



TUGAS AKHIR (*Konversi Energi*) - TM141585

**TINJAUAN TERMODINAMIKA UNTUK OPTIMALISASI  
DALAM PERENCANAAN PLTU BATUBARA 50 MW**

ROSITA SUROSO  
NRP. 2109 100 060

Dosen Pembimbing  
Prof.Dr.Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT - TM141585**

**THERMODYNAMICS OBSERVATION FOR OPTIMIZING  
OF PLANNING COAL STEAM POWER PLANT 50 MW**

**ROSITA SUROSO  
NRP. 2109 100 060**

**Advisor Lecture  
Prof.Dr.Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015**

**TINJAUAN TERMODINAMIKA UNTUK OPTIMALISASI  
DALAM PERENCANAAN PLTU BATUBARA 50 MW**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh :  
**ROSITA SUROSO**  
NRP. 2109 100 060

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :	
1. <u>Prof. Dr.Ir.Djarmiko Ichsani M.Eng.</u> (NIP. 195310191979031002)	.....(Pembimbing)
2. <u>Dr.Ir. Budi Utomo K. W., MT</u> (NIP.195312191981031001)	.....(Penguji I)
3. <u>Dr. Ary Bachtiar K.P., ST, MT.</u> (NIP.196401041988031001)	..... (Penguji II)
4. <u>Dr.Bambang Sudarmanta, ST, MT</u> (NIP.198105292003122001)	..... (Penguji III)

**SURABAYA  
JULI 2015**

*halaman ini sengaja dikosongkan*



## TINJAUAN TERMODINAMIKA UNTUK OPTIMALISASI DALAM PERENCANAAN PLTU BATUBARA 50 MW

**Nama Mahasiswa : Rosita Suroso**  
**NRP : 2109 100 060**  
**Jurusan : Teknik Mesin FTI - ITS**  
**Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani M. Eng.**

### Abstrak

*Pada era modern seperti saat ini, listrik merupakan kebutuhan yang sudah termasuk dalam kebutuhan primer yang tidak bisa dinomor duakan lagi. Kebutuhan listrik telah menjangkau semua lapisan masyarakat dari masyarakat kelas bawah, kelas menengah hingga masyarakat kelas atas dengan masing-masing kebutuhan listrik yang berbeda. Energi listrik kini merupakan landasan bagi kehidupan modern dan ketersediaannya dalam jumlah dan mutu yang cukup menjadi syarat bagi suatu masyarakat yang ingin memiliki taraf kehidupan yang lebih baik dan perkembangan industri yang maju disegala bidang. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tidak cukup hanya dengan membangun pembangkit listrik saja namun diperlukan adanya peningkatan efisiensi pada pembangkit tersebut, salah satunya dengan penambahan feedwater heater.*

*Untuk memudahkan dalam melakukan study tentang feedwater heater dapat dilakukan dengan melakukan permodelan pembangkit dalam suatu software simulasi, yaitu GateCycle. Selain itu juga dapat dilakukan dengan perhitungan manual menggunakan analisa termodinamika untuk mencari fraksi massa pada setiap titik keadaan ( $y'$ ), kalor yang masuk pada komponen boiler ( $\sum Q_{inlet}$ ), kerja yang dihasilkan oleh masing-masing turbin ( $\sum W_t$ ), serta kerja yang dibutuhkan pompa untuk mengalirkan fluida ( $\sum W_p$ ) dan dari nilai-nilai tersebut dapat dicari nilai efisiensi pembangkit secara keseluruhan. Optimasi*

---



dilakukan dengan mengubah persentase massa dan tekanan uap ekstraksi turbin HP.

Dari penelitian ini didapat sebuah permodelan pembangkit listrik tenaga batubara berkapasitas 50 MW dengan peningkatan efisiensi pembangkit sebesar 0.04% dan peningkatan daya sebesar 0.23 MW setelah dilakukan analisa pada tekanan masuk HPH 1 diturunkan sebesar 1 kg/cm<sup>2</sup> dan % laju aliran massa daro total uang masuk pada turbin HP sebesar 6% menuju HPH 1, 3% menuju HPH 2 dan 6% menuju HPH3.

**Kata kunci : PLTU, Batubara, GateCycle, Feedwater Heater**



**THERMODYNAMICS OBSERVATION FOR  
OPTIMIZING OF PLANNING COAL STEAM POWER  
PLANT 50 MW**

**Name** : Rosita Suroso  
**NRP** : 2109 100 060  
**Department** : Mechanical Engineering FTI - ITS  
**Advisor Lecturer** : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani M. Eng.

**ABSTRACT**

*In the modern era like today, electricity is a requirement that is already included in the primary needs that can not be under-emphasized again. The demand for electricity has reached all levels of society from the lower class, middle class to the upper class society with each different power requirements. Electrical energy is now the foundation for modern life and its availability in sufficient quantity and quality of a requirement for a society that wants to have a better living standard and advanced industrial development in all fields. To meet the demand for electricity is not enough just to build the power plant alone but required an increase in the efficiency of the plant, one of them with the addition of feed water heater.*

*To facilitate the conduct of a study on feed water heater can be done by generating a modeling simulation software, namely Gate Cycle. It also can be done by manual calculations using thermodynamic analysis to find mass fraction at any point in the state of (y'), the incoming heat boiler components, work produced by each turbine, as well as the work required pump to drain the fluid and of these*



*values can be searched value overall plant efficiency. Furthermore, for the method of optimization is made by changing the percentage of mass and pressure steam extraction at HP turbine.*

*From this research, modeling of Power Plant obtained a coal-fired power capacity of 50 MW and an increase in plant efficiency be 0.04% and power output 0.23 MW after analysis at the inlet pressure HPH 1 is lowered by 1 kg / cm<sup>2</sup> and% of total mass flow rate entering the HP turbine 6% towards HPH 1, 3% towards HPH 2 and 6% towards HPH3.*

***Keywords : PLTU, Coal, GateCycle, Feedwater Heater***





---

## **KATA PENGANTAR**

Segala Puji dan Syukur penulis curahkan sepenuhnya kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moril maupun materil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichسانی, M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis. Terima kasih atas kesabarannya selama membimbing penulis.
2. Kedua orang tua tercinta, adik tersayang Clarissa Suroso dan keluarga di Balikpapan yang senantiasa memberi dukungan dan doa hingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Budi Utomo K.W., ME, Dr. Ary Bachtiar K.P., ST., MT., dan Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT. selaku dosen penguji proposal tugas akhir dan tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
4. Bapak Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D selaku Dosen wali penulis, terima kasih atas kebaikan, perhatian, dan saran-saran yang telah ibu dan bapak berikan selama ini.
5. Bapak Ir. Yunarko Triwinarno, MT. dan ibu selaku tuan rumah dimana penulis singgah, terima kasih atas perhatian, pengertian dan kesabarannya.
6. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng. PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studinya.
7. Seluruh Dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS



8. Rekan satu tim tugas akhir penulis, Yon Satria Go yang selalu memberikan dukungan dan kerja sama dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Sahabat penulis Devia, Dina-Dani, Yesty, Dina Aristi, Endy, Mira, Putri terima kasih atas cerita dan motivasinya yang selalu memberikan inspirasi dan semangat penulis untuk selalu menjadi lebih maju.
10. Teman-teman satu angkatan M52, terima kasih atas semuanya telah menjadi keluarga terdekat penulis selama kuliah di Teknik Mesin.
11. Teman-teman lab. Perpindahan Panas terima kasih atas doa dan dukungannya.
12. Seluruh civitas akademik Teknik Mesin ITS.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Agustus 2015

**Penulis**



---

**DAFTAR ISI**

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Dasar Teori .....	5
2.2 Siklus Rankine .....	9
2.3 Perhitungan Sistem <i>Power Plant</i> .....	10
2.3.1 Analisa Turbin .....	10
2.3.2 Analisa Kondensor.....	11
2.3.3 Analisa Pompa .....	12
2.3.4 Analisa Boiler .....	13
2.3.5 Analisa Feedwater Heater ( <i>closed feed</i> ) .....	14
2.3.6 Analisa Feedwater Heater ( <i>closed feed</i> ) dengan menggunakan trap .....	15
2.3.7 Analisa <i>Feed Water Heater (open feed)</i> .....	16
2.4 Gambaran Umum <i>Gate Cycle</i> .....	16
2.4.1 Definisi <i>Gate Cycle</i> .....	16
2.4.2 Fungsi <i>Gate Cycle</i> .....	17
2.5 Penelitian Terdahulu .....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23



3.1 Pemodelan Kondisi Eksisting Pembangkit pada <i>Software Gate Cycle</i> .....	23
3.2 Analisa Termodinamika Pembangkit .....	25
3.3 Analisa Performa Pembangkit Tenaga Uap.....	26
3.4 Variasi pada <i>High Pressure Turbine</i> .....	29
3.5 Flowchart Penelitian .....	32
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>33</b>
4.1 Model Pembangkit 50 MW .....	33
4.1.1 Data Teknis.....	33
4.2 Membangun Model Awal Pembangkit Kapasitas 50MW .....	34
4.3 Analisa Kondisi Awal PLTU Batubara 50 MW .....	37
4.4 Perbandingan Hasil Runnig Gate Cycle dengan Perhitungan Termodinamika .....	45
4.5 Variasi Simulasi.....	47
4.6 Analisa Performa PLTU .....	49
4.6.1 Daya Pembangkit.....	49
4.6.1.1 Pengaruh Daya Pembangkit Terhadap Variasi P1..	49
4.6.1.2 Pengaruh Daya Pembangkit Terhadap Variasi P2..	50
4.6.1.3 Pengaruh Daya Pembangkit Terhadap Variasi P3..	51
4.6.2 Efisiensi Power Plant.....	53
4.6.2.1 Grafik Efisiensi dengan Variasi P1.....	53
4.6.2.2 Grafik Efisiensi dengan Variasi P2.....	54
4.6.2.3 Grafik Efisiensi dengan Variasi P3.....	55
4.6.3 Grafik Efisiensi Gabungan Tiap Variasi Tekanan....	56
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>59</b>
5.1. Kesimpulan .....	59
5.2. Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>61</b>



---

**DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1 Parameter input dalam mendesain PLTU 50 MW di <i>Gate Cycle</i> .....	24
Tabel 3.2 Variasi Tekanan dan Massa Ekstraksi pada Turbin HP .....	31
Tabel 4.1 Data Properties Kondisi Awal .....	37
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Running <i>Gate Cycle</i> dengan Perhitungan Termodinamika .....	45
Tabel 4.3 Hasil Running <i>Gate Cycle</i> untuk Masing-masing Variasi .....	48



*halaman ini sengaja dikosongkan*



---

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 1.1 Proyeksi Kebutuhan Listrik Per Sektor di Indonesia Tahun 2003-2020.....	2
Gambar 1.2 Diagram Alir Uap dan Air pada PLTU.....	7
Gambar 2.1 Pemodelan Sederhana Alur Kerja PLTU.....	5
Gambar 2.2 Proses Perubahan Energi pada PLTU.....	5
Gambar 2.3 Skema dan Grafik T-s pada PLTU .....	6
Gambar 2.4 Siklus Regeneratif dengan satu <i>open feedwater heater</i> .....	7
Gambar 2.5 Siklus Regeneratif dengan satu <i>close feedwater heater</i> .....	8
Gambar 2.7 Tampilan Software <i>Gate Cycle</i> .....	17
Gambar 2.8 Pemodelan Pada <i>Gate Cycle</i> .....	16
Gambar 2.9 Pengaruh Perbedaan Kerugian Ekstraksi Turbin Uap Terhadap Efisiensi Internal Relative.....	20
Gambar 2.10 Perbandingan efisiensi pembangkit terhadap rasio ekstraksi <i>steam turbine</i> .....	21
Gambar 2.11 Nilai-nilai Terbaik dari Tekanan Ekstraksi dari Turbin HP.....	22
Gambar 3.1 Aliran Massa Model PLTU dengan Kapasitas 50 MW.....	23
Gambar 3.2 Kondisi Awal PLTU 50 MW pada <i>Gate Cycle</i> .....	24
Gambar 3.3 Diagram T-s Model Pembangkit 50 MW .....	26
Gambar 3.4 Analisis Efisiensi Sistem Power Plant Menggunakan Analisis Termodinamika .....	27
Gambar 3.5 Analisis Efisiensi Sistem Power Plant Menggunakan Analisis Termodinamika (lanjutan).....	28
Gambar 3.6 Analisis Efisiensi Sistem Power Plant Menggunakan Analisis Termodinamika (lanjutan).....	29
Gambar 3.7 Kondisi Awal Ekstraksi dari Turbin HP.....	30
Gambar 3.8 Flowchart Penelitian Tugas Akhir .....	32
Gambar 4.1 Skema Aliran PLTU 50 MW .....	34
Gambar 4.2 Komponen Pendukung Sistem PLTU Batubara 50 MW pada <i>Gate Cycle</i> .....	35



Gambar 4.3 Hasil Membangun PLTU 50 MW pada software <i>Gate Cycle</i> .....	35
Gambar 4.4 Kondisi Awal Ekstraksi pada Turbin HP.....	36
Gambar 4.5 Pengaruh Variasi Ekstraksi Massa dan Tekanan P1 .....	49
Gambar 4.6 Pengaruh Variasi Ekstraksi Massa dan Tekanan P2 .....	50
Gambar 4.7 Pengaruh Variasi Ekstraksi Massa dan Tekanan P3 .....	51
Gambar 4.8 Pengaruh Variasi P1 Terhadap Efisiensi <i>Power Plant</i> .....	53
Gambar 4.9 Pengaruh Variasi P2 Terhadap Efisiensi <i>Power Plant</i> .....	54
Gambar 4.10 Pengaruh Variasi P3 Terhadap Efisiensi <i>Power Plant</i> .....	55
Gambar 4.11 Grafik Gabungan Nilai Efisiensi Terbaik Tiap Variasi Tekanan .....	56



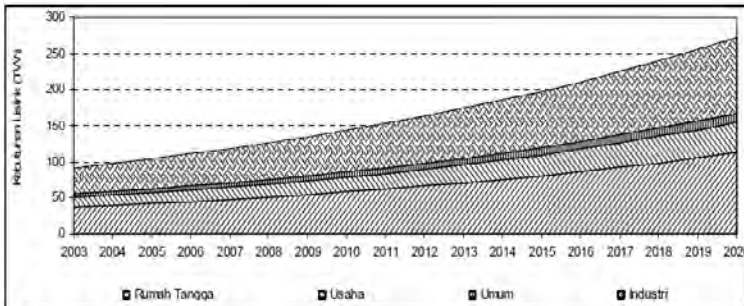


## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada era modern seperti saat ini, listrik merupakan kebutuhan yang sudah termasuk dalam kebutuhan primer yang tidak bisa dinomor duakan lagi. Kebutuhan listrik telah menjangkau semua lapisan masyarakat dari masyarakat kelas bawah, kelas menengah hingga masyarakat kelas atas dengan masing-masing kebutuhan listrik yang berbeda. Kebutuhan akan listrik ini pastinya akan terus meningkat seiring dengan tingkat pertumbuhan masyarakat modern. Dalam hal ini pemerintah sebagai lembaga tertinggi harus memiliki sikap yang tanggap terhadap kebutuhan masyarakat secara luas. Energi listrik kini merupakan landasan bagi kehidupan modern dan ketersediaannya dalam jumlah dan mutu yang cukup menjadi syarat bagi suatu masyarakat yang ingin memiliki taraf kehidupan yang lebih baik dan perkembangan industri yang maju disegala bidang.

Berdasarkan Grafik 1.1 terlihat bahwa kebutuhan listrik nasional didominasi oleh sektor industri, disusul sektor rumah tangga, usaha, dan umum. Pola kebutuhan listrik per sektor tersebut akan berbeda apabila ditinjau menurut wilayah pemasaran listrik PLN, dimana semakin ke Kawasan Indonesia Timur, semakin besar kebutuhan listrik sektor rumah tangga dibanding sektor industri.



Grafik 1.1 Proyeksi Kebutuhan Listrik per Sektor di Indonesia Tahun 2003- 2020

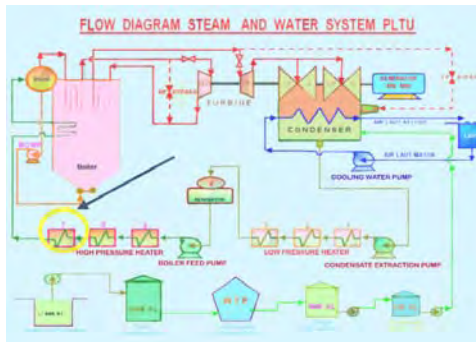
Sumber : *Proyeksi Kebutuhan Listrik per Sektor per Provinsi PLN dari Tahun 2003-2020. Dinas Perencanaan Sistem PT PLN (Persero).*

Pembangkit listrik tenaga uap sebagai penghasil energi listrik yang paling sering digunakan untuk pemenuhan kebutuhan sumber energi listrik bagi kehidupan masyarakat mengalami banyak evaluasi di dalam proses kerja. Hal tersebut dilakukan untuk meningkatkan performansi pembangkit yang telah ada sehingga dengan pemakaian sejumlah bahan bakar yang sama dapat diperoleh nilai efisiensi system pembangkit yang lebih tinggi dan jumlah pasokan listrik ke masyarakat lebih baik. Oleh karena itu kemampuan pembangkit listrik untuk tampil prima merupakan hal yang penting agar ketersediaan listrik di Indonesia tetap terjaga. Segala kerusakan baik besar ataupun kecil harus segera ditanggulangi secara cepat dan tepat.

PLTU adalah suatu pembangkit listrik dimana energi listrik dihasilkan oleh *generator* yang diputar oleh turbin uap yang memanfaatkan tekanan uap hasil dari penguapan air yang dipanaskan oleh bahan bakar di dalam ruang bakar (*boiler*). Salah satu jenis PLTU adalah PLTU berbahan bakar batubara. PLTU berbahan bakar batubara sangat vital penggunaannya di Indonesia maupun di dunia. PLTU batubara merupakan sumber utama



energi di dunia. Dimana 60 % pasokan listrik dunia masih bertumpu pada PLTU berbahan bakar batubara. PLTU merupakan suatu sistem yang saling terkait antara satu komponen dengan komponen lainnya. Seperti pada gambar 1.2 terlihat diagram uap dan air pada PLTU yang menunjukkan keterkaitan antara komponen.



Gambar 1.2 Diagram alir uap dan air pada PLTU

## 1.2 Rumusan Masalah

Pembangkit tenaga uap secara umum terdiri dari *boiler*, turbin uap, kondensor dan juga pompa. Peningkatan efisiensi dari pembangkit tenaga uap bisa dengan menambah *economizer* dan proses *superheater* pada *boiler*, dan setelah itu dapat dilakukan penambahan *feedwater heater* untuk meningkatkan temperatur air yang akan dipanaskan pada *boiler*. Sumber energi untuk pemanasan pada *feedwater heater* berasal dari ekstraksi turbin uap. Turbin uap bisa terdiri dari beberapa tingkatan dan jumlah titik ekstraksi bisa beragam tergantung kebutuhan. Analisa dalam tugas akhir ini bermaksud mencari optimalisasi efisiensi dan daya keseluruhan yang dapat dicapai oleh PLTU dengan melakukan variasi pada persentase massa dan tekanan ekstraksi di turbin HP dengan menjaga laju aliran massa total konstan.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah:



1. Mencari efisiensi terbaik untuk PLTU Batubara dengan kapasitas 50 MW setelah dilakukannya berbagai bentuk variasi pada persen massa dan tekanan ekstraksi turbin HP dengan menggunakan pemodelan di *software Gatecycle*
2. Dapat menjabarkan perhitungan secara manual menggunakan analisa termodinamika

#### **1.4 Batasan Masalah**

Beberapa batasan masalah dan asumsi yang akan digunakan ada dalam penelitian agar tidak keluar dari tujuan utamanya adalah sebagai berikut :

1. Analisa berdasarkan data operasi PLTU 50 MW
2. Kondisi operasi yang sedang bekerja diasumsikan steady state.
3. Energi potensial dan energi kinetik dapat diabaikan
4. Rugi-rugi panas di instalasi pipa tidak diperhitungkan
5. Kebocoran pada sistem diasumsikan tidak ada
6. Diasumsikan tidak ada analisa kimiawi
7. Fluida kerja yang digunakan adalah air murni
8. *Software* yang digunakan untuk melakukan simulasi *power plant* adalah *Gate Cycle* versi 5.61.0.r tahun 2004.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan diatas maka manfaat dari penelitian tugas akhir adalah sebagai berikut :

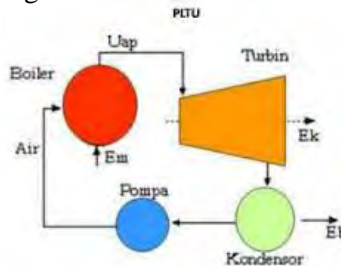
1. Dapat digunakan sebagai data pembanding dalam penentuan ekstraksi pada turbin uap.
2. Dapat digunakan sebagai informasi dalam perancangan PLTU, khususnya pada *feed water heater*.
3. Meningkatkan kemampuan untuk menggunakan *software* pendukung *Gate Cycle* sebagai media simulasi *power plant*.



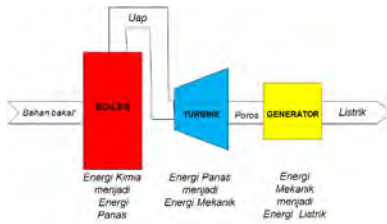
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Dasar Teori

PLTU secara umum mengkonversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik. Proses perubahan energi ini melalui 3 tahapan yaitu pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap dengan tekanan dan temperature yang tinggi pada boiler. Kedua, uap dengan tekanan dan temperatur yang tinggi ini kemudian diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran turbin dan ketiga, energi mekanik dari putaran turbin ini diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan generator.



Gambar 2.1 Pemodelan Sederhana Alur Kerja PLTU

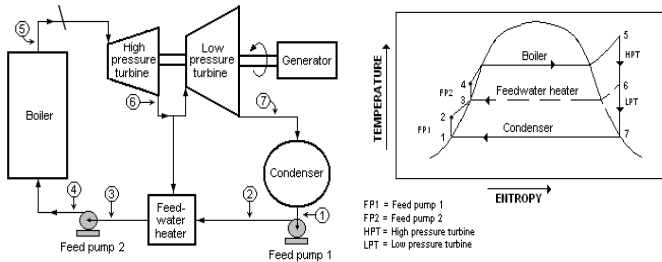


Gambar 2.2 Proses Perubahan Energi Pada PLTU

PLTU menggunakan fluida kerja air dengan uap dan tekanan tertentu yang bersirkulasi secara tertutup dengan komponen utama berupa boiler, turbin uap, kondensator dan



generator. Siklus tertutup dari PLTU dapat dihubungkan dengan siklus *Rankine* tertutup pada diagram berikut:



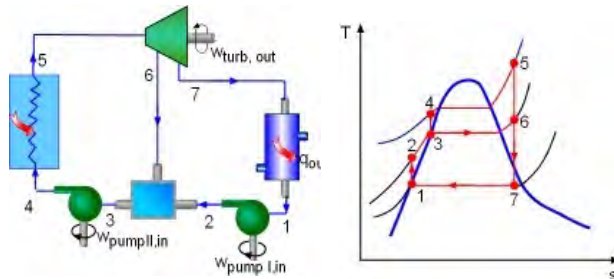
Gambar 2.3 Skema dan Grafik T-s pada PLTU

Dari skema dan diagram pada Gambar 2.3 di atas dapat dilihat bahwa *feedwater heater* tersebut berupa *High Pressure Heater (HPH)*. Sebelum masuk ke *boiler* uap air tersebut mengalami proses kenaikan temperatur di HPH oleh karena itu *boiler* tidak melakukan kerja yang cukup berat untuk menaikkan temperatur dari uap air tersebut, sehingga efisiensi dari *boiler* dapat ditingkatkan. *High Pressure Heater* merupakan alat penukar panas (*Heat Exchanger*) berupa *Shell and Tube Heat Exchanger* dengan Tipe *U-Tube*. HPH ini menggunakan fluida panas (*steam*) berada di *shell* dan fluida dingin (*water*) yang terletak di dalam *tube* yang terdiri dari 3 zona yaitu: *Zona Desuperheating*, *Zona Condensing* dan *Zona Subcooling*.

Terdapat dua jenis *feedwater heater* yaitu *open feedwater heater* dan *closed feedwater heater* :

#### a *Open feedwater heater*

Open *feedwater heater* merupakan *heat exchanger* tipe *direct contact* akan membentuk suatu aliran yang memiliki temperatur tersebut. Pada *heat exchanger* jenis ini aliran yang berbeda temperatur akan bercampur secara langsung tanpa adanya penyekat.

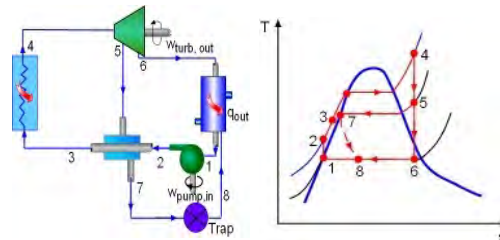


Gambar 2.4 Siklus Regeneratif dengan satu *open feedwater heater*

Dari T-S diagram diatas dapat diketahui *heat addition* ( $\dot{Q}_{in}$ ) pada boiler jika menggunakan siklus regeneratif terletak pada keadaan (3), tetapi jika tanpa menggunakan siklus ini maka *heat addition* ( $\dot{Q}_{in}$ ) akan terletak pada keadaan (2). Hal ini menunjukkan bahwa sejumlah energi yang dibutuhkan dari pembakaran batu bara untuk melakukan proses vapisasi dan *superheat* pada uap akan berkurang atau dengan kata lain efisiensi dari siklus akan meningkat.

### ***b Closed Feedwater Heater***

*Closed feedwater heater* merupakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Pada *feedwater heater* ini *feedwater* yang mengalir di dalam tube temperaturnya akan meningkat sedangkan ekstrasi uap akan terkondensasi di luar tube. Karena kedua fluida tidak bercampur maka keduanya dapat memiliki tekanan yang berbeda. Gambar 2.3 merupakan siklus *regeneratif* dengan menggunakan *closed feedwater heater* dimana air kondensasi dilewatkan melalui steam trap menuju kondenser.



Gambar 2.5 Siklus Regeneratif dengan satu *close feedwater heater*

Pada T - S diagram proses 2 – 3 adalah suatu proses throttling yang terjadi pada steam trap. Pada proses ini terjadi ekspansi tekanan yang cukup signifikan dengan entalpi yang konstan atau dapat dikatakan entalpi pada keadaan 7 memiliki nilai yang sama besar dengan entalpi pada keadaan 3.

Berdasarkan persamaan energi dengan hukum Termodinamika untuk turbin dengan asumsi sistem bekerja dalam keadaan *steady state*, energi kinetik dan potensial diabaikan serta tidak ada kalor yang masuk ataupun keluar dari sistem, maka diperoleh persamaan kesetimbangan energi :

$$\dot{W}_{\text{turbine}} = \dot{m}_4 (h_4 - h_5) + (\dot{m}_4 - \dot{m}_5)(h_5 - h_6) \quad (2.1)$$

Berdasarkan persamaan diatas, perubahan nilai pada laju aliran massa ekstraksi ( $\dot{m}_5$ ) akan mempengaruhi nilai  $\dot{W}_{\text{turbine}}$ , dimana semakin kecil nilai  $\dot{m}_5$  akan meningkatkan nilai  $\dot{W}_{\text{turbine}}$ . Untuk persamaan *enthalpy* :

$$h = u_t + pv \quad (2.2)$$

dengan : h = *enthalpy*

$u_t$  = energi dalam

p = tekanan

v = volume

dapat dilihat bahwa nilai h dan p berbanding lurus, sehingga perubahan nilai tekanan pada ekstraksi turbin ( $p_5$ ) akan

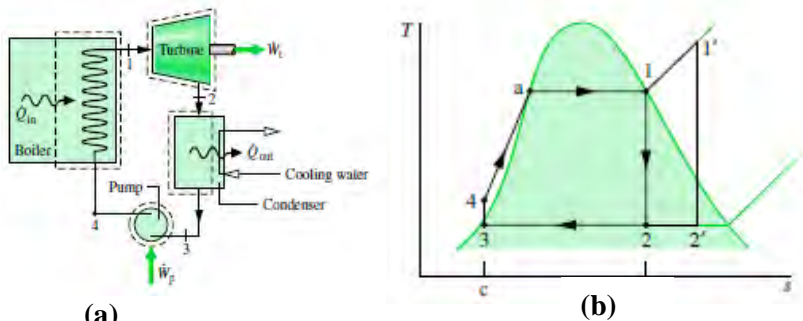




mempengaruhi nilai  $h_E$  dan selanjutnya juga akan mempengaruhi nilai  $\dot{W}_{\text{turbin}}$ .

## 2.2 Siklus Rankine

Siklus *Rankine* merupakan siklus teoritis paling sederhana yang menggunakan uap sebagai *medium* kerja sebagaimana digunakan pada sebuah PLTU. Dikatakan siklus teoritis paling sederhana, karena setelah terjadi satu siklus, *fluida* kerja kembali kepada keadaan/sifat semula. Pada siklus *rankine*, komponen-komponen utama yang bekerja dapat dilihat seperti gambar di bawah ini,



Gambar 2.6 Siklus *Rankine* dan T-s diagram untuk siklus *Rankine* Ideal  
(Moran & Saphiro, 2004)

Berdasarkan T-s diagram pada gambar 2.4 (b), terlihat *fluida* kerja melewati urutan proses yang *reversible* secara *internal* sebagai berikut :

- Proses 1-2 : Ekspansi *isentropic* dari *fluida* kerja melalui turbin dari uap jenuh pada kondisi 1 hingga mencapai tekanan kondensor
- Proses 2-3 : Perpindahan kalor dari *fluida* kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui kondensor dengan cairan jenuh pada kondisi 3.



- Proses 3-4 : Kompresi *isentropic* dalam pompa menuju ke 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 Perhitungan Sistem *Powerplant*

Seperti halnya pada *Rankine Cycle*, hukum pertama maupun kedua termodinamika dapat diterapkan untuk mengetahui performa dari sistem *powerplant*. Untuk mendapatkan kerja *output* dan meningkatkan efisiensi dapat ditentukan dengan menggunakan hukum keseimbangan energi. Perpindahan energi ini dianggap positif ke arah tanda panah. Perpindahan kalor “liar” yang tidak dapat dihindari antara komponen pembangkit dan sekelilingnya diabaikan untuk memudahkan analisis. Perubahan energi kinetik dan potensial juga diabaikan. Dengan menggunakan penerapan kesetimbangan laju massa dan energi pada volume atur dari tiap bagian peralatan utama dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 2.3.1 Analisa Turbin

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_o \left( h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right)$$

- Asumsi :
1. *Steady state*
  2.  $\Delta EK$  diabaikan
  3.  $\Delta EP$  diabaikan
  4.  $\dot{Q}_{cv} = 0$



Maka :

- Balance massa

$$\frac{dM_{cv}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_o \quad (2.3)$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_o = \dot{m}$$

- Balance energi

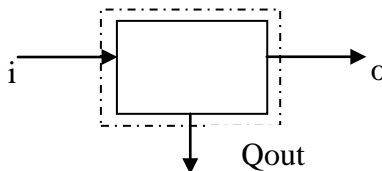
$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_o \left( h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right)$$

$$0 = -\dot{W}_{cv} + \dot{m}_i h_i - \dot{m}_o h_o$$

$$\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}} = (h_i - h_o) \quad \dot{W}_{cv} = \dot{W}_t$$

$$\dot{W}_t = \dot{m}(h_i - h_o) \quad (2.4)$$

### 2.3.2 Analisa Kondensator



$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_o \left( h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right)$$

- Asumsi :
1. *Steady state*
  2.  $\Delta EK$  diabaikan
  3.  $\Delta EP$  diabaikan
  4.  $\dot{W}_{cv} = 0$



Maka :

- *Balance massa*

<sup>0(1)</sup>

$$\frac{dM_{cv}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_o$$

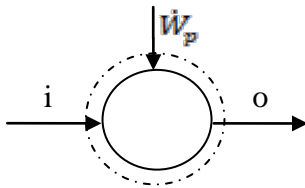
$$\dot{m}_i = \dot{m}_o = \dot{m}$$

- *Balance energi*

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_o \left( h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right)$$

$$Q_{condensator} = -\dot{Q}_{cv} = \dot{m}(h_i - h_o) \quad (2.5)$$

### 2.3.3 Analisa Pompa



$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_o \left( h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right)$$

- Asumsi :
1. *Steady state*
  2.  $\Delta EK$  diabaikan
  3.  $\Delta EP$  diabaikan
  4. Pompa diisolasi

Maka :

- *Balance massa*

<sup>0(1)</sup>

$$\frac{dM_{cv}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_o$$



$$\dot{m}_i = \dot{m}_o = \dot{m}$$

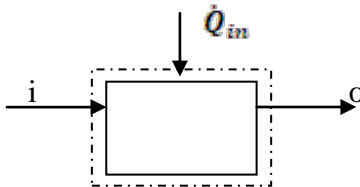
- Balance energi

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_o \left( h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right)$$

$$\dot{W}_{cv} = \dot{m}(h_i - h_o)$$

$$W_{pompa} = \dot{W}_{cv} = \dot{m}(h_i - h_o) \tag{2.6}$$

### 2.3.4 Analisa Boiler



$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_o \left( h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right)$$

- Asumsi :
1. *Steady state*
  2.  $\Delta EK$  diabaikan
  3.  $\Delta EP$  diabaikan
  4.  $\dot{W}_{cv} = 0$

Maka :

- Balance massa

$$\frac{dM_{cv}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_o$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_o = \dot{m}$$

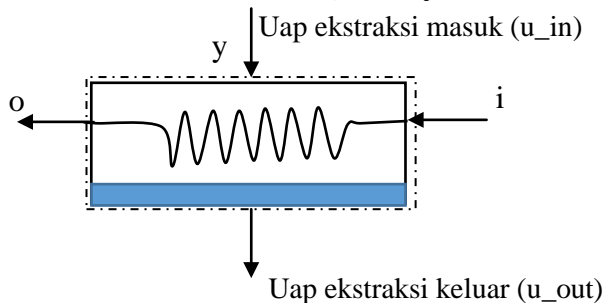


- Balance energi

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_o \left( h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right)$$

$$\dot{Q}_{boiler} = \dot{Q}_{cv} = \dot{m}(h_i - h_o) \quad (2.7)$$

### 2.3.5 Analisa Feedwater heater (Closed feed)



Fraksi dari aliran total yang diekstraksi  $y$  dapat dihitung dengan menerapkan prinsip-prinsip konservasi massa dan konservasi energi pada volume kontrol 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

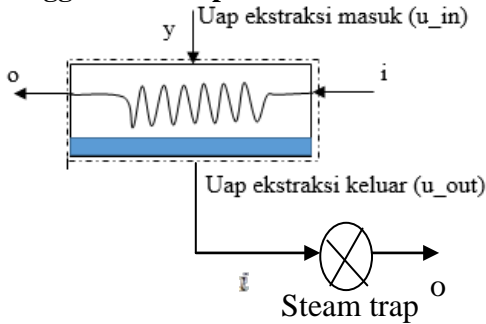
Maka menyelesaikan  $y$

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

$$y = \frac{h_o - h_i}{(h_{u_{in}} - h_{u_{out}})} \quad (2.8)$$



**2.3.6 Analisa Feedwater heater (closed feed) dengan menggunakan trap**



Sedangkan pada gambar berikut air kondensasi dilewatkan melalui steam trap yang merupakan suatu valve untuk mengarahkan air kondensat menuju ke kondensator. Pada proses ini terjadi ekspansi tekanan yang cukup signifikan dengan *enthalpy* yang konstan atau dapat dikatakan *enthalpy* pada keadaan 1 memiliki nilai yang sama besar dengan *enthalpy* pada keadaan 2.

- Asumsi :
1. *Steady state*
  2.  $\Delta EK$  diabaikan
  3.  $\Delta EP$  diabaikan
  4.  $\dot{W}_{cv} = 0$
  5.  $\dot{Q}_{cv} = 0$

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_o \left( h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right)$$

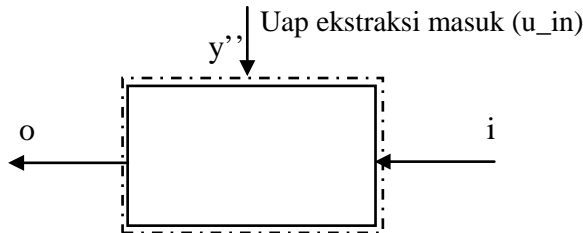
Maka Balance Energi

$$\overset{0(1)}{\cancel{\frac{dE_{cv}}{dt}}} = \overset{0(5)}{\cancel{\dot{Q}_{cv}}} - \overset{0(4)}{\cancel{\dot{W}_{cv}}} + \dot{m}_i \left( h_i + \overset{0(2)}{\cancel{\frac{V_i^2}{2}}} + \overset{0(3)}{\cancel{gz_i}} \right) - \dot{m}_o \left( h_o + \overset{0(2)}{\cancel{\frac{V_o^2}{2}}} + \overset{0(3)}{\cancel{gz_o}} \right)$$

$$h_i = h_o \tag{2.9}$$



### 2.3.7 Analisa Feedwater heater (Open feed)



Fraksi  $y$  dapat dihitung dengan menerapkan prinsip-prinsip konservasi massa dan konservasi energi pada volume atur 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

$$0 = y''h_{u,in} + (1-y)h_i - h_o$$

Maka penyelesaian y''

$$y'' = \frac{h_o - h_i}{h_{u,in} - h_i} \quad (2.10)$$

## 2.4 Gambaran Umum Gate Cycle

### 2.4.1 Definisi Gate Cycle

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan suatu *software* simulasi yang dapat digunakan untuk mensimulasikan *power plant*. *Software* yang dimaksud dalam hal ini yaitu *Gate Cycle*. *Gate Cycle* adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk memprediksi desain dan performa desain siklus pembangkit yang dikombinasi, pembangkit dengan bahan bakar fosil, nuklir, sistem cogenerasi, pembangkit tenaga, siklus gas turbin tingkat lanjut, dan sistem lainnya.





Gambar 2.7 Tampilan Software Gate Cycle

*Software* ini dapat digunakan untuk pengujian secara cepat, permodelan detail, mendesain, meningkatkan, memperbaharui dan menentukan apakah pembangkit tersebut layak untuk diterima atau dipergunakan. Pendekatan komponennya serta kemampuan makro tingkat lanjut membuat pengguna *software* ini dapat memodelkan sistem apapun. *Gate cycle* dilengkapi gambar model peralatan dengan detail proses, properti termodinamika, perpindahan panas dan mekanika fluida yang memungkinkan pengguna melakukan analisis design yang telah dibuat beserta simulasinya.

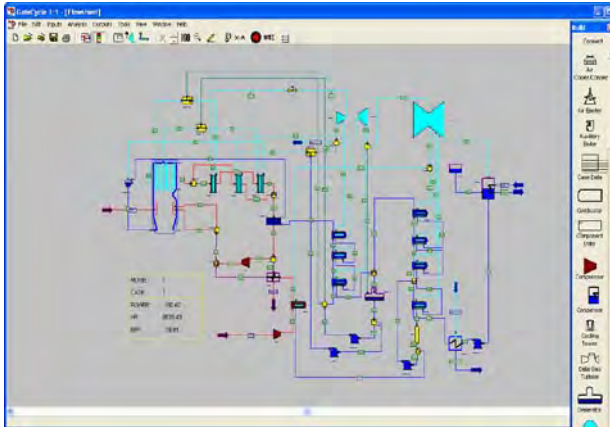
#### 2.4.2 Fungsi Gate Cycle

*Software gate cycle* merupakan suatu *software* dari pabrikan *General Electric (GE)* yang berguna untuk :

- Menganalisa seluruh performa siklus meliputi *efficiency* dan *power*
- Mengecek klaim *performance power plant* atau peralatan yang diklaim *vendor*
- Simulasi *performance* pada kondisi *off design*
- Memprediksi perubahan performa akibat modifikasi peralatan
- Mengoptimalkan desain pembangkit dgn permodelan perangkat lunak yang fleksible, cepat, dan seimbang



- Dapat memodelkan berbagai macam sistem energi menggunakan kumpulan software yang sama
  - Dapat memodelkan peralatan seperti kondisi yang sebenarnya
  - Mensimulasikan operasi dari pembangkit yang sudah ada dengan kondisi yang spesifik
  - Alat untuk melakukan metode regresi
  - Memperbanyak sifat secara rutin
  - Terdapat macam-macam model gas turbin
  - Mirip dengan *microsoft excel*
  - Bisa memprediksi pola bangunan secara grafis
  - Mencampur analisa desain dan *off design*
  - Macros and tables
  - Model data yang terkumpul
- Software Gate Cycle* juga dapat memprediksi secara akurat efek yang mempengaruhi performa pembangkit seperti :
- Perubahan tipe bahan bakar
  - Variasi suhu udara
  - *Multiple Pressure HRSG*
  - Pengoperasian *sliding pressure*
  - Kegagalan suatu komponen
  - Pengoperasian beban yang tidak sepenuhnya
  - Kehilangan tekanan
  - Bagian paralel HRSG
  - Injeksi uap
  - Pengoperasian fosil boiler
  - Modifikasi *hardware*
  - Operasi tower pendingin

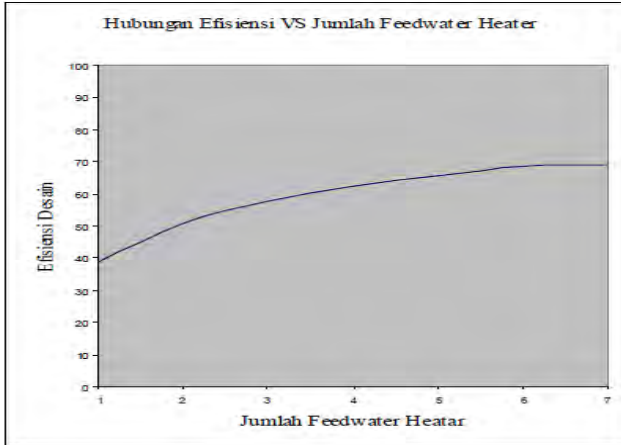


Gambar 2.8 Pemodelan Pada *Gate Cycle*

Selain itu, *Gate cycle* mempunyai proses yang disebut *Cycle Link*, dimana proses ini digunakan untuk menentukan *input* dan *output* parameter apa yang ingin diketahui dari *power plant* yang telah dimodelkan sebelumnya.

## 2.5 Penelitian Terdahulu

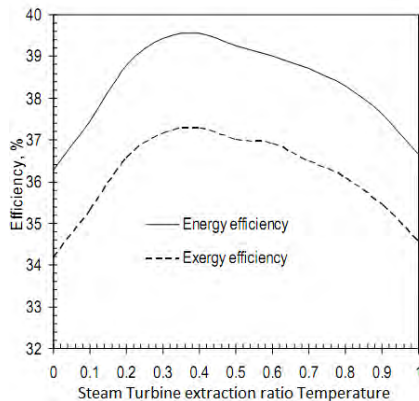
Dendi Junaidi, I Made Suardjaja dan Tri Agung Rohmat dalam tugas akhirnya yang berjudul “**Keseimbangan Massa dan Kalor Serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pada Berbagai Perubahan Beban dengan Menvariasikan Jumlah Feedwater Heater**” melakukan penelitian dengan mendesain suatu instalasi pembangkit listrik memerlukan parameter-parameter yang harus dipertimbangkan. Sehingga aspek ekonomis sangat memegang peranan penting didalam menentukan desain instalasi yang efisien dan menguntungkan bagi investor. Salah satu parameter yang dipertimbangkan adalah berapa jumlah feedwater heater yang harus digunakan demi tercapainya tujuan tersebut.



Gambar 2.9 Pengaruh Perbedaan Kerugian Ekstraksi Turbin Uap Terhadap Efisiensi Internal Relative

Gambar 2.9 menjelaskan bahwa adanya hubungan efisiensi dengan jumlah *feedwater heater*. Kenaikan efisiensi semakin besar dan cenderung stabil pada penambahan antara lima dan tujuh buah *feedwater heater*, sehingga dapat disimpulkan penambahan *feedwater heater* diatas tujuh buah tidak akan memperbaiki efisiensi instalasi pembangkit listrik secara signifikan.

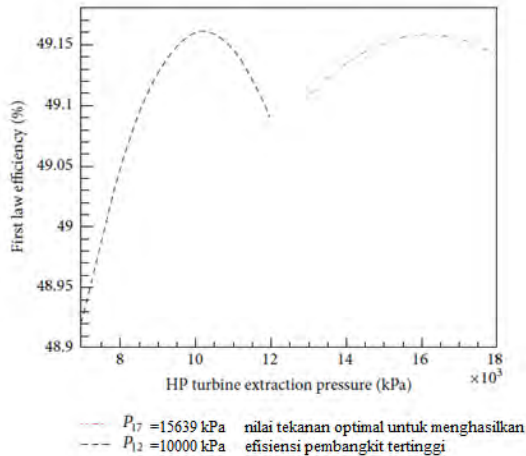
T. Srinivas dkk dalam jurnalnya yang berjudul “*Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with ‘n’ Number of Feedwater Heaters*” selain melakukan variasi jumlah *feedwater heater* yang digunakan, juga memvariasikan tekanan *boiler*, temperatur uap memasuki Turbin dan temperatur pada pembakaran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



Gambar 2.10 Perbandingan efisiensi pembangkit terhadap rasio ekstraksi *steam turbine*

Gambar 2.10 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.

M. M. Rashidi, A. Aghagoli, dan M. Ali dalam jurnal penelitian yang berjudul “*Thermodynamic Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heaters*” menyimpulkan bahwa ketika tekanan HP turbin meningkat, entalpi keluaran turbin menurun dan beban kalor kondenser menurun karena entalpi inlet dan outlet pada kondenser konstan dan laju aliran massa menurun.



Gambar 2.11 Nilai-nilai terbaik dari tekanan ekstraksi dari turbin HP

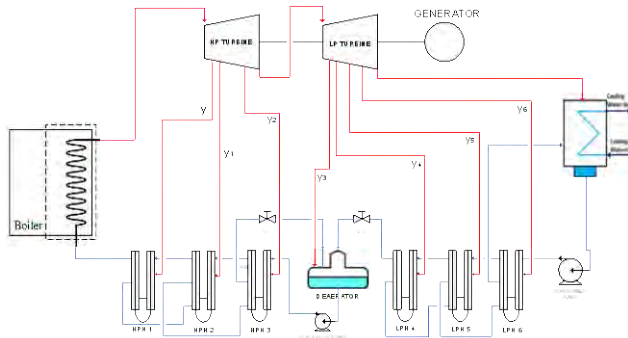
Dari gambar 2.11 terlihat bahwa daya turbin dan kalor boiler awalnya meningkat sampai maksimum dan kemudian menurun karena tekanan inlet HP turbin meningkat. Hal tersebut dapat diperhatikan bahwa penurunan entalpi lewat turbin dan laju aliran massa ekstraksi meningkat seiring tekanan inlet HP turbin meningkat, sehingga daya keluaran turbin meningkat. Namun, akibat perubahan gradien garis uap jenuh, daya turbin menurun dan hal tersebut menjelaskan perilaku dari efisiensi termal yang mana meningkat dan kemudian menurun seiring peningkatan tekanan ekstraksi turbin. Di dalam jumlah tertentu aliran massa ekstraksi dari turbin HP ke HPH akan menaikkan nilai efisiensi pembangkit sampai optimal namun akan semakin turun karena bila terlalu banyak yang diekstraksi justru mengurangi performa dari turbin tersebut karena fungsi awal dari uap yang untuk memutar turbin tidak tercapai optimal sehingga efisiensi secara keseluruhan akan menurun.



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

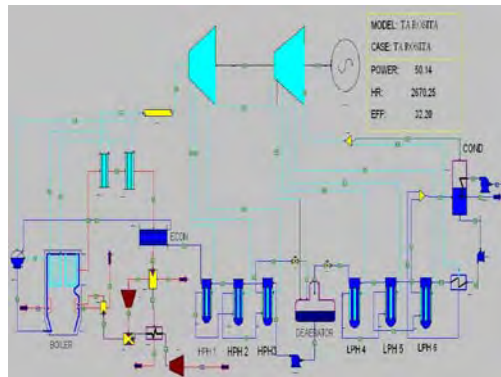
#### 3.1 Pemodelan Kondisi Eksisting Pembangkit pada *Software GateCycle*

Desain PLTU 50 MW yang akan dibangun di *Gatecycle* berdasarkan skema aliran massa seperti pada gambar di bawah :



Gambar 3.1 Aliran massa model PLTU dengan kapasitas 50MW

Pada gambar di atas properti-properti dari pembangkit berasal dari data PLTU dengan kapasitas 50 MW. Seperti yang tampak pada gambar, PLTU dengan kapasitas 50 MW yang digunakan sebagai penelitian memiliki sumber panas uap yang berasal dari boiler yang berbahan bakar batubara dengan 3 superheater, dan economizer. Kemudian, di PLTU tersebut daya yang dibangkitkan berasal dari dua turbin, yaitu HP turbin dan LP turbin. Selain itu sistem pemanas untuk air pengumpan terdapat 6 sistem air-pemanas tertutup dan 1 buah deaerator. Kemudian berdasarkan susunan tersebut di atas model pembangkit di *Gatecycle* dibangun seperti gambar di bawah :



Gambar 3.2 Kondisi awal PLTU 50 MW pada *Gatecycle*

Gambar 3.2 merupakan kondisi awal pembangkit yang dibangun pada *Software Gatecycle* berdasarkan data dari PLTU dengan daya 50 MW. Proses membangun pembangkit pada *Gatecycle* 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 tabel bawah adalah parameter yang apabila divariasikan akan sangat mempengaruhi kondisi PLTU bila saat *Gatecycle* tersebut dijalankan (*running*).

Tabel 3.1 Parameter input dalam mendesain PLTU 50 MW di *Gatecycle*

No	Komponen	Parameter	Data input	Satuan
1.	Boiler	Bahan bakar Fluida kerja input	9.7994 54.19	kg/s kg/s
2.	Turbin	Efisiensi ekspansi isentropic -Turbin HP	0.85	

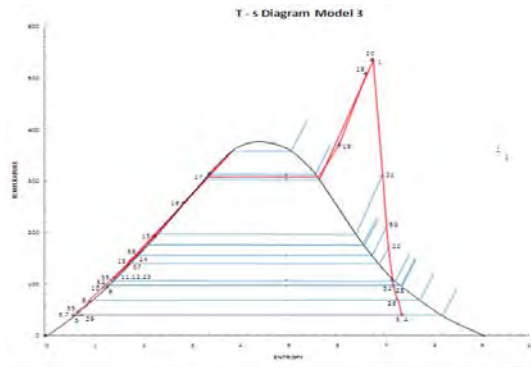




		-Turbin LP	0.85	
		Jumlah ekstraksi		
		-Turbin HP	3	
		-Turbin LP	4	
3		-Temperatur Air pendinginan yang dikehendaki	25.00	°C
		-Tekanan outlet yang dikehendaki keluar dari kondenser	0.076	bar
		Minimum tekanan yang diijinkan	0.017577	bar
		Maksimum tekanan yang diijinkan	1.7577	bar
4	deaerator	Metode operasi adalah <i>Constant p Operation: demand Pegging steam</i>		
		Tekanan saat beroperasi	1.3000	bar
		-		
		Dikehendaki		
		-Minimum	1.0342	bar
		-Maksimum	3.4474	bar

### 3.2 Analisa Termodinamika Pembangkit

Tugas akhir ini menggunakan model PLTU berbahan bakar Batubara berkapasitas 50 MW , dimana model tersebut menggunakan dua turbin *single case* yang berada dalam satu poros. Turbin tersebut terdiri dari *High Pressure Turbine* (HP *Steam Turbine*) yang memiliki 3 ekstraksi dan *Low Pressure Turbine* (LP *Steam Turbin*) memiliki 4 ekstraksi.

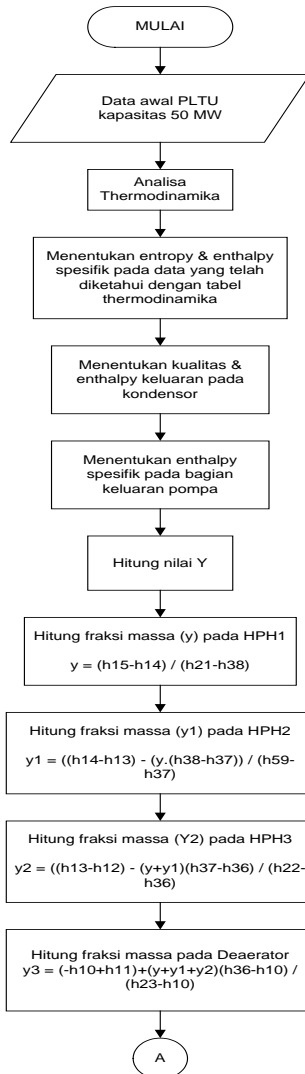


Gambar 3.3 Diagram T-s model Pembangkit 50 MW

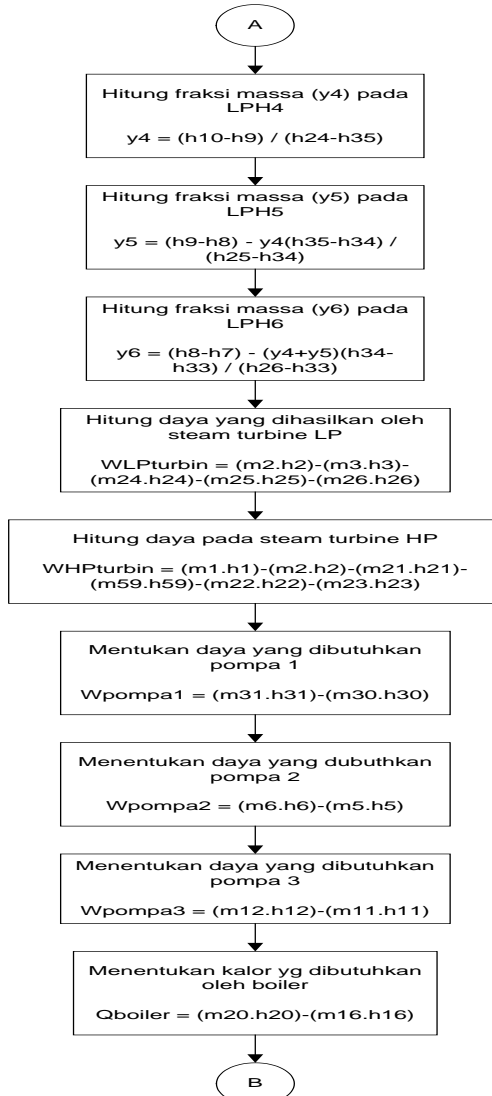
Pada grafik T-s diagram di atas menggambarkan fase tiap komponen tidak terjadi secara ideal karena peninjauan berdasarkan *software Gate Cycle*. Komponen-komponen tersebut disimulasikan berkerja di dalam kondisi riil sehingga terdapat kehilangan atau *losses*. Selain itu, proses kompresi dan ekspansi 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.

### 3.3 Analisa Performa Pembangkit Tenaga Uap

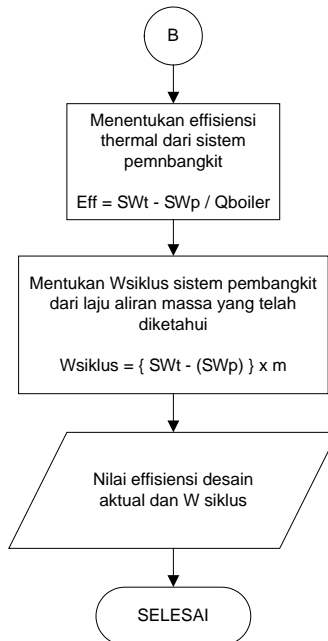
Analisis efisiensi *powerplant* secara termodinamika dilakukan pada kondisi *existing*, dengan tujuan sebagai *crosscheck* hasil efisiensi yang didapatkan pada *gate cycle*. Langkah analisis digambarkan pada *flowchart* berikut ini:



Gambar 3.4 Analisis efisiensi sistem powerplant menggunakan analisis termodinamika



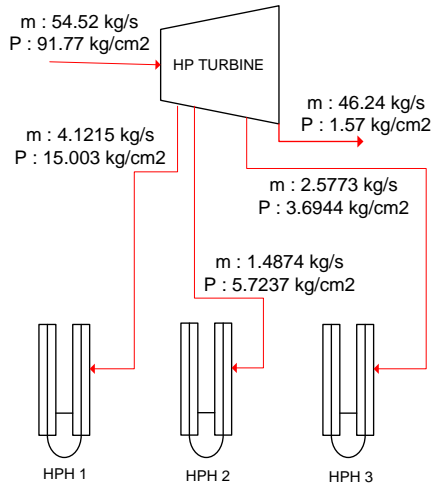
Gambar 3.5 Analisis efisiensi sistem powerplant menggunakan analisis termodinamika (lanjutan)



Gambar 3.6 Analisis efisiensi sistem *powerplant* menggunakan analisis termodinamika (lanjutan)

### 3.4 Variasi pada *High Pressure Turbine*

Pada tugas akhir ini akan diteliti mengenai dampak dari variasi persentase ceratan *steam* pada *High Pressure Turbine*. Variasi ceratan tersebut berpedoman pada standar dari General Electric, untuk PLTU berkapasitas 50 MW yang menggunakan sistem ekstraksi turbin otomatis atau terkontrol sehingga estimasi variasi ekstraksi *steam* yang akan dilakukan pada penelitian tugas akhir ini yaitu berkisar 15% dari aliran uap utama yang masuk ke boiler dengan maksimum ceratan *steam* adalah 30% dari *steam* yang masuk pada tiap turbin.



Gambar 3.7 Kondisi awal ekstraksi dari turbin HP

Kondisi awal PLTU unit 50 MW untuk aliran steam utama yang akan masuk pada turbin HP sebesar  $54.42 \text{ kg/s}$  dengan tekanan  $91.77 \text{ kg/cm}^2$ . Kemudian ceratan atau ekstraksi dan tekanan pertama (HPH1), kedua (HPH2), dan ketiga (HPH3) pada turbin HP sebesar  $4.12 \text{ kg/s}$  &  $15.003 \text{ kg/cm}^2$ ,  $21.49 \text{ kg/s}$  &  $5.7237 \text{ kg/cm}^2$ , dan  $2.58 \text{ kg/s}$  &  $3.6944 \text{ kg/cm}^2$  sehingga presentase ekstraksi pada kondisi awal bila dibandingkan dengan steam utama yang akan masuk pada turbin HP adalah sebesar 7% (HPH1), 3% (HPH2), dan 5% (HPH3). Total massa ekstraksi yang diperbolehkan pada turbin HP adalah hanya sebesar  $8.19 \text{ kg/s}$  atau 15% dari massa uap yang masuk ke turbin HP.

Pada tugas akhir ini, pemanfaatan uap dari ekstraksi turbin HP sesuai dengan standar GE dengan total massa uap ekstraksi sebesar 15% dari uap utama yang masuk pada turbin HP, yaitu  $54.42 \text{ kg/s}$ . Selanjutnya tekanan dan uap ekstraksi yang masuk ke HPH1, HPH2, dan HPH3 akan divariasikan secara bertahap seperti dijelaskan pada tabel 3.2.



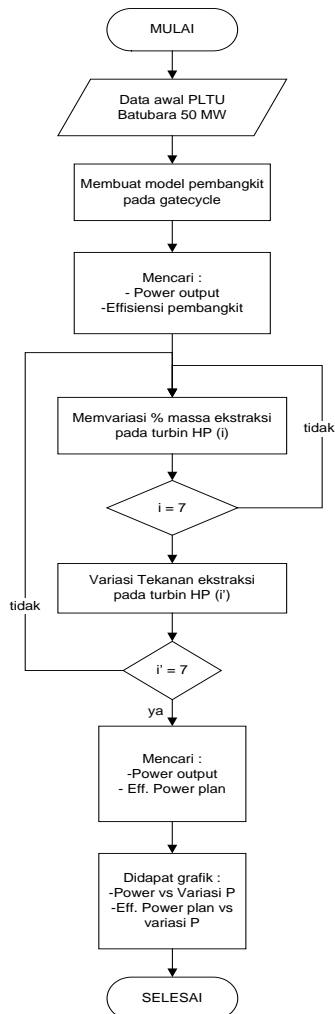
Tabel 3.2 Variasi Tekanan dan Massa Ekstraksi pada Turbin HP

No.	Variasi Turbin HP	P ekst. (kg/cm <sup>2</sup> )	% massa ekstraksi						
			eksisting	8% : 2% : 5%	8% : 3% : 4%	7% : 2% : 6%	7% : 4% : 4%	6% : 4% : 5%	6% : 3% : 6%
1	P eksisting	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
2	P1+1 ; P2 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
3	P1-1 ; P2 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
4	P1 ; P2+1 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
5	P1 ; P2-1 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
6	P1 ; P2 ; P3+1	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
7	P1 ; P2 ; P3-1	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							

Dari table 3.2 menunjukkan bahwa variasi dilakukan dengan menggunakan 2 variabel, yaitu tekanan dan massa ekstraksi. Untuk tekanan dengan mengubah nilai tekanan pada masing ekstraksi dengan menambah atau mengurangi tekanan sebesar 1 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk massa ekstraksi dengan mengubah nilai % ekstraksi sebesar 1% namun tetap dengan nilai total % massa ekstraksi sebesar 15% sebagai *variable control*.



### 3.5. Flowchart Penelitian



Gambar 3.8 Flowchart Penelitian Tugas Akhir





---

**BAB IV**

**ANALISA DAN PEMBAHASAN**

**4.1. Model Pembangkit 50 MW**

Analisa yang akan digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap 50 MW di Pulau Lombok sebagai model pembangkit yang menjadi acuan. Data operasi pembangkit Listrik Tenaga Uap 50 MW tersebut adalah sebagai berikut:

4.1.1. Data Teknis

1. DESIGN SPESIFICATION

Output Capacity : 50 MW  
Fuel : Coal

SPESIFIKASI BATUBARA ( AS RECEIVED )

Total moisture : 32.2 %

Proximate Analysis

- Inherent moisture : 16.178 %
- Ash content : 3.1 %
- Volatile matter : 32 %
- Fixed carbon : 30 %

Total sulfur : 0,08 %

Ultimate Analysis ( AS RECEIVED )

- Total sulfur : 0,08 %
- Total Nitrogen : 0,70 %
- Hydrogen : 6.40 %
- Carbon : 68.85 %
- Oxygen : 21.7 %

Ash Analysis:

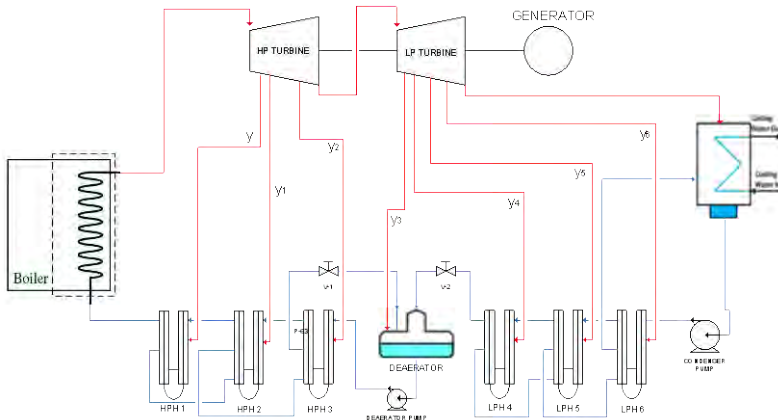
- SiO<sub>2</sub> : 35 %
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 24.10 %
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 18.10 %
- CaO : 6.2 %
- MgO : 5.10 %



- $K_2O$  : 0.75 %
- $Na_2O$  : 0.20 %
- $Mn_3O_4$  : 0.18 %
- $TiO_2$  : 2.30 %
- $P_2O_5$  : 0.50 %
- $SO_3$  : 3.70 %

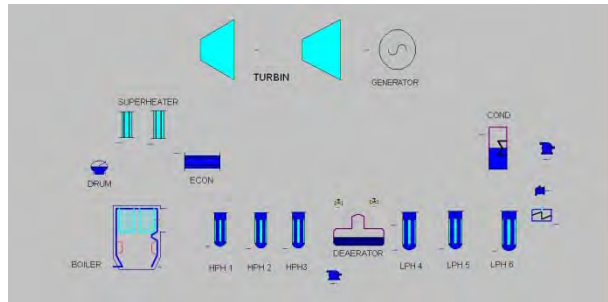
#### 4.2 Membangun Model Awal Pembangkit Kapasitas 50 MW

Sebelum menganalisa PLTU, model awal pembangkit dibangun pada Gatecycle. Model pada Gatecycle pada awalnya dibangun berdasarkan data eksisting pembangkit PLTU 50 MW.



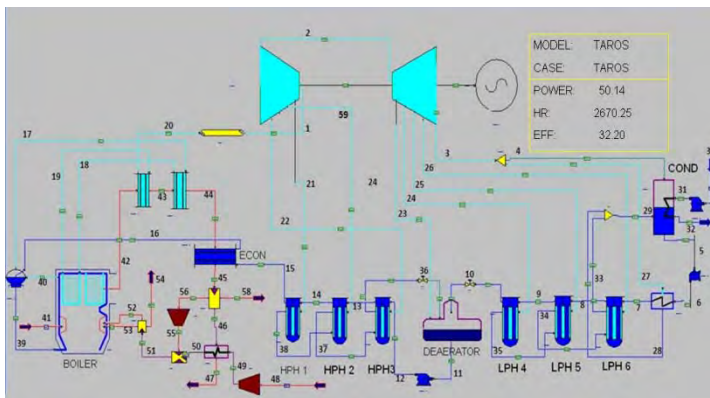
Gambar 4.1 Skema aliran PLTU 50 MW

Skema pembangkit yang dibangun pada Gatecycle berdasarkan skema pada gambar 4.1 di atas, yaitu pada boiler komponen utama pendukung yaitu terdapat 2 *superheater*, 1 *reheater*, *economizer*, dan *steam drum*, kemudian pada turbin terdapat 2 tahapan turbin yaitu turbin LP dan HP kemudian terdapat kondenser, pada *feedwaterheater* terdapat 6 *closed feedwaterheater* dan 1 *deaerator*, kemudian terdapat 3 pompa, 2 valve, dan sebuah generator.



Gambar 4.2 Komponen pendukung sistem PLTU Batubara 50 MW pada *Gatecycle*

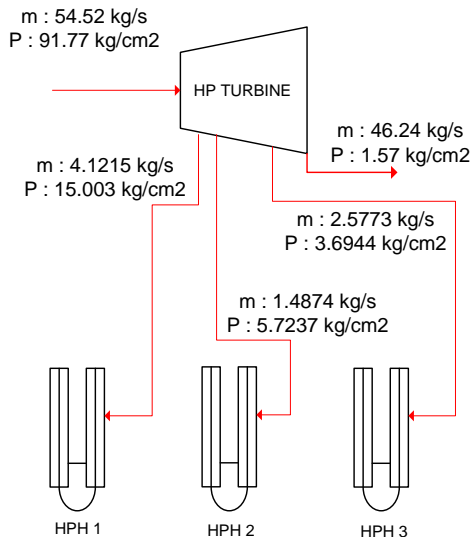
Gambar 4.2 merupakan proses untuk menginput komponen pendukung yang digunakan pada PLTU dimana jumlah dan jenisnya disesuaikan dengan kondisi eksisting PLTU 50 MW. Selanjutnya, pada tiap-tiap komponen tersebut dimasukkan variabel-variabel yang menentukan batasan-batasan sesuai dengan kondisi eksisting pembangkit. Setelah itu, komponen-komponen tersebut disambungkan sesuai dengan urutan berdasarkan ketentuan pada skema *heat and mass balance* gambar 4.1.



Gambar 4.3 Hasil membangun PLTU 50 MW pada *Gatecycle*



Gambar 4.3 merupakan hasil dari membangun sistem pembangkit pada *Gatecycle*. Setelah proses membangun selesai, sistem pembangkit tersebut harus dijalankan (*running*) untuk memastikan bahwa pembangkit yang dibangun sesuai dengan kondisi nyata. Hasil yang diperoleh dapat dikatakan valid apabila setelah dijalankan pada *Gatecycle* telah tercapai kondisi iterasi perhitungan yang konvergen.



Gambar 4.4 Kondisi Awal Ekstraksi Pada Turbin HP

Gambar 4.4 merupakan kondisi awal PLTU 50 MW, untuk aliran steam utama yang akan masuk pada turbin HP sebesar 54.42 kg/s dengan tekanan 91.77 kg/cm<sup>2</sup> ekstraksi yang diambil dari turbin HP untuk dipakai ke HPH1 adalah sebesar 4.1215 kg/s dengan tekanan 15.003 kg/cm<sup>2</sup>, untuk dipakai ke HPH2 adalah sebesar 1.4874 kg/s dengan tekanan 5.7237 kg/cm<sup>2</sup> dan untuk dipakai ke HPH3 2.5773 kg/s dengan tekanan 3.6944



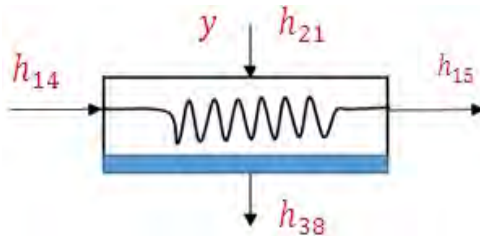
kg/cm<sup>2</sup>. Bila nilai tersebut dibandingkan dengan uap utama yang masuk ke turbin HP, yang sebesar 54.52 kg/s, adalah sebesar 7% untuk yang menuju HPH1, 3% untuk menuju HPH2 dan sebesar 5% untuk yang menuju HPH3. Total massa ekstraksi yang diperbolehkan pada turbin HP adalah hanya sebesar 8.19 kg/s atau 15% dari massa uap yang masuk ke turbin HP.

#### **4.3 Analisa Kondisi Awal PLTU Batubara 50 MW**

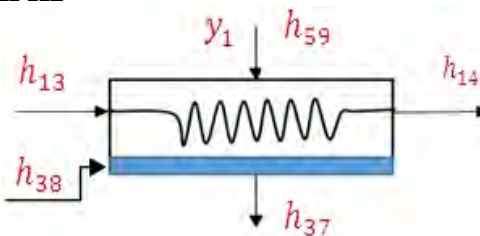
Setelah proses membangun pada Gatecycle selesai, proses selanjutnya adalah sistem pembangkit, yang merupakan kondisi awal pembangkit, dianalisa menggunakan Gatecycle dan menggunakan analisa termodinamika.

Berdasarkan hasil *running* dengan Gatecycle diperoleh data hasil analisa Gatecycle seperti pada tabel 4.1  
Tabel 4.1. Data Properties Kondisi Awal



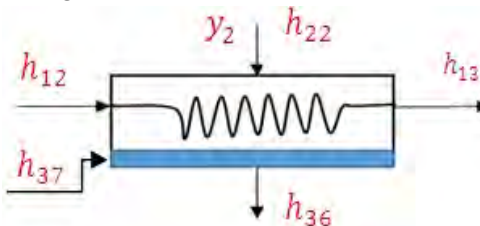
**Perhitungan fraksi massa**○ **HPH1**

$$y = (h_{15} - h_{14}) / (h_{21} - h_{38})$$
$$y = (832.425 - 653.5750) / (3060.171 - 658.4441)$$
$$y = 0.07531382$$

○ **HPH2**

$$y_1 = ((h_{14} - h_{13}) - (y * (h_{38} - h_{37}))) / (h_{59} - h_{37})$$

$$y_1 = ((653.5750 - 584.4103) - (0.07531382 * (685.4441 - 592.9956))) / (2875.695 - 592.9956)$$
$$y_1 = 0.027249354$$

○ **HPH3**

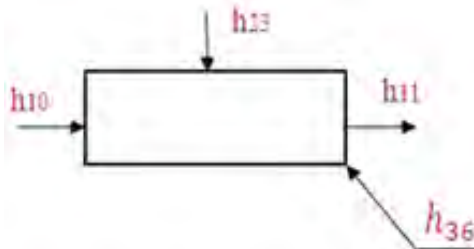


$$y_2 = ((h_{13}-h_{12}) - (y+y_1)(h_{37}-h_{36}) / (h_{22}-h_{36}))$$

$$y_2 = ( (584.4103-462.1361) - (0.07531382+0.027249354) (592.9956-469.523) / (2800.274-469.523) )$$

$$y_2 = 0.04702792$$

o **Deerator**



$$y_3 = (h_{11}-h_{10}) - (y+y_1+y_2)(h_{10}-h_{36}) / (h_{23}-h_{10})$$

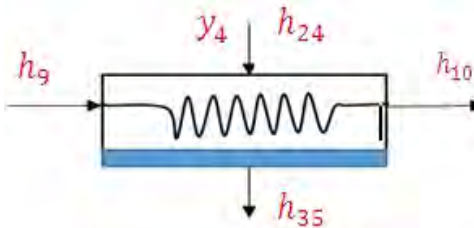
$$y_3 = (449.4681-400.6531)$$

$$(0.07531382+0.027249354+0.04702792$$

$$)(400.6531-469.5229) / (2648.456-400.6531)$$

$$y_3 = 0.026300059$$

o **LPH4**



$$y_4 = (h_{10}-h_9) / (h_{24}-h_{35})$$

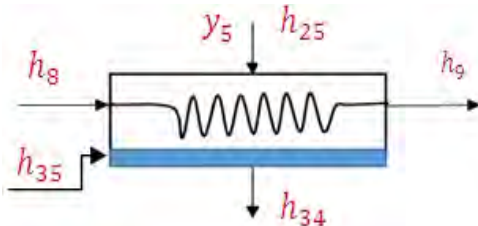
$$y_4 = (400.6531-395.3094) / (2604.755-412.9170)$$

$$y_4 = 0.002438009$$





o **LPH5**

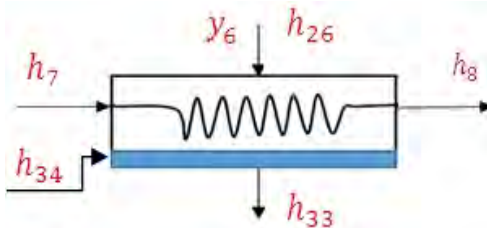


$$y_5 = (h_9 - h_8) - y_4(h_{35} - h_{34}) / (h_{25} - h_{34})$$

$$y_5 = (395.3094 - 282.0422) - 0.002438009 (412.9170 - 407.5036) / (2598.5366 - 407.5036)$$

$$y_5 = 0.05168978$$

o **LPH6**



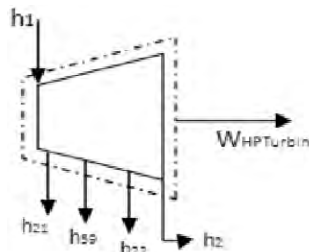
$$y_6 = (h_8 - h_7) - (y_4 + y_5)(h_{34} - h_{33}) / (h_{26} - h_{33})$$

$$y_6 = (282.0422 - 170.6646) - (0.002438009 + 0.05168978)(407.5036 - 193.9067) / (2460.987 - 193.9067)$$

$$y_6 = 0.04889849$$

**Perhitungan Kerja Turbin**

o **HP Turbin**



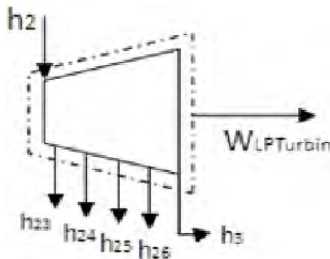


$$\dot{W}_{HP \text{ turbin}} = \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} - h_2)$$

$$\dot{W}_{HP \text{ turbin}} = 54.4197(3473.3987 - 3060.1714) + (54.4197 - 4.1224)(3060.1714 - 2875.6951) + (54.4197 - 4.1224 - 1.4915)(2875.6951 - 2800.2742) + (54.4197 - 4.1224 - 1.4915 - 2.5741)(2800.2742 - 2670.5500)$$

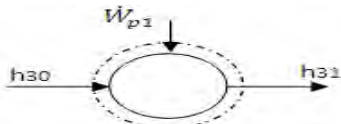
$$\dot{W}_{HP \text{ turbin}} = 41444.7177$$

o **LP Turbin**

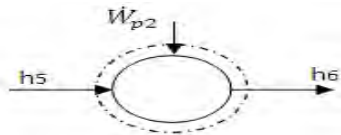


$$\dot{W}_{LP \text{ turbin}} = \dot{m}_2(h_2 - h_{23}) + (\dot{m}_2 - \dot{m}_{23})(h_{23} - h_{24}) + (\dot{m}_2 - \dot{m}_{23} - \dot{m}_{24})(h_{24} - h_{25}) + (\dot{m}_2 - \dot{m}_{23} - \dot{m}_{24} - \dot{m}_{25})(h_{25} - h_{26}) + (\dot{m}_2 - \dot{m}_{23} - \dot{m}_{24} - \dot{m}_{25} - \dot{m}_{26})(h_{26} - h_3)$$

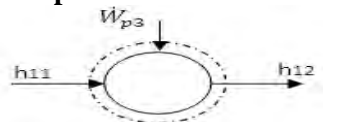
$$\begin{aligned} &= 46.2300(2670.5500 - 2648.4558) + (46.2300 - 1.1553)(2648.4558 - 2604.7546) + (46.2300 - 1.1553 - 0.1110)(2604.7546 - 2598.5366) + (46.2300 - 1.1553 - 0.1110 - 2.3533)(2598.5366 - 2460.9868) + (46.2300 - 1.1553 - 0.1110 - 2.3533 - 2.0045)(2460.9868 - 2297.6526) \\ &= 15764.221 \end{aligned}$$

**Perhitungan Kerja Pompa**○ **Pompa 1**

$$\begin{aligned} W_{pompa1} &= (\dot{m}_{31} \times h_{31}) - (\dot{m}_{30} \times h_{30}) \\ &= (1429.6256 \times 104.6300) - (1429.6256 \times 104.5158) \\ &= 163.2804518 \end{aligned}$$

○ **Pompa 2**

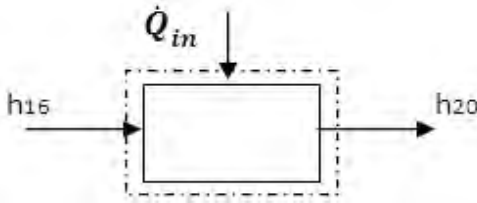
$$\begin{aligned} W_{pompa2} &= (\dot{m}_6 \times h_6) - (\dot{m}_5 \times h_5) \\ &= (45.0764 \times 170.6646) - (45.0764 \times 169.5468) \\ &= 50.3856161 \end{aligned}$$

○ **Pompa 3**

$$\begin{aligned} W_{pompa3} &= (\dot{m}_{12} \times h_{12}) - (\dot{m}_{11} \times h_{11}) \\ &= (54.1943 \times 462.1361) - (54.1943 \times 449.4681) \\ &= 686.5332281 \end{aligned}$$



### Perhitungan $\dot{Q}$ Boiler



$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{\text{boiler}} &= (\dot{m}_{20} \times h_{20}) - (\dot{m}_{15} \times h_{15}) \\
 &= (54.4197 \times 3474.8225) - (54.1943 \times 832.4248) \\
 &= 172783.4188
 \end{aligned}$$

### Perhitungan $\dot{W}$ total

$$\begin{aligned}
 \dot{W}_{\text{total}} &= W_{\text{tHP}} + W_{\text{tLP}} - W_{\text{pompa1}} - W_{\text{pompa2}} - W_{\text{pompa3}} \\
 &= 41444.7177 + 15764.221 - 163.28045 - \\
 &50.385616 - 686.53323 \\
 &= 56308.739034
 \end{aligned}$$

### Perhitungan Efisiensi

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi Power Plant} &= \frac{\dot{W}_{\text{total}}}{\dot{Q}_{\text{boiler}}} \\
 &= 56308.739034 / 172783.4188 \\
 &= 0.32589
 \end{aligned}$$



#### **4.4 Perbandingan Hasil Running *Gatecycle* dengan Perhitungan Termodinamika**

Setelah melakukan perhitungan secara termodinamika dan *running* pada *Gatecycle* diperoleh hasil yang dapat dibandingkan seperti pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil *Running GateCycle* dan Analisa Termodinamika



**Gatecycle**

Berdasarkan data pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan hasil pada *Gate Cycle* dengan perhitungan secara termodinamika dimana perbedaan terbesar terdapat pada komponen Boiler . Hal ini dapat terjadi dikarenakan beberapa hal, yaitu :

1. Efisiensi pada masing-masing komponen di sistem pembangkit tidak diketahui sehingga mempengaruhi hasil simulasi yang didapat pada *Gate Cycle*.
2. Data yang diperoleh untuk melakukan simulasi tidak lengkap, sehingga untuk beberapa data yang diinputkan ke *GateCycle* menggunakan data *default* pada *software*.

#### **4.5 Variasi Simulasi**

Pada tugas akhir ini akan diteliti mengenai dampak dari variasi persentase ceratan *steam* pada Turbin HP (*High Pressure*). Variasi ceratan tersebut berpedoman pada standar dari General Electric.pada PLTU berkapasitas 50 MW menggunakan sistem ekstraksi turbin otomatis atau terkontrol sehingga estimasi variasi ekstraksi *steam* yang akan dilakukan pada penelitian tugas akhir ini yaitu berkisar 15% yang terdiri dari 7% HPH1, 3% HPH2 dan 5% HPH3. Variasi dilakukan dengan menggunakan 2 variabel, yaitu tekanan dan massa ekstraksi. Untuk tekanan, dengan mengubah nilai tekanan pada masing-masing ekstraksi dengan menambah atau mengurangi tekanan sebesar 1 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk massa ekstraksi dengan mengubah nilai % ekstraksi sebesar 1% namun tetap dengan nilai total % massa ekstraksi sebesar



15% sebagai *variable control*. Lalu dengan simulasi pada Gatecycle diperoleh nilai seperti pada tabel 4.3

Tabel 4.3. Hasil *Running Gatecycle* Untuk Masing-masing Variasi

No.	Variasi Turbin HP	P ekst. (kg/cm <sup>2</sup> )	% massa ekstraksi						
			eksisting	8% : 2% : 5%	8% : 3% : 4%	7% : 2% : 6%	7% : 4% : 4%	6% : 4% : 5%	6% : 3% : 6%
1	P eksisting	eff.	32.19969559	32.16024399	32.14496613	32.19969559	32.18067169	32.21932983	32.22463608
		heatrate	2670.251709	2673.527344	2674.798096	2670.251709	2671.830322	2668.624512	2668.185059
		eff. Boiler	0.818207906	0.818694724	0.818908087	0.818207906	0.818364487	0.816088525	0.815466025
		power	50.13796234	50.04431915	50.00623703	50.13796234	50.10320282	50.29649734	50.3457489
2	P1+1 ; P2 ; P3	eff.	32.17965317	32.13494873	32.1218605	32.16548157	32.15935135	32.20330811	32.19472504
		heatrate	2671.915039	2675.631836	2676.722168	2673.091797	2673.601563	2669.952148	2670.664063
		eff. Boiler	0.818569452	0.818950128	0.819158225	0.816196031	0.818526648	0.81626383	0.814924322
		power	50.08627319	49.99473953	49.96059799	50.20732498	50.05467224	50.26637268	50.33226776
3	P1-1 ; P2 ; P3	eff.	32.22309875	32.18460846	32.16464233	32.20413971	32.20569992	32.24227905	32.24648285
		heatrate	2668.3125	2671.503662	2673.161865	2669.883301	2669.753906	2666.725098	2666.377441
		eff. Boiler	0.817756361	0.818161473	0.818333019	0.815502494	0.818013628	0.815866439	0.815911392
		power	50.20510101	50.11495972	50.07364655	50.31372833	50.16264725	50.34512711	50.39782333
4	P1 ; P2+1 ; P3	eff.	32.18364334	32.14671326	32.12744141	32.17002487	32.158535	32.21412659	32.20392609
		heatrate	2671.58374	2674.652588	2676.25708	2672.7146	2673.669434	2669.05542	2669.901123
		eff. Boiler	0.818624794	0.818600865	0.81905226	0.815903909	0.818591798	0.817765474	0.815492412
		power	50.08737564	50.02990341	49.9703064	50.23793411	50.04830551	50.18498993	50.31543732
5	P1 ; P2-1 ; P3	eff.	32.16945648	32.17008591	32.16361618	32.17674637	32.1635437	32.15983582	32.11663818
		heatrate	2672.761719	2672.709473	2673.24707	2672.15625	2673.253174	2673.561279	2677.157227
		eff. Boiler	0.81410507	0.818252555	0.8185262	0.813966254	0.814283758	0.811353385	0.80510663
		power	50.34132385	50.09490204	50.06438828	50.36602402	50.04574203	50.50103378	50.801651
6	P1 ; P2 ; P3+1	eff.	32.15715027	32.11662674	32.11135483	32.16204071	32.15162659	32.17354965	32.17819214
		heatrate	2673.784424	2677.158447	2677.5979	2673.37793	2674.244141	2672.421631	2672.036377
		eff. Boiler	0.818543928	0.819019721	0.819217225	0.818258897	0.818578181	0.816003696	0.815637507
		power	50.05432129	49.95398712	49.94119263	50.0818634	50.04574203	50.23270416	50.2650032
7	P1 ; P2 ; P3-1	eff.	32.13680267	32.09732437	32.15859985	32.02377319	32.17581177	32.12795258	32.11231319
		heatrate	2675.477295	2678.768311	2673.664063	2684.920898	2672.233887	2676.214355	2677.516602
		eff. Boiler	0.81064212	0.811271168	0.816744878	0.802198837	0.810132955	0.807463649	0.807463649
		power	50.50776291	50.40235519	50.16796494	50.8552475	50.5997467	50.68682098	50.85402629

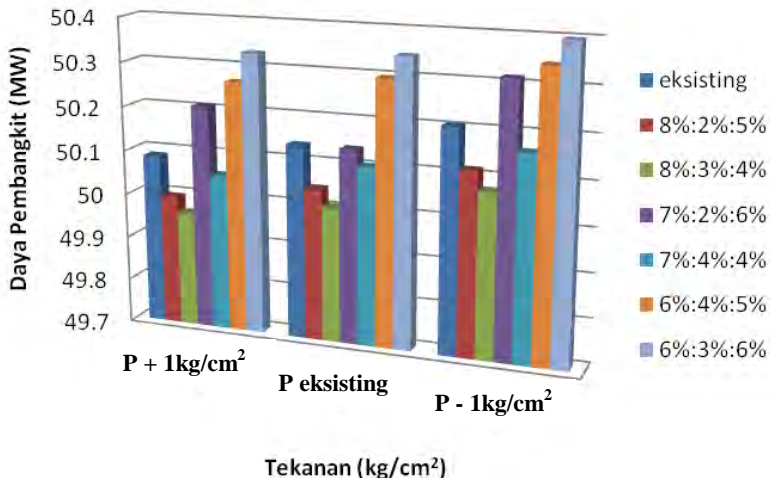




## 4.6 Analisa Performa PLTU

### 4.6.1 Daya Pembangkit

#### 4.6.1.1 Pengaruh Daya Pembangkit Terhadap Variasi P1



Gambar 4. 5 Pengaruh Variasi Ekstraksi Massa dan Tekanan P1

Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P1 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit memiliki tren yang meningkat. Daya tertinggi terjadi ketika nilai P1 dikurangi  $1\text{kg/cm}^2$ , nilai P2 dan P3 konstan dengan komposisi persentase massa 6% : 3% : 6% dengan daya yang dihasilkan sebesar 50.398 MW. Sedangkan nilai terendah sebesar 49.96 MW terjadi ketika komposisi massa ekstraksi bernilai 8% : 3% : 4% dengan penambahan  $1\text{kg/cm}^2$  pada P1 dan menjaga P2 dan P3 konstan.

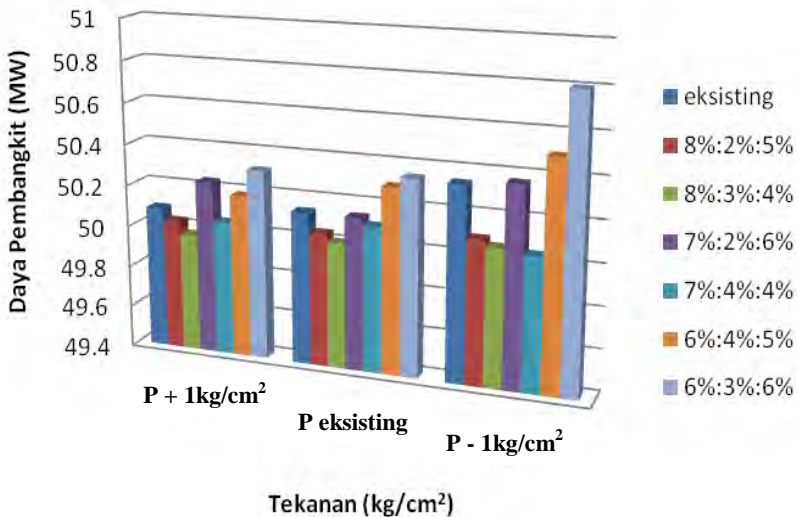
Daya tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dikarenakan kenaikan massa pada ekstraksi ketiga memberi dampak yang besar terhadap kenaikan daya dibandingkan penurunan massa pada ekstraksi pertama. Dapat dilihat melalui persamaan .



$$\dot{W}_{HP \text{ turbin}} = \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} - h_2)$$

Selanjutnya pada persen massa 6%:3%:6% nilai daya tertinggi terdapat pada variasi P1-1kg/cm<sup>2</sup>, berdasarkan persamaan  $h = u + pv$  dapat diketahui bahwa nilai  $h$  sebanding dengan nilai  $P$  sehingga penurunan nilai  $P$  berpengaruh pada nilai  $h_{21}$  yang juga mengalami penurunan. nilai  $h_{21}$  menyebabkan nilai  $\Delta h$  semakin besar sehingga mengakibatkan nilai daya meningkat.

#### 4.6.1.2 Pengaruh Daya Pembangkit Terhadap Variasi P2



Gambar 4.6 Pengaruh Variasi Ekstraksi Massa dan Tekanan P2

Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P2 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit terlihat fluktuatif dengan tren yang meningkat. Daya tertinggi terjadi ketika nilai P2 dikurangi 1kg/cm<sup>2</sup>, nilai P1 dan P3 dijaga konstan dengan komposisi persentase massa 6%:



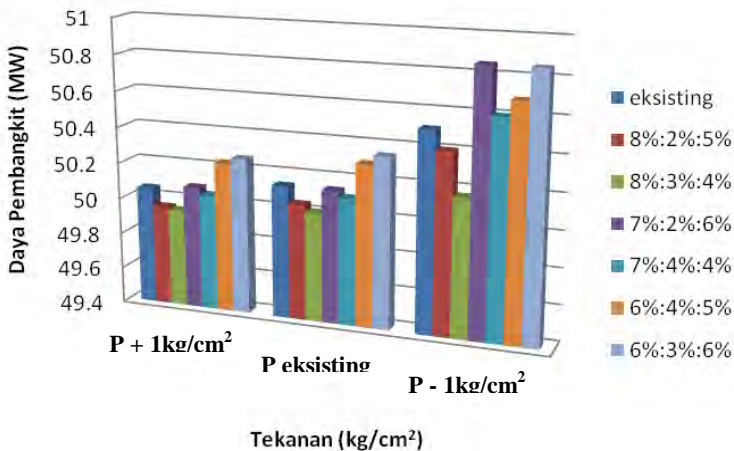
3% : 6% dengan daya yang dihasilkan sebesar 50.80 MW. Sedangkan nilai daya terendah sebesar 49.97 MW terjadi ketika komposisi massa ekstraksi bernilai 8% : 3% : 4% dengan penambahan 1kg/cm<sup>2</sup> pada P2 dan menjaga P1 dan P3 konstan.

Daya tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dikarenakan kenaikan massa pada ekstraksi ketiga memberi dampak yang besar terhadap kenaikan daya dibandingkan penurunan massa pada ekstraksi pertama. Dapat dilihat melalui persamaan

$$\dot{W}_{HP \text{ turbin}} = \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} - h_2)$$

Selanjutnya pada persen massa 6%:3%:6% nilai daya tertinggi terdapat pada variasi P2-1kg/cm<sup>2</sup>, berdasarkan persamaan  $h = u + pv$  dapat diketahui bahwa nilai h sebanding dengan nilai P sehingga penurunan nilai P2 berpengaruh pada nilai h<sub>59</sub> yang juga mengalami penurunan. Penurunan nilai h<sub>59</sub> menyebabkan nilai Δh semakin besar sehingga mengakibatkan nilai daya meningkat.

#### 4.6.1.3 Pengaruh Daya Pembangkit Terhadap Variasi P3



Gambar 4.7 Pengaruh Variasi Ekstraksi Massa dan Tekanan P3



Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P3 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit memiliki tren yang meningkat. Daya tertinggi terjadi ketika nilai P3 dikurangi  $1\text{kg}/\text{cm}^2$ , nilai P1 dan P2 konstan dengan komposisi persentase massa 6% : 3% : 6% dengan daya yang dihasilkan sebesar 50.85 MW. Sedangkan nilai daya terendah sebesar 49.94 MW terendah terjadi ketika komposisi massa ekstraksi bernilai 8% : 3% : 4% dengan penambahan  $1\text{kg}/\text{cm}^2$  pada P3 dan menjaga P1 dan P2 konstan.

Daya tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dikarenakan kenaikan massa pada ekstraksi ketiga memberi dampak yang besar terhadap kenaikan daya dibandingkan penurunan massa pada ekstraksi pertama. Dapat dilihat melalui persamaan

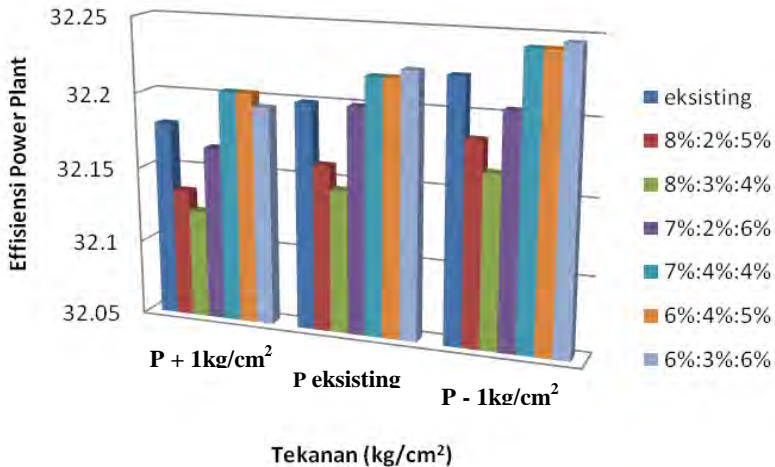
$$\dot{W}_{HP \text{ turbin}} = \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{53}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{53})(h_{53} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{53} - \dot{m}_{22})(h_{22} - h_2)$$

Selanjutnya pada persen massa 6%:3%:6% nilai daya tertinggi terdapat pada variasi P3- $1\text{kg}/\text{cm}^2$ , berdasarkan persamaan  $h = u + pv$  dapat diketahui bahwa nilai  $h$  sebanding dengan nilai  $P$  sehingga penurunan nilai P3 berpengaruh pada nilai  $h_{22}$  yang juga mengalami penurunan. Penurunan nilai  $h_{22}$  menyebabkan nilai  $\Delta h$  semakin besar sehingga mengakibatkan nilai daya meningkat.



## 4.6.2 Efisiensi Power Plant

### 4.6.2.1 Grafik Efisiensi dengan Variasi P1



Gambar 4.8 Pengaruh Variasi P1 terhadap Efisiensi Power Plant

Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P1 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit memiliki tren yang meningkat. Efisiensi tertinggi terjadi ketika nilai P1 dikurangi  $1\text{kg/cm}^2$ , nilai P2 dan P3 konstan dengan komposisi persentase massa 6% : 3% : 6% yaitu sebesar 32.24%. Sedangkan nilai terendah sebesar 32.12% terjadi ketika komposisi massa ekstraksi bernilai 8% : 3% : 4% dengan penambahan  $1\text{kg/cm}^2$  pada P1 sedangkan P2 dan P3 konstan.

Efisiensi tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dikarenakan kenaikan massa pada ekstraksi ketiga memberi dampak yang besar terhadap kenaikan efisiensi dibandingkan penurunan massa pada ekstraksi pertama. Dapat dilihat melalui persamaan

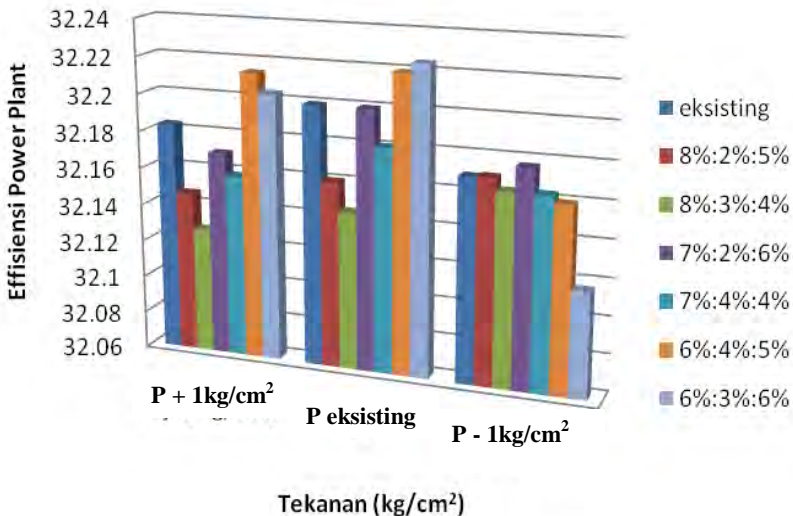


$$\dot{W}_{HP\ turbin} = \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} - h_2)$$

Selanjutnya pada persen massa 6%:3%:6% nilai daya tertinggi terdapat pada variasi P1-1kg/cm<sup>2</sup>, berdasarkan persamaan  $h = u + pv$  dapat diketahui bahwa nilai  $h$  sebanding dengan nilai  $P$  sehingga penurunan nilai  $P$  berpengaruh pada nilai  $h_{21}$  yang juga mengalami penurunan. Penurunan nilai  $h_{21}$  menyebabkan nilai  $\Delta h$  semakin besar sehingga mengakibatkan nilai daya juga meningkat sebanding dengan meningkatnya nilai efisiensi. Sesuai dengan persamaan

$$\eta = \frac{(\dot{W}_{turbin} - \dot{W}_{pompa})}{\dot{Q}_{boiler}}$$

#### 4.6.2.2 Grafik Efisiensi dengan Variasi P2



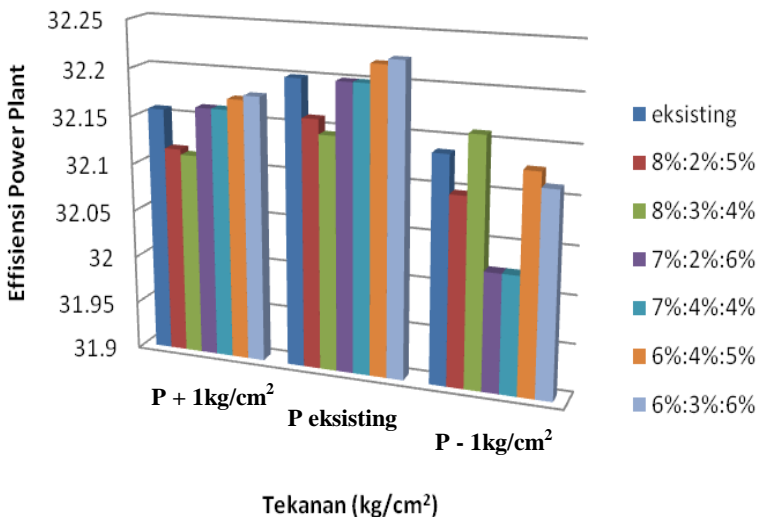
Gambar 4.9 Pengaruh Variasi P2 terhadap Efisiensi *Power Plant*



Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P2 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit memiliki tren yang bervariasi. Efisiensi tertinggi terjadi ketika nilai P2 berada pada nilai eksisting dengan komposisi persentase massa 6%: 3% : 6% dengan efisiensi sebesar 32.22%. Sedangkan nilai terendah sebesar 32.11% terjadi ketika komposisi massa ekstraksi bernilai 6% : 3% : 6% dengan penambahan  $1\text{kg}/\text{cm}^2$  pada P2.

Efisiensi tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dimana pada titik ini sistem pembangkit berada pada titik tekanan untuk mencapai efisiensi optimum sehingga bila dilakukan pengurangan/penambahan nilai tekanan maka efisiensinya akan menurun.

#### 4.6.2.3 Grafik Efisiensi dengan Variasi P3



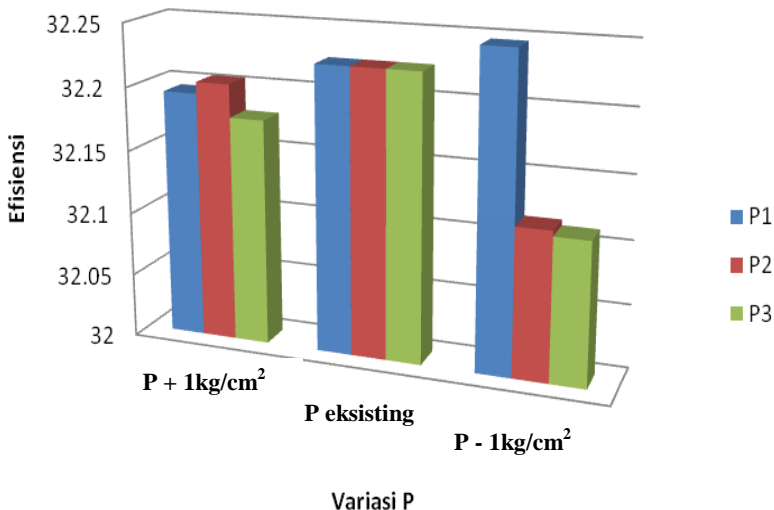
Gambar 4.10 Pengaruh Variasi P3 terhadap Efisiensi *Power Plant*



Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P3 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit memiliki tren yang berbentuk kurva. Efisiensi tertinggi terjadi ketika nilai P3 berada pada tekanan eksisting dengan komposisi persentase massa 6%:3%:6% sebesar 32.22% dan nilai efisiensi terendah didapat pada komposisi massa ekstraksi 7%:2%:6% dengan variasi tekanan P3-1kg/cm<sup>2</sup> dengan nilai efisiensi sebesar 32.02%.

Efisiensi tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dimana pada titik ini sistem pembangkit berada pada titik tekanan untuk mencapai efisiensi optimum sehingga bila dilakukan pengurangan/penambahan nilai tekanan maka effisiensinya akan menurun.

#### 4.6.3 Grafik Efisiensi Gabungan tiap Variasi Tekanan



Gambar 4.11 Grafik gabungan nilai efisiensi terdapat tiap variasi tekanan





Dari gambar 4.11 dapat diketahui bahwa nilai efisiensi terbaik terdapat pada variasi tekanan P1 - 1 kg/cm<sup>2</sup> yaitu sebesar 32.24%. Pada variasi P2 dan P3 memiliki trend grafik berbentuk kurva, dimana pada posisi P3 - 1 kg/cm<sup>2</sup> mengalami penurunan yang cukup tajam.

Dilihat pada persamaan efisiensi sebagai berikut,

$$\eta = \frac{(\dot{W}_{\text{turbin}} - \dot{W}_{\text{pompa}})}{\dot{Q}_{\text{boiler}}}$$

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa penurunan nilai P1 menyebabkan kenaikan pada nilai  $\dot{W}_{\text{turbin}}$ , sehingga dari persamaan ini dapat dijelaskan bahwa pengurangan nilai tekanan pada variasi P1 mengakibatkan kenaikan pada nilai efisiensi paling tinggi dibanding nilai variasi tekanan yang lain.



*halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisa mengenai keseluruhan hasil perhitungan terhadap pengaruh perubahan aliran massa dan tekanan ekstraksi Turbin Uap terhadap performa pembangkit listrik tenaga uap berkapasitas 50 MW maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perubahan nilai tekanan ekstraksi Turbin terbaik adalah pada tekanan ekstraksi menuju HPH 1 dengan menurunkan nilainya sebesar  $1 \text{ kg/cm}^2$ .
2. Perbandingan komposisi aliran massa Ekstraksi Turbin HP memiliki hasil terbaik pada nilai 6% menuju HPH 1, 3% menuju HPH 2 dan 6% menuju HPH 3.
3. Perubahan nilai tekanan ekstraksi serta komposisi aliran massa ekstraksi Turbin HP dapat meningkatkan efisiensi pembangkit sebesar 0.04% dan daya pembangkit sebesar 0.23 MW.

### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan setelah menyelesaikan laporan tugas akhir ini, adalah sebagai berikut :

1. Dalam membangun sebuah model simulasi di *Software Gatecycle* diperlukan data yang lebih rinci dan lengkap, sehingga dapat diperoleh hasil permodelan semakin mewakili kondisi *real* pembangkit.



2. Perhitungan rugi-rugi pada pembangkit, seperti *Pressure drop* dan juga kebocoran perlu diperhatikan agar dapat diantisipasi dalam perancangan PLTU.



---

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Moran, M.J and Howard N. Shapiro, 2000, *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. John Wiley & Sons Inc. Chicester.
- [2] Dendi Junaidi, dkk. *Keseimbangan Massa dan Kalor Serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pada Berbagai Perubahan Beban dengan Menvariasikan Jumlah Feedwater Heater*, Yogyakarta ; 2011.
- [3] M.M. Rashidi, dkk, *Thermodynamic Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heaters*, 2005.
- [4] Srinivas, T. dkk. *Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with 'n' Number of Feedwater Heaters*, Gudlavalleru; 2007.



*halaman ini sengaja dikosongkan*



---

## **BIODATA PENULIS**



Rosita Suroso dilahirkan di Balikpapan pada hari Selasa tanggal 03 Desember 1991. Penulis merupakan putri kedua dari dua bersaudara dari pasangan Suroso Kasini dan Rusmini. Penulis memulai pendidikan formal di TK Ekadyaksa Balikpapan, SD Negeri 001 Balikpapan, SMP Negeri 1 Balikpapan dan SMA Negeri 1 Balikpapan. Setelah menyelesaikan studi pada sekolah menengah atas

penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Mesin pada tahun 2009. Penulis mengambil bidang studi Konversi Energi.

Selama masa perkuliahan penulis aktif di kegiatan kemahasiswaan. Pada tahun kedua penulis aktif sebagai sekretaris Keluarga Pelajar Mahasiswa Balikpapan. Penulis juga aktif sebagai asisten laboratorium Perpindahan Panas dan Massa.

E-mail : [rositasuroso@gmail.com](mailto:rositasuroso@gmail.com)



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# Tinjauan Termodinamika untuk Optimalisasi dalam Perencanaan PLTU Batubara 50 MW

Rosita Suroso dan Djatmiko Ichsani

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*e-mail:* djatmiko@me.its.ac.id

**Abstrak**—Pada era modern seperti saat ini, listrik merupakan kebutuhan yang sudah termasuk dalam kebutuhan primer yang tidak bisa dinomor duakan lagi. Kebutuhan listrik telah menjangkau semua lapisan masyarakat dari masyarakat kelas bawah, kelas menengah hingga masyarakat kelas atas dengan masing-masing kebutuhan listrik yang berbeda. Energi listrik kini merupakan landasan bagi kehidupan modern dan ketersediaannya dalam jumlah dan mutu yang cukup menjadi syarat bagi suatu masyarakat yang memiliki taraf kehidupan yang lebih baik dan perkembangan industri yang maju di segala bidang. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tidak cukup hanya dengan membangun pembangkit listrik saja namun diperlukan adanya peningkatan efisiensi pada pembangkit tersebut, salah satunya dengan penambahan feedwater heater. Untuk memudahkan dalam mempelajari feedwater heater maka di bangun permodelan pembangkit dalam suatu software simulasi, yaitu GateCycle. Selain itu juga dapat dilakukan dengan perhitungan manual menggunakan analisa termodinamika untuk mencari fraksi massa pada setiap titik keadaan ( $y'$ ), kalor yang masuk pada komponen boiler ( $\Sigma Q_{inlet}$ ), kerja yang dihasilkan oleh masing-masing turbin ( $\Sigma W_t$ ), serta kerja yang dibutuhkan pompa untuk mengalirkan fluida ( $\Sigma W_p$ ). Dari nilai-nilai tersebut dapat dicari nilai efisiensi pembangkit secara keseluruhan. Optimasi dilakukan dengan mengubah persentase massa dan tekanan uap ekstraksi turbin HP. Dari penelitian ini didapat sebuah permodelan pembangkit listrik tenaga batubara berkapasitas 50 MW dan terjadi peningkatan efisiensi pembangkit sebesar 0.04% dan peningkatan daya sebesar 0.23 MW setelah dilakukan analisa pada tekanan masuk HPH1 yang diturunkan sebesar 1 kg/cm<sup>2</sup> dan % laju aliran massa dari total massa yang masuk pada turbin HP sebesar 6% menuju HPH 1, 3% menuju HPH 2, dan 6% menuju HPH 3.

**Kata Kunci**—PLTU, Batubara, GateCycle, Feedwater Heater

## I. PENDAHULUAN

Pada era modern seperti saat ini, listrik merupakan kebutuhan yang sudah termasuk dalam kebutuhan primer yang tidak bisa dinomor duakan lagi. Kebutuhan akan listrik ini pastinya akan terus meningkat seiring dengan tingkat pertumbuhan masyarakat modern. Pembangkit listrik tenaga uap sebagai penghasil energi listrik yang paling sering digunakan untuk pemenuhan kebutuhan sumber energi listrik bagi kehidupan masyarakat mengalami banyak evaluasi di dalam proses kerja. Hal tersebut dilakukan untuk meningkatkan performansi pembangkit yang telah ada sehingga dengan pemakaian sejumlah bahan bakar yang sama dapat diperoleh nilai efisiensi system pembangkit yang lebih tinggi dan jumlah pasokan listrik ke masyarakat lebih baik. PLTU adalah suatu pembangkit listrik dimana energi listrik dihasilkan

oleh generator yang diputar oleh turbin uap yang memanfaatkan tekanan uap hasil dari penguapan air yang dipanaskan oleh bahan bakar di dalam ruang bakar (boiler).

Salah satu jenis PLTU adalah PLTU berbahan bakar batubara. PLTU berbahan bakar batubara sangat vital penggunaannya di Indonesia maupun di dunia. PLTU batubara merupakan sumber utama energi di dunia. Dimana 60 % pasokan listrik dunia masih bertumpu pada PLTU berbahan bakar batubara.

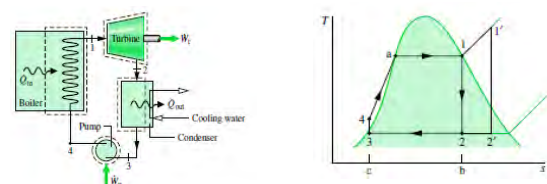
Pembangkit tenaga uap secara umum terdiri dari boiler, turbin uap, kondensor dan juga pompa. Peningkatan efisiensi dari pembangkit tenaga uap bisa dengan menambah economizer dan proses superheater pada boiler, dan setelah itu dapat dilakukan penambahan feedwater heater untuk meningkatkan temperatur air yang akan dipanaskan pada boiler. Sumber energi untuk pemanasan pada feedwater heater berasal dari ekstraksi turbin uap. Turbin uap bisa terdiri dari beberapa tingkatan dan jumlah titik ekstraksi bisa beragam tergantung kebutuhan.

Tujuan dalam penelitian ini bermaksud mencari optimalisasi efisiensi dan daya keseluruhan yang dapat dicapai oleh PLTU batubara kapasitas 50 MW dengan melakukan variasi pada persentase massa dan tekanan ekstraksi di turbin HP dengan menjaga laju aliran massa total konstan.

## II. DASAR TEORI

### II.1 Perhitungan Termodinamika pada Masing-masing Komponen Utama PLTU

Siklus *Rankine* merupakan siklus teoritis paling sederhana yang menggunakan uap sebagai *medium* kerja sebagaimana digunakan pada sebuah PLTU. Dikatakan siklus teoritis paling sederhana, karena setelah terjadi satu siklus, *fluida* kerja kembali kepada keadaan/sifat semula. Pada siklus *rankine*, komponen-komponen utama yang bekerja dapat dilihat seperti gambar di bawah ini,



Gambar 2.6 Siklus Rankine dan T-s diagram untuk siklus Rankine Ideal (Moran & Saphiro, 2004)

Seperti halnya pada Rankine Cycle, hukum pertama maupun kedua termodinamika dapat diterapkan untuk mengetahui performa dari sistem powerplant. Untuk mendapatkan kerja output dan meningkatkan efisiensi dapat ditentukan dengan menggunakan hukum keseimbangan energi. Dengan penerapan kesetimbangan laju massa dan energi pada volume atur dari tiap peralatan utama melalui persamaan hukum termodinamika 2 sebagai berikut :

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_o \left( h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right)$$

Analisa pada turbin dengan dengan asumsi (1) steady state (2) perubahan energi kinetik diabaikan (3) perubahan energi potensial diabaikan (4) tidak ada panas yang masuk ke sistem sehingga diperoleh  $\dot{m}_i = \dot{m}_o = \dot{m}$  dan  $\dot{W}_t = \dot{m}(h_i - h_o)$

Analisa pada kondensor dengan asumsi (1) steady state (2) perubahan energi kinetik diabaikan (3) perubahan energi potensial diabaikan (4) tidak ada kerja yang masuk sehingga diperoleh  $\dot{m}_i = \dot{m}_o = \dot{m}$  dan  $Q_{condensator} = -\dot{Q}_{cv} = \dot{m}(h_i - h_o)$

Analisa pada pompa dengan asumsi (1) steady state (2) perubahan energi kinetik diabaikan (3) perubahan energi potensial diabaikan (4) pompa diisolasi sehingga diperoleh  $\dot{m}_i = \dot{m}_o = \dot{m}$  dan  $W_{pompa} = \dot{W}_{cv} = \dot{m}(h_i - h_o)$

Analisa pada boiler dengan asumsi (1) steady state (2) perubahan energi kinetik diabaikan (3) perubahan energi potensial diabaikan (4) tidak ada kerja yang masuk ke sistem sehingga diperoleh  $\dot{m}_i = \dot{m}_o = \dot{m}$  dan  $Q_{boiler} = \dot{Q}_{cv} = \dot{m}(h_i - h_o)$ .

Analisa pada feedwater heater (closed feed) dengan asumsi (1) steady state (2) energi kinetik diabaikan (3) energi potensial diabaikan (4) tidak terjadi perpindahan kalor antara pemanas air pengisian dan lingkungan sekelilingnya sehingga diperoleh

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

Analisa pada feedwater heater (closed feed) menggunakan trap dengan asumsi (1) steady state (2) perubahan energi kinetik diabaikan (3) perubahan energi potensial diabaikan (4) tidak ada kerja yang masuk ke dalam sistem (5) tidak terjadi perpindahan kalor antara pemanas air pengisian dan lingkungan diperoleh  $h_i = h_o$

Analisa pada feedwater heater (open feed) dengan asumsi (1) steady state (2) perubahan energi kinetik diabaikan (3) perubahan energi potensial diabaikan (4) tidak terjadi perpindahan kalor antara pemanas air pengisian dan lingkungan sekelilingnya diperoleh  $0 = y''h_{u_{in}} + (1 - y'')h_i - h_o$  sehingga  $y'' = \frac{h_o - h_i}{h_{u_{in}} - h_i}$

II.2 Gambaran Umum GateCycle

Gatecycle merupakan suatu perangkat lunak yang digunakan untuk memprediksi desain dan performa desain siklus pembangkit yang dikombinasi, pembangkit dengan bahan bakar fosil, nuklir, sistem

cogenerasi, pembangkit tenaga, siklus gas turbin tingkat lanjut, dan sistem lainnya.



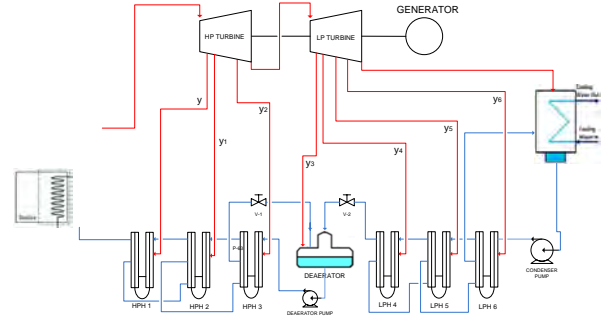
Gambar 1 . Tampilan Software Gate Cycle

Software ini dapat digunakan untuk pengujian secara cepat, permodelan detail, mendesain, meningkatkan, memperbaharui dan menentukan apakah pembangkit tersebut layak untuk diterima atau dipergunakan. Pendekatan komponennya serta kemampuan makro tingkat lanjut membuat pengguna software ini dapat memodelkan sistem apapun . Gate cycle dilengkapi gambar model peralatan dengan detail proses , properti termodinamika, perpindahan panas dan mekanika fluida yang memungkinkan pengguna melakukan analisis design yang telah dibuat beserta simulasinya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

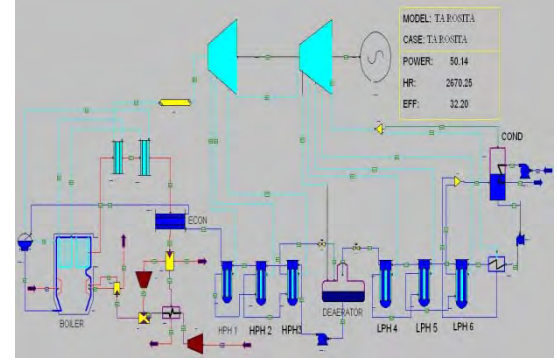
III. 1 Pemodelan Kondisi Eksisting PLTU pada Gate Cycle

Desain PLTU 50 MW yang akan dibangun di Gate Cycle berdasarkan skema aliran massa seperti pada gambar di bawah :



Gambar 2. Aliran massa model PLTU 50MW

Berdasarkan susunan tersebut di atas model pembangkit di Gatecycle dibangun seperti gambar di bawah:

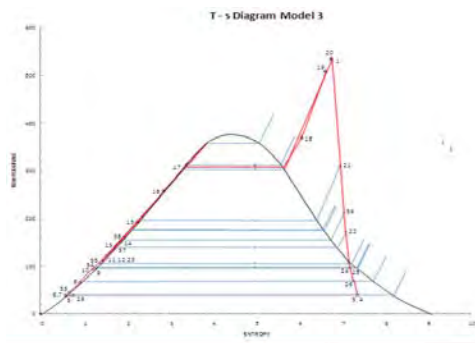


Gambar 3. Kondisi awal PLTU 50 MW pada GateCycle

Gambar 2 merupakan kondisi awal pembangkit yang dibangun pada Software Gatecycle berdasarkan data dari PLTU dengan daya 50 MW. Proses membangun pembangkit pada Gatecycle 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.

III.2 Analisa Termodinamika Pembangkit

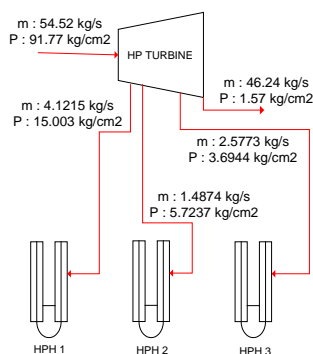
Penelitian ini menggunakan model PLTU berbahan bakar Batubara berkapasitas 50 MW , dimana model tersebut menggunakan dua turbin *single case* yang berada dalam satu poros. Turbin tersebut terdiri dari *High Pressure Turbine* (HP *Steam Turbine*) yang memiliki 3 ekstraksi dan *Low Pressure Turbine* (LP *Steam Turbin*) memiliki 4 ekstraksi.



Gambar 4. Diagram T-s model Pembangkit 50 MW

Grafik T-s diagram di atas menggambarkan fase tiap komponen tidak terjadi secara ideal karena peninjauan berdasarkan software Gate Cycle. 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.

III.3 Variasi pada *High Pressure Turbine*



Gambar 5. Kondisi awal ekstraksi dari turbin HP

Kondisi awal PLTU unit 50MW untuk aliran steam utama yang akan masuk pada turbin HP sebesar

54.42 kg/s dengan tekanan 91.77 kg/cm<sup>2</sup> . Kemudian ceratan atau ekstraksi dan tekanan pertama (HPH1), kedua (HPH2), dan ketiga (HPH3) pada turbin HP sebesar 4.12 kg/s & 15.003 kg/cm<sup>2</sup> , 2.149 kg/s & 5.7237 kg/cm<sup>2</sup>, dan 2.58 kg/s & 3.6944 kg/cm<sup>2</sup> sehingga presentase ekstraksi pada kondisi awal bila dibandingkan dengan steam utama yang akan masuk pada turbin HP adalah sebesar 7% (HPH1), 3% (HPH2), dan 5% (HPH3). Total massa ekstraksi yang diperbolehkan pada turbin HP adalah hanya sebesar 8.19 kg/s atau 15% dari massa uap yang masuk ke turbin HP.

Pada penelitian ini, pemanfaatan uap dari ekstraksi turbin HP sesuai dengan standar GE dengan total massa uap ekstraksi sebesar 15% dari uap utama yang masuk pada turbin HP, yaitu 54.42 kg/s. Selanjutnya tekanan dan uap ekstraksi yang masuk ke HPH1, HPH2, dan HPH3 akan divariasikan secara bertahap seperti dijelaskan pada tabel 1

Tabel.1 Variasi Tekanan dan Massa Ekstraksi Turbin HP

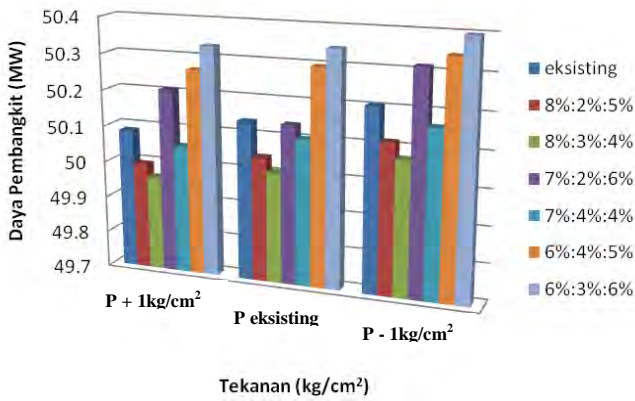
No.	Variasi Turbin HP	P ekst. (kg/cm <sup>2</sup> )	% massa ekstraksi						
			eksisting	8% : 2% : 5%	8% : 3% : 4%	7% : 2% : 6%	7% : 4% : 4%	6% : 4% : 5%	6% : 3% : 6%
1	P eksisting	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
2	P1+1 ; P2 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
3	P1-1 ; P2 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
4	P1 ; P2+1 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
5	P1 ; P2-1 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
6	P1 ; P2 ; P3+1	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
7	P1 ; P2 ; P3-1	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							

Tabel 1 menunjukkan bahwa variasi dilakukan dengan menggunakan 2 variabel, yaitu tekanan dan massa ekstraksi. Untuk tekanan dengan mengubah nilai tekanan pada masing ekstraksi dengan menambah atau mengurangi tekanan sebesar 1 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk massa ekstraksi dengan mengubah nilai % ekstraksi sebesar 1% namun tetap dengan nilai total % massa ekstraksi sebesar 15% sebagai *variable control*.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian ini diperoleh hasil perhitungan manual dan running pada GateCycle.

IV.1 Pengaruh Daya Pembangkit Terhadap Variasi P1



Gambar 6. Grafik Variasi Ekstraksi Massa dan Tekanan P1

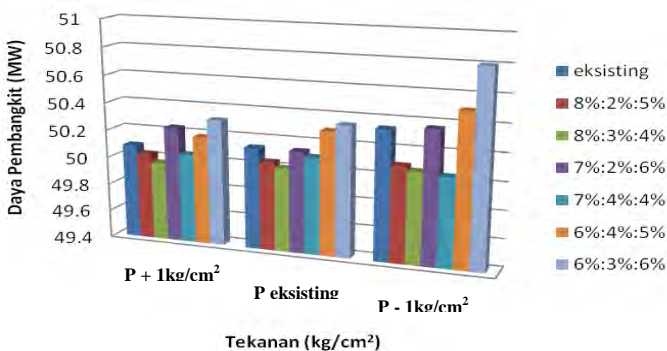
Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P1 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit memiliki tren yang meningkat. Daya tertinggi terjadi ketika nilai P1 dikurangi 1kg/cm2 , nilai P2 dan P3 konstan dengan komposisi persentase massa 6%: 3% : 6% dengan daya yang dihasilkan sebesar 50.398 MW. Sedangkan nilai terendah sebesar 49.96 MW terjadi ketika komposisi massa ekstraksi bernilai 8% : 3% : 4% dengan penambahan 1kg/cm2 pada P1 dan menjaga P2 dan P3 konstan.

Daya tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dikarenakan kenaikan massa pada ekstraksi ketiga memberi dampak yang besar terhadap kenaikan daya dibandingkan penurunan massa pada ekstraksi pertama. Dapat dilihat melalui persamaan

$$W_{HP turbine} = \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} - h_2)$$

Selanjutnya pada persen massa 6%:3%:6% nilai daya tertinggi terdapat pada variasi P1-1kg/cm2, berdasarkan persamaan  $h = u + pv$  dapat diketahui bahwa nilai h sebanding dengan nilai P sehingga penurunan nilai P berpengaruh pada nilai h21 yang juga mengalami penurunan. nilai h21 menyebabkan nilai Δh semakin besar sehingga mengakibatkan nilai daya meningkat.

IV.2 Pengaruh Daya Pembangkit Terhadap Variasi P2



Gambar 7. Grafik Variasi Ekstraksi Massa dan Tekanan P2

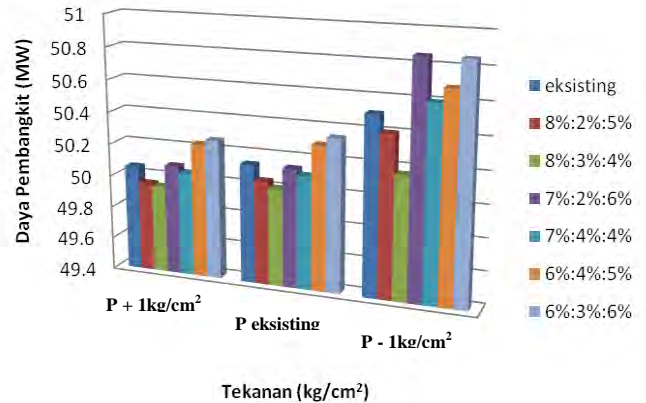
Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P2 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit terlihat fluktuatif dengan tren yang meningkat. Daya tertinggi terjadi ketika nilai P2 dikurangi 1kg/cm2 , nilai P1 dan P3 dijaga konstan dengan komposisi persentase massa 6%: 3% : 6% dengan daya yang dihasilkan sebesar 50.80 MW. Sedangkan nilai daya terendah sebesar 49.97 MW terjadi ketika komposisi massa ekstraksi bernilai 8% : 3% : 4% dengan penambahan 1kg/cm2 pada P2 dan menjaga P1 dan P3 konstan.

Daya tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dikarenakan kenaikan massa pada ekstraksi ketiga memberi dampak yang besar terhadap kenaikan daya dibandingkan penurunan massa pada ekstraksi pertama. Dapat dilihat melalui persamaan

$$W_{HP turbine} = \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} - h_2)$$

Selanjutnya pada persen massa 6%:3%:6% nilai daya tertinggi terdapat pada variasi P2-1kg/cm2, berdasarkan persamaan  $h = u + pv$  dapat diketahui bahwa nilai h sebanding dengan nilai P sehingga penurunan nilai P berpengaruh pada nilai h59 yang juga mengalami penurunan. Penurunan nilai h59 menyebabkan nilai Δh semakin besar sehingga mengakibatkan nilai daya meningkat.

IV.3 Pengaruh Daya Pembangkit Terhadap Variasi P3



Gambar 8. Grafik Variasi Ekstraksi Massa dan Tekanan P3

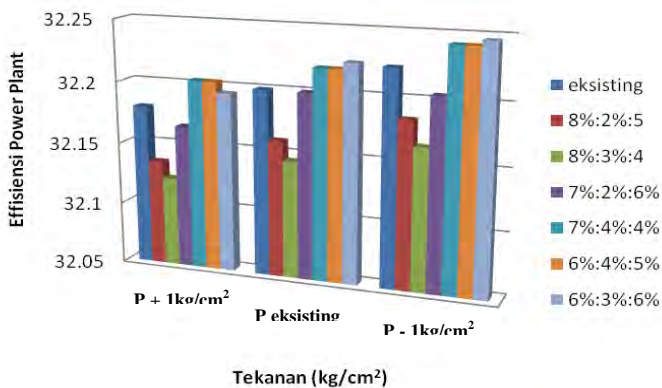
Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P3 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit memiliki tren yang meningkat. Daya tertinggi terjadi ketika nilai P3 dikurangi 1kg/cm2 , nilai P1 dan P2 konstan dengan komposisi persentase massa 6%: 3% : 6% dengan daya yang dihasilkan sebesar 50.85 MW. Sedangkan nilai daya terendah sebesar 49.94 MW terendah terjadi ketika komposisi massa ekstraksi bernilai 8%: 3% : 4% dengan penambahan 1kg/cm2 pada P3 dan menjaga P1 dan P2 konstan.

Daya tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dikarenakan kenaikan massa pada ekstraksi ketiga memberi dampak yang besar terhadap kenaikan daya dibandingkan penurunan massa pada ekstraksi pertama. Dapat dilihat melalui persamaan

$$\dot{W}_{HP \text{ turbin}} = \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{55}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{55})(h_{55} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{55} - \dot{m}_{22})(h_{22} - h_2)$$

Selanjutnya pada persen massa 6%:3%:6% nilai daya tertinggi terdapat pada variasi P3-1kg/cm<sup>2</sup>, berdasarkan persamaan  $h = u + pv$  dapat diketahui bahwa nilai  $h$  sebanding dengan nilai  $P$  sehingga penurunan nilai  $P3$  berpengaruh pada nilai  $h_{22}$  yang juga mengalami penurunan. Penurunan nilai  $h_{22}$  menyebabkan nilai  $\Delta h$  semakin besar sehingga mengakibatkan nilai daya meningkat.

#### IV.4 Pengaruh Efisiensi Power Plant Terhadap Variasi P1



Gambar 9. Grafik Variasi P1 terhadap Efisiensi Power Plant

Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P1 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit memiliki tren yang meningkat. Efisiensi tertinggi terjadi ketika nilai P1 dikurangi 1kg/cm<sup>2</sup>, nilai P2 dan P3 konstan dengan komposisi persentase massa 6%:3%:6% yaitu sebesar 32.24%. Sedangkan nilai terendah sebesar 32.12% terjadi ketika komposisi massa ekstraksi bernilai 8%:3%:4% dengan penambahan 1kg/cm<sup>2</sup> pada P1 sedangkan P2 dan P3 konstan.

Efisiensi tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dikarenakan kenaikan massa pada ekstraksi ketiga memberi dampak yang besar terhadap kenaikan efisiensi dibandingkan penurunan massa pada ekstraksi pertama. Dapat dilihat melalui persamaan

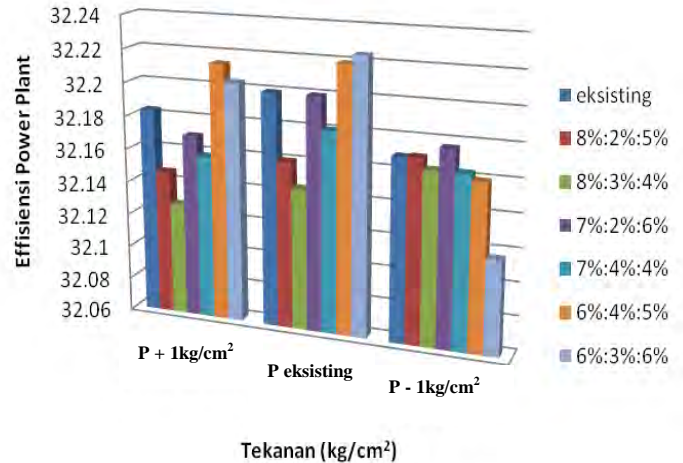
$$\dot{W}_{HP \text{ turbin}} = \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{55}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{55})(h_{55} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{55} - \dot{m}_{22})(h_{22} - h_2)$$

Selanjutnya pada persen massa 6%:3%:6% nilai daya tertinggi terdapat pada variasi P1-1kg/cm<sup>2</sup>, berdasarkan persamaan  $h = u + pv$  dapat diketahui bahwa nilai  $h$  sebanding dengan nilai  $P$  sehingga

penurunan nilai P1 berpengaruh pada nilai  $h_{21}$  yang juga mengalami penurunan. Penurunan nilai  $h_{21}$  menyebabkan nilai  $\Delta h$  semakin besar sehingga mengakibatkan nilai daya juga meningkat sebanding dengan meningkatnya nilai efisiensi. Sesuai dengan persamaan

$$\eta = \frac{(W_{\text{turbin}} - W_{\text{pompa}})}{Q_{\text{boiler}}}$$

#### IV.5 Pengaruh Efisiensi Power Plant Terhadap Variasi P2

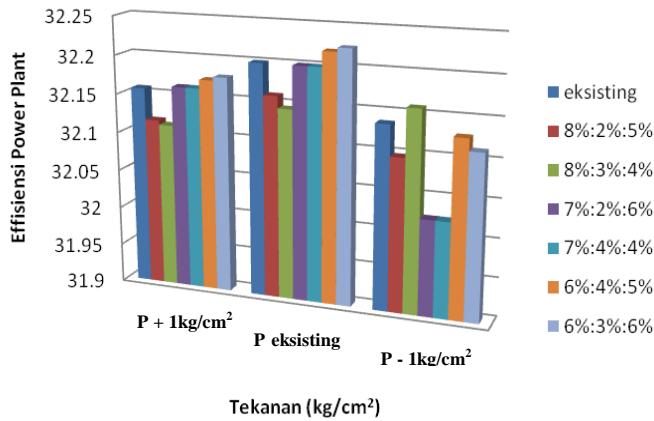


Gambar 10. Grafik Variasi P2 terhadap Efisiensi Power Plant

Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P2 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit memiliki tren yang bervariasi. Efisiensi tertinggi terjadi ketika nilai P2 berada pada nilai eksisting dengan komposisi persentase massa 6%:3%:6% dengan efisiensi sebesar 32.22%. Sedangkan nilai terendah sebesar 32.11% terjadi ketika komposisi massa ekstraksi bernilai 6%:3%:6% dengan penambahan 1kg/cm<sup>2</sup> pada P2.

Efisiensi tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dimana pada titik ini sistem pembangkit berada pada titik tekanan untuk mencapai efisiensi optimum sehingga bila dilakukan pengurangan/penambahan nilai tekanan maka efisiensinya akan menurun.

#### IV.6 Pengaruh Efisiensi Power Plant Terhadap Variasi P3

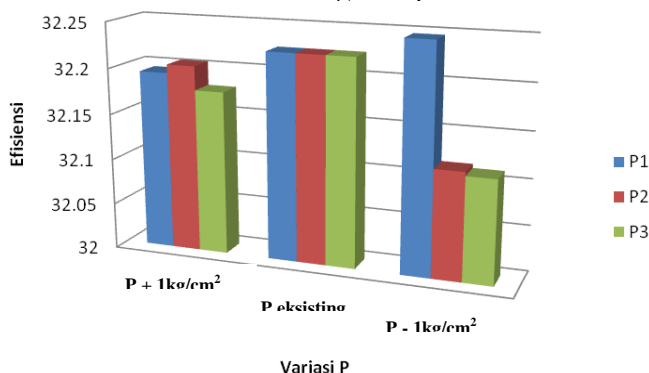


Gambar11. Grafik Variasi P3 terhadap Effisiensi Power Plant

Grafik ini menjelaskan tentang pengaruh variasi P3 dengan masing-masing komposisi persentase massa ekstraksi terhadap daya pembangkit. Pada grafik ini dapat terlihat bahwa daya pembangkit memiliki tren yang berbentuk kurva. Efisiensi tertinggi terjadi ketika nilai P3 berada pada tekanan eksisting dengan komposisi persentase massa 6%:3%:6% sebesar 32.22% dan nilai efisiensi terendah didapat pada komposisi massa ekstraksi 7%:2%:6% dengan variasi tekanan P3-1kg/cm<sup>2</sup> dengan nilai efisiensi sebesar 32.02%.

Efisiensi tertinggi terdapat pada perbandingan persen massa 6%:3%:6% dimana pada titik ini sistem pembangkit berada pada titik tekanan untuk mencapai efisiensi optimum sehingga bila dilakukan pengurangan/penambahan nilai tekanan maka effisiensinya akan menurun.

#### IV.7 Analisa Efisiensi Gabungan tiap Variasi Tekanan



Gambar12. Grafik gabungan nilai efisiensi terbaik tiap variasi tekanan

Dari gambar 12 dapat diketahui bahwa nilai efisiensi terbaik terdapat pada variasi tekanan P1 - 1 kg/cm<sup>2</sup> yaitu sebesar 32.24%. Pada variasi P2 dan P3 memiliki trend grafik berbentuk kurva, dimana pada posisi P3 - 1 kg/cm<sup>2</sup> mengalami penurunan yang cukup tajam.

Dilihat pada persamaan efisiensi sebagai berikut:

$$\eta = \frac{(W_{\text{turbine}} - W_{\text{pompa}})}{Q_{\text{total}}}$$

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa penurunan nilai P1 menyebabkan kenaikan pada nilai Wturbine, sehingga dari persamaan ini dapat dijelaskan bahwa pengurangan nilai tekanan pada variasi P1 mengakibatkan kenaikan pada nilai efisiensi paling tinggi dibanding nilai variasi tekanan yang lain.

#### V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Setelah dilakukan analisa mengenai keseluruhan hasil perhitungan terhadap pengaruh perubahan aliran massa dan tekanan ekstraksi Turbin Uap terhadap performa pembangkit listrik tenaga uap berkapasitas 50 MW maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perubahan nilai tekanan ekstraksi Turbin terbaik adalah pada tekanan ekstraksi menuju HPH 1 dengan menurunkan nilainya sebesar 1 kg/cm<sup>2</sup>.
2. Perbandingan komposisi aliran massa Ekstraksi Turbin HP memiliki hasil terbaik pada nilai 6% menuju HPH 1, 3% menuju HPH 2 dan 6% menuju HPH 3.
3. Perubahan nilai tekanan ekstraksi serta komposisi aliran massa ekstraksi Turbin HP dapat meningkatkan efisiensi pembangkit sebesar 0.04% dan peningkatan daya sebesar 0.23 MW.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Rosita Suroso mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichani, M.Eng sebagai dosen pembimbing tugas akhir atas bimbingan dan arahnya dalam proses penyusunan jurnal ilmiah. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua dan kolega atas semua motivasi dan dukungan dalam penyusunan jurnal ilmiah. Ucapan terima kasih dan hormat kepada semua dosen, karyawan dan mahasiswa Teknik Mesin yang telah mengajarkan ilmu, pengalaman serta sebagai keluarga yang bermakna selama penulis berkuliah di ITS

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moran, Michael J and Shapiro, Howard N., "Termodinamika Teknik Jilid 1", edisi 4, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994
- [2] Dendi Junaidi, dkk. *Keseimbangan Massa dan Kalor Serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pada Berbagai Perubahan Beban dengan Menvariasikan Jumlah Feedwater Heater*, Yogyakarta ; 2011.
- [3] M.M. Rashidi, dkk, *Thermodynamic Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heaters*, 2005.
- [4] Srinivas, T. dkk. *Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with 'n' Number of Feedwater Heaters*, Gudlavalleru; 2007.

# TINJAUAN TERMODINAMIKA UNTUK OPTIMASI DALAM PERENCANAAN PLTU BATUBARA 50 MW



Oleh:  
Rosita Suroso  
2109100060



Dosen Pembimbing:  
Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichسانی, M.Eng

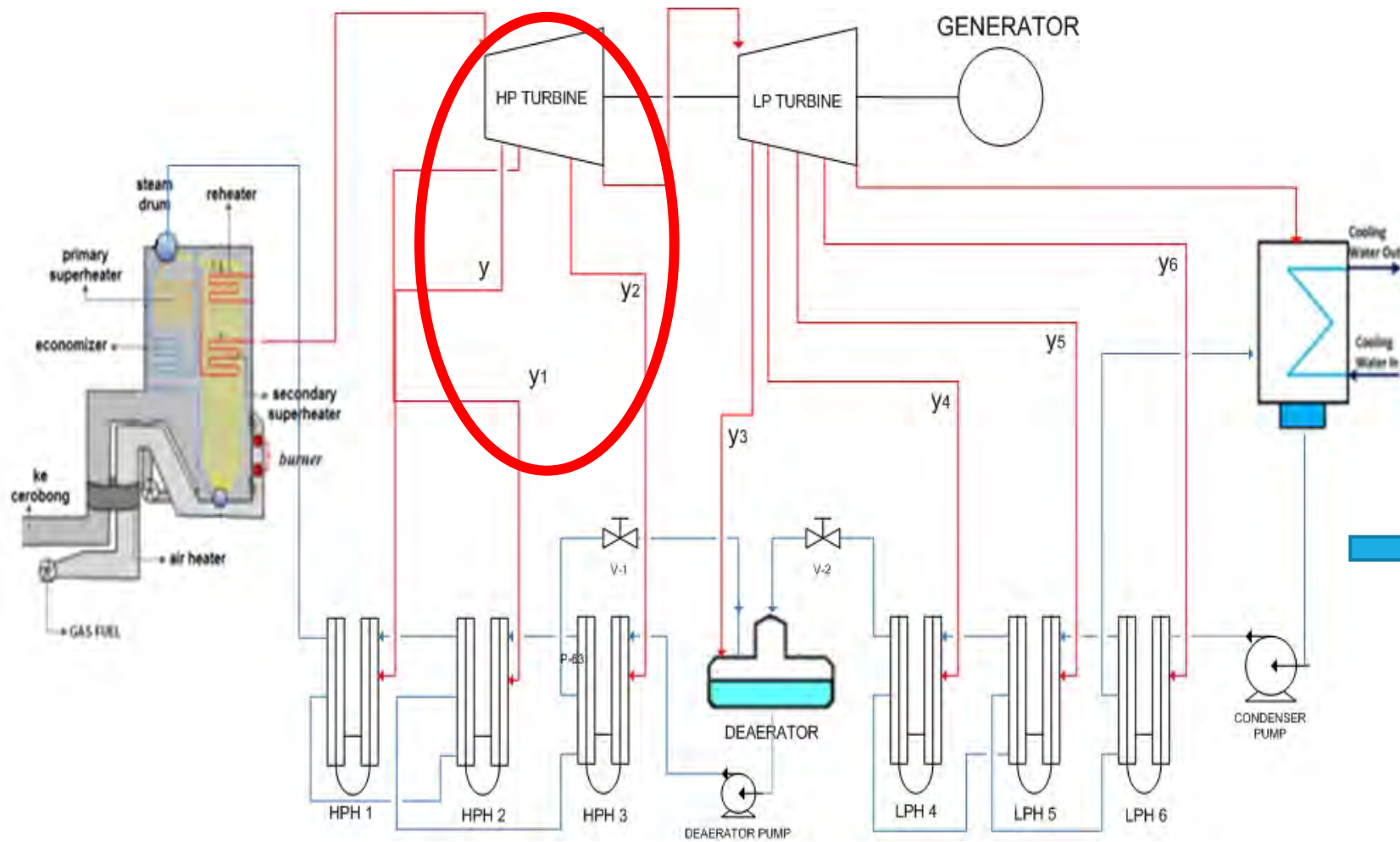


ITS  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember



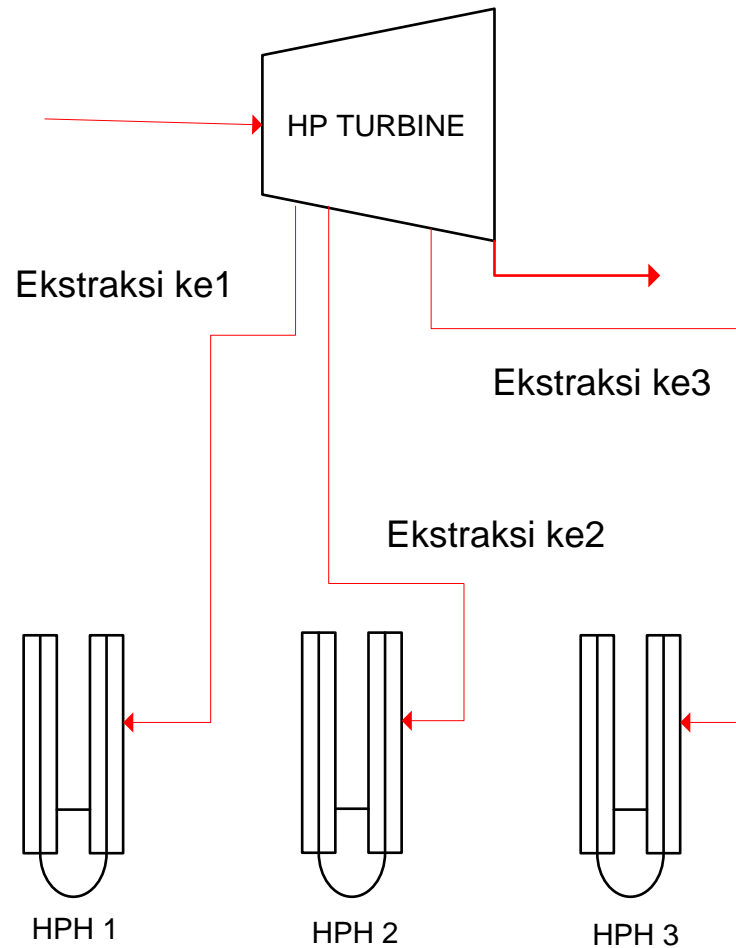


# Rumusan



Apakah komposisi massa dan tekanan ekstraksi pada turbin HP sudah menghasilkan efisiensi dan daya optimum?

# Tujuan Penelitian

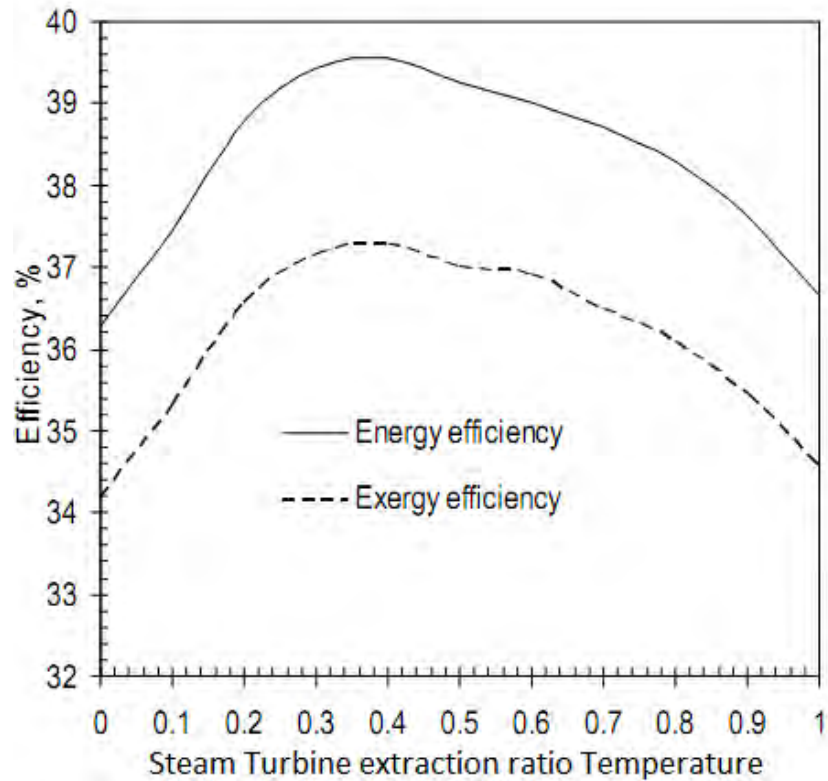


Variasi Massa dan  
Tekanan Ekstraksi  
Pada Turbin HP

$\eta = W_{total} / Q_{total}$   
Diperoleh daya dan  
efisiensi optimum



# Penelitian Terdahulu

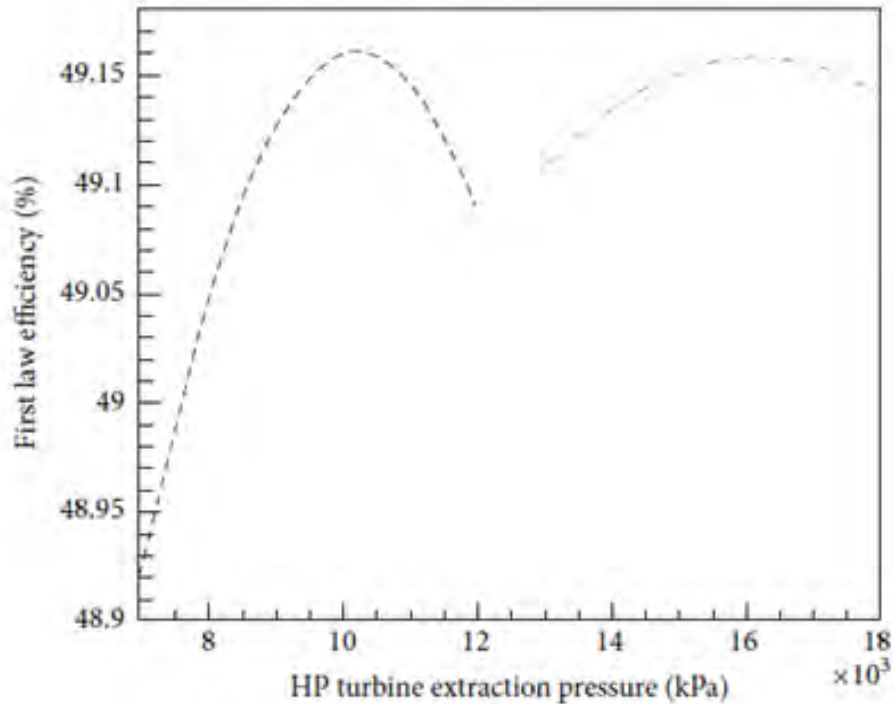


Jumlah massa ekstraksi turbin sebesar 30% dari jumlah masuk turbin akan memperbaiki efisiensi pembangkit listrik secara signifikan dan apabila lebih dari 30% akan menurunkan daya pembangkit sehingga efisiensi menurun

$$\eta = \frac{POWER}{\dot{Q}_{in}} = \frac{\dot{m} \Delta h}{m_{coal} \times LHV}$$

T. Srinivas dkk:  
"Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with 'n' Number of Feedwater Heaters"

# Penelitian Terdahulu



—  $P_{17} = 15639$  kPa nilai tekanan optimal untuk menghasilkan efisiensi pembangkit tertinggi  
- - -  $P_{12} = 10000$  kPa

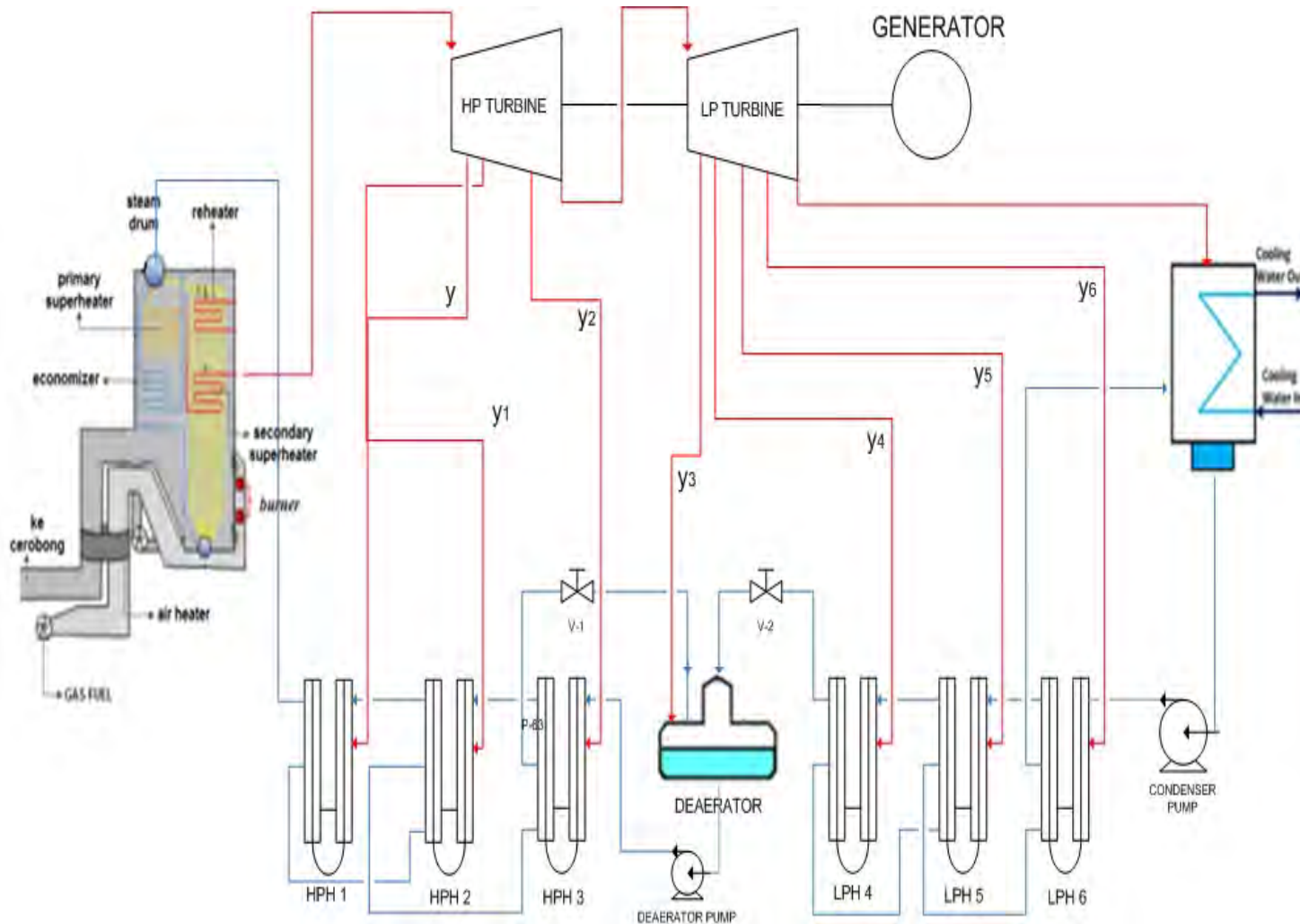
*“Thermodynamic Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heater”*

Disusun oleh M. M. Rashidi, A. Aghagoli, dan M. Ali.

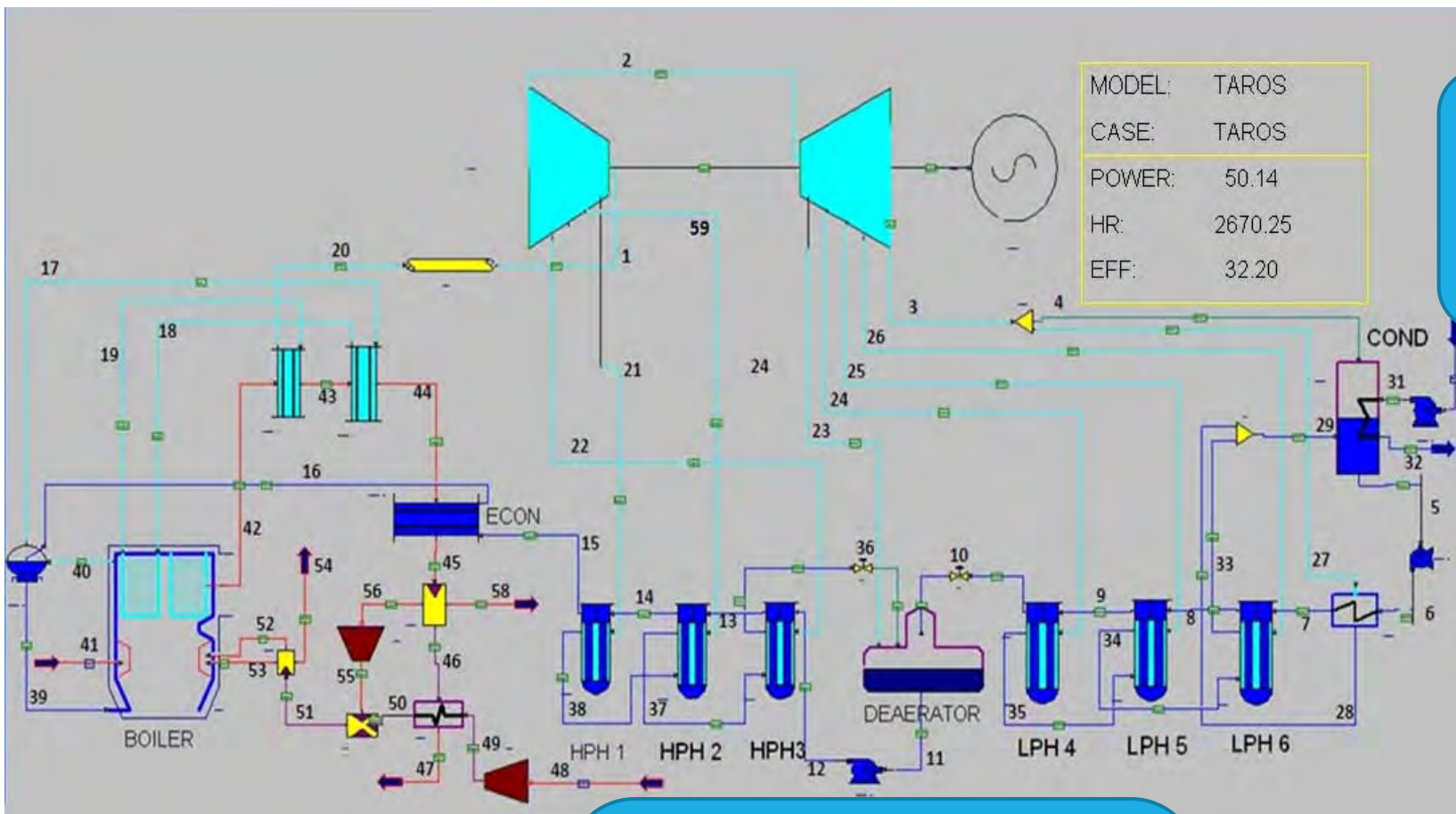
tekanan ekstraksi turbin meningkat sehingga efisiensi juga ikut meningkat dan pada tekanan di titik tertentu akan mengalami penurunan efisiensi dikarenakan  $\Delta h$  yang menurun

$$\eta = \frac{POWER}{\dot{Q}_{in}} = \frac{\dot{m} \Delta h}{m_{coal} \times LHV}$$

# Metodologi



**Aliran Massa PLTU  
dengan kapasitas  
50 MW**



Membuat Pemodelan Pembangkit menggunakan Software Gatecycle

Memasukan nilai properties pada tiap komponen

Melakukan Variasi pada % massa ekstraksi dan tekanan di turbin HP

Mendapat Grafik :  
- Pengaruh Variasi % Massa dan Tekanan Pada Daya Pembangkit  
- Pengaruh Variasi % Massa dan Tekanan Pada Efisiensi Pembangkit



# Variasi Aliran Massa dan Tekanan Ekstraksi HPH<sub>1</sub> , HPH<sub>2</sub>, dan HPH<sub>3</sub>

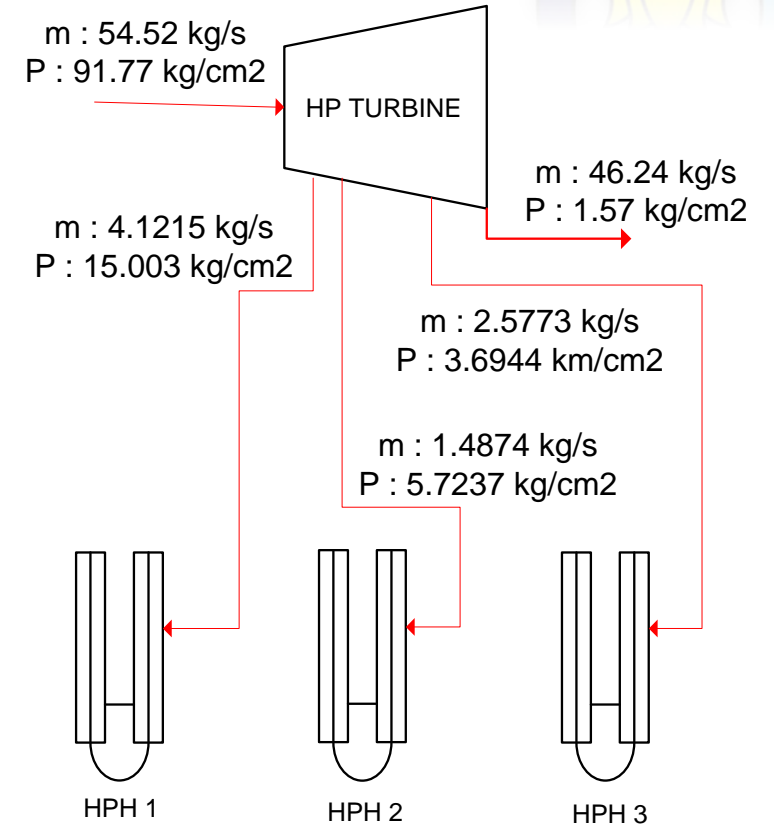


Total Ekstraksi HP → 15%

**Eksisting**

Eksisting : 7%HPH<sub>1</sub> : 3%HPH<sub>2</sub> : 5%HPH<sub>3</sub>

No.	Variasi Turbin HP	P ekst. (kg/cm <sup>2</sup> )	% massa ekstraksi						
			eksisting	8% : 2% : 5%	8% : 3% : 4%	7% : 2% : 6%	7% : 4% : 4%	6% : 4% : 5%	6% : 3% : 6%
1	P eksisting	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
2	P1+1 ; P2 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
3	P1-1 ; P2 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
4	P1 ; P2+1 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
5	P1 ; P2-1 ; P3	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
6	P1 ; P2 ; P3+1	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							
7	P1 ; P2 ; P3-1	Power							
		Eff. Boiler							
		Eff. Pembangkit							

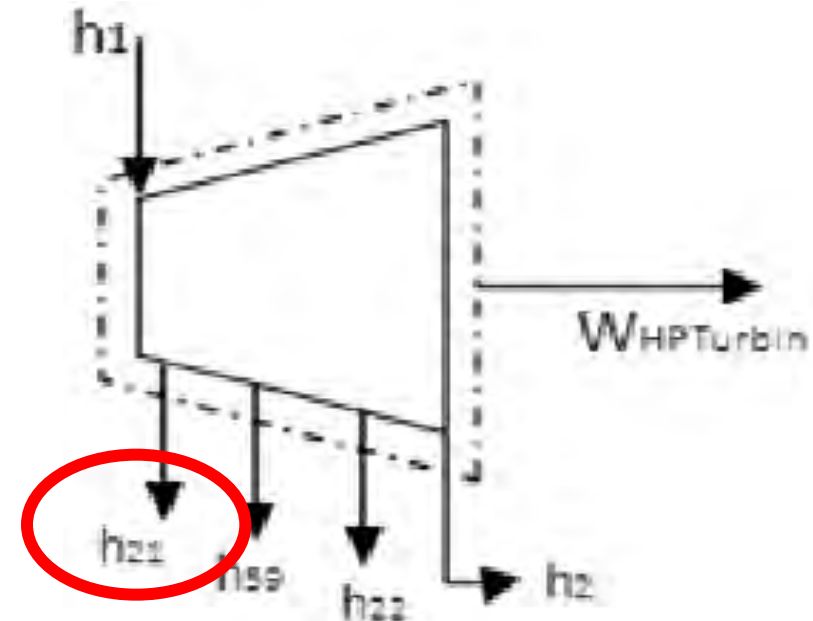
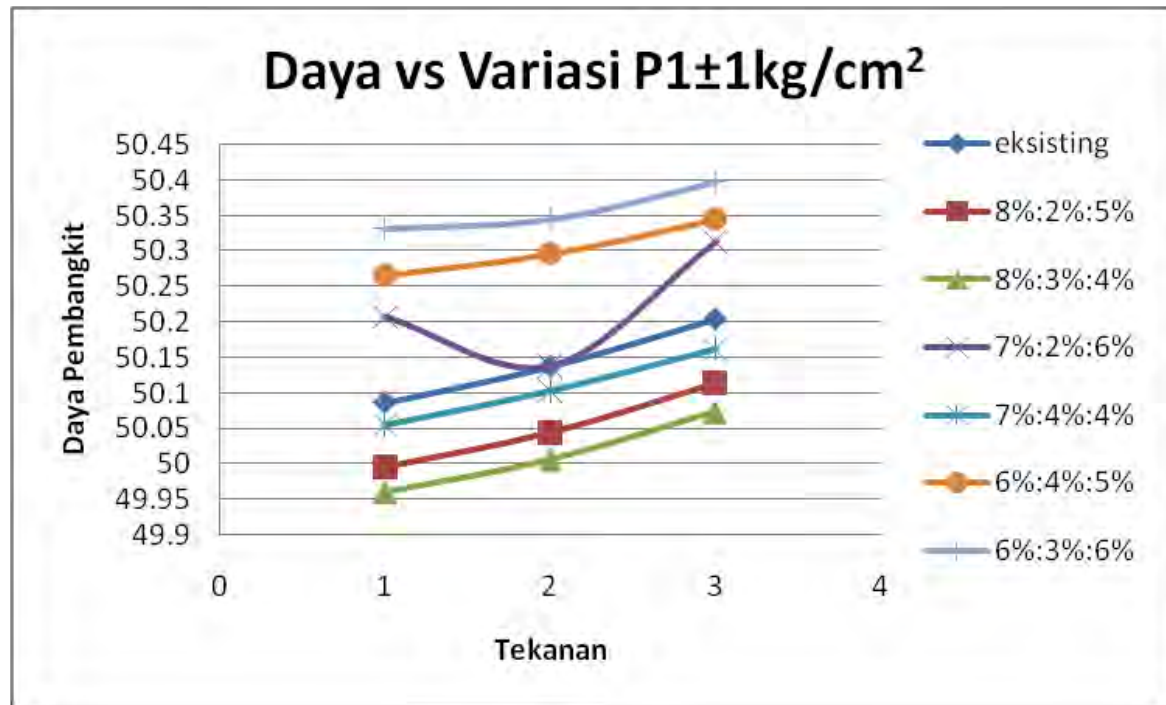


# Tabel Perbandingan Hasil GateCycle dengan Thermodynamika

PLTU BATUBARA KAPASITAS 50 MW								
KOMPONEN	Tk.Keadaan	Temp ( C )	Pressure	m(kg/s)	Entalpy (H)	Daya (Kw)		
			( Bar)			Thermo	Gatecycle	
<b>Turbin</b>								
Turbin	in	1	535.0000	91.7745	54.4197	3473.3987	41444.72	41446
	ext.1 out	21	310.0357	15.0031	4.1224	3060.1714		
	ext.2 out	59	211.0966	5.7237	1.4915	2875.6951		
	ext.3 out	22	170.6924	3.6900	2.5741	2800.2742		
	hp turbin out	2	112.7300	1.5700	46.2300	2670.5500	15764.22	15765
	ext.4 out	23	107.4459	1.3400	1.1553	2648.4558		
	ext.5 out	24	98.3791	0.9751	0.1110	2604.7546		
	ext.6 out	25	97.1092	0.9313	2.3533	2598.5366		
	ext.7 out	26	70.1052	0.3195	2.0045	2460.9868		
LP turbinout	3	40.5428	0.0775	40.6076	2297.6526			
<b>Boiler</b>								
Economizer	in	15	194.6292	117.7772	54.1943	832.4248	172783.4	174873.5
Superheater 4	out	20	536.0000	92.7942	54.4197	3474.8225		
<b>Pump</b>								
Cooling W. Pump	in	30	25.0000	1.0523	1429.6256	104.5158	163.2805	163.29
	out	31	25.0059	2.0394	1429.6256	104.6300		
Cond. Exh. Pump	in	5	40.5428	0.0775	45.0764	169.5468	50.38562	50.39
	out	6	40.6547	9.6873	45.0764	170.6646		
Feed Water Pump	in	11	107.1301	1.3256	54.1943	449.4681	686.5332	686.56
	out	12	108.3169	118.2871	54.1943	462.1361		
<b>Effisiensi pembangkit</b>							<b>0.325892</b>	<b>0.322009</b>



# Daya Pembangkit Tiap Variasi P1



**Keterangan :**

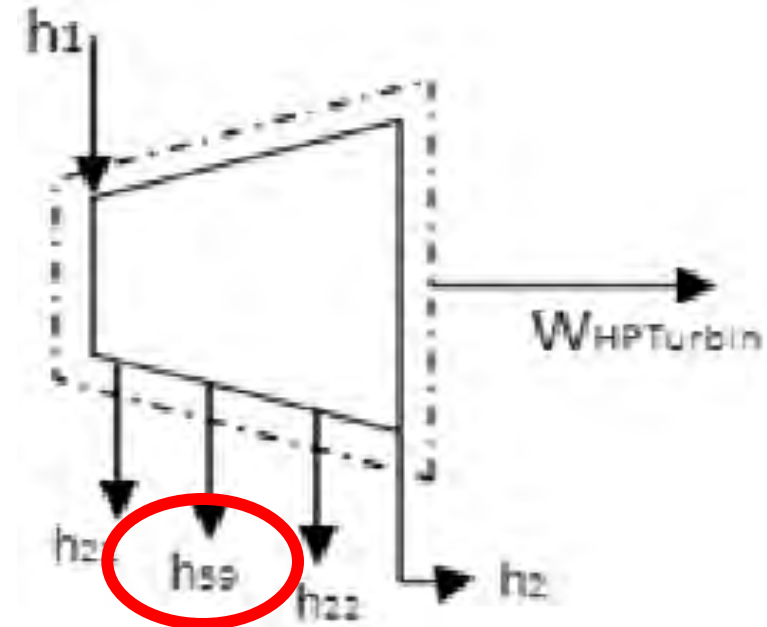
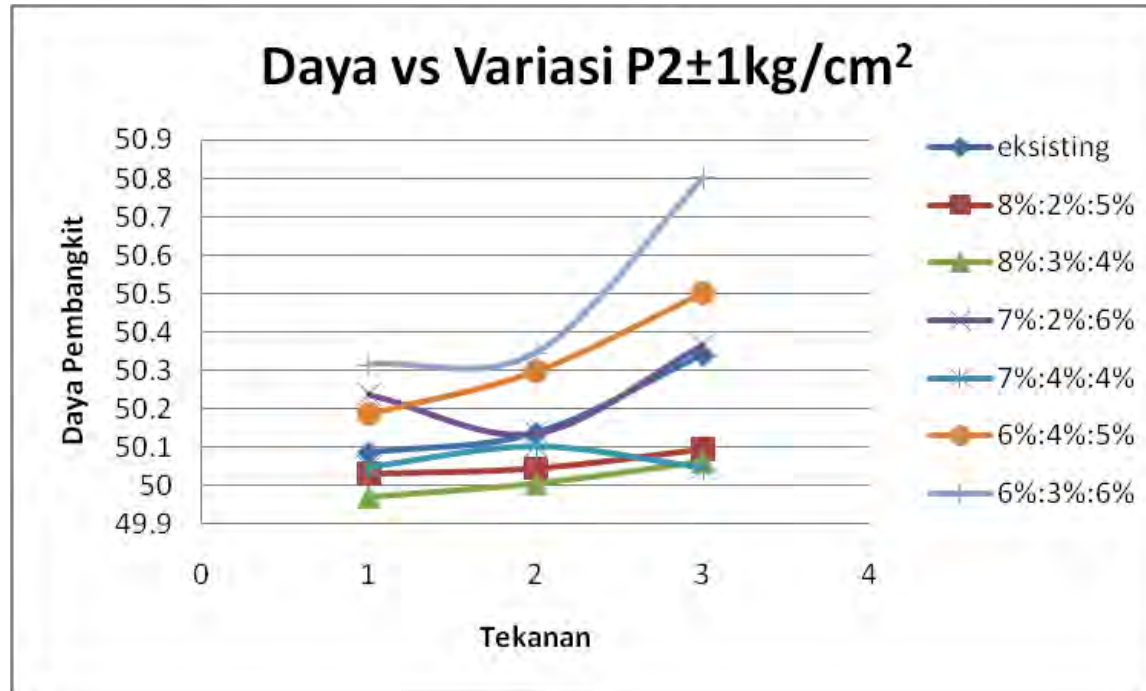
**1 = P1 + 1**

**2 = Peksisting**

**3 = P1 - 1**

$$\begin{aligned} \dot{W}_{tHP} = & \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) \\ & + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} \\ & - h_2) \end{aligned}$$

# Daya Pembangkit Tiap Variasi P2



Keterangan :

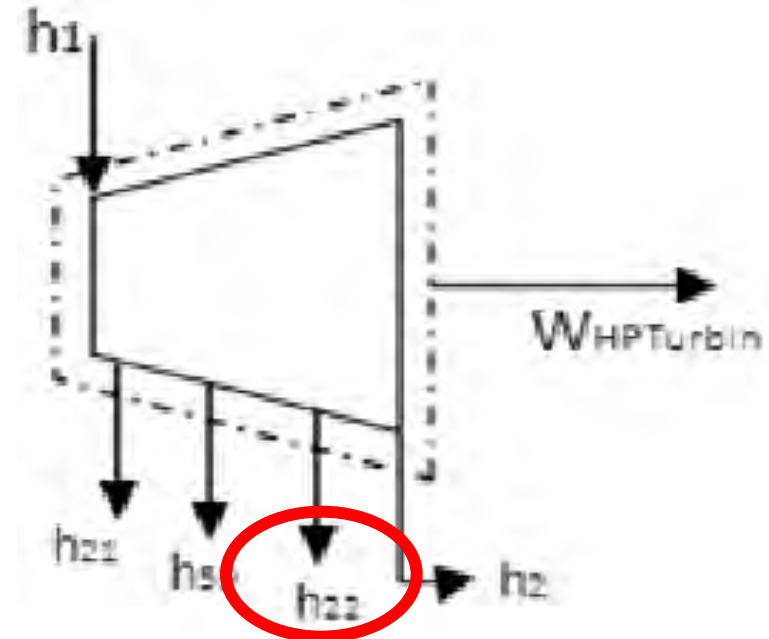
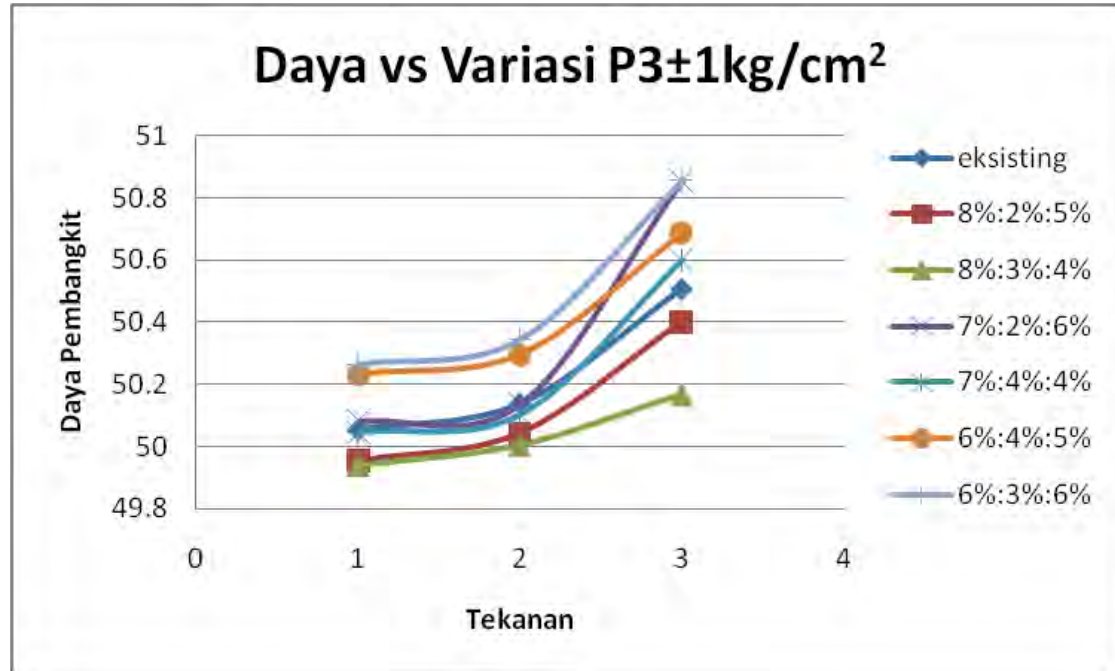
1 = P<sub>1</sub> + 1

2 = P<sub>eksisting</sub>

3 = P<sub>1</sub> - 1

$$\begin{aligned} \dot{W}_{t\ HP} = & \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) \\ & + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} \\ & - h_2) \end{aligned}$$

# Daya Pembangkit Tiap Variasi P3



Keterangan :

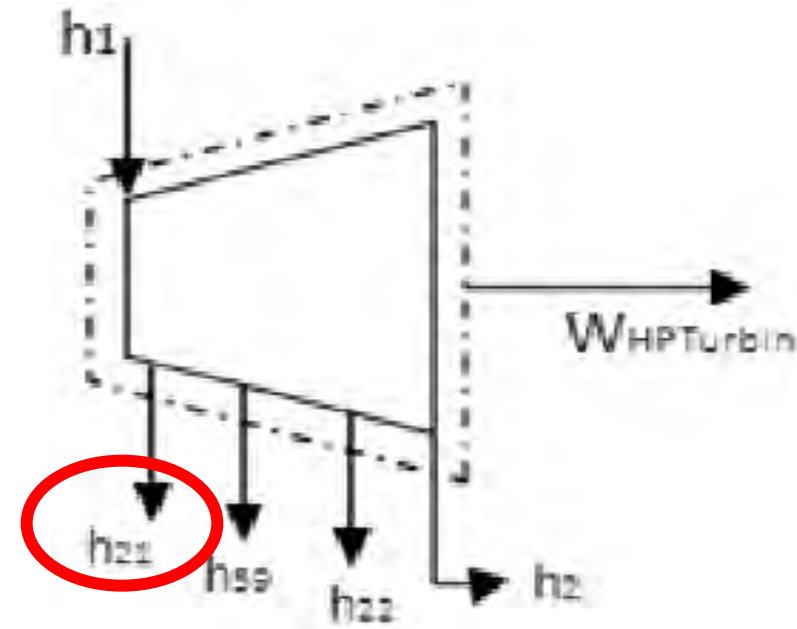
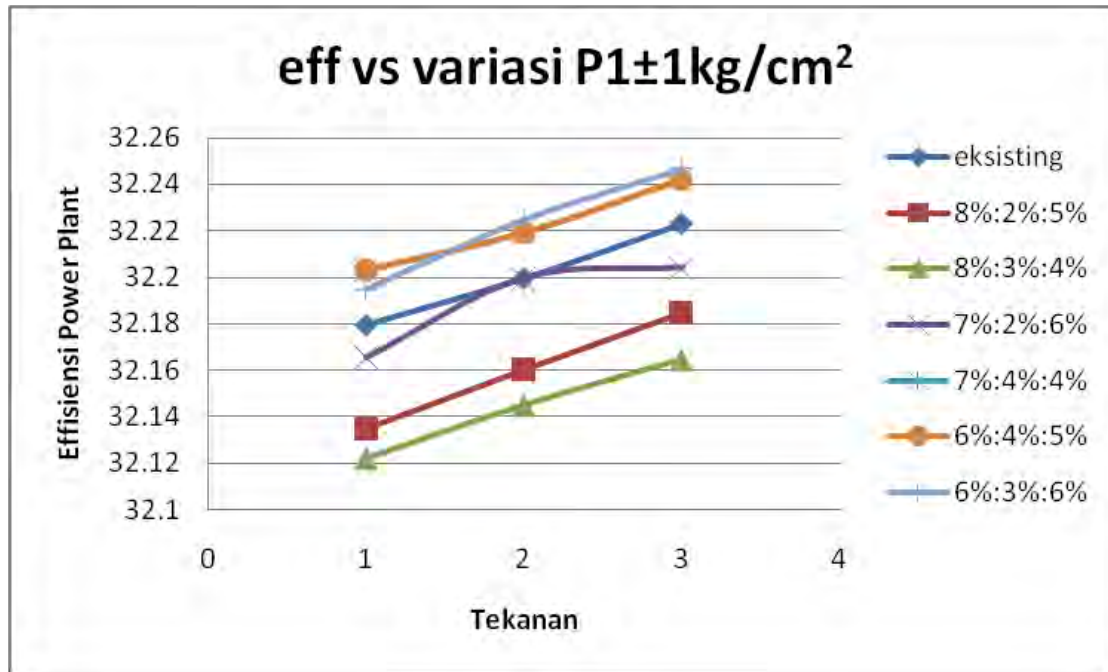
1 = P1 + 1

2 = Peksisting

3 = P1 - 1

$$\begin{aligned} \dot{W}_{tHP} = & \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) \\ & + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} \\ & - h_2) \end{aligned}$$

# Efisiensi Pembangkit Tiap Variasi P<sub>1</sub>



Keterangan :

1 = P<sub>1</sub> + 1

2 = Peksisting

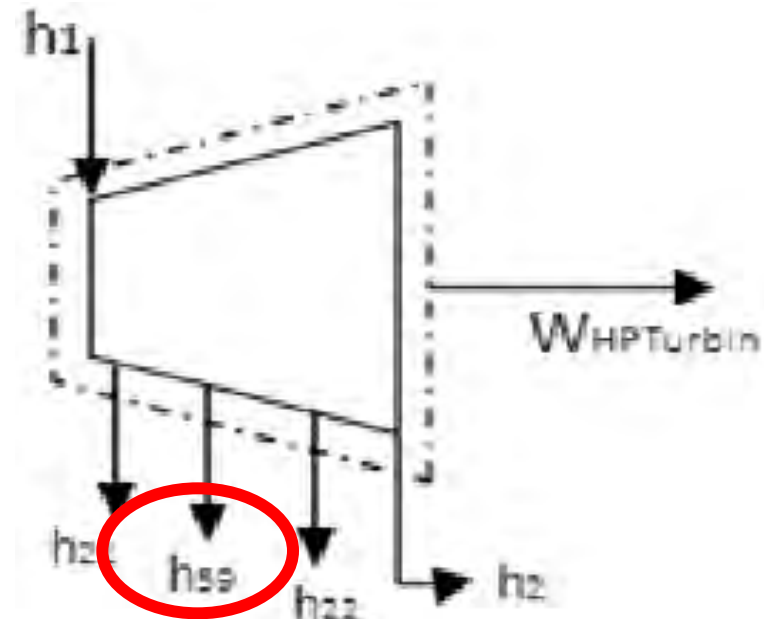
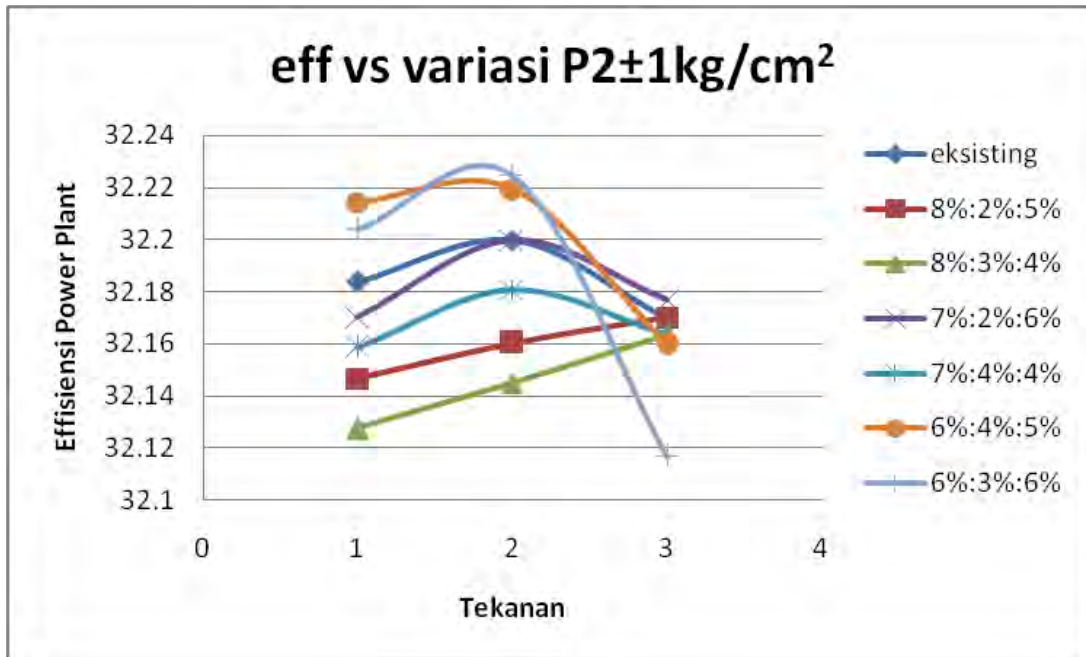
3 = P<sub>1</sub> - 1

$$\begin{aligned} \dot{W}_{t\ HP} = & \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) \\ & + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} \\ & - h_2) \end{aligned}$$

$$h = u + pv$$

$$\eta = \frac{(\dot{W}_{t\ turbin} - \dot{W}_{t\ pompa})}{\dot{Q}}$$

# Efisiensi Pembangkit Tiap Variasi P2



Keterangan :

1 = P1 + 1

2 = Peksisting

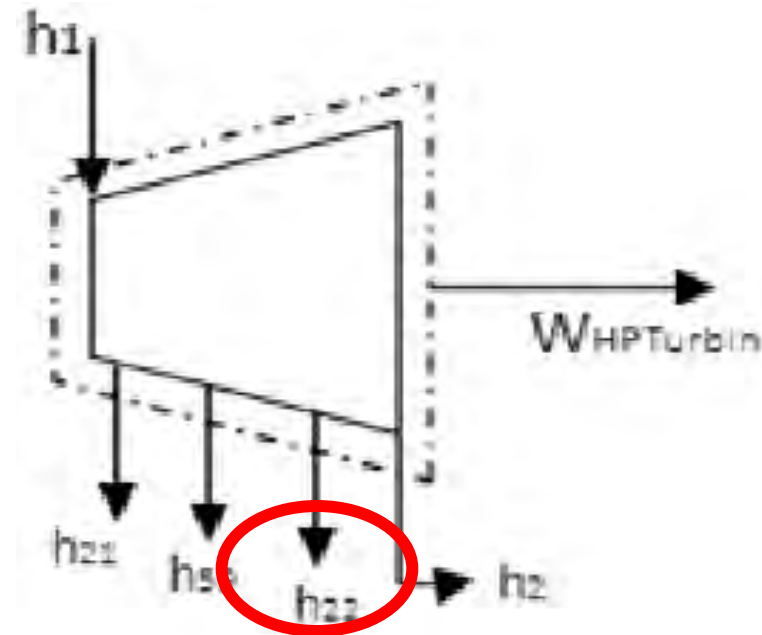
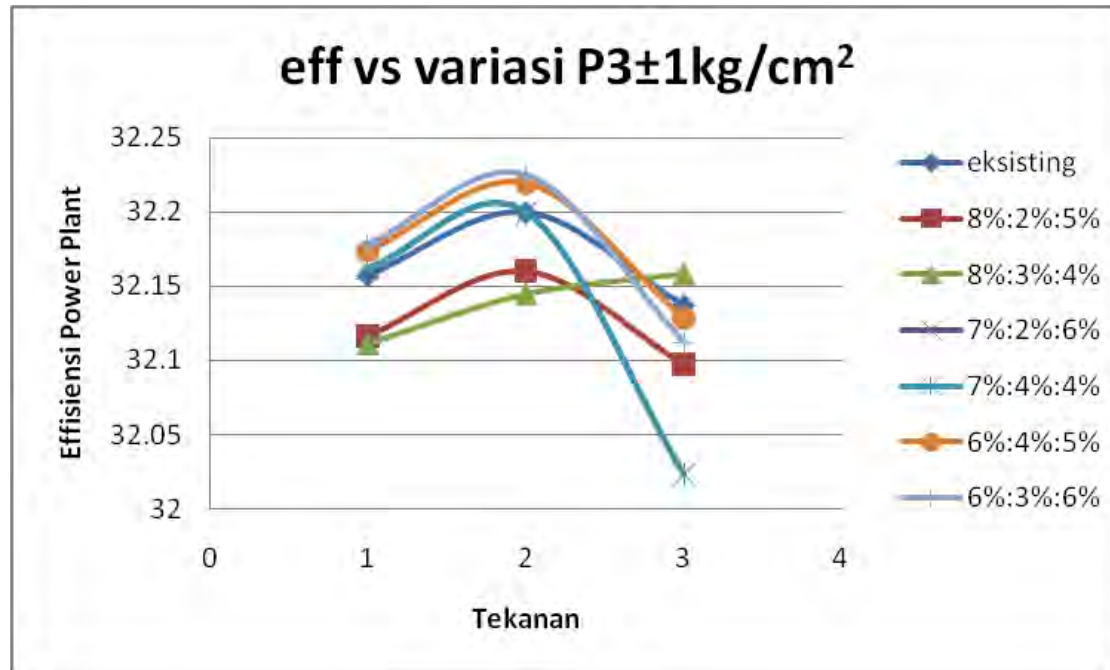
3 = P1 - 1

$$\begin{aligned} \dot{W}_{tHP} = & \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) \\ & + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} \\ & - h_2) \end{aligned}$$

$$h = u + pv$$

$$\eta = \frac{(\dot{W}_{turbin} - \dot{W}_{pompa})}{\dot{Q}}$$

# Efisiensi Pembangkit Tiap Variasi P3



Keterangan :

1 = P1 + 1

2 = Peksisting

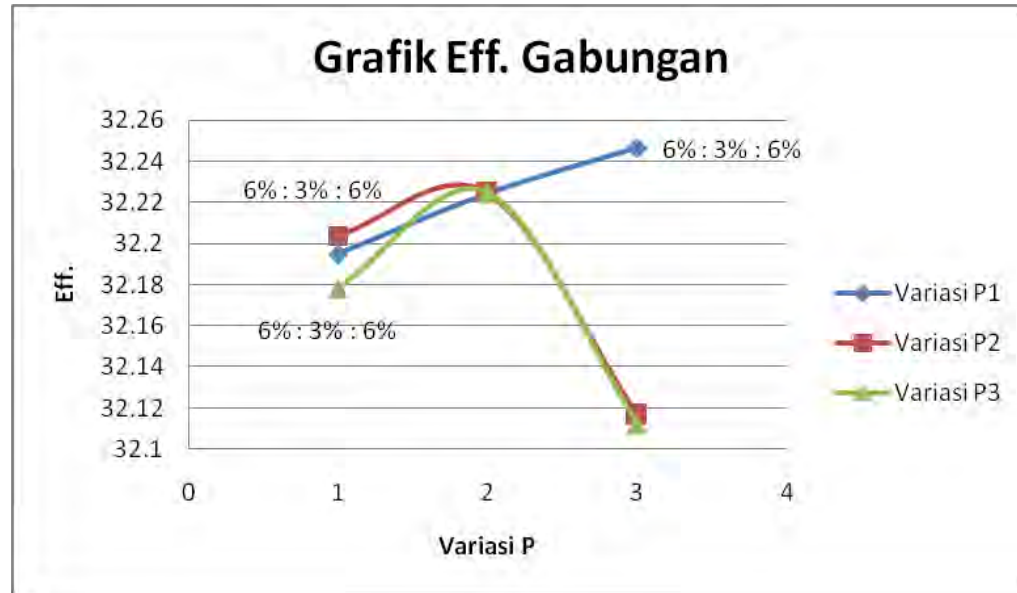
3 = P1 - 1

$$\begin{aligned} \dot{W}_{t_{HP}} = & \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) \\ & + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} \\ & - h_2) \end{aligned}$$

$$h = u + pv$$

$$\eta = \frac{(\dot{W}_{t_{turbin}} - \dot{W}_{t_{pompa}})}{\dot{Q}}$$

# Grafik Efisiensi Gabungan Tiap Variasi Tekanan



**Komposisi massa ekstraksi optimum berada pada presentase  
6% HPH1 : 3%HPH2 : 4%HPH3**

**Keterangan :**

**1 = P1 + 1**

**2 = Peksisting**

**3 = P1 - 1**

$$\dot{W}_{tHP} = \dot{m}_1(h_1 - h_{21}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21})(h_{21} - h_{59}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59})(h_{59} - h_{22}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_{21} - \dot{m}_{59} - \dot{m}_{22})(h_{22} - h_2)$$

$$h = u + pv$$

$$\eta = \frac{(\dot{W}_t \text{ turbin} - \dot{W}_t \text{ pompa})}{\dot{Q}}$$

# Kesimpulan



1. Perubahan nilai tekanan ekstraksi Turbin terbaik adalah pada tekanan ekstraksi menuju HPH 1 dengan menurunkan nilainya sebesar  $1 \text{ kg/cm}^2$

2. Perbandingan komposisi aliran massa Ekstraksi Turbin HP memiliki hasil terbaik pada nilai 6% menuju HPH 1, 3% menuju HPH 2 dan 6% menuju HPH 3.

3. Perubahan nilai tekanan ekstraksi serta komposisi aliran massa ekstraksi Turbin HP dapat meningkatkan Effisiensi pembangkit menjadi 32.24%.





# Sekian & Terima Kasih

