  bar  bar  °C

		-LPH5 Tekanan steam masuk	3.86	bar
		Tekanan steam keluar	3.66	bar
		Temperatur air keluar	112.7	°C
		-LPH6 Tekanan steam masuk	1.44	bar
		Tekanan steam keluar	1.43	bar
		Temperatur air keluar	92.2	°C
		-LPH7 Tekanan steam masuk	0.72	bar
		Tekanan steam keluar	0.69	bar
		Temperatur air keluar	67.2	°C
		-LPH8 Tekanan steam masuk	0.256	bar
		Tekanan steam keluar	0.25	bar
		Temperatur air keluar	49.6	°C
5	Deaerator	Temperatur saat operasi	176.2	°C

### 3.3 Analisa Termodinamika Performa Pembangkit

Pada gambar grafik T-S diagram di atas grafik fase tiap komponen tidak terjadi secara ideal karena peninjauan berdasarkan software Cycletempo. Komponen-komponen tersebut

disimulasikan berkerja di dalam kondisi riil sehingga terdapat kehilangan atau *losses*. Selain itu, proses kompresi dan ekspansi tidak dapat secara ideal isentropic dan juga proses penambahan dan pelepasan panas tidak secara ideal isobar. Siklus pembangkit tenaga uap menggunakan fluida kerja dua fase berupa cairan dan uap.



**Gambar 3.8** Diagram T-S model PLTU Paiton unit 9

### 3.4 Analisa Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Performa dari sebuah pembangkit selain dapat dicari melalui analisa termodinamika, juga dapat melalui metode yang lain. Sebuah metode untuk menghitung performa dari pembangkit tenaga uap digunakan dalam analisa ini dengan rincian sebagai berikut:

$$HeatRate = \frac{\dot{Q}_{boiler} + \dot{Q}_{reheater}}{\dot{W}_{net}} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\eta = \frac{\dot{W}_t - \dot{W}_p}{\dot{Q}_{boiler} + \dot{Q}_{reheater}} \dots\dots\dots(3.2)$$

### 3.5 Variasi pada *High Pressure Heater*

Pada tugas akhir ini akan diteleti mengenai dampak adanya *high pressure heater*. Hal ini dilakukan dengan mematikan sebuah *high pressure heater* dari tiga buah *high pressure heater*.

Pembangkit Paiton Unit 9 memiliki tiga buah *high pressure heater*. Kondisi ideal pada PLTU Paiton Unit 9 adalah tiga buah *high pressure heater* dalam kondisi aktif. Kemudian akan disimulasikan pada TempoCycle mengenai adanya pengaruh *off service high pressure heater*. Berikut adalah variasi dari tugas akhir yang dilaksanakan.

**Tabel 3.4** Variasi *off service* dan dampaknya pada performa pembangkit

<b>Pembangkit</b>	<i>Mass flow rate</i>	<i>Power Output</i>	<i>Heat Rate</i>	<b>Efisiensi PLTU</b>
	kg/s	MW	KJ/kWhr	%
<b>Eksisting</b> HPH1, HPH 2, HPH 3 dalam kondisi <i>On service</i>				
<b>Variasi 1</b> HPH1 <i>Off service</i> HPH 2, HPH 3 <i>On service</i>				
<b>Variasi 2</b> HPH 3 <i>Off service</i> HPH 2, HPH 1 <i>On service</i>				

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

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Flow Visualisasi**

Studi numeric terhadap mass flow yang terjadi pada *high pressure turbin* dan *intermediate pressure turbine* pada PLTU Paiton unit 9. Pada simulasi tersebut dilakukan dengan variasi *off service* pada ekstraksi turbin. Simulasi numerik dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD), dengan menggunakan *software* Gambit dan Fluent. Pada *software* tersebut dilakukan pembuatan model 2D terhadap *high pressure turbine* dan *intermediate pressure turbine*. Pada pemodelan jumlah ekstraksi yang ada disesuaikan pada jumlah ekstraksi yang ada pada PLTU Paiton unit 9. Lalu dilanjutkan dengan diskritisasi pada model. Dari simulasi didapatkan nilai yang berupa *velocity* pada daerah ekstraksi yang akan diubah menjadi *mass flow rate*.

##### **4.1.1 Hasil Flow Visualisasi**

Pada tabel yang terlampirkan diketahui jika pada sebuah HPH *off service* maka terjadi perubahan *mass flow rate* dan tekanan pada steam yang akan diekstraksikan oleh ekstraksi selanjutnya. Dari tabel hasil *Flow Visualisasi*, pada kondisi eksisting nilai  $\dot{m}$  yang masuk HPT sebesar 577.54 kg/s lalu dialirkan sehingga  $\dot{m}$  menuju HPH 1 sebesar 38.20 kg/s, menuju HPH 2 sebesar 44.24 kg/s. Dan yang  $\dot{m}$  yang masuk menuju IPT sebesar 495.19 kg/s. Sementara itu aliran yang terjadi pada HPH 3 memiliki  $\dot{m}$  sebesar 24.26 kg/s lalu  $\dot{m}$  yang menuju *deaerator* sebesar 27.23 kg/s dan aliran yang masuk menuju LPT sebesar 443.7 kg/s.

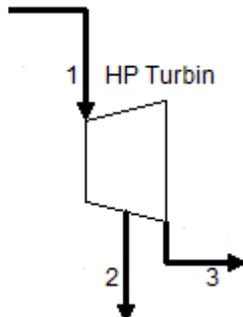
Sementara itu jika pada kondisi variasi 1, yaitu HPH 1 *off service* dengan jumlah massa yang masuk sama terjadi peningkatan pada  $\dot{m}$  yang menuju HPH 2 yaitu menjadi sebesar 46.78 kg/s. Terjadi pula peningkatan pada  $\dot{m}$  yang menuju IPT sebesar 530.75 kg/s. Pada  $\dot{m}$  yang

menuju HPH 3 menjadi sebesar 26 kg/s dan yang menuju deaerator sebesar 29.19 kg/s dan  $\dot{m}$  yang menuju LPT sebesar 475.56 kg/s. Pada variasi ke 2 atau HPH 3 mengalami *off service*, tidak terjadi perubahan kondisi  $\dot{m}$  yang menuju ke HPH 1 dan HPH 2. Namun terjadi perubahan terhadap  $\dot{m}$  yang menuju *deaerator* menjadi sebesar 27.24 kg/s dan  $\dot{m}$  yang menuju LPT menjadi sebesar 467.95 kg/s.

Dari data diatas jika ditinjau dengan hukum kekekalan massa yaitu  $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$ , maka pada sistem yang terjadi yaitu pada ekstraksi turbin HP  $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{HPH\ 1} + \dot{m}_{HPH\ 2} + \dot{m}_{out}$ , sedangkan pada turbin IP  $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{HPH\ 3} + \dot{m}_{HPH\ 3} + \dot{m}_{deaerator}$ . Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa massa yang masuk dan massa yang keluar  $\dot{m}$  dari baik turbin tekanan tinggi maupun yang bertekanan sedang harus sebanding dengan jumlah massa yang keluar. Pada perubahan massa yang keluar menyebabkan adanya perbedaan kalor yang digunakan untuk memanaskan *boiler feedwater*.

## 4.2 Analisa Perhitungan Daya

### Daya bangkitan turbin *High Pressure*



**Gambar 4.1** Profil aliran massa pada turbin *High Pressure*

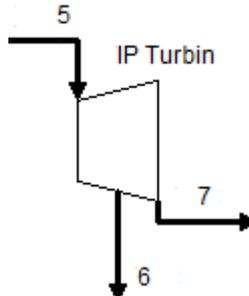
Gambar 4.4 menunjukkan profil aliran massa yang masuk melalui *inlet*, *bleed*, dan *outlet* pada turbin HP. Perhitungan daya didapatkan melalui perhitungan termodinamika sebagai berikut:

$$0 = \dot{Q}_{CV} - \dot{W}_t + \dot{m} \left[ h_1 - h_2 + \frac{V_1^1 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

daya turbin HP =  $\dot{m}_1(h_1 - h_2) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(h_2 - h_3)$ .

Berdasarkan data *heat balance* PLTU unit 9 didapatkan daya turbin HP yang dihasilkan dari hasil simulasi *cycle tempo* didapatkan daya turbin HP sebesar 200285 kW.

**Daya bangkitan turbin *Intermediate Pressure***



**Gambar 4.2** Profil aliran massa pada turbin *Intermediate Pressure*

Gambar 4.2 menunjukkan profil aliran massa yang masuk melalui *inlet*, *bleed*, dan *outlet* pada turbin IP. Perhitungan daya didapatkan melalui perhitungan termodinamika sebagai berikut:

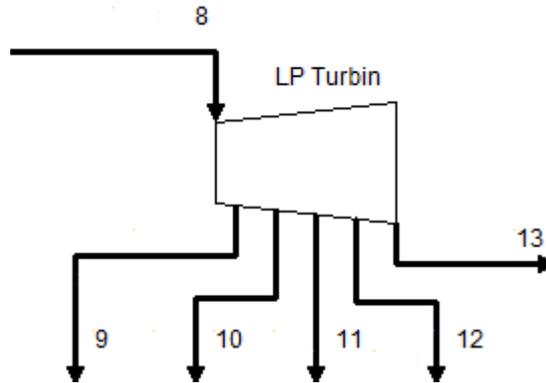
$$0 = \dot{Q}_{CV} - \dot{W}_t + \dot{m} \left[ h_1 - h_2 + \frac{V_1^1 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

sehingga

$$\text{daya turbin IP} = \dot{m}_5(h_5 - h_6) + (\dot{m}_5 - \dot{m}_6)(h_6 - h_7)$$

Berdasarkan data *heat balance* PLTU Paiton 9 didapatkan daya turbin IP yang dihasilkan dari hasil simulasi *cycle tempo* didapatkan daya turbin IP sebesar 172589 kW.

### Daya bangkitan turbin Low Pressure



**Gambar 4.3** Profil aliran massa pada turbin Low Pressure

Gambar 4.3 menunjukkan profil aliran massa yang masuk melalui *inlet*, *bleed*, dan *outlet* pada turbin LP. Perhitungan daya didapatkan melalui perhitungan termodinamika sebagai berikut:

$$0 = \cancel{\dot{Q}_{CV}} - \dot{W}_t + \dot{m} \left[ h_1 - h_2 + \frac{V_1^1 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

sehingga

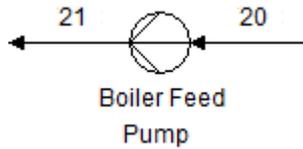
daya turbin IP

$$\begin{aligned} &= \dot{m}_8(h_8 - h_9) + (\dot{m}_8 - \dot{m}_9)(h_9 - h_{10}) \\ &+ (\dot{m}_8 - \dot{m}_9 - \dot{m}_{10})(h_{10} - h_{11}) + (\dot{m}_8 \\ &- \dot{m}_9 - \dot{m}_{10} - \dot{m}_{11})(h_{11} - h_{12}) + (\dot{m}_8 \\ &- \dot{m}_9 - \dot{m}_{10} - \dot{m}_{11} - \dot{m}_{12})(h_{12} - h_{13}) \end{aligned}$$

Berdasarkan data *heat balance* PLTU Paiotn unit 9 didapatkan daya turbin LP yang dihasilkan dari hasil simulasi *cycle tempo* didapatkan daya turbin LP sebesar 305023 kW.

]

## Daya Boiler Feed Pump



**Gambar 4.4** Profil aliran massa pada *Boiler Feed Pump*

Gambar 4.4 menunjukkan profil aliran massa yang masuk melalui *inlet* dan *outlet* pada *Boiler Feed Pump*. Perhitungan daya didapatkan melalui perhitungan termodinamika sebagai berikut :

$$0 = \cancel{\dot{Q}_{CV}} - \dot{W}_p + \dot{m} \left[ h_1 - h_2 + \frac{V_1^1 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

sehingga

$$\text{daya Boiler Feed Pump} = \dot{m} (h_{21} - h_{20})$$

Berdasarkan data *heat balance* PLTU Painton unit 9 didapatkan daya yang dibutuhkan *boiler feed pump* dari hasil simulasi *cycle tempo* didapatkan daya yang dibutuhkan *condensate pump* sebesar 17435 kW

Efisiensi PLTU berdasarkan Cycle Tempo

$$\eta = \frac{\dot{W}_t - \dot{W}_p}{\dot{Q}_{boiler} + \dot{Q}_{reheater}}$$

$$\text{Efisiensi PLTU} = \frac{677897 - 19500 \text{ kW}}{1261920 + 24368 \text{ kW}}$$

$$\text{Efisiensi PLTU} = 43.70\%$$

Heat Rate PLTU

$$\text{Heat Rate} = \frac{\dot{Q}_{boiler} + \dot{Q}_{reheater}}{\text{Power Net}}$$

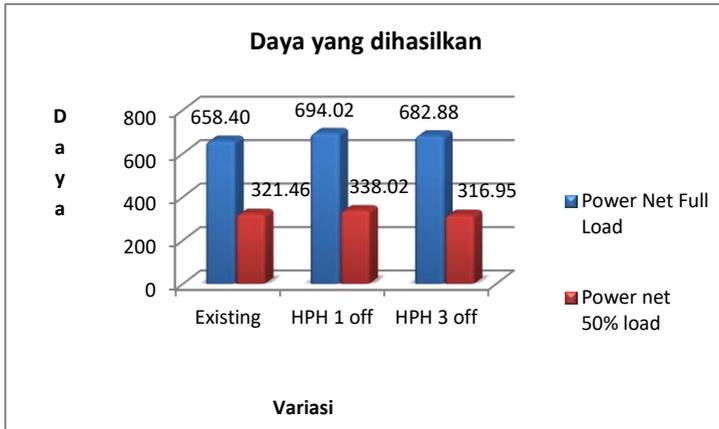
$$\text{Heat Rate} = \frac{1261920 + 243688}{677897 - 19500}$$

$$\text{Heat Rate} = 2.28678 \text{ kJ/kW.s (3600s/hr)}$$

$$\text{Heat Rate} = 8232.407 \text{ kJ/kWh}$$

### 4.3 Analisis Performa Pembangkit

#### 4.3.1 Pengaruh *Off service* HPH terhadap Daya netto



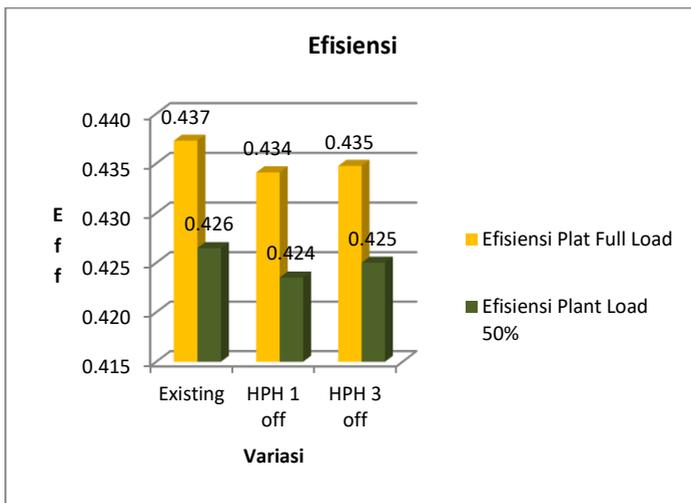
**Gambar 4.5** Pengaruh *off service* terhadap *power output*

Dari gambar 4.5 di atas, didapatkan bahwa pada kondisi eksisting didapatkan daya netto sebesar 658 MW. Pada kondisi HPH 1 off didapatkan daya netto sebesar 694 MW. Dan pada kondisi HPH 3 off didapatkan daya netto sebesar 682 MW. Sementara dengan *load* sebesar 50%, didapatkan daya netto pada kondisi eksisting sebesar 321 MW. Lalu pada kondisi HPH 1 *off service* didapatkan daya sebesar 338 MW. Dan pada kondisi HPH 3 *off service* didapatkan daya sebesar 316 MW.

Pada kondisi HPH 1 mengalami *off service* terjadi peningkatan daya yang besar. Peningkatan daya yang besar tersebut terjadi karena adanya *off service* sebuah ekstraksi. Pada *off service* ekstraksi jumlah massa yang harusnya dialirkan menuju ekstraksi. Digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin yang ada. Sehingga penambahan massa tersebut menyebabkan terjadinya pertambahan daya yang dihasilkan. Namun pada kondisi nyata saat *off service* sebuah HPH terjadi penurunan daya yang dihasilkan cukup besar.

Penambahan daya yang cukup besar juga terjadi pada saat HPH 3 *off service*. Namun tidak sebanyak jika HPH 1 *off service* hal tersebut terjadi nilai h pada saat HPH 1 *off service* mengalami perbedaanyang cukup besar. Pada saat HPH 3 *off service* tidak mengalami perubahan nilai h yang cukup besar. Pada saat h masuk IPT sebesar 3357.5 kJ/kg, namun pada saat ekstraksi HPH 3 sebesar 3351 kJ/kg. Sementara pada HPH yang memiliki penurunan h sebesar 274 kJ/kg. Sehingga kenaikan daya pada saat HPH 1 *off service* lebih tinggi dari pada saat HPH 3 *off service*.

#### 4.3.2 Pengaruh *Off service* HPH terhadap Efisiensi



**Gambar 4.6** Pengaruh *off service* terhadap efisiensi

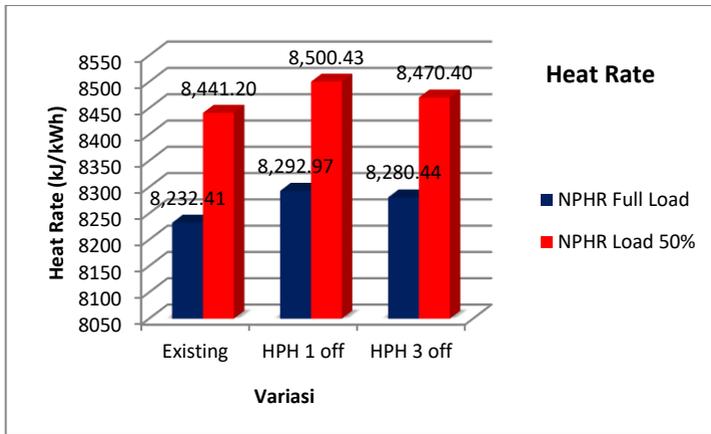
Dari gambar 4.6 dapat diketahui bahwa tren efisiensi yang terjadi adalah menurun. Pada saat kondisi eksisting PLTU memiliki efisiensi sebesar 43.7%. Lalu pada saat kondisi HPH 1 mengalami *off service* efisiensi yang terjadi sebesar 43.4%. Semetara pada pada saat HPH 3 *off service* memiliki efisiensi

sebesar 43.5%. Pada kondisi *load* sebesar 50% juga memiliki tren efisiensi yang menurun. Pada kondisi eksisting memiliki efisiensi sebesar 42.6%. Pada saat HPH 1 mengalami *off service* efisiensi yang ada sebesar 42.4%. Jika HPH 3 mengalami *off service* efisiensi yang didapat sebesar 42.5%.

Pada dasarnya efisiensi adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan dibandingkan dengan nilai kalor yang dibutuhkan. Sehingga efisiensi dirumuskan  $\frac{\dot{W}_t - \dot{W}_p}{\dot{Q}_{boiler} + \dot{Q}_{reheater}}$ . Dari perumusan tersebut didapatkan bahwa yang berpengaruh terhadap efisiensi adalah daya yang dihasilkan dan kalor yang dibutuhkan. Pada saat nilai kalor yang dibutuhkan naik, maka efisiensi sebuah pembangkit akan turun. Efisiensi akan turun pada saat sebuah HPH mengalami *off service*. Hal tersebut terjadi karena penurunan temperature *boiler feedwater*. Sehingga terjadi penambahan  $Q_{in}$  yang dibutuhkan oleh boiler untuk menaikkan *boiler feedwater* menjadi kondisi yang ada.

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai kalor yang dibutuhkan akan meningkat ada saat salah satu HPH mengalami *off service*. Hal tersebut terjadi karena temperature *boiler feedwater* akan turun akibat salah satu HPH *off service*. Pada saat kondisi eksisting *boiler feedwater* memiliki temperature 276°C. Namu pada saat HPH 1 *off service* temperature *boiler feedwater* menjadi 248.69 °C. Sementara Jika pada HPH 3 mengalami *off service boiler feedwater* menjadi 260 °C. Sehingga pada perhitunga kalor boiler  $\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{water}(h_2 - h_1)$ . Sehingga terjadi kenaikan kalor, namun efisiensi tetap turun karena kenaikan kalor tidak sebanding dengan kenaikan daya yang terjadi.

#### 4.3.3 Pengaruh *Off service* HPH terhadap *Heat Rate*



**Gambar 4.7** Pengaruh *off service* terhadap *heat rate*

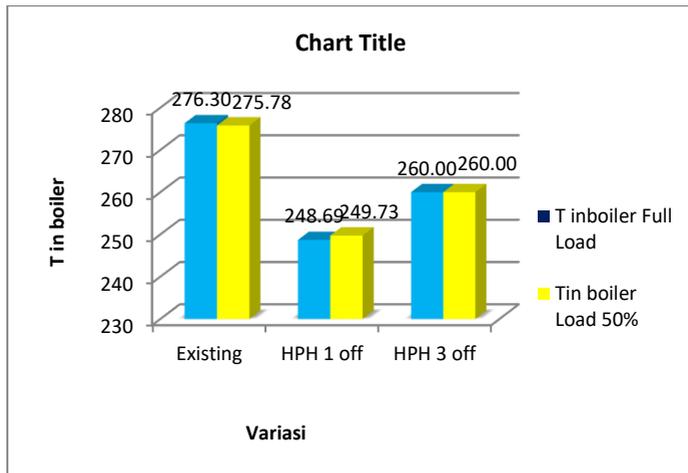
Pada gambar 4.7 diatas didapatkan bahwa ketika salah satu HPH mengalami *off service* maka tren *heat rate* yang didapatkan mengalami kenaikan. Pada saat kondisi eksisting didapatkan *heat rate* sebesar 8,232.41 kJ/kWh. Sementara itu pada saat HPH 1 mengalami *off service* nilai *heat rate* menjadi 8,292.97 kJ/kWh. Sedangkan pada saat HPH 3 mengalami *off service* maka nilai *heat rate* menjadi 8,280.44 kJ/kWh. Pada saat PLTU mengalami beban sebesar 50%, tren *heat rate* yaitu naik. Didapatkan nilai *heat rate* pada kondisi eksisting sebesar 8441.20 kJ/kWh. Pada saat HPH 1 mengalami *off service* didapatkan *heat rate* sebesar 8,500.43 kJ/kWh. Sementara pada saat HPH 3 mengalami *off service* nilai *heat rate* sebesar 8,470.40 kJ/kWh. Hal tersebut menunjukkan bahwa *heat rate* mengalami kenaikan akibat salah satu HPH *off service*.

*Heat rate* dipengaruhi oleh jumlah kalor yang dibutuhkan, *heat rate* dirumuskan  $Heat Rate = \frac{\dot{Q}_{boiler} + \dot{Q}_{reheater}}{Power Net}$ , dari rumus diatas disimpulkan bahwa yang mempengaruhi *heat rate* adalah yang dibutuhkan dan daya netto yang dihasilkan. Kenaikan nilai *heat rate* akibat HPH *off service* disebabkan adanya kenaikan

jumlah kalor yang dibutuhkan oleh boiler untuk mengubah *boiler feedwater* menjadi kondisi uap yang diinginkan.

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai kalor yang dibutuhkan akan meningkat ada saat salah satu HPH mengalami *off service*. Hal tersebut terjadi karena temperatur *boiler feedwater* akan turun akibat salah satu HPH *off service*. Pada saat kondisi eksisting *boiler feedwater* memiliki temperature 276°C. Namun pada saat HPH 1 *off service* temperature *boiler feedwater* menjadi 248.69 °C. Sementara Jika pada HPH 3 mengalami *off service boiler feedwater* menjadi 260 °C. Sehingga pada perhitunga kalor boiler  $\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{water}(h_2 - h_1)$ . Sehingga terjadi kenaikan kalor, namu efisiensi tetap turun karena kenaikan kalor tidak sebanding dengan kenaikan daya yang terjadi.

#### 4.3.4 Pengaruh *Off service* HPH terhadap Temperatur *Boiler Feedwater*



**Gambar 4.8** Pengaruh *off service* terhadap temperatur

Pada gambar 4.8 diatas didapatkan bahwa ketika salah satu HPH mengalami *off service* maka temperature *boiler feedwater* mengalami penurunan. Pada saat kondisi eksisting temperatur sebesar 276.30 °C. Sementara itu pada saat HPH 1 mengalami *off service* temperature berubah menjadi 248.69 °C. Sedangkan pada saat HPH 3 mengalami *off service* maka temperature *boiler feedwater* menjadi 260 °C. Pada saat PLTU mengalami beban sebesar 50%, tren temperature boiler feedwater juga mengalami penurunan. Didapatkan nilai temperatur pada kondisi eksisting sebesar 275.78 °C. Pada saat HPH 1 mengalami *off service* didapatkan temperature sebesar 249.43 °C. Sementara pada saat HPH 3 mengalami *off service* temperature *boiler feedwater* sebesar 260 °C. Hal tersebut menunjukkan bahwa temperature *boiler feedwater* mengalami penurunan akibat salah satu HPH *off service*.

Temperatur *boiler feedwater* dipengaruhi oleh jumlah kalor yang diberikan oleh uap hasil ekstraksi melalui HPH. Sehingga untuk untuk nolai kalor ekstraksi didapatkan  $\dot{Q}_{eks} = \dot{m}_{steamHPH}(h_m - h_k)$ . Sehingga dari rumus tersebut dapat diketahui bahwa jika salah satu HPH mengalami *off service* maka kalor yang digunakan untuk memanaskan *boiler feedwater* berkurang sehingga menyebabkan temperatur *boiler feedwater* mengalami penurunan.

Pada saat HPH 1 mengalami *off service* terjadi penurunan temperatur *boiler feedwater* yang lebih besar dari temperatur saat HPH 3 mengalami *off service*. Hal tersebut dikarenakan jumlah massa yang digunakan untuk memanaskan pada HPH leboh besar dai pada HPH 3 sehingga jumlah Q yang hilang lebih besar. Meskipun terjadi kenaikan *mass flow* pada HPH selanjutnya namun nilainya tidak terlalu signifikan.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Dari simulasi perubahan mass flow rate terhadap performa PLTU Paiton unit 9 didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan Simulasi yang dilakukan pada *software* Gambit – Fluent didapatkan mass flow rate pada PLTU Paiton 9 dengan kondisi eksisting yaitu, pada masuk high pressure turbine dengan  $\dot{m}$  577.54 kg/s, lalu pada ekstraksi HPH 1 dengan  $\dot{m}$  sebesar 38.20 kg/s, sedangkan yang menuju HPH 2 sebesar 44.24 kg/s, lalu yang menuju reheater sebesar 495.19 kg/s.  $\dot{m}$  yang menuju HPH 3 sebesar 24.26 kg/s, sedangkan yang menuju *deaerator* sebesar 27.23 kg/s, sehingga yang menuju LPT sebesar 443.7 kg/s.
2. Berdasarkan Simulasi yang dilakukan pada *software* Gambit – Fluent didapatkan mass flow rate pada PLTU Paiton 9 dengan kondisi HPH 1 *off service* yaitu, pada masuk high pressure turbine dengan  $\dot{m}$  577.54 kg/s, lalu pada ekstraksi HPH 1 dengan  $\dot{m}$  sebesar 0 kg/s, sedangkan yang menuju HPH 2 sebesar 46.78 kg/s, lalu yang menuju reheater sebesar 530.75 kg/s.  $\dot{m}$  yang menuju HPH 3 sebesar 26 kg/s, sedangkan yang menuju *deaerator* sebesar 29.19 kg/s, sehingga yang menuju LPT sebesar 475.56 kg/s.
3. Berdasarkan Simulasi yang dilakukan pada *software* Gambit – Fluent didapatkan mass flow rate pada PLTU Paiton 9 dengan kondisi HPH 3 *off service* yaitu, pada masuk high pressure turbine dengan  $\dot{m}$  577.54 kg/s, lalu

pada ekstraksi HPH 1 dengan  $m$  sebesar 38.20 kg/s, sedangkan yang menuju HPH 2 sebesar 44.24 kg/s, lalu yang menuju reheater sebesar 495.19 kg/s.  $m$  yang menuju HPH 3 sebesar 0 kg/s, sedangkan yang menuju *deaerator* sebesar 27.24 kg/s, sehingga yang menuju LPT sebesar 467.95 kg/s.

4. Pada kondisi eksisting PLTU Paiton Unit 9 memiliki daya netto sebesar 658.397 MW. Efisiensi PLTU sebesar 43.7%, nilai *heat rate* sebesar 8,232.407 kJ/kWh dan temperatur *boiler feedwater* sebesar 276.30°C.
5. Pada kondisi HPH 1 *off service* PLTU Paiton Unit 9 memiliki daya netto sebesar 694.021 MW. Efisiensi PLTU sebesar 43.4%, nilai *heat rate* sebesar 8,292.966 kJ/kWh dan temperatur *boiler feedwater* sebesar 248.69°C.
6. Pada kondisi HPH 3 *off service* PLTU Paiton Unit 9 memiliki daya netto sebesar 682.818 MW. Efisiensi PLTU sebesar 43.5%, nilai *heat rate* sebesar 8,280.441 kJ/kWh dan temperatur *boiler feedwater* sebesar 260°C.

## 5.2 Saran

Beberapa hal yang ingin penulis sampaikan guna kesempurnaan penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan pengubahan ketelitian untuk ukuran inlet dan outlet yang ada pada turbin HP maupun IP.
2. Perlu dilakukan ketelitian ada penggunaan software Cycletempo
3. Perlu dilakukan peningkatan ketelitian untuk hasil yang ada pada *Porous media*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Elwakil, M.Mohamed. **Power Plant Technology**, The McGraw – Hill book company, Singapore, 1984.
- [2] Dendi Junaidi, I Made Suardjaja, Tri Agung Rohmat. **Kesetimbangan Massa dan Kalor Serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai Perubahan Beban dengan Menvariasikan Jumlah Feedwater Heater**. Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta ; 2010.
- [3] Kurnia, Akbar, Prabowo. **Simulasi Gatecycle Pengaruh Off Service High Pressure Heater Terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap 200 MW PT. PJB Gresik**. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya ; 2015
- [4] Moran MJ, Shapiro HN. **Fundamentals of Engineering Thermodynamics**. John Wiley & Sons Inc.; 2006.
- [5] Srinivas T., Gupta A. V. S. S. K. S., Reddy B.V. **Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with 'n' Number of Feedwater Heaters**. International Journal of Thermodynamics, Vol. 10, No. 4, pp 177-185 ; 2007.

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



## LAMPIRAN

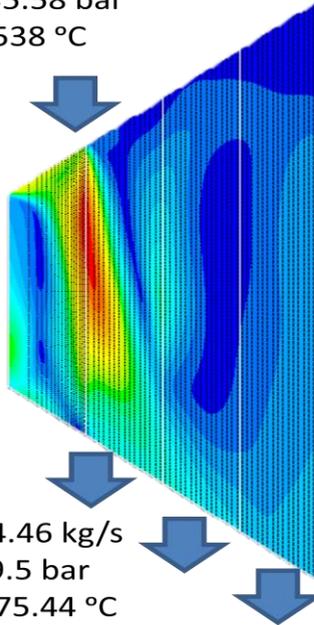
*Contour Velocity pada Fluent*

*Intermediate Pressure Turbine Eksisting*

$\dot{m}$  : 495.8 kg/s

P : 35.58 bar

T : 538 °C



$\dot{m}$  : 24.46 kg/s

P : 19.5 bar

T : 375.44 °C

$\dot{m}$  : 27.23kg/s

P : 9.65 bar

T : 359.44 °C

$\dot{m}$  : 443.57

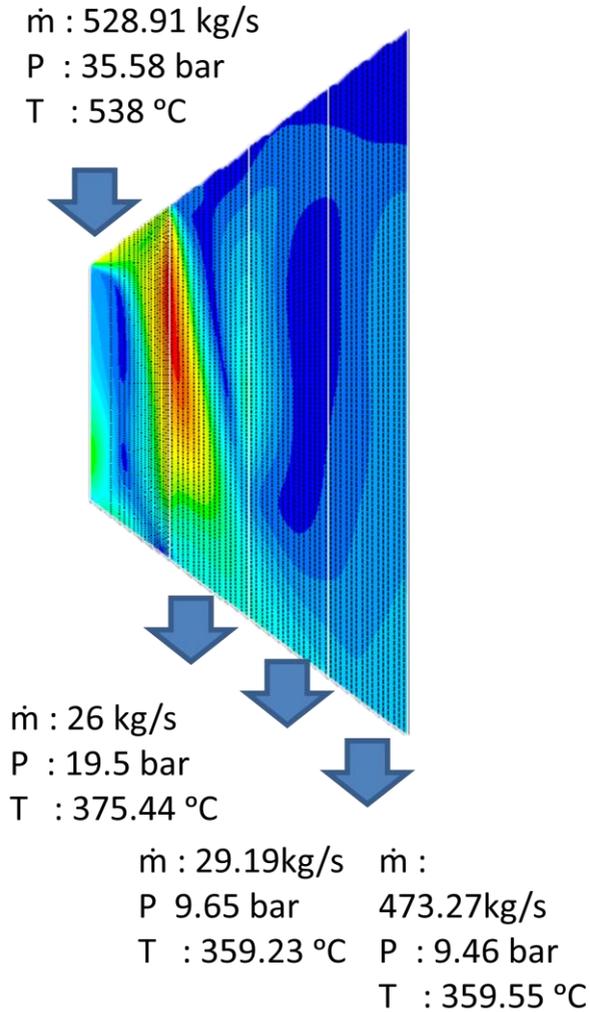
kg/s

P : 9.46 bar

T : 359.55 °C

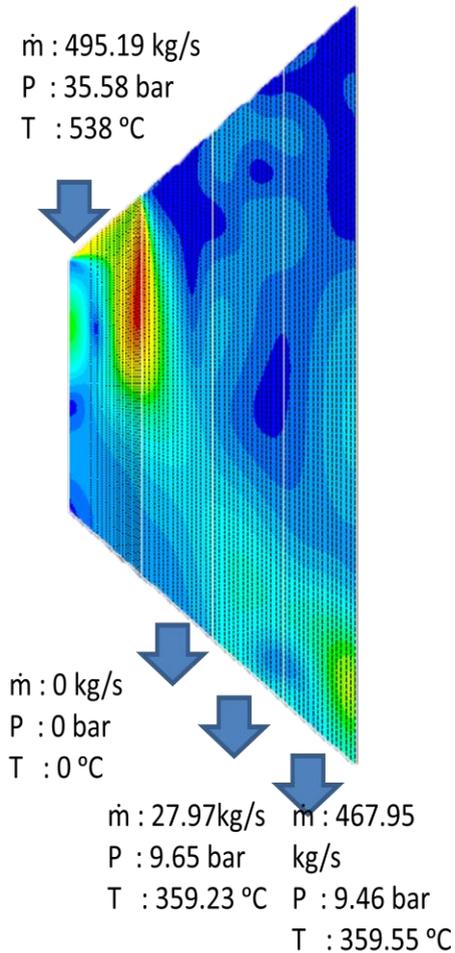
## LAMPIRAN

*Intermediate Pressure Turbin pada kondisi HPH 1 off service*



## LAMPIRAN

*Intermediate Pressure Turbin pada kondisi HPH 3 off service*



## LAMPIRAN

Tabel Hasil Simulasi Fluent

			Eksisting	HPH 1 off	Variasi 3
<b>High Pressure Turbine</b>	<b>Masuk</b>	p (bar)	167	167	167
		$\dot{m}$ (kg/s)	577.54	577.54	577.54
	<b>HPH1</b>	p (bar)	61.2	0	61.2
		$\dot{m}$ (kg/s)	38.2	0	38.2
	<b>HPH 2</b>	p (bar)	39.5	38	39.5
		$\dot{m}$ (kg/s)	44.24	46.78	44.24
	<b>Reheater</b>	p (bar)	39.5	38	39.5
		$\dot{m}$ (kg/s)	495.19	530.75	495.19
<b>Turbin IPT</b>	<b>Masuk IPT</b>	p (bar)	35.58	35.58	35.58
		$\dot{m}$ (kg/s)	495.19	530.75	495.19
	<b>HPH 3</b>	p (bar)	19.5	19.5	0
		$\dot{m}$ (kg/s)	24.26	26	0
	<b>Deaerator</b>	p (bar)	9.65	9.65	9
		$\dot{m}$ (kg/s)	27.23	29.19	27.24
	<b>Masuk LPT</b>	p (bar)	9.45	9.45	8
		$\dot{m}$ (kg/s)	443.7	475.56	467.95

## LAMPIRAN

Tabel Hasil Simulasi Cycle Tempo

			Eksisting	Variasi 1	Variasi 3
Boiler	Masuk	$\dot{m}$ (kg/s)	577.54	577.54	577.54
		p (bar)	167	167	167
		T (°C)	276	248.69	260.80
		h (kJ/kg)	1176.5	1080.01	1004.89
	Keluar ke turbin HP	$\dot{m}$ (kg/s)	577.54	577.54	577.54
		p (bar)	167	167	167
		T (°C)	538	538	538
		h (kJ/kg)	3398.62	3398.62	3398.62
Turbin HP	Masuk HPH 1	$\dot{m}$ (kg/s)	38.2	0	38.2
		p (bar)	61.2	0	61.2
		T (°C)	375.44	0	375.44
		h (kJ/kg)	3124.87	0	3124.87
	Masuk HPH 2	$\dot{m}$ (kg/s)	36.582	48.62	54.935
		p (bar)	33.44	38.8	
		T (°C)	312.67	330.18	297.54
		h (kJ/kg)	3016.25	3046.17	2990.36
	Masuk reheater	$\dot{m}$ (kg/s)	502.758	528.17	484.54

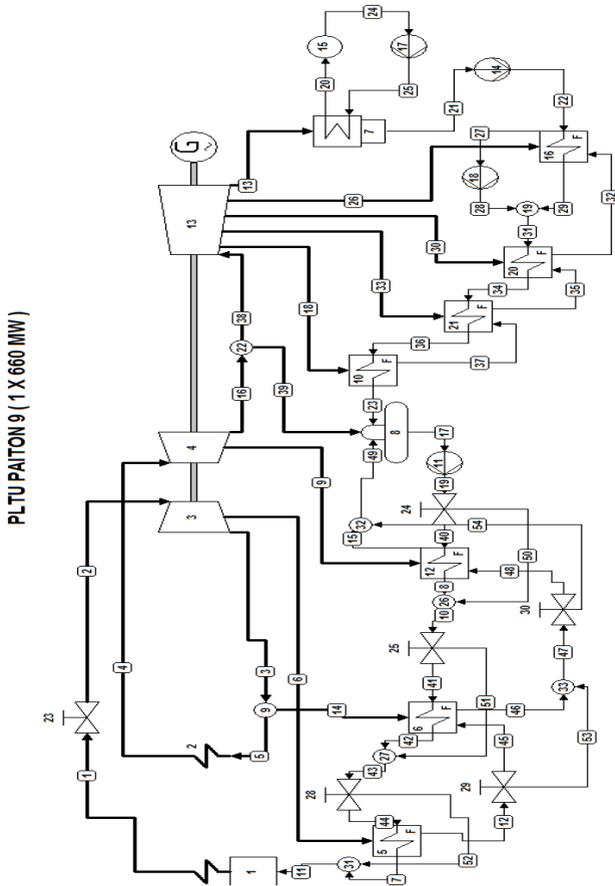
		p (bar)	33.44	38.8	
		T (°C)	502.758	330.18	484.549
		h (kJ/kg)	3016.25	3046.17	2990.36
<b>Turbin IP</b>	<b>Masuk HPH 3</b>	$\dot{m}$ (kg/s)	24.461	26	0
		p (bar)	19.12	19.12	0
		T (°C)	446.07	450.64	0
		h (kJ/kg)	3351.5	3351.5	0
	<b>Masuk deaerator</b>	$\dot{m}$ (kg/s)	27.23	29.19	27.068
		p (bar)	9.106	9.106	9.106
		T (°C)	359.33	359.23	359.33
		h (kJ/kg)	741.54	4179.46	3198.5
	<b>Masuk LPT</b>	$\dot{m}$ (kg/s)	451.266	473.727	456.573
		p (bar)	9.46	9.46	9.46
		T (°C)	451.418	359.55	359.55
		h (kJ/kg)	3179.46	3179.46	3179.46
<b>Turbin LP</b>	<b>Masuk LPH 5</b>	$\dot{m}$ (kg/s)	21.74	23.197	22.212
		p (bar)	3.88	3.88	3.88
		T (°C)	267.42	267.42	267.42
		h (kJ/kg)	3000.67	3000.67	3000.67
	<b>Masuk LPH 6</b>	$\dot{m}$ (kg/s)	14.838	15.846	15.819
		p (bar)	1.44	1.44	1.44
		T (°C)	176.07	176.07	176.07

	<b>Masuk LPH 7</b>	h (kJ/kg)	2825.68	2825.68	2825.68
		$\dot{m}$ (kg/s)	18.271	19.511	18.71
		p (bar)	0.69	0.69	0.69
		T (°C)	115.87	115.87	115.87
		h (kJ/kg)	2711.6	2711.6	2711.6
	<b>Masuk LPH 8</b>	$\dot{m}$ (kg/s)	14.113	15.094	14.52
		p (bar)	0.25	0.25	0.25
		T (°C)	64.96	64.96	64.96
		h (kJ/kg)	2573.98	2573.98	2573.98
	<b>Masuk Condenser</b>	$\dot{m}$ (kg/s)	374.608	400.079	385.942
		p (bar)	0.08	0.08	0.08
		T (°C)	41.51	41.51	41.51
		h (kJ/kg)	2435.24	2435.24	2435.24



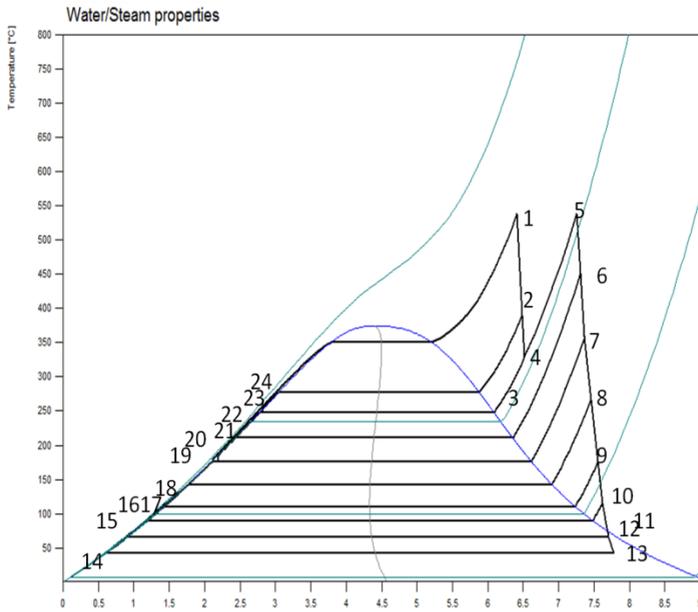
# LAMPIRAN

Skema kondisi PLTU Paiton 9 dengan bypass



# LAMPIRAN

## T-s Diagram PLTU pada kondisi Eksisting



## LAMPIRAN

Tabel Hasil Perhitungan Daya (MW)

	Power HPT	Power IPT	Power LPT	Daya Pompa total	Q boiler
Existing	200.285	172.589	305.023	19.5	1261.921
HPH 1 off	203.554	184.447	325.7	19.68	1339.087
HPH 3 off	231.696	160.067	310.798	19.68	1305.793
Variasi daya 50%					
Existing	98.969	77.614	154.543	9.67	631.704
HPH 1 Off	100.7	82.68	164.464	9.82	668.122
HPH 3 Off	98.969	74.487	153.255	9.765	631.704

Q reheater	Efisiensi	NPHR	Daya Netto	Temperatur masuk HPH	Temperatur keluar HPH
243.688	0.437	8232.407	658.397	176.37	276.3
259.661	0.434	8292.966	694.021	175.66	248.69
264.917	0.435	8280.441	682.881	181.91	260
122.039	0.426	8441.201	321.456	178.34	275.78
130.031	0.424	8500.434	338.024	178.34	249.73
114.035	0.425	8470.403	316.946	178.34	260

## BIODATA PENULIS



**Dea Aulia Putri S** dilahirkan di Surabaya, 26 September 1995 anak yang terlahir dari orangtua terbaik bernama Deddy Prijo Adi Sulaksono dan Wahyu Ningtyas. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDN Wates 3, Mojokerto pada tahun 2001-2007. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN 2 Kota Mojokerto pada tahun 2007-20109, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMAN 1 Puri Kabupaten Mojokert pada tahun 2010-20123 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 Departemen Pengembangan Sumber daya Mahasiswa BEM FTI-ITS pada tahun 2014 - 2015.

Motto hidup penulis adalah "Be yourself" 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 [auldea7@gmail.com](mailto:auldea7@gmail.com).

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