



TUGAS AKHIR - TM 091486

ANALISA TERMODINAMIKA PENGARUH
ALIRAN MASSA EKSTRAKSI TURBIN UAP
UNTUK *FEEDWATER HEATERS* TERHADAP
PERFORMA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
UAP 100 MW

ARI FADLANSYAH JAYA SUBRATA
NRP 2109 100 701

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

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TM 091486

***THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE
INFLUENCE OF STEAM TURBINE MASS FLOW
EXTRACTION FOR FEEDWATER HEATERS ON
PERFORMANCE OF 100 MW THERMAL
POWER PLANT***

**ARI FADLANSYAH JAYA SUBRATA
NRP 2109 100 701**

Supervisor

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

*Mechanical Engineering Departement
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014*

**ANALISA TERMODINAMIKA PENGARUH ALIRAN
MASSA EKSTRAKSI TURBIN UAP UNTUK *FEEDWATER*
HEATERS TERHADAP PERFORMA PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA UAP 100 MW**

Nama Mahasiswa : Ari Fadlansyah Jaya Subrata
NRP : 2109 100 701
Jurusan : Teknik Mesin, FTI
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng

ABSTRAK

Salah satu jenis pembangkit yang banyak di gunakan adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang bekerja dengan siklus Rankine. Salah satu cara meningkatkan efisiensi dari sebuah PLTU adalah dengan menambahkan *feedwater heaters* (FWH) kedalam sistem, yang bermaksud meningkatkan temperatur air yang akan dipanaskan didalam *boiler*, sehingga uap keluaran dari *boiler* bisa memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan tanpa FWH. Energi yang digunakan FWH berasal dari ekstraksi turbin uap, dengan jumlah aliran massa dan tekanan tertentu. Proses ekstraksi yang kurang tepat dapat mengakibatkan efisiensi turbin menurun dan dapat mengakibatkan efisiensi pembangkit menurun. Sehingga diperlukan studi lebih lanjut untuk mengetahui komposisi yang tepat pada ekstraksi turbin uap.

Penelitian mengenai pengaruh aliran massa dan tekanan ekstraksi turbin uap ini dilakukan dengan perhitungan yang digunakan menggunakan standar ASME PTC 6 untuk Performa Turbin Uap dan ASME PTC 46 untuk performa pembangkit secara keseluruhan. Perhitungan performa pertama dilakukan pada model PLTU 100 MW dengan 2 buah turbin (*high pressure* dan *low pressure*) dengan 5 FWH. Aliran massa untuk HPH1 dan HPH2 yang diambilkan dari ekstraksi uap *high pressure* turbin divariasikan dengan kenaikan 25% untuk HPH2 dan pengurangan

25% untuk HPH1, kemudian dilakukan variasi ekstraksi total turbin uap dari 15% hingga 35 % dengan tetap memvariasikan komposisi HPH2 dan HPH1. Variasi terakhir dilakukan penambahan FWH dari 5 buah menjadi 6 dan 7 FWH. Tiap perubahan variasi dilakukan perhitungan performa pembangkit yang meliputi efisiensi boiler, efisiensi pembangkit serta daya pembangkit (netto).

Hasil penelitian yang didapatkan adalah komposisi ekstraksi uap untuk pembangkit listrik tenaga uap 100 MW adalah ketika komposisi HPH1 dan HPH2 adalah 50%-50% dengan total ekstraksi turbin uap hanya 20%, penambahan FWH memberikan peningkatan efisiensi boiler namun penurunan pada daya pembangkit dan efisiensi pembangkit, dan perubahan aliran massa ekstraksi turbin uap dapat meningkatkan daya pembangkit hingga 5.32 MW.

Kata kunci : Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap, *Feedwater Heaters*, Performa Pembangkit

***THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF
STEAM TURBINE MASS FLOW EXTRACTION FOR
FEEDWATER HEATERS ON PERFORMANCE OF 100 MW
THERMAL POWER PLANT***

*Name : Ari Fadlansyah Jaya Subrata
NRP : 2109 100 701
Department : Mechanical Engineering FTI- ITS
Supervisor : Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng*

ABSTRACT

Power plant that is mostly used is steam power plant, which works with the Rankine Cycle. A way to improve the efficiency of a power plant is adding feedwater heaters (FWH) into the system. feedwater heaters addition was to increase the temperature of the inlet water before enter boiler, so steam output of the boiler could have a higher temperature than before. FWH used steam turbine extraction with a certain amount of mass flow and pressure. Uncontrolled steam turbine extraction could make steam turbine efficiency fall. Further study is needed to determine best composition from steam turbine mass flow extraction for each feedwater heaters to find best power plant efficiency.

The studies on the effect of mass flow and pressure of the steam turbine extraction is using a standard calculation ASME PTC 6 Steam Turbine Performance and ASME PTC 46 for overall power plant performance. The first performance calculations performed on the model of 100 MW power plant with two turbines (high pressure and low pressure) with 5 FWH. Mass flow for HPH1 and HPH2 taken from the HP turbine steam extraction varied with the increase of 25 %, then do variations of the total turbine steam extraction from 15 % to 35 % with variation the composition for HPH1 and HPH2. Last Variation was FWH addition from 5 FWH until 7FWH (with each 1 FWH addition). Each variations of power plant performance

calculation includes boiler efficiency, power plant efficiency and power generated (net).

Research results are obtained for the composition of the vapor extraction steam power plant is 100 MW and HPH2 HPH1 when the composition is 50 % -50 % with total extraction steam turbine only 20 %, the addition of FWH provides improved boiler efficiency but a decrease in the efficiency of power plants and Power generated, and the change in mass flow extraction steam turbine can improve power plants until 5.32 MW.

Keywords : Mass Flow Extraction of Steam Turbine , Feedwater Heater , Power Plant Performance

**ANALISA TERMODINAMIKA PENGARUH ALIRAN
MASSA EKSTRAKSI TURBIN UAP UNTUK
FEEDWATER HEATERS TERHADAP PERFORMA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP 100 MW**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

ARI FADLANSYAH JAYA SUBRATA

NRP. 2109 100 701

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng (Pembimbing)
(NIP. 196505051990031005)
2. Prof. Dr. Ir Djatmiko Ichsan, M.Eng (Penguji I)
(NIP. 195310191979031003)
3. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT (Penguji II)
(NIP . 197301161997021001)
4. Dr. Bambang Arip Dwiyantoro, ST, M.Eng (Penguji III)
(NIP . 197804012002121001)

SURABAYA,

Januari 2014

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur Penulis haturkan ke hadapan ALLAH SWT yang atas karunia -Nya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Termodinamika Pengaruh Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap untuk *Feedwater Heaters* terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW”. Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng** selaku dosen pembimbing yang dengan sabar dan tidak henti-hentinya memberikan arahan, dukungan, motivasi, pengalaman hidup dan ilmu yang tak ternilai harganya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Tanpa kesabaran Bapak Penulis yakin Tugas akhir ini tidak akan selesai pada waktu yang tepat.
2. Bapak **Prof. Dr. Ir Djatmiko Ichsani, M.Eng** selaku dosen penguji seminar proposal Tugas Akhir maupun sidang Tugas Akhir, Bapak **Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT** dan Bapak **Dr. Bambang Arip Dwiyantoro, ST. M.Eng** selaku dosen penguji sidang Tugas Akhir, dan Bapak **Ir.Sudjud Darsopuspito, M.T** dan Bapak **Ary Bachtiar K.P., ST., MT., Ph.D** selaku dosen penguji seminar proposal Tugas Akhir atas semua kritik, saran dan masukan demi serta sempat meluangkan banyak waktunya bagi penulis sehingga penulisan tugas akhir ini bisa lebih baik.
3. Orang tua Penulis Ayahanda **Ayi Tatang Kosmara Jaya** dan Ibunda **Vivi Afiati Fitri** yang karena kesabaran dan ketelatenan dalam membimbing hingga sekarang.
Allahummaghfirlii dzunubii waa liwaa lidaiyya warhamhumaa kamaa robbayaanii shoghiroo.

4. Bapak **Prof. Dr. Ing.Ir Herman Sasongko** selaku dosen wali penulis selama di Teknik Mesin FTI-ITS, yang karena jasanya penulis bisa mengejar ketertinggalan penulis dalam bidang akademik.
5. **Angkatan M52** Teknik Mesin ITS selaku teman seperjuangan penulis, terima kasih buat *personal character* yang kalian berikan.
6. **LASKAR PERPAN**, mulai dari senior (**mas Willy, mas Devy, mas Bowo, mas Fajar, mas Fungky, mas Feri, mba Anin dkk**), teman seangkatan (**Satya, Yadi, Bagus, Senna, Uza, Ferio, Kikin, Dani, Nissa, Akbar, Firdaus, Danang, Mahendra, Daniel, dkk**) dan junior (**Ardian, Rizal, Danan, Yaumal, Aji, Annis, Erva, Supri dkk**), yang selalu menemani Penulis saat-saat mengerjakan Tugas Akhir di Laboratorium Negara Api siang hari, malam hari hingga dini hari..
7. **Fahmi Ahmad, Ade Indriawan** dan **Hudaifah** trio mahasiswa Teknik Industri, teman sekamar Penulis yang dengan merekalah penulis banyak menghabiskan malam-malam di Blok –I Asrama Mahasiswa ITS.
8. **Depag-09 ITS** keluarga pertama Penulis di ITS, jauh sebelum menjadi mahasiswa, keluarga yang menemani masa-masa adaptasi dari Santri menjadi Mahasantri, khususnya Depag Mesin mulai dari **Hulfi, Uza, Nafa, Ria** dan **Nur**.
9. Keluarga **SmartFriend 1426**, keluarga **IKADAM Jogja**, dan yang menjadi kolam motivasi Penulis ketika semua persoalan mahasiswa mencapai titik jenuh yang sangat.
10. Sesama penerima PBSB DA 1426 mulai dari **Fadil**, mas **Taqia** dan kang **Iskandar**, gerobak yang kita dorong dulu menjadi balasan semua ini, dan saatnya kita membalas kebaikan Ibu Pertiwi.
11. **Rekan-Rekan BEM ITS**, dari zaman mas Dalu, Mas Imron hingga zaman Zaid umumnya dan khususnya Keluarga PSDM dan Pemandu ITS yang telah menjadi keseharian

Penulis yang tidak terpisahkan selama 3 tahun terakhir Penulis jalani sebagai Mahasiswa.

12. Tidak lupa, semua pihak yang telah banyak membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Februari 2014

Penulis

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
<i>TITLE PAGE</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Peralatan-Peralatan Pembangkit Tenaga Uap Sederhana	8
2.2.1 Boiler.....	8
2.2.1.1 metode perhitungan langsung (<i>direct method</i>).....	10
2.2.1.2 metode perhitungan tidak langsung (<i>indirect method</i>).....	11
2.2.2 Turbin uap	12
2.2.3 Kondensor	12
2.2.4 Pompa.....	13
2.2.5 <i>Feedwater heaters</i>	13
2.2.6 <i>Deaerator</i>	18
2.3 Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODOLOGI	
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	25
3.2 Analisa Termodinamika dan Performa Pembangkit	28

3.3	Analisa Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	32
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		
4.1	Model Pembangkit 100 MW	35
4.1.1	Data Teknis.....	35
4.1.2	Efisiensi FWH	40
4.1.3	Properti tiap kondisi pembangkit 100 MW	41
4.1.4	Analisa termodinamika dan performa pembangkit 100 MW.....	47
4.2	Variasi Aliran Masa Ekstraksi Turbin	51
4.2.1	Variasi ekstraksi turbin uap untuk HPH2 dan HPH1.....	52
4.2.2	Variasi total ekstraksi turbin uap	54
4.2.3	Analisa termodinamika variasi aliran massa ekstraksi turbin uap.....	57
4.4	Variasi Penambahan <i>Feedwater Heaters</i>	62
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN		77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Peta Rumah Tangga Indonesia tanpa Akses Listrik (Survei Sosial Ekonomi Nasional : SUSENAS BPS 2007).....	1
Gambar 1.2	Pembangkit dengan Siklus Rankine Sederhana	2
Gambar 2.1	Komponen-Komponen Sistem Pembangkit Tenaga Uap Sederhana	5
Gambar 2.2	Prinsip Kerja dan Perpindahan Kalor sub-sistem A.....	6
Gambar 2.3	Komponen-Komponen Boiler.....	9
Gambar 2.4	Skema <i>Direct Method Boiler</i>	10
Gambar 2.5	Skema <i>Indirect Method Boiler</i>	11
Gambar 2.6	<i>Surface Condensor</i>	13
Gambar 2.7	<i>Feedwater Heater</i> tipe U	15
Gambar 2.8	Siklus <i>regenerative</i> dengan tiga <i>closed feedwater heater</i>	15
Gambar 2.9	Komponen-komponen <i>feedwater heater</i> ..	16
Gambar 2.10	Ketiga zona pada <i>feedwater heater</i> ; <i>desuperheating zone</i> (merah), <i>condensing zone</i> (biru), dan <i>subcooling zone</i> (biru muda)	17
Gambar 2.11	Bagian-Bagian <i>Deaerator Tray</i>	19
Gambar 2.12	Bagian-Bagian <i>Deaerator Spray</i>	20
Gambar 2.13	Pengaruh Perbedaan Kerugian Ekstraksi Turbin Uap terhadap Efisiensi <i>Internal Relative</i>	21
Gambar 2.14	Hubungan Jumlah Penambahan <i>feedwater heaters</i> dengan efisiensi Pembangkit	22
Gambar 2.15	Perbandingan Efisiensi Pembangkit terhadap Ratio Ekstraksi <i>Steam Turbine</i>	23
Gambar 3.1	Flowchart Variasi Ekstraksi HPH2 & HPH1 dan Variasi total Ekstraksi Turbin Uap	25

Gambar 3.2	Flowchart Variasi Jumlah FWH Pembangkit	27
Gambar 3.3	Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW	28
Gambar 3.4	T-s Diagram untuk Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW	29
Gambar 4.1	Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW dengan 5 buah FWH.....	41
Gambar 4.2	T-s Diagram untuk Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW dengan data Eksisting	47
Gambar 4.3	Perbandingan Variasi Ekstraksi Turbin Uap untuk HPH2 dan HPH1	52
Gambar 4.4	Perbandingan Variasi Total Ekstraksi Turbin Uap (Y).....	55
Gambar 4.5	Grafik Efisiensi Boiler Variasi Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap.....	58
Gambar 4.6	Grafik Efisiensi Pembangkit Variasi Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap.....	59
Gambar 4.7	Grafik Daya Pembangkit (netto) Variasi Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap	61
Gambar 4.8	Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW dengan penambahan 1 FWH (total 6 FWH).....	63
Gambar 4.9	T-s Diagram Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW dengan penambahan 1 FWH (total 6 FWH)	64
Gambar 4.10	Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW dengan penambahan 2 FWH (total 7 FWH).....	66
Gambar 4.11	T-s Diagram Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW dengan penambahan 2 FWH (total 7 FWH)	67

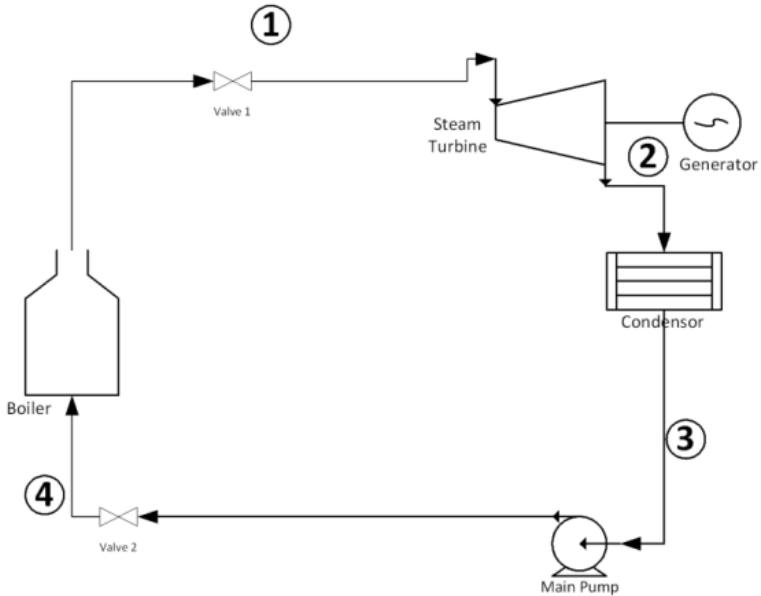
Gambar 4.12	Grafik Effisiensi Boiler Variasi untuk tiap Penambahan FWH.....	69
Gambar 4.13	Grafik Effisiensi Pembangkit Variasi untuk tiap Penambahan FWH.....	70
Gambar 4.10	Grafik Daya Pembangkit Netto Variasi untuk tiap Penambahan FWH.....	71

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tekanan dan Temperatur Kondisi Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW	42
Tabel 4.2	Properti Kondisi Pembangkit Listrik Tenaga UAP 100 MW	46
Tabel 4.3	Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap untuk tiap Variasi.....	57
Tabel 4.4	Properti untuk tiap Kondisi pada Model dengan 6 FWH	65
Tabel 4.5	Properti untuk tiap Kondisi pada Model dengan 7 FWH	68
Tabel 4.6	Aliran Massa Ekstraksi Turbin uap untuk tiap penambahan FWH dan besaran Effisiensi tiap FWH	69

(halaman ini sengaja dikosongkan)



Gambar 1.2 Pembangkit dengan Siklus Rankine Sederhana

Siklus Rankine merupakan siklus ideal untuk menjelaskan proses turbin uap. Siklus Rankine terdiri dari proses kompresi *isentropik* yang diakhiri dengan proses pelepasan panas pada kondisi tekanan konstan. *Feedwater heater* Berguna untuk menaikkan temperatur air yang akan di panaskan di dalam boiler, sehingga dalam pengaturan boiler dapat ditentukan apakah untuk menaikkan suhu dari *main steam* menuju *steam turbine* atau menurunkan konsumsi bahan bakar yang digunakan. Sumber energi *feedwater heater* berasal dari hasil ekstraksi *steam turbine*, dimana pengekstarksiannya dapat menurunkan efisiensi dari turbin.

Kondisi Fisik dari *steam turbine* memungkinkan untuk melakukan ekstraksi pada tiap tingkatan sudu yang ada pada *steam turbine*, hal tersebut juga memudahkan dalam penentuan jumlah volume yang akan diekstraksi, namun semakin besar ekstraksi berpengaruh kepada efisiensi dari pembangkit itu

sendiri, sehingga diperlukan studi lebih lanjut mengenai hubungan aliran massa ekstraksi turbin uap untuk pemanasan *feedwater heater* terhadap performa dari pembangkit tenaga uap sederhana.

1.2 Perumusan 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 tahu pengaruh besaran aliran massa ekstraksi turbin uap yang akan digunakan untuk *feedwater heater* pada pembangkit tenaga uap terhadap performa pembangkit secara keseluruhan.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan untuk menghindari kesalahpahaman dalam pembahasan selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Kondisi Sistem yang digunakan berada dalam kondisi tunak.
2. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan analisa termodinamika, perpindahan panas, standar ASME PTC 6-2004 dan perhitungan yang bersumber dari jurnal internasional.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah diatas maka tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Melakukan analisa besarnya efisiensi termal pembangkit sebelum dan setelah dilakukan perubahan aliran massa *feedwater heater*.
2. Mengetahui pengaruh besaran ekstraksi aliran massa terhadap efisiensi termal pembangkit.
3. Mengetahui pengaruh penambahan FWH terhadap efisiensi termal.

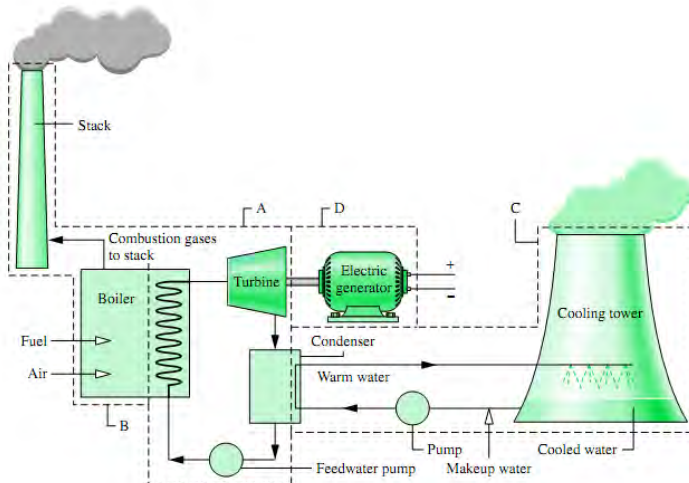
1.5 Manfaat Penulisan

Dalam melakukan analisa pengaruh penambahan *feedwater heater* terhadap efisiensi pembangkit listrik ini, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat digunakan sebagai data pembandingan dalam penentuan ekstraksi turbin uap.
2. Dapat digunakan sebagai informasi dalam perancangan *feedwater heater*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan



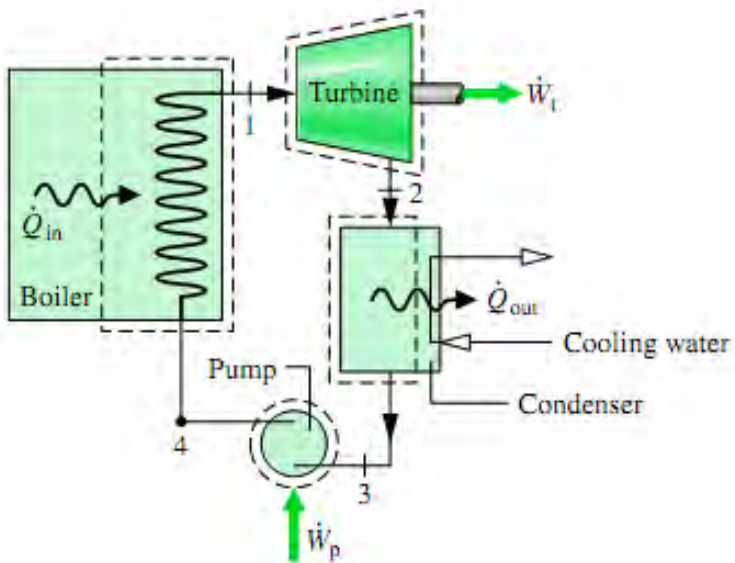
Gambar 2. 1 Komponen-Komponen Sistem Pembangkit Tenaga Uap Sederhana

Sebuah sistem pembangkit tenaga uap sederhana merupakan hasil penyederhanaan dari pembangkit tenaga uap sebenarnya. Salah satu tujuan penyederhanaan sistem pembangkit tenaga uap adalah untuk memudahkan evaluasi kinerja pembangkit, baik tiap sistem pembangkit secara keseluruhan maupun bagian-bagian peralatan dari sistem keseluruhan. Pada Gambar 2.1 sistem pembangkit tenaga uap dibagi menjadi 4 sub-sistem yang terdiri dari beberapa peralatan.

Secara singkat tiap sub-sistem terbagi dikarenakan jenis konversi energinya, pada sub-sistem A terjadi konversi energi dari panas ke kerja, pada sub-sistem B terjadi proses perubahan air menjadi uap dengan sumber energi dari proses pembakaran bahan bakar yang digunakan dan udara, pada sub-sistem C terjadi proses penurunan suhu air dengan memanfaatkan perbedaan

temperatur antara lingkungan dan sistem dan terakhir pada sub-sistem D terjadi konversi energi dari kerja menjadi listrik.

Sub-sistem A merupakan bagian utama dari sebuah sistem pembangkit tenaga uap, dimana pada sub-sistem ini tiap unit massa secara periodik melewati siklus termodinamika pada keempat komponen utama sistem pembangkit tenaga uap. Keempat komponen utama yang dimaksud adalah boiler, turbin uap, kondensator dan pompa *feedwater*. Fungsi utama boiler adalah tempat pembakaran bahan bakar sehingga air yang masuk ke boiler dipanaskan menjadi uap. Fungsi utama dari turbin uap adalah mengkonversi tekanan uap menjadi gerakan memutar yang terjadi dikarenakan tekanan uap yang ada menekan sudu turbin. Fungsi utama dari kondensator adalah merubah uap keluaran turbin uap menjadi air sehingga bisa dipompakan oleh pompa. Fungsi utama pompa adalah mengalirkan air ke dalam boiler.



Gambar 2. 2 Prinsip Kerja dan Perpindahan Kalor sub-sistem A

Prinsip kerja dan perpindahan kalor dari sub-sistem A diilustrasikan pada gambar 2.2. Kondisi 1 aliran masuk ke Turbin uap, kondisi 2 aliran masuk ke kondenser, kondisi 3 adalah aliran masuk pompa, dan kondisi 4 aliran memasuki boiler. Evaluasi pada sub-sistem A dapat mewakili evaluasi sebuah pembangkit tenaga uap sederhana keseluruhan, sehingga dengan meningkatkan efisiensi pada sub-sistem A berarti dapat menyederhanakan peningkatan efisiensi dari pembangkit tenaga uap sederhana. Oleh karena itu diperlukan model sub-sistem A yang dapat mewakili sebuah pembangkit tenaga uap sederhana.

Salah satu cara meningkatkan efisiensi dari sub-sistem A adalah penambahan *feedwater heater* untuk meningkatkan suhu air yang akan dipanaskan di dalam boiler. Peningkatan suhu air masuk boiler dapat meningkatkan efisiensi pembangkit tenaga uap dalam 2 arti yaitu meningkatkan suhu uap yang masuk ke turbin uap, atau mengurangi penggunaan bahan bakar untuk pembakaran pada boiler.

Sumber energi yang digunakan dalam *feedwater heater* berasal dari hasil ekstraksi turbin uap, bentuk turbin uap yang bertingkat memungkinkan ekstraksi pada turbin uap dilakukan pada beragam tingkatan maupun besar volume uap yang akan diekstraksi. Pengekstraksian uap pada turbin uap cenderung mengakibatkan penurunan performa dari kerja turbin, sehingga diperlukan perhitungan untuk mengetahui lokasi dan volume optimal dalam ekstraksi turbin uap untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk meningkatkan air sebelum memasuki boiler.

Seluruh siklus daya uap harus diklasifikasikan pada sistem pembakaran luar, dimana sistem ini harus menggunakan penukar panas untuk proses penambahan panas. Hampir semua sistem ini menggunakan alat penukar panas untuk proses pembuangan panas (kondensor). Kelebihan dari siklus pembakaran luar adalah lebih sedikit membuat pencemaran udara dan bisa menggunakan bahan bakar dari tingkat yang lebih rendah serta murah.

2.2 Peralatan-Peralatan Pembangkit Tenaga Uap Sederhana

2.2.1 Boiler

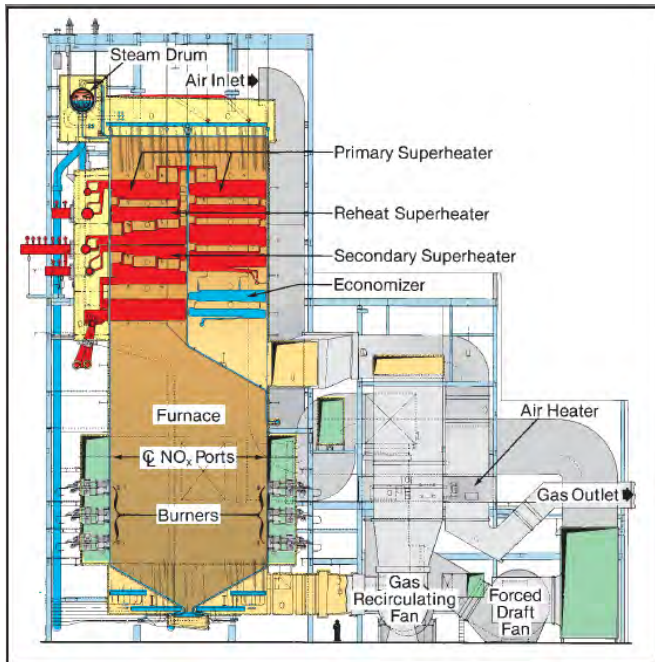
Boiler adalah peralatan yang memproduksi uap, dalam bahasa yang lebih ilmiah boiler adalah peralatan yang mengkonversi energi kimia pada bahan bakar menjadi panas pada *steam* atau mengubah energi panas pada *flue gas* menjadi energi panas pada *steam*.

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan (*feedwater system*), sistem penguapan (*steam system*) dan sistem bahan bakar (*fuel system*). *Fuel system* menyediakan bahan bakar untuk dimasukkan kedalam boiler dan selanjutnya proses *feedwater system* akan menyediakan air untuk boiler dan mengatur secara otomatis untuk memenuhi permintaan *steam*. *Steam system* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam boiler, sedangkan *fuel system* mencakup semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar sebagai penghasil panas.

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan *steam* yang akan digunakan. Posisi dari komponen-komponen dari boiler ditunjukkan pada gambar 2.3 dan secara umum fungsi dari tiap komponen adalah sebagai berikut:

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

- *Reheater* : Komponen ini merupakan sebagai tempat pemanasan ulang *steam* yang telah melalui turbin uap yang telah terlebih dahulu terkondensasikan dan dipanaskan ulang melalui boiler. Selanjutnya *steam* ini untuk memutar *low pressure* turbin.
- *Air Heater* : Komponen ini merupakan ruang pemanas yang digunakan untuk memanaskan udara luar yang diserap untuk meminimalisasi udara yang lembab yang akan masuk *windbox* selanjutnya digunakan untuk pembakaran. Udara luar ini dipanaskan dengan sisa hasil panas (*flue gas*) yang dihasilkan pembakaran di *furnace*.
- *Economizer* : Komponen ini merupakan ruang pemanas yang digunakan untuk memanaskan air dan air yang terkondensasi dari sistem sebelumnya, maupun air umpan baru.

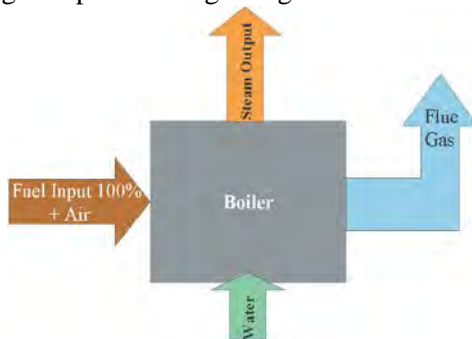


Gambar 2. 3 Komponen-Komponen Boiler

Perhitungan efisiensi boiler pada penelitian ini berdasarkan *American Society of Mechanical Engineers (ASME) PTC*. Ada dua metode yang dapat digunakan untuk menghitung efisiensi boiler, yaitu dengan metode langsung (*Direct Method*) dan metode tidak langsung (*Indirect Method*). Perhitungan efisiensi boiler ini nantinya digunakan untuk menghitung nilai efisiensi boiler.

2.2.1.1 Metode Perhitungan Langsung (*Direct Method*)

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



Gambar 2. 4 Skema Efisiensi *Direct Method* Boiler

Sesuai dengan gambar 2.4 skema efisiensi boiler dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Boiler Efficiency } (\eta) = \frac{\text{heat output}}{\text{heat input}} \cdot 100\%$$

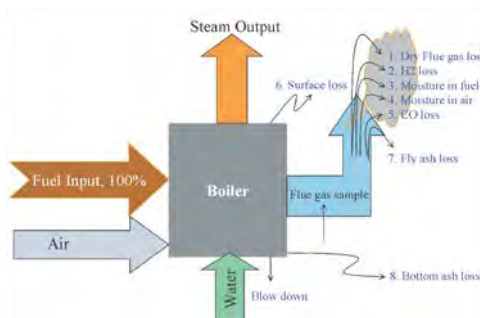
$$\text{Boiler Efficiency } (\eta) = \frac{\dot{m} \cdot (h_{\text{steam}} - h_{\text{water}})}{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{HHV}} \cdot 100\% \dots\dots\dots$$

dimana :

- \dot{m} = laju uap yang dihasilkan (kg/jam)
 \dot{m}_{fuel} = laju bahan bakar yang diumpankan (kg/jam)
 HHV = nilai kalor atas bahan bakar (kcal/kg)
 $h_{\text{steam output}}$ = Entalphi uap (kcal/kg)
 $h_{\text{water input}}$ = Entalphi air pengisi (kcal/kg).

2.2.1.2 Metode Perhitungan Tidak Langsung (*Indirect Method*)

Metode perhitungan tidak langsung adalah metode perhitungan efisiensi dengan mengukur semua kerugian yang terjadi di boiler. Kelebihan dari metode ini adalah bahwa kesalahan dalam pengukuran tidak membuat perubahan signifikan dalam efisiensi, dapat diketahui pula neraca bahan dan energi yang lengkap untuk setiap aliran sehingga dapat memudahkan dalam mengidentifikasi opsi-opsi untuk meningkatkan efisiensi boiler. Sedangkan kerugian metode tidak langsung adalah diperlukan waktu yang lebih lama dan diperlukan fasilitas laboratorium untuk analisis.



Gambar 2. 5 Skema *Indirect Method Boiler*

Sesuai dengan gambar 2.5 skema efisiensi *boiler* kerugian – kerugian yang terdapat pada *boiler* adalah sebagai berikut :

- *Losses* Yang Disebabkan Oleh *Dry Flue Gas*
- *Losses* Yang Disebabkan Oleh *Wet Flue Gas*
- *Losses* Yang Disebabkan Oleh *Moisture in Combustion Air*
- *Losses* Yang Disebabkan Oleh *Unburnt Gas*
- *Losses* Yang Disebabkan Oleh *Combustible in Ash*
- *Losses* yang Disebabkan oleh Radiasi

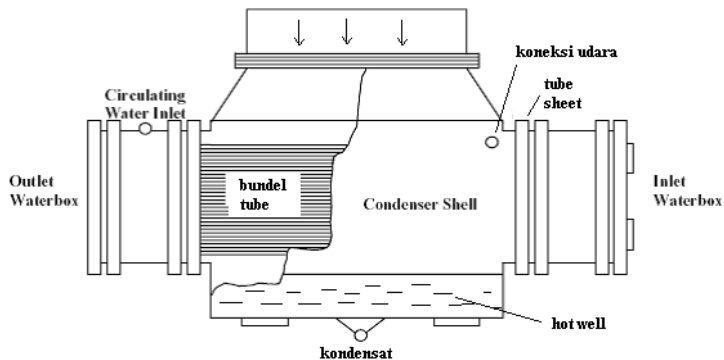
2.2.2 Turbin uap

Turbin uap adalah peralatan yang mengkonversi energi panas pada uap bertekanan tinggi untuk memutar Poros yang menuju *generator*, sehingga turbin uap dapat diartikan sebagai alat untuk mengkonversi tenaga panas menjadi tenaga listrik. Uap yang memasuki Turbin uap selain memiliki tekanan yang tinggi juga memiliki temperature dan kecepatan yang tinggi, namun dengan proses yang dialami oleh uap didalam turbin mengakibatkan saat keluar dari turbin, uap pasti memiliki temperatur, tekanan dan kecepatan menurun.

2.2.3 Kondensor

Kondensor adalah salah satu alat penukar panas yang digunakan untuk melepaskan kalor *steam* (uap) yang keluar dari turbin ke medium pendinginnya, medium pendinginannya dapat berupa air laut (*open*) atau dari air hasil pendinginan di *cooling tower* (*close*). Perubahan *exhaust steam* dari turbin ke fase cairnya dilakukan supaya bisa dipompa kembali untuk mengisi air pada boiler dengan menggunakan BFP (*boiler feed pump*) agar pembangkit dapat bekerja secara kontinyu. Salah satu jenis kondensor yang digunakan pada sistem pembangkit yaitu *Surface Condensor*, seperti ditunjukkan pada gambar 2.6 yaitu merupakan *Heat Exchanger* tipe shell and Tube. Prinsip kerja pada kondenser ini yaitu *steam* masuk ke dalam *shell* kondensor dari *exhaust turbin* melalui *steam inlet connection*, kemudian *steam* turun dan

bersinggungan dengan *tube* yang dialiri oleh air pendingin sehingga melepas kalor dan berubah fasa dari uap menjadi cair.



Gambar 2. 6 Surface Condensor

2.2.4 Pompa

Pompa merupakan peralatan untuk mengalirkan fluida dari tekanan rendah ke tekanan tinggi. Pompa pada Pembangkit tenaga uap terdiri dari beragam jenis dan fungsi, salah satunya adalah *boiler feed pump*. *Boiler Feed Pump* menjadi bagian tidak terpisahkan dari sebuah pembangkit tenaga uap, dimana pompa ini memiliki fungsi untuk mensuplai air dalam proses pembakaran di dalam boiler. Air yang dimaksud merupakan hasil penyubliman uap keluaran dari kondensor, fluida dalam kondisi uap membutuhkan energi yang lebih besar untuk dialirkan dibandingkan dalam kondisi cair.

Daya Pompa yang digunakan *Boiler feed pump* berbanding lurus dengan peningkatan jumlah uap pada pembangkit, dan konsumsi daya untuk *Boiler feed pump* bisa mencapai 5 % dari kapasitas produksi dari generator.

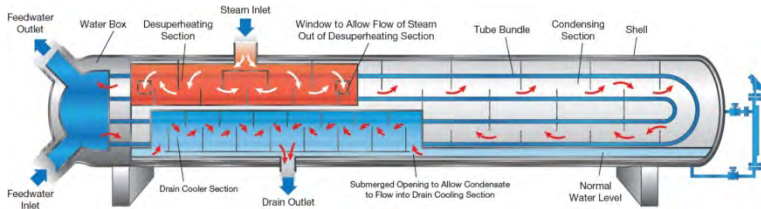
2.2.5 Feedwater heaters

Feedwater heater merupakan suatu peralatan yang digunakan pada siklus pembangkit uap *regenerative*. Dengan adanya *feedwater heater* ini, diharapkan ada dua hal yang bisa

diraih, yaitu yang pertama untuk meningkatkan temperatur dari *feedwater* yang mana akan meningkatkan efisiensi keseluruhan. Kedua, yaitu untuk meminimalkan efek termal pada *boiler*. Prinsip kerja dari *feedwater heater* yaitu dengan memanaskan lagi air keluaran kondensor dengan menggunakan ceratan uap dari turbin dan pada instalasi tertentu ditambahkan juga drain dari *feedwater heater* lainnya. Umumnya, *feedwater heater* menggunakan gabungan beberapa pemanas dengan tekanan tertentu sesuai dengan tekanan yang dicerat dari turbin. Jumlah dan tipe dari *feedwater heater* sangat tergantung dari siklus uapnya, tekanan operasi dari siklusnya, dan segi ekonomi dari *plant*, misal biaya operasi yang lebih rendah dapat mengimbangi pengeluaran biaya modal tambahan.

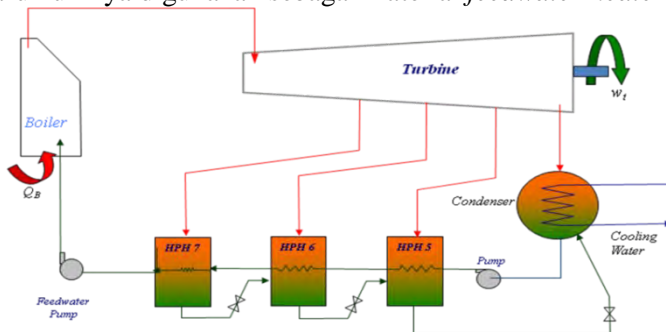
Pada umumnya, *plant* yang kecil hanya memiliki sedikit unit dari *feedwater heater*. Sedangkan pada pabrik industri besar atau pada pembangkit listrik yang besar, lima sampai tujuh *feedwater heater* merupakan bagian dari *design* pabrik atau pembangkit tersebut. *Feedwater heater* dapat diklasifikasikan baik sebagai tipe *closed* dan *open* maupun yang dirancang untuk beroperasi pada tekanan rendah atau tinggi.

Closed feedwater heater merupakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Uap yang dicerat dari turbin akan dikondensasikan pada sisi *shell* sementara *feedwater* (air pengumpan) akan masuk melalui sisi *tube* dan menyerap panas dari uap tadi sehingga akan meningkatkan temperaturnya. Kebanyakan dari *feedwater heater* memiliki *bundle* yang terdiri dari *tube-tube* dalam jumlah besar yang dibengkokkan dalam bentuk U sehingga *design* seperti ini disebut *U-tube heat exchanger* atau *U-tube feedwater heater*. *Tube-tube* tersebut dapat di-*expand* atau dilas ke *tube sheet* pada salah satu akhir dari *shell*. Sejumlah *baffle* dan piringan pendukung *tube* digunakan untuk mengarahkan aliran, meminimalkan vibrasi *tube*, mengurangi erosi, dan menaikkan perpindahan panas. Untuk *feedwater heater* yang memiliki biaya terendah biasanya memiliki bentuk yang panjang, horizontal, dan di-*design* untuk dua laluan dengan kecepatan air yang tinggi.



Gambar 2. 7 Feedwater Heater tipe U

Design U-tube seperti di tunjukkan gambar 2.7 merupakan pilihan yang paling disukai untuk penggunaan *feedwater heater* pada pembangkit listrik saat ini. *Design* seperti ini dapat meminimalkan masalah ekspansi dari *tube* yang terhubung dengan *tube sheet*. Akan tetapi karena bentuknya yang berupa U maka *heat exchanger* jenis ini tidak mudah untuk dibersihkan secara mekanik. Tetapi dengan penggunaan kualitas air yang bagus maka permasalahan ini dapat dikurangi secara signifikan. Tetapi karena adanya perhatian terhadap transportasi dari tembaga ke *boiler* dan turbin maka *stainless steel* dan *carbon steel* umumnya digunakan sebagai material *feedwater heater*.



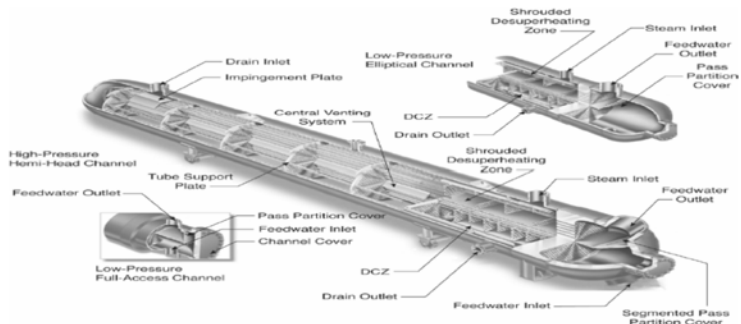
Gambar 2. 8 Siklus regenerative dengan tiga closed feedwater heater

Gambar 2.8 diatas merupakan gambaran umum dari siklus PLTU yang menggunakan tiga *closed feedwater heater*. Pada gambar tersebut, ketiga *heater* menggunakan ceratan uap dengan temperatur dan tekanan yang berbeda-beda. Uap tersebut

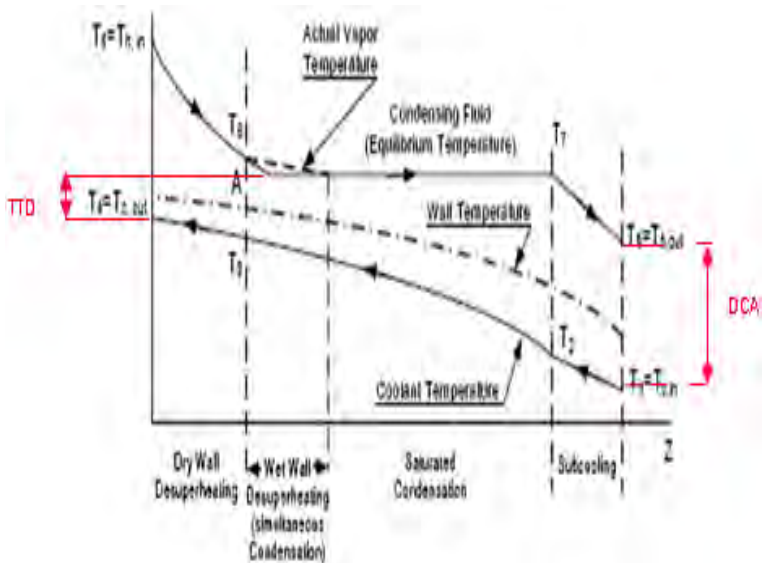
masuk pada sisi *shell* sebagai fluida panas untuk memanaskan air pengumpan yang masuk melalui *tube*. Kemudian *drain* hasil kondensasi uap dari *feedwater heater* yang masih memiliki temperatur yang tinggi akan masuk ke *feedwater heater* selanjutnya, hal ini untuk meminimalkan pembuangan energi panas yang sia-sia.

High pressure heater beroperasi pada tiga zona operasi. Seperti ditunjukkan gambar 2.9 ketiga zona tersebut yaitu :

- *Desuperheating zone* (DSZ) : daerah dalam sisi *shell* yang disekat-sekat oleh *baffle*. Pada zona ini terjadi penurunan temperatur uap panas lanjut sampai pada temperatur uap jenuhnya. Pada zona ini tidak terjadi perubahan fasa.
- *Condensing zone* (CZ) : daerah terbesar pada *feedwater heater*. Pada zona ini terjadi proses perubahan fasa dimana uap jenuh berubah menjadi cair jenuh.
- *Subcooling zone* (SCZ) : daerah yang juga disekat-sekat oleh *baffle*. Pada zona ini terjadi penurunan temperatur sampai dibawah temperatur cair jenuh untuk mengurangi potensi kerusakan dan erosi pada pipa dan katup akibat *flashing*. Perubahan fasa tidak terjadi pada zona ini.



Gambar 2. 9 Komponen-komponen *feedwater heater*



Gambar 2. 10 Ketiga zona pada *feedwater heater*; *desuperheating zone* (merah), *condensing zone* (biru), dan *subcooling zone* (biru muda)

TTD pada gambar 2.10 a) memiliki arti *terminal temperature difference* yang berarti selisih antara temperatur saturasi uap ceratan dan temperatur keluar dari air pengumpan. Sedangkan DCA merupakan singkatan dari *drain cooling temperatur*, yaitu selisih antara temperatur uap ceratan keluar dari pemanas dengan temperatur *feedwater* masuk pemanas. *Subcooling zone* memiliki fungsi sebagai berikut :

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

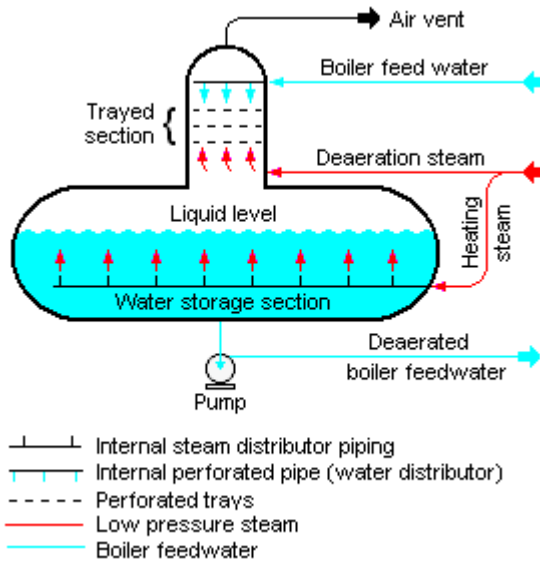
Subcooling zone dilengkapi dengan beberapa alat penunjang, yaitu selubung (*shrouding*), *drains inlet*, *drains outlet*, *end plate* (SCZ inlet plate), dan *close-off plate* (plate yang

memisahkan antara SCZ dan *shell*). Untuk mengurangi efek dari *flashing* dan erosi pada perpipaan dan katup-katup, maka dibuat temperatur keluaran dari *drain* berada pada kondisi *subcooled* dibawah temperatur saturasinya. Level ketinggian dari cairan pada sisi *shell* dikondisikan setinggi mungkin. Hal ini bertujuan agar *tube-tube* pada SCZ selalu terendam oleh cairan pada sisi *shell*.

2.2.6 Deaerator

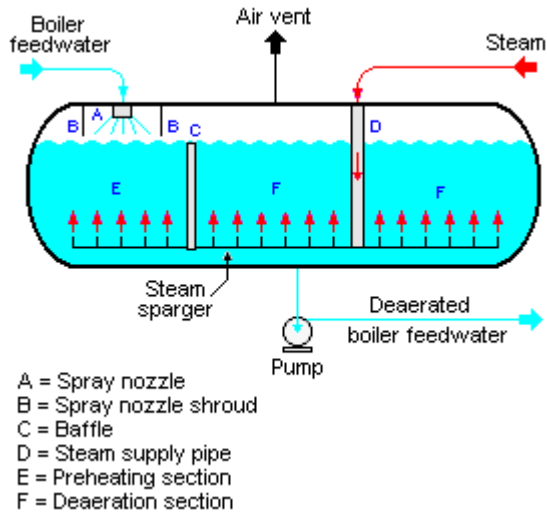
Deaerator adalah alat yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan oksigen atau gas-gas terlarut lainnya pada air umpan sebelum masuk ke boiler. *Deaerator* bekerja berdasarkan sifat oksigen yang kelarutannya pada air akan berkurang dengan adanya kenaikan suhu. *Deaerator* terdiri dari dua drum, drum yang lebih kecil merupakan tempat pemanasan pendahuluan dan pembuangan gas-gas dari air umpan, sedangkan drum yang lebih besar merupakan tempat penampungan air umpan sebelum masuk ke boiler. Pada drum kecil terdapat *spray nozzle* yang berfungsi untuk menyemprotkan air umpan menjadi butiran-butiran air halus agar proses pemanasan dan pembuangan gas-gas lebih sempurna, dan gas-gas yang tidak terkondensasi dibuang ke atmosfer melalui salular *vent* pada drum kecil.

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



Gambar 2. 11 Bagian-Bagian *Deaerator Tray*

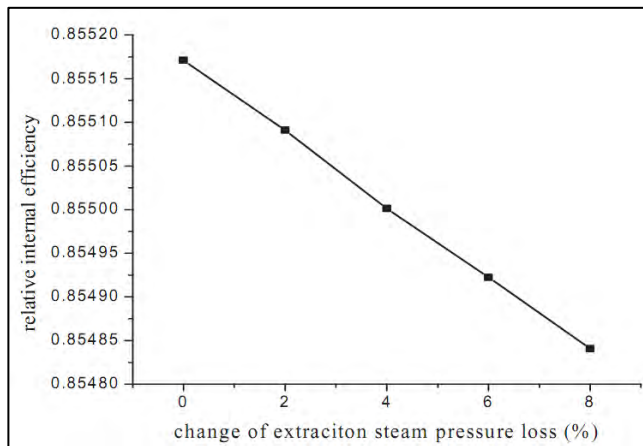
Deaerator tipe *Tray* (Gambar 2.11) Terdiri dari bagian *domed deaeration* yang dipasang diatas silinder *vessel horizontal* yang berfungsi sebagai tangki penyimpanan air dari *boiler*. Prinsip kerjanya adalah air umpan *deaerator* masuk melalui bagian atas *deaerator* melewati *tray* dan uap masuk melalui bagian bawah. *Tray* menyebabkan permukaan kontak antara air dengan uap menjadi lebih luas. Gas-gas yang tidak terlarut akan dipisahkan oleh uap dan keluar melalui lubang bagian atas *deaerator*. Saluran ventilasi terdiri dari katup yang hanya memperbolehkan uap untuk keluar. Air umpan yang telah di-deaerasi mengalir kedalam tangki penyimpanan yang kemudian dipompa ke *boiler*. Uap pemanas bertekanan rendah yang memasuki tangki *deaerator* bagian bawah melalui pipa *sparger* ditujukan untuk menjaga air umpan tetap hangat.



Gambar 2. 12 Bagian-Bagian Deaerator Spray

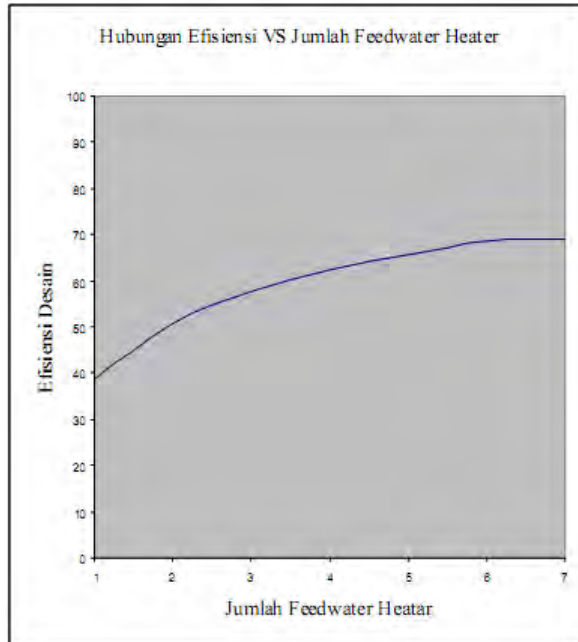
Deaerator tipe *Spray* hanya terdiri dari tangki *horizontal* yang berfungsi sebagai tempat deaerasi dan tempat penyimpanan air. Gambar 2.12 menunjukkan bahwa tipe *dearator* ini memiliki bagian pemanasan awal dan bagian deaerasi yang dipisahkan oleh penyekat. Uap bertekanan rendah masuk melalui tangki dengan cara disemprotkan dari bagian bawah tangki, sedangkan air umpan disemprotkan dari atas dan dipanaskan oleh uap yang disemprotkan ke atas oleh *stem sparger*. Fungsi dari *spray nozzle* dan bagian *preheater* adalah untuk memanaskan air umpan sampai suhu saturasi untuk memudahkan proses pengurangan gas-gas terlarut yang kemudian dipisahkan melalui lubang di atas tangki, jenis ventilasi yang digunakan sama dengan *dearator* tipe *tray*, begitu juga dengan air umpan yang telah di-dearasi dipompa ke boiler.

2.3 Penelitian Terdahulu



Gambar 2. 12 Pengaruh Perbedaan Kerugian Ekstraksi Turbin Uap Terhadap Efisiensi *Internal Relative*

Yong Li dan Chao Wang dalam Jurnalnya yang berjudul *“Study on The Effect of Regenerative System on Power Type Relative Internal Efficiency of Nuclear Steam Turbine”* menyimpulkan bahwa perubahan efisiensi suatu pembangkit pasti terjadi ketika pada turbin uap dilakukan proses ekstraksi. Perubahan beberapa bagian pada sebuah sistem regeneratif mengakibatkan perubahan pada jumlah aliran massa ekstraksi turbin uap, perubahan ekstraksi itu akan mengakibatkan daya turbin dan pembakaran pada boiler berubah, dan akhirnya perubahan daya pada turbin dan boiler mengakibatkan efisiensi internal relative berubah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam melihat perubahan efisiensi pembangkit juga perlu diperhatikan perubahan efisiensi pada turbin uap serta boiler yang berada pada sistem, dimana kesimpulan dari hal itu ditunjukkan pada gambar 2.13.

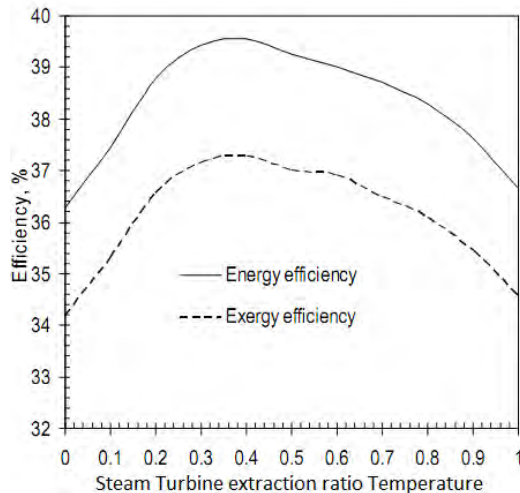


Gambar 2. 13 Hubungan Jumlah Penambahan *Feedwater Heater* dengan efisiensi Pembangkit

Dendi Junaidi dkk, dalam papernya berjudul **“Kesetimbangan Massa dan Kalor serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai Perubahan Beban dengan Menvariasikan Jumlah *Feedwater Heater*”** pada gambar 2.14 menyimpulkan bahwa penambahan *feedwater heater* akan menaikkan efisiensi instalasi pembangkit listrik, namun kenaikan efisiensi akan menurun jika jumlah *feedwater heater* lebih dari 7. Penurunan tersebut sudah dapat terlihat dari tiap penambahan jumlah *feedwater heater* hingga 5 *feedwater heater*, dan peningkatan paling signifikan adalah ketika penambahan 1 dan 2 *feedwater heater*.

Simulasi yang dilakukan oleh Dendi Junaidi dkk, dilakukan pada siklus rankine sederhana, dengan komponen

standar mulai dari boiler, turbin uap, kompresor dan pompa sebagai model acuan, kemudian dilakukan penambahan 1 *open feedwater heater* sebagai *feedwater heater* pertama dan *close feedwater heater* untuk penambahan *feedwater heater* selanjutnya dan pada penambahan lebih dari 2 *feedwater heater* digunakan 1 *open feedwater heater*, dikarenakan rugi-rugi yang terjadi jauh lebih tinggi. Parameter pada simulasi yang menjadi input meliputi kondisi uap keluar boiler (tekanan dan temperatur) serta laju uap massa yang masuk dan keluar dari boiler, sedangkan parameter lainnya divariasikan tergantung kondisi jumlah *feedwater heater*. Peningkatan efisiensi yang dimaksud dalam simulasi ini adalah perbandingan kenaikan temperatur air yang akan diuapkan didalam boiler dan berkurangnya penggunaan bahan bakar dengan rugi-rugi yang disebabkan akibat penambahan tiap *feedwater heater* seperti rugi-rugi aliran, gesekan dan tekanan.



Gambar 2. 14 Perbandingan Efisiensi Pembangkit terhadap Rasio Ekstraksi Steam Turbine

T. Srinivas dkk dalam jurnalnya yang berjudul “*Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles*”

with 'n' Number of Feedwater Heaters" selain melakukan variasi jumlah *feedwater heater* yang digunakan, juga memvariasikan tekanan boiler, temperature uap memasuki Turbin dan temperatur pada pembakaran dengan variasi jumlah *feedwater heater* dari 1 hingga 10. Jenis *feedwater heater* yang digunakan dalam penelitian dari penggunaan 1 *feedwater heater* hingga 10 adalah jenis *closed feedwater heater*.

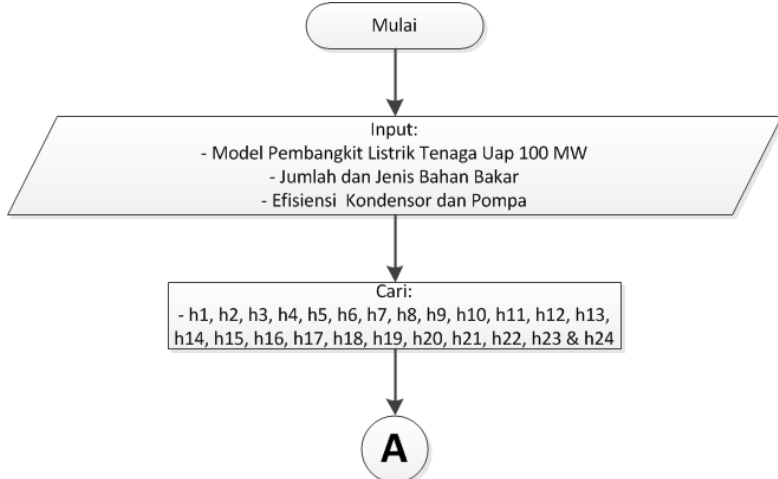
Gambar 2.15 menunjukkan efisiensi maksimum yang didapatkan dari penelitian ini didapatkan ketika ketika rasio uap pemanasan *feedwater heater* yang digunakan memiliki rasio 0.2-0.4 (20% - 40%) terhadap hasil ekstraksi. Hal ini menunjukkan bahwa laju aliran massa dengan hasil optimum didapat ketika ekstraksi dari steam turbin 20% - 40% dibandingkan jumlah aliran massa uap yang memasuki turbin uap.

BAB III METODOLOGI

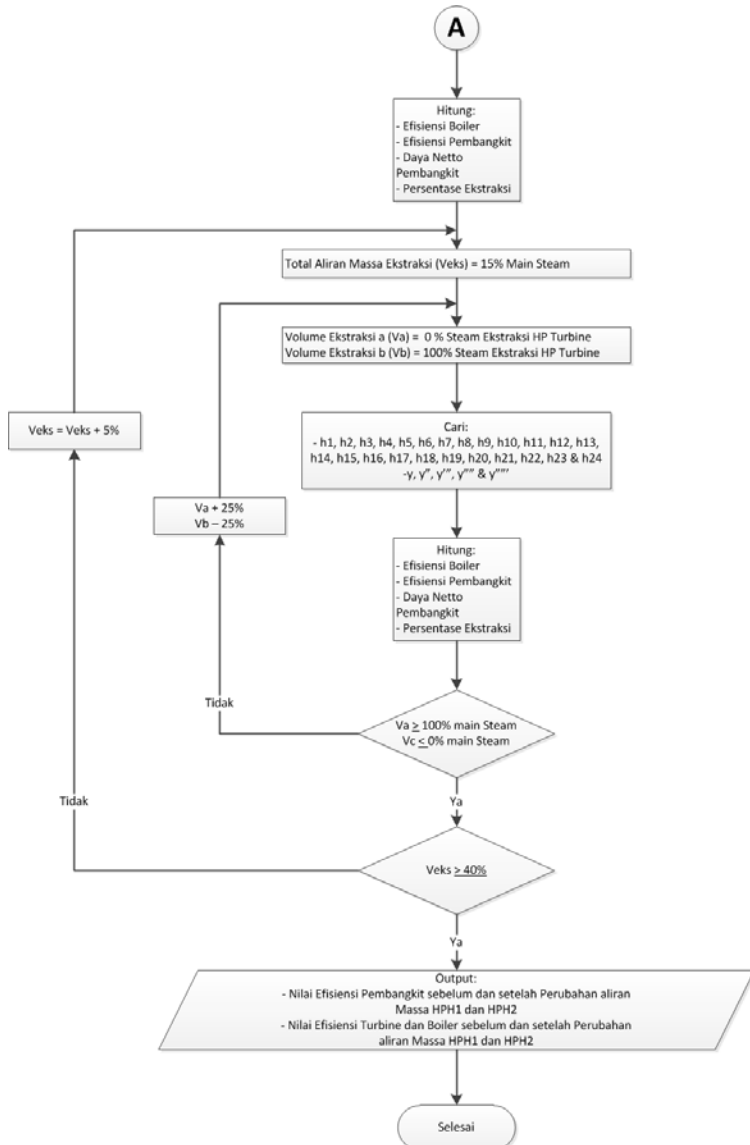
Pada tugas akhir ini, untuk mengetahui pengaruh aliran massa ekstraksi pada turbin uap untuk pemanasan *Feedwater Heaters*, analisa dilakukan menggunakan pendekatan analisa termodinamika dan evaluasi pembangkit secara keseluruhan menggunakan standar ASME PTC 46 untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap.

3.1 Flowchart penelitian

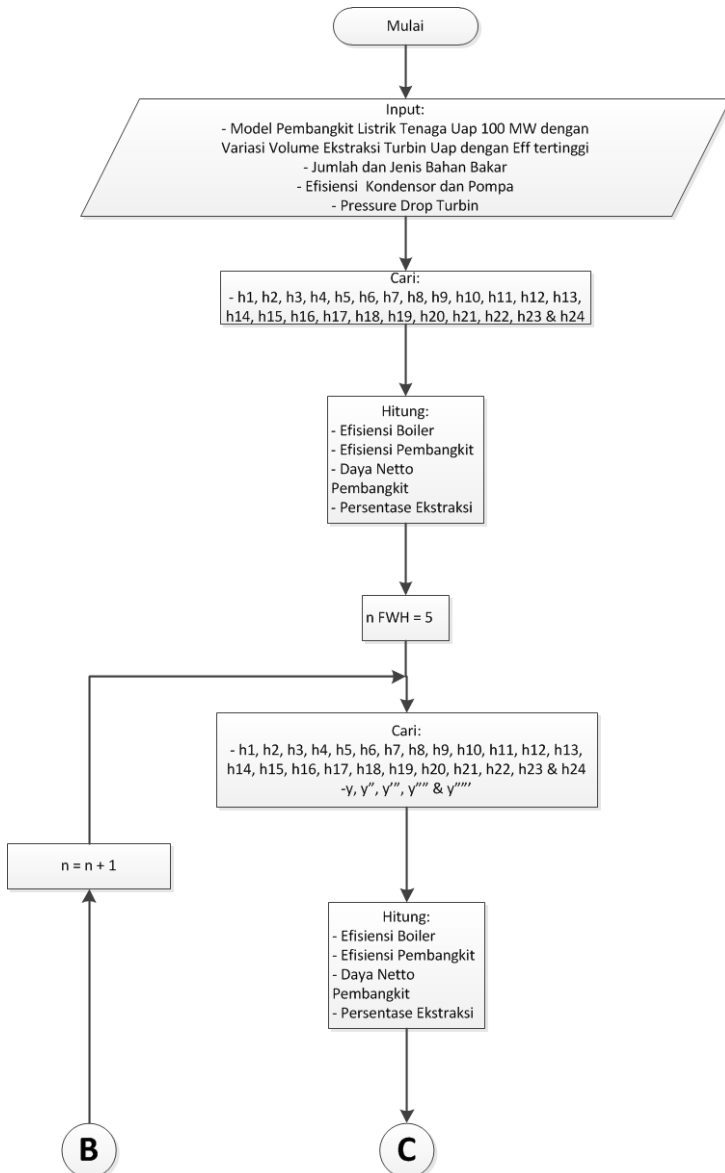
Suatu kerangka atau diagram alir (*flowchart*) dari tahapan penelitian dapat mempermudah proses penelitian dan simulasi yang akan dilakukan. Berikut di bawah ini merupakan *flowchart* dari tahapan penelitian mengenai Analisa Termodinamika Pengaruh Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap Untuk *Feedwater Heaters* Terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW :



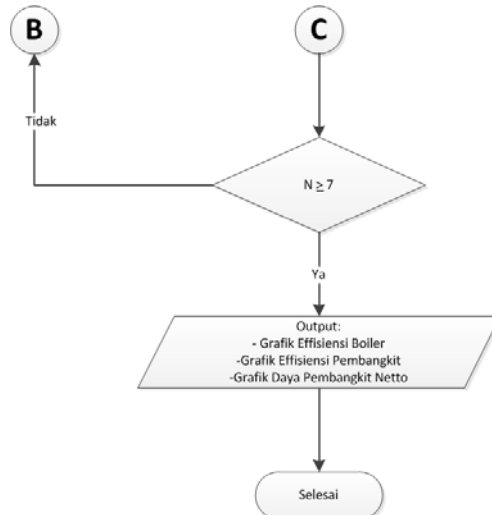
Gambar 3. 1 Flowchart Variasi Ekstraksi HPH2 dan HPH1 dan Variasi total Ekstraksi Turbin Uap



Gambar 3. 2 Flowchart Variasi Ekstraksi HPH2 dan HPH1 dan Variasi total Ekstraksi Turbin Uap (lanjutan)



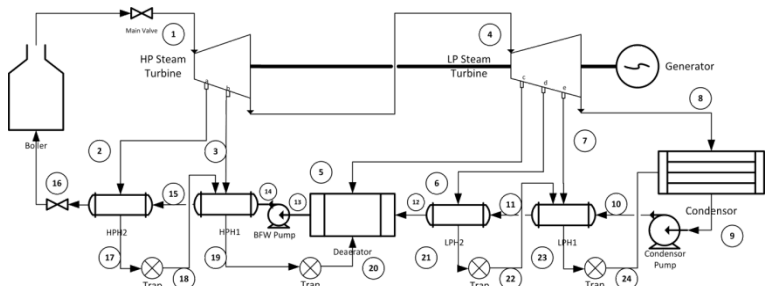
Gambar 3. 2 Flowchart Variasi Jumlah FWH Pembangkit



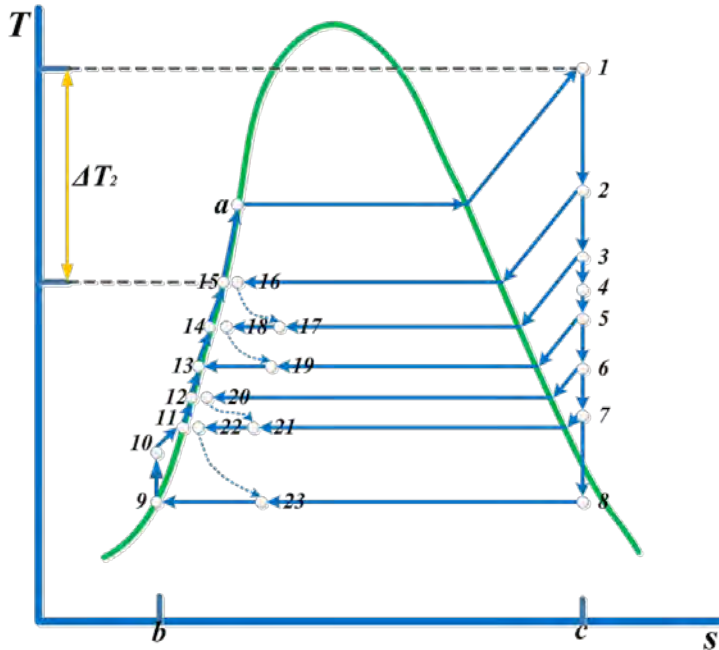
Gambar 3. 2 Flowchart Variasi Jumlah FWH Pembangkit (lanjutan)

3.2 Analisa Termodinamika dan Performa Pembangkit

Dalam penelitian ini digunakan model pembangkit listrik tenaga uap 100 MW, dimana model tersebut bekerja dengan *single case turbine* dan terdiri dari *High Pressure Turbine (HP Steam Turbine)* dan *Low Pressure Turbine (LP Steam Turbine)* dimana HP Turbine memiliki 2 ekstraksi dan LP Turbine memiliki 3 ekstraksi dengan skema sebagai berikut:



Gambar 3.3 Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW



Gambar 3.4 T-s Diagram untuk Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW

Siklus ideal termodinamika dasar uap adalah siklus Rankine di mana proses termodinamika untuk siklus ini berupa kompresi secara *isentropik*, penambahan panas secara *isobar*, ekspansi secara *isentropik* dan akhirnya pembuangan panas secara *isobar*. Siklus Rankine ini menggunakan fluida kerja dua fase berupa cairan dan uap.

Persamaan yang digunakan dalam mengevaluasi sebuah pembangkit tenaga uap didapat melalui Kesetimbangan laju Energi dan Massa sebagai berikut:

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

Dengan asumsi perpindahan kalor dengan lingkungan diabaikan, kondisi tunak, serta energi potensial dan energi kinetik diabaikan maka persamaan kesetimbangan laju energi untuk tiap proses didapatkan sebagai berikut:

- Turbine

$$\dot{W}_{tHP} = \dot{m}[(h_1 - h_2) + (1 - y')(h_2 - h_3) + (1 - y' - y'')(h_3 - h_4)] \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\dot{W}_{tLP} = \dot{m}[(1 - y' - y'')(h_4 - h_5) + (1 - y' - y'' + y''')(h_5 - h_6) + (1 - y' - y'' + y''' + y''''')(h_6 - h_7) + (1 - y' - y'' + y''' + y'''' + y''''''')(h_7 - h_8)] \dots\dots\dots(3.2)$$

- Kondensor

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}[(1 - y' - y'' + y''' + y'''' + y''''''')(h_9 - h_8)] \dots\dots\dots(3.3)$$

- Pompa Kondensor

$$\dot{W}_{p,c} = \dot{m}[(1 - y' - y'' + y''')(h_9 - h_{10})] \dots\dots\dots(3.4)$$

- Pompa BFW

$$\dot{W}_{p,BFW} = \dot{m}[(1 - y' - y'' + y''')(h_{13} - h_{14})] \dots\dots\dots(3.5)$$

- Boiler

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}[(h_1 - h_{16})] \dots\dots\dots(3.6)$$

- Effisiensi Siklus

$$\eta = \frac{\dot{W}_{netto}}{\dot{Q}_{in}} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\dot{W}_{netto} = \dot{W}_{tHP} + \dot{W}_{tLP} - \dot{W}_{p,c} - \dot{W}_{p,bfw} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$\eta = \frac{\dot{W}_{tHP} + \dot{W}_{tLP} - \dot{W}_{p,c} - \dot{W}_{p,bfw}}{\dot{Q}_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.9)$$

Nilai y' , y'' , y''' , y'''' & y''''' didapat melalui persamaan:

$$\begin{aligned}
 0 &= y'(h_2) + h_{15} - y'(h_{17}) - h_{16} \\
 0 &= y'(h_2 - h_{17}) + h_{15} - h_{16} \\
 y'(h_2 - h_{17}) &= h_{16} - h_{15} \\
 y' &= \frac{h_{16} - h_{15}}{h_2 - h_{17}} \dots\dots\dots (3.10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0 &= y''(h_3) + y'(h_{18}) + h_{14} - h_{15} - (y' + y'')(h_{19}) \\
 0 &= y''(h_3 - h_{19}) + y'(h_{18} - h_{19}) + h_{14} - h_{15} \\
 y''(h_3 - h_{19}) &= h_{15} - h_{14} - y'(h_{18} - h_{19}) \\
 y'' &= \frac{y'(h_{18} - h_{19}) - h_{14} + h_{15}}{h_3 - h_{19}} \dots\dots\dots (3.11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0 &= y'''(h_5) + (1 - y' - y'' - y''')(h_{12}) - (h_{13}) + (y' \\
 &\quad - y'')(h_{20}) \\
 0 &= y'''(h_5 - h_{12}) + h_{12} - h_{13} - y'(h_{12} - h_{20}) - y''(h_{12} \\
 &\quad - h_{20}) \\
 0 &= y'''(h_5 - h_{12}) + h_{12} - h_{13} - (y' + y'')(h_{12} - h_{20}) \\
 y'''(h_5 - h_{12}) &= h_{13} - h_{12} + (y' + y'')(h_{12} - h_{20}) \\
 y''' &= \frac{h_{13} - h_{12} + (y' + y'')(h_{12} - h_{20})}{h_5 - h_{12}} \dots\dots\dots (3.12)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0 &= y''''(h_6) - (1 - y' - y'' - y''')(h_{12}) - y''''(h_{21}) + (1 \\
 &\quad - y' - y'' - y''')h_{11} \\
 0 &= y''''(h_6 - h_{21}) - (1 - y' - y'' - y''')(h_{12} - h_{11}) \\
 y''''(h_6 - h_{21}) &= (1 - y' - y'' - y''')(h_{12} - h_{11}) \\
 y'''' &= \frac{(1 - y' - y'' - y''')(h_{12} - h_{11})}{h_6 - h_{21}} \dots\dots\dots (3.13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0 &= y'''''(h_7) - (1 - y' - y'' - y''')(h_{11}) + y'''''(h_{22}) \\
 &\quad - (y''''' + y''''''')(h_{23}) - (1 - y' - y'' \\
 &\quad - y''''')(h_{10})
 \end{aligned}$$

$$0 = y''''(h_7 - h_{23}) - (1 - y' - y'' - y''')(h_{11} + h_{10}) + y''''(h_{22} - h_{23})$$

$$y'''' = \frac{(1 - y' - y'' - y''')(h_{11} + h_{10}) - y''''(h_{22} - h_{23})}{h_7 - h_{23}} \dots\dots\dots (3.14)$$

3.3 Analisa performa pembangkit tenaga uap

Performa dari sebuah pembangkit selain dapat dicari melalui analisa termodinamika, juga dapat melalui metode yang lain. ASME PTC 6, sebuah metode untuk menghitung performa dari pembangkit tenaga uap digunakan dalam analisa ini dengan rincian sebagai berikut:

➤ **Input-Output Methode**

- $Plant\ Heat\ Rate = \frac{(\dot{m}_{coal} \cdot HHV_{fuel}) \cdot \eta_{B,HHV}}{Power\ Gross} \dots\dots\dots (3.12)$

Dimana:

- \dot{m}_{coal} = aliran bahan bakar yang digunakan (kg/h)
- $Power\ Gross$ = Daya Kotor yang dihasilkan oleh pembangkit (kW)

- $Nett\ Plant\ Heat\ Rate = \frac{(\dot{m}_{coal} \cdot HHV_{fuel}) \cdot \eta_{B,HHV}}{Power\ Gross - Stasion\ Service\ Power} \dots\dots\dots (3.13)$

Dimana:

- $Stasion\ Service\ Power$ = Daya yang digunakan peralatan di pembangkit (kW)

- $HOB = (\dot{m}_{th} + \dot{m}_{ss}) \cdot (h_{th} - h_{fw}) + \dot{m}_{hr} \cdot (h_{hr} - h_{cr}) \dots\dots\dots (3.14)$

Dimana:

- \dot{m}_{hr} = Hot reheat steam flow (kg/h)
- \dot{m}_{ss} = Superheater Spray Flow (kg/h)
- \dot{m}_{th} = Turbine Throttle Steam Flow (kg/h)
- h_{hr} = Hot reheat steam entalpi (kcal/kg)
- h_{cr} = Cold reheatsteam entalpi (kcal/kg)
- h_{fw} = Main feedwater entalpi (kcal/kg)
- h_{th} = Turbine throttle steam entalpi (kcal/kg)

- $BHI = (\dot{m}_{coal} \cdot HHV_{fuel}) \dots \dots \dots (3.15)$

- $Effisiensi\ Boiler = \frac{HOB}{BHI} \dots \dots \dots (3.16)$

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Model Pembangkit 100 MW

Analisa yang akan digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 M W di Pulau Sumatera sebagai model pembangkit yang menjadi acuan. Data operasi pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW tersebut adalah sebagai berikut:

4.1.1 Data teknis

1. DESIGN SPESIFICATION

Output Capacity	:100 MW
Main Fuel	: Coal
Initial firing	: HSD
Unit number	: 2 (two)

SPESIFIKASI BATUBARA

Total moisture	: 28,91 % (AR)
----------------	----------------

Proximate Analysis

• Inherent moisture	: 10,53 % (ADB)
• Ash content	: 5,94 % (ADB)
• Volatile matter	: 41,38 % (ADB)
• Fixed carbon	: 42,15 % (ADB)
Total sulfur	: 0,44 % (ADB)
Gross calorific value	: 6184 kcal/kg (ADB)
	: 25891.15 kJ/kg
Gross calorific value	: 4914 kcal/kg (AR)
	: 20573.92 kJ/kg

Ultimate Analysis

• Inherent moisture	: 10,53 % (ADB)
• Ash	: 5,94 % (ADB)
• Total sulfur	: 0,44 % (ADB)
• Total Nitrogen	: 0,79 % (ADB)
• Hydrogen	: 4,18 % (ADB)

- Carbon : 64,86 % (ADB)
- Oxygen : 13,26 % (ADB)

Ash Analysis:

- SiO₂ : 52,31 %
- Al₂O : 27,91 %
- Fe₂O₃ : 3,85 %
- CaO : 2,04 %
- MgO : 3,08 %
- K₂O : 0,39 %
- Na₂O : 2,64 %
- MnO₂ : 0,05 %
- TiO₂ : 1,69 %
- P₂O₅ : 0,44 %
- SO₄ : 5,40 %
- Undetermined : 0,20 %

2. TURBIN AREA EQUIPMENT

a. Steam Turbine

Manufacturer	: Fuji Electric System
Type	: Non reheat Condensing
Rated speed	: 3.000 rpm
Main Steam Pressure	: 128 kg/cm ² g
Main steam temp.	: 538 °C
Intake water	: Deep sea intake
Discharge system	: Surface disch

b. Generator System

Manufacturer	: Fuji Electric System
Type	: GTLR I 544/61-2
Capacity	: 125-500 kVA
Voltage	: 11 kV
Current	: 6587 A
Power factor	: 0,8

Excitation : 435 V/983 A
Cooler : Air

c. Condenser

Quantity : 1 unit
Type : Surface condensing double flow pass
water box half divided type
Heat transfer area : 4.830 m²
Flow rate : 18.500 m³/h
Sea water inlet temp. : 30 °C
Sea water side design press. : 3,1 kg/cm²

d. Boiler Feed Pump (BFP)

Quantity : 3 sets each unit (50 % each set for
TWO condition)
Type : Horizontal, multi stage,
centrifugal type.
Flow rate : 202 t/h
Total Head : 155 kg/cm²
Temperature : 169,3 °C
Weight vol. Ratio : 0,898 kg/litre
Speed of rotation : 3000 rpm (synchronous)
Efficiency : 78 % at above operating
cond.
Motor type : Totally enclosed air to air
cooled type
Output motor : 1450 kW
Voltage : AC 6000 V
Number of pole : 2 P

e. Condensate Pump (CP)

Quantity : 2 sets for each other (100 % each
set for TVWO condition)
Type : Vertical, multi stage, barrel type

Flow rate	: 340 t/h
Total head	: 17 kg/cm ²
Temperature	: 42,2 °C
Weight vol. Ratio	: 0,991 kg/litre
Speed of rotation	: 1500 rpm (synchronous)
Efficiency	: 76,5 % at above operating condition
Motor type	: Totally enclosed air to air cooled type
Output motor	: 240 kW
Voltage	: AC 6000 V
Number of pole	: 4 P

f. HP No.5 Feed Water Heater

Fluid	: Steam (shell), feed water (channel)
Operating press	: 31,8 kg/cm ^{2a} (shell)
Flow rate	: 24.350 kg/h (shell), 352.320 kg/h (channel)
Inlet Temp.	: 345,8 °C (shell) 201 °C (channel)
Outlet Temp.	: 206,6 °C (shell), 235 °C (channel)

g. HP No.4 Feed Water Heater

Fluid	: Steam (shell) feed water (channel)
Operating press	: 17,16 kg/cm ^{2a} (shell)
Flow rate	: 20.530 kg/h (shell), 352.320 kg/h (channel)
Inlet Temp.	: 269,5 °C (shell) 169,1 °C (channel)
Outlet Temp.	: 174,7 °C (shell), 201 °C (channel)

h. LP No.2 Feed Water Heater

Fluid	: Steam (shell) feed water (channel)
Operating press	: 3,14 kg/cm ² a (shell)
Flow rate	: 21.310 kg/h (shell), 287.540 kg/h (channel)
Inlet Temp.	: 134,5 °C (shell), 92,8 °C (channel)
Outlet Temp.	: 98,4 °C (shell), 131,7 °C (channel)

i. LP No.1 Feed Water Heater

Fluid	: Steam (shell), feed water (channel)
Operating press	: 0,881 kg/cm ² a (shell)
Flow rate	: 23.150 kg/h (shell), 287.540 kg/h (channel)
Inlet Temp.	: 95,6 °C (shell), 42,7 °C (channel)
Outlet Temp.	: 48,4 °C (shell), 92,8 °C (channel)

j. Deaerator

Design press.	: 8,6 kg/cm ² g
Design temp.	: 260 °C
Operating press.	: 7,45 to 7,84 kg/cm ²
Operating temp .	: 167 to 169 °C
Outlet capacity	: 381.120 kg/hr
Storage capacity to Empty	: 55 cubic meters from NWL
Oxygen guarantee	: 0,005 ml/l (7 ppb)
Capacity	: 55 m ³

k. Steam generation (Boiler)

Manufacturer	: Alstom Power Inc.
Steam generator	: 400 ton/hour
Feed water temp.	: 238 °C

Outlet pressure	: 128 kg/cm ² g
Superheater outlet	: 538 °C
Precipitator	: Bag filter
Firing system	: CFB

4.1.2 Efisiensi FWH

Effectiveness dibutuhkan dalam analisa Tugas akhir untuk mengetahui besaran temperatur keluar dari FWH dengan uap ekstraksi dari turbin uap sebagai sumber energi. Nilai *effectiveness* didapatkan dari persamaan:

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}}$$

$$\varepsilon = \frac{T_{fw,o} - T_{co,dc}}{T_{sat} - T_{co,dc}} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana:

$T_{fw,o}$ = FWH Tube Side Exit Temperature (°C)

$T_{co,dc}$ = Drain Tube Side Outlet Temperature (°C)

T_{sat} = Temperatur uap jenuh pada tekanan Operasi Shell FWH (°C)

HPH2 beroperasi pada tekanan 31.8 kg/cm², dan memiliki nilai temperatur uap jenuh sebesar 236.01 °C sehingga nilai *effectiveness* untuk HPH2 adalah :

$$\varepsilon_{HPH2} = \frac{T_{fw,o} - T_{co,dc}}{T_{sat} - T_{co,dc}}$$

$$\varepsilon_{HPH2} = \frac{235 \text{ °C} - 206.6 \text{ °C}}{236.01 \text{ °C} - 206.6 \text{ °C}} = 0.965657939$$

Dengan cara yang sama didapatkan nilai *effectiveness* FWH lainnya sebesar:

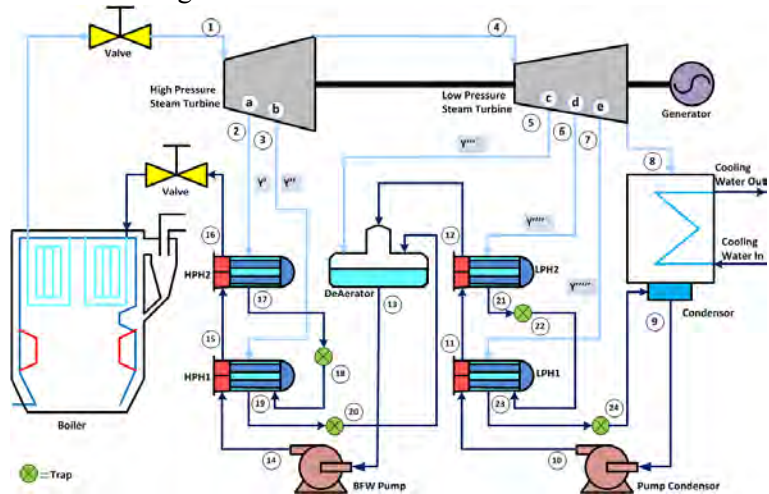
$$\varepsilon_{HPH1} = 0.903469598$$

$$\varepsilon_{LPH2} = 0.924743127$$

$$\varepsilon_{LPH1} = 0.941356062$$

4.1.3 Properti tiap kondisi pembangkit 100 MW

Dengan data teknis yang ada maka properti pada tiap kondisi pembangkit listrik tenaga uap 100 M W dapat diketahui sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW dengan 5 buah FWH

Dari data teknis Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW, maka Temperatur dan Tekanan pada tiap kondisi 1 hingga 24 dapat diketahui seperti pada tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Tekanan dan Temperatur Kondisi Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW

kondisi	\dot{m} Steam (kg/hr)	Temp (°C)	Press (kPa)
1	381120	538	12552.71
2	24350	345.8	3118.564
3	20530	269.5	1682.848
4	336240	264.75	1263.117
5	19900	260	843.3853
6	21310	134.5	307.9337
7	23150	95.6	86.39796
8	271880	48.4	8.041581
9	336240	42.2	8.041581
10	336240	42.7	1667.157
11	336240	92.8	1667.157
12	336240	131.7	1667.157
13	381120	167	730.607
14	381120	169.1	15200
15	381120	201	15200
16	381120	235	15200
17	24350	206.6	2806.708
18	24350	206.6	2806.708
19	44880	174.7	1514.563
20	44880	174.7	1514.563
21	21310	98.4	277.1403
22	21310	98.4	277.1403
23	44460	48.4	77.75816
24	44460	48.4	77.75816

Analisa termodinamika Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW dapat dilakukan setelah besaran entalpi dan entropi dari tiap kondisi. Nilai enthalpy dan entropy dapat diketahui dengan melihat Tabel A.2 dan atau Tabel A.4 pada lampiran, dan jika nilai yang dicari tidak berada pada tabel maka dilakukan interpolasi.

Kondisi 1 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW terletak pada kondisi Superheated (lihat gambar 4.2), dengan nilai Tekanan 12552.71 kPa = 12.552 MPa dan Temperatur 538°C nilai enthalpy dan entropi dapat ditemukan pada tabel A.4 dengan dilakukan interpolasi antara tabel tekanan 12 MPa dan 14 MPa dan antara temperatur 520°C dan 560°C, sehingga tahapan untuk mendapatkan nilai enthalpy dan entropy pada kondisi 1 sebagai berikut:

- Nilai enthalpy dan entropy untuk suhu 520 °C pada 12 MPa
 $h = 3401.8 \text{ kJ/kg}$
 $s = 6.5555 \text{ kJ/kg.K}$
- Nilai enthalpy dan entropy untuk suhu 520 °C pada 14 MPa
 $h = 3377.8 \text{ kJ/kg}$
 $s = 6.4610 \text{ kJ/kg.K}$
- Nilai enthalpy dan entropy untuk suhu 560 °C pada 12 MPa
 $h = 3506.2 \text{ kJ/kg}$
 $s = 6.6840 \text{ kJ/kg.K}$
- Nilai enthalpy dan entropy untuk suhu 560 °C pada 14 MPa
 $h = 3486.0 \text{ kJ/kg}$
 $s = 6.5941 \text{ kJ/kg.K}$
- Mencari nilai enthalpy dan entropy untuk suhu 538 °C pada 12 MPa

$$\frac{560^{\circ}\text{C} - 538^{\circ}\text{C}}{560^{\circ}\text{C} - 520^{\circ}\text{C}} = \frac{3506.2 \text{ kJ/kg} - h_{12\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}}{3506.2 \text{ kJ/kg} - 3401.8 \text{ kJ/kg}}$$

$$0.55 = \frac{3506.2 \text{ kJ/kg} - h_{12\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}}{104.4 \text{ kJ/kg}}$$

$$(0.55) \cdot (104.4 \text{ kJ/kg}) = 3506.2 \text{ kJ/kg} - h_{12\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}$$

$$h_{12\text{MPa},538^{\circ}\text{C}} = 3506.2 \text{ kJ/kg} - 57.42 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{12\text{MPa},538^{\circ}\text{C}} = 3448.78 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{560^{\circ}\text{C} - 538^{\circ}\text{C}}{560^{\circ}\text{C} - 520^{\circ}\text{C}} = \frac{6.6840 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - s_{12\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}}{6.6840 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - 6.5555 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}$$

$$0.55 = \frac{6.6840 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - s_{12\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}}{0.1285 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}$$

$$(0.55) \cdot (0.1285 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) = 6.6840 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - s_{12\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}$$

$$s_{12\text{MPa},538^{\circ}\text{C}} = 6.6840 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - 0.070675 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$s_{12\text{MPa},538^{\circ}\text{C}} = 6.577325 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

- Mencari nilai enthalpy dan entropy untuk suhu 538°C pada 14 MPa

$$\frac{560^{\circ}\text{C} - 538^{\circ}\text{C}}{560^{\circ}\text{C} - 520^{\circ}\text{C}} = \frac{3486.0 \text{ kJ/kg} - h_{14\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}}{3486.0 \text{ kJ/kg} - 3377.8 \text{ kJ/kg}}$$

$$0.55 = \frac{3486.0 \text{ kJ/kg} - h_{14\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}}{108.2 \text{ kJ/kg}}$$

$$(0.55) \cdot (108.2 \text{ kJ/kg}) = 3486.0 \text{ kJ/kg} - h_{14\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}$$

$$h_{14\text{MPa},538^{\circ}\text{C}} = 3486.0 \text{ kJ/kg} - 59.51 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{14\text{MPa},538^{\circ}\text{C}} = 3426.29 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{560^{\circ}\text{C} - 538^{\circ}\text{C}}{560^{\circ}\text{C} - 520^{\circ}\text{C}} = \frac{6.5941 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - s_{14\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}}{6.5941 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - 6.4610 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}$$

$$0.55 = \frac{6.5941 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - s_{14\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}}{0.1331 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}$$

$$(0.55) \cdot (0.1331 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) = 6.5941 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - s_{14\text{MPa},538^{\circ}\text{C}}$$

$$s_{14\text{MPa},538^{\circ}\text{C}} = 6.5941 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - 0.073205 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$s_{14\text{MPa},538^{\circ}\text{C}} = 6.520895 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

- Mencari nilai enthalpy dan entropy untuk suhu 538 °C pada 12.552 MPa

$$\frac{14 \text{ MPa} - 12.552 \text{ MPa}}{14 \text{ MPa} - 12 \text{ MPa}} = \frac{3426.29 \text{ kJ/kg} - h_1}{3426.29 \text{ kJ/kg} - 3448.78 \text{ kJ/kg}}$$

$$0.724 = \frac{3426.29 \text{ kJ/kg} - h_1}{-22.49 \text{ kJ/kg}}$$

$$(0.724) \cdot (-22.49 \text{ kJ/kg}) = 3426.29 \text{ kJ/kg} - h_1$$

$$h_1 = 3426.29 \text{ kJ/kg} + 16.28276 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = 3444.6 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{14 \text{ MPa} - 12.552 \text{ MPa}}$$

$$14 \text{ MPa} - 12 \text{ MPa}$$

$$= \frac{6.520895 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - s_1}{6.520895 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - 6.577325 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}$$

$$0.724 = \frac{6.520895 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - s_1}{-0.05643 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}}$$

$$(0.724) \cdot (-0.05643 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) = 6.520895 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - s_1$$

$$s_1 = 6.520895 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} + 0.04085532 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$s_1 = 6.5908 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Properti lengkap untuk kondisi-kondisi lainnya dilakukan dengan hal yang sama sesuai dengan kondisi uap pada tiap kondisi tersebut. Properti lengkap untuk kondisi 1 hingga 24 ditampilkan pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Properti Kondisi Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW

kondisi	\dot{m} Steam (kg/hr)	Temp (°C)	Press (kPa)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
1	381120	538	12552.71	3444.6	6.5908
2	24350	345.8	3118.564	3103.5	6.7078
3	20530	269.5	1682.848	2963.1	6.7344
4	336240	264.75	1263.117	2966.7	6.8673
5	19900	260	843.3853	2970.6	7.0545
6	21310	134.5	307.9337	2726.3	6.9833
7	23150	95.6	86.39796	2668.6	7.4081
8	271880	48.4	8.041581	2589.5	8.2666
9	336240	42.2	8.041581	2577.6	8.2292
10	336240	42.7	1667.157	180.28	0.6076
11	336240	92.8	1667.157	389.97	1.2238
12	336240	131.7	1667.157	554.58	1.6512
13	381120	167	730.607	2765.4	6.6943
14	381120	169.1	15200	723.37	2.0153
15	381120	201	15200	862.63	2.3193
16	381120	235	15200	1016	2.6316
17	24350	206.6	2806.708	882.63	2.3912
18	24350	206.6	2806.708	882.63	2.3912
19	44880	174.7	1514.563	740.16	2.0872
20	44880	174.7	1514.563	740.16	2.0872
21	21310	98.4	277.1403	412.49	1.2888
22	21310	98.4	277.1403	412.49	1.2888
23	44460	48.4	77.75816	202.71	0.683
24	44460	48.4	77.75816	202.71	0.683

$$y' = \frac{h_{16} - h_{15}}{h_2 - h_{17}}$$

$$y' = \frac{1016 - 862.63}{3103.5 - 882.63}$$

$$y' = 0.069058522$$

$$y'' = \frac{y'(h_{19} - h_{18}) - h_{14} + h_{15}}{h_3 - h_{19}}$$

$$y'' = \frac{0.06905(1514.563 - 2806.708) - 723.37 + 862.63}{2963.1 - 740.16}$$

$$y'' = 0.058220749$$

$$y''' = \frac{h_{13} - h_{12} - (y' + y'')(h_{20} - h_{12})}{h_5 - h_{12}}$$

$$= \frac{730.67 - 554.58 - (0.06905 + 0.05822)(740.16 - 554.58)}{843.3853 - 554.58}$$

$$y''' = 0.460739744$$

$$y'''' = \frac{(1 - y' - y'' + y''')(h_{12} - h_6)}{h_6 - h_{21}}$$

$$y'''' = \frac{(1 - 0.069 - 0.058 + 0.46)(554.58 - 2726.3)}{2726.3 - 412.99}$$

$$= 0.311$$

$$y'''' = 0.311$$

$$y''''' = \frac{y''(h_{23} - h_{22})(1 - y' - y'' + y''')(h_{11} - h_{10})}{h_7 - h_{23}}$$

$$= \frac{0.058(412.9 - 202.71)(1 - 0.069 - 0.058 + 0.46)(389.97 - 180.28)}{2688.8 - 412.9}$$

$$y''''' = 0.0856$$

- Turbine

$$\dot{W}_{tHP} = \dot{m}[(h_1 - h_2) + (1 - y')(h_2 - h_3) + (1 - y' - y'')(h_3 - h_4)]$$

$$\dot{W}_{tHP} = 381120 \text{ kg/hr} [(3444.6-3103.5)+(1-0.069)(3103.5-2963.1) + (1-0.069-0.058)(2963.1-2966.7)]\text{kJ/kg}$$

$$\dot{W}_{tHP} = 178616609.6 \text{ kJ/hr}$$

$$\begin{aligned} \dot{W}_{tLP} = \dot{m}[(1 - y' - y'')(h_4 - h_5) \\ + (1 - y' - y'' + y''')(h_5 - h_6) \\ + (1 - y' - y'' + y'''' + y''''')(h_6 - h_7) \\ + (1 - y' - y'' + y'''' + y'''''' + y''''''')(h_7 - h_8)] \end{aligned}$$

$$\dot{W}_{tLP} = 381120 \text{ kg/hr} [(1-0.069-0.058)(2966.7-2970.6)+(1-0.069-0.058-0.46)(2970.6-2762.3) + (1-0.069-0.058-0.46-0.311)(2762.3-2668.8)+ (1-0.069-0.058-0.46-0.311)(2668.8-2589.5)]\text{kJ/kg}$$

$$\dot{W}_{tLP} = 42058543.27 \text{ kJ/hr}$$

$$\dot{W}_{t,total} = \dot{W}_{tLP} + \dot{W}_{tHP}$$

$$\dot{W}_{t,total} = 178616609.6 \text{ kJ/hr} + 42058543.27 \text{ kJ/hr}$$

$$\dot{W}_{t,total} = 220675152.6 \text{ kJ/hr}$$

- Kondensor

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}[(1 - y' - y'' + y'''' + y'''''' + y''''''''')(h_9 - h_8)]$$

$$\dot{Q}_{out} = 381120 \text{ kg/hr} [(1-0.069-0.058-0.46-0.311)(2577.6-2589.5)] \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{out} = 418319.9452 \text{ kJ/hr}$$

- Pompa Kondensor

$$\dot{W}_{p,c} = \dot{m}[(1 - y' - y'' + y''''')(h_{10} - h_9)]$$

$$\dot{W}_{p,c} = 381120 \text{ kg/hr } [(1-0.069-0.058-0.46)(2577.6-180.28) \text{ kJ/kg}]$$

$$\dot{W}_{p,c} = -376413264.9 \text{ kJ /hr}$$

- Pompa BFW

$$\dot{W}_{p,BFW} = \dot{m}[(h_{14} - h_{13})]$$

$$\dot{W}_{p,BFW} = 381120 \text{ kg/hr } [(723.37-2765.4) \text{ kJ/kg}]$$

$$\dot{W}_{p,BFW} = -778258473.6 \text{ kJ/hr}$$

- Boiler

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}[(h_1 - h_{16})]$$

$$\dot{Q}_{in} = 281120 \text{ kg/hr } [(3444.6-1016) \text{ kJ /kg}]$$

$$\dot{Q}_{in} = 925588032 \text{ kJ/hr}$$

- Effisiensi Siklus

$$\eta = \frac{\dot{W}_{netto}}{\dot{Q}_{in}}$$

$$\dot{W}_{netto} = \dot{W}_{tHP} + \dot{W}_{tLP} + \dot{W}_{p,c} + \dot{W}_{p,bfw}$$

$$\dot{W}_{netto} = [27361.882 + 220675.152 + (-3440.181) + (-3899.363)] \text{ MJ/hr}$$

$$\dot{W}_{netto} = 62684.2 \text{ MJ/hr}$$

$$\dot{W}_{netto} = 17.41227789 \text{ MW}$$

$$\eta = \frac{\dot{W}_{tHP} + \dot{W}_{tLP} + \dot{W}_{p,c} + \dot{W}_{p,bfw}}{\dot{Q}_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{[27361.882 + 220675.152 + (-3440.181) + (-3899.363)] \text{ MJ/hr}}{221073 \text{ MJ/hr}}$$

$$\times 100\%$$

$$\eta = \frac{62684.2 \text{ MJ/hr}}{221073 \text{ MJ/hr}} \times 100\%$$

$$\eta = 28.35 \%$$

- Effisiensi Boiler (direct method)
- $HOB = (\dot{m}_1) \cdot (h_1 - h_{16})$
 $HOB = (381120 \text{ kg/hr}) \cdot (3444.6 \text{ kJ/hr} - 1016 \text{ kJ/hr})$
 $HOB = (381120 \text{ kg/hr}) \cdot (2428.6 \text{ kJ/hr})$
 $HOB = 925588032 \text{ kg/hr}$
- $BHI = (\dot{m}_{coal} \cdot HHV_{fuel})$
 $BHI = (50000 \text{ kg/hr} \cdot 25891.15 \text{ kJ/kg})$
 $BHI = 1294557500 \text{ kg/hr}$
- $Effisiensi\ Boiler = \frac{HOB}{BHI} \cdot 100\%$
 $Effisiensi\ Boiler = \frac{925588032 \text{ kg/hr}}{1294557500 \text{ kg/hr}} \cdot 100\%$
 $Effisiensi\ Boiler = 71.49 \%$

4.2 Variasi Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap

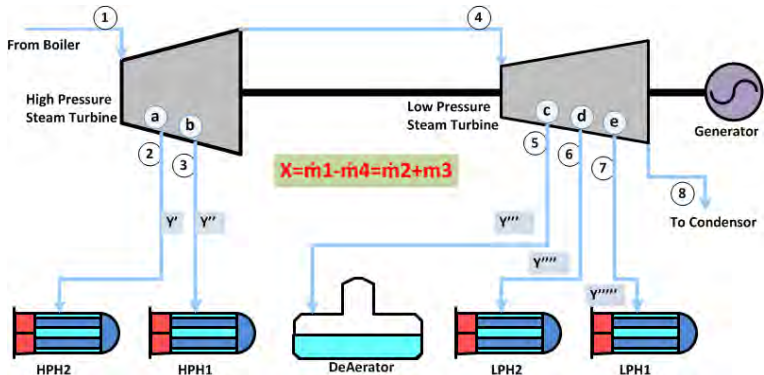
Variasi yang dilakukan dalam penelitian Tugas akhir ini dilakukan dengan memvariasikan jumlah aliran massa yang diekstraksi dari Turbin Uap dari titik **a**, **b**, **c**, **d**, dan **e** sebagai sumber energi untuk pemanasan pada *Feedwater Heaters* (FWH) pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW yang berjumlah 5 buah, titik **a** dan **b** terletak pada *High Pressure Turbine* sedangkan titik **c**, **d** dan **e** terletak pada *Low Pressure Turbine*. Kelima buah FWH tersebut terdiri dari 4 *closed feedwater heaters* (HPH2, HPH1, LPH2 dan LPH1) dan 1 *open feedwater heater* (De Aerator).

Sumber energi untuk tiap FWH telah ditentukan diambil dari Turbin yang mana dan titik ekstraksi yang mana. Sumber ekstraksi untuk HPH2 diambil dari titik **a**, HPH1 ekstraksi diambil dari titik **b**, De Aerator ekstraksi diambil dari

titik **c**, LPH2 ekstraksi diambil dari titik **d** dan LPH1 ekstraksi diambil dari titik **e**.

Variasi aliran massa yang dilakukan ada 2 jenis, yaitu variasi Persentase Aliran Massa Ekstraksi Turbin uap untuk HPH 1 dan 2 serta variasi Persentase Total Aliran Massa Ekstraksi untuk semua FWH.

4.2.1 Variasi Ekstraksi Turbin Uap untuk HPH2 dan HPH1



Gambar 4.3 Perbandingan Variasi Ekstraksi Turbin Uap HPH2 dan HPH1

Variasi aliran massa untuk ekstraksi turbin uap dilakukan dengan variasi perbandingan jumlah aliran massa ekstraksi turbin uap untuk HPH2 dan HPH1 yaitu jumlah dari m_2 dan m_3 , dimana pada Model Eksisting total aliran massa ekstraksi turbin uap untuk HPH2 dan HPH1 adalah 44880 kg/hr atau 11.78% dari total aliran uap masuk Turbin, dan jika ditotal dengan aliran massa uap yang diekstrak untuk Deaerator, LPH2 dan LPH1 maka total ekstraksi uap yang diekstrak adalah 28.66%. seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 maka aliran massa yang akan divariasikan adalah y' dan y'' dari titik ekstraksi **a** dan titik ekstraksi **b**.

Data jumlah aliran masa untuk \dot{m}_1 hingga \dot{m}_8 dari data teknis didapatkan sebagai berikut:

- $\dot{m}_1 = 381120 \text{ kg/hr}$
- $\dot{m}_2 = 24350 \text{ kg/hr}$
- $\dot{m}_3 = 20530 \text{ kg/hr}$
- $\dot{m}_4 = 336420 \text{ kg/hr}$
- $\dot{m}_5 = 19900 \text{ kg/hr}$
- $\dot{m}_6 = 21310 \text{ kg/hr}$
- $\dot{m}_7 = 23150 \text{ kg/hr}$
- $\dot{m}_8 = 271880 \text{ kg/hr}$

Jumlah Ekstraksi *High Pressure Turbine* (X) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$X = \dot{m}_1 - \dot{m}_4 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

$$X = 381120 \text{ kg/hr} - 336420 \text{ kg/hr}$$

$$X = 44880 \text{ kg/hr}$$

Setelah mengetahui jumlah ekstraksi *High Pressure Turbine* atau jumlah ekstraksi turbin uap yang digunakan untuk HPH2 dan HPH1 maka selanjutnya mencari persentasi aliran massa untuk HPH2 (y') dan HPH1 (y'') dari total ekstraksi *High Pressure Turbine*. Persentase dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$y' = \frac{\dot{m}_2}{X} \cdot 100\%$$

$$y' = \frac{24350 \text{ kg/hr}}{44880 \text{ kg/hr}} \cdot 100\%$$

$$y' = 54.26 \%$$

$$y'' = \frac{\dot{m}_3}{X} \cdot 100\%$$

$$y'' = \frac{20530 \text{ kg/hr}}{44880 \text{ kg/hr}} \cdot 100\%$$

$$y'' = 45.74 \%$$

Pada Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan 5 Variasi untuk Variasi ekstraksi turbin uap untuk HPH2 dan HPH1 yaitu:

- Variasi A : $\dot{m}_2 = 0 \% . X$
 $\dot{m}_3 = 100 \% . X$
- Variasi B : $\dot{m}_2 = 25 \% . X$
 $\dot{m}_3 = 75 \% . X$
- Variasi C : $\dot{m}_2 = 50 \% . X$
 $\dot{m}_3 = 50 \% . X$
- Variasi D : $\dot{m}_2 = 75 \% . X$
 $\dot{m}_3 = 25 \% . X$
- Variasi E : $\dot{m}_2 = 100 \% . X$
 $\dot{m}_3 = 0 \% . X$

4.2.2 Variasi Total Ekstraksi Turbin Uap

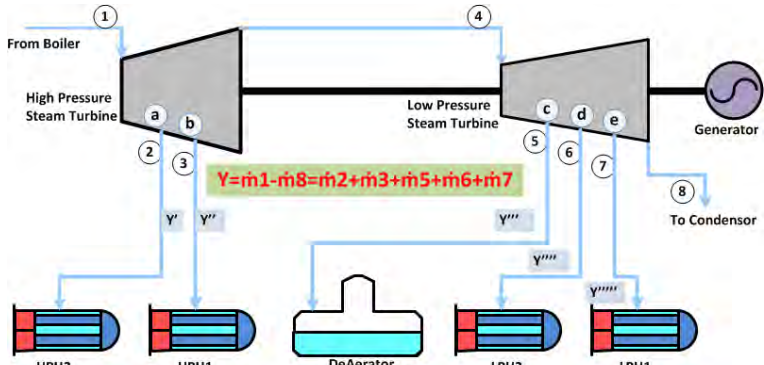
Pada jurnal yang ditulis oleh T. Srinivas dkk, efisiensi pembangkit bila dibandingkan dengan jumlah ekstraksi uap aliran maka efisiensi pembangkit bisa meningkat ketika persentasi ekstraksi uap berada pada kisaran 20%-40%. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 yang dimaksud total ekstraksi Turbin Uap adalah hasil penjumlahan \dot{m}_2 , \dot{m}_3 , \dot{m}_5 , \dot{m}_6 dan \dot{m}_7 atau hasil pengurangan \dot{m}_1 dengan \dot{m}_8 .

Pada Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan variasi 15% hingga 40 % dari Total ekstraksi Turbin uap. Dengan data yang telah diketahui sebelumnya, maka kondisi total ekstraksi Turbin Uap model eksisting dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Y = \dot{m}_1 - \dot{m}_8 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_5 + \dot{m}_6 + \dot{m}_7$$

$$Y = 381120 \text{ kg/hr} - 271880 \text{ kg/hr}$$

$$Y = 109240 \text{ kg/hr}$$



Gambar 4.4 Perbandingan Variasi Total Ekstraksi Turbin Uap (Y)

Bila dibandingkan dengan Jumlah Aliran Massa Uap yang memasuki Turbin Uap maka Data Eksiting memiliki Persentase sebagai berikut:

$$Y = \frac{109240 \text{ kg/hr}}{381120 \text{ kg/hr}} \cdot 100\%$$

$$Y = 28.66 \%$$

Setelah mengetahui jumlah Total ekstraksi Turbin Uap atau jumlah ekstraksi turbin uap yang digunakan untuk HPH2, HPH1, Deaerator, LPH2 dan LPH1 maka selanjutnya mencari persentasi aliran massa untuk HPH2 (y'), HPH1 (y''), Deaerator (y'''), LPH2 (y'''') dan LPH1 (y'''''') bila dibandingkan dengan jumlah total ekstraksi Turbin Uap. Persentase dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$y' = \frac{\dot{m}_2}{Y} \cdot 100\%$$

$$y' = \frac{24350 \text{ kg/hr}}{109240 \text{ kg/hr}} \cdot 100\%$$

$$y' = 22.29 \%$$

$$y'' = \frac{\dot{m}_3}{Y} \cdot 100\%$$

$$y'' = \frac{20530 \text{ kg/hr}}{109240 \text{ kg/hr}} \cdot 100\%$$

$$y'' = 18.79 \%$$

$$y''' = \frac{\dot{m}_5}{Y} \cdot 100\%$$

$$y''' = \frac{19900 \text{ kg/hr}}{109240 \text{ kg/hr}} \cdot 100\%$$

$$y''' = 18.21 \%$$

$$y'''' = \frac{\dot{m}_6}{Y} \cdot 100\%$$

$$y'''' = \frac{21310 \text{ kg/hr}}{109240 \text{ kg/hr}} \cdot 100\%$$

$$y'''' = 19.5 \%$$

$$y''''' = \frac{\dot{m}_7}{Y} \cdot 100\%$$

$$y''''' = \frac{23150 \text{ kg/hr}}{109240 \text{ kg/hr}} \cdot 100\%$$

$$y''''' = 21.21 \%$$

Jumlah total ekstraksi tubin uap pada tiap variasi berpengaruh pada jumlah aliran massa untuk tiap FWH, oleh karena itu nilai y'' , y''' dan y'''' digunakan untuk menentukan jumlah aliran massa yang akan digunakan, sedangkan nilai y' dan y'' akan divariasikan seperti variasi pada HPH2 dan HPH1. Pada Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan 5 Variasi untuk Variasi Total ekstraksi turbin uap yaitu:

- Variasi 15 %
- Variasi 20 %

- Variasi 25 %
- Variasi 30 %
- Variasi 35 %

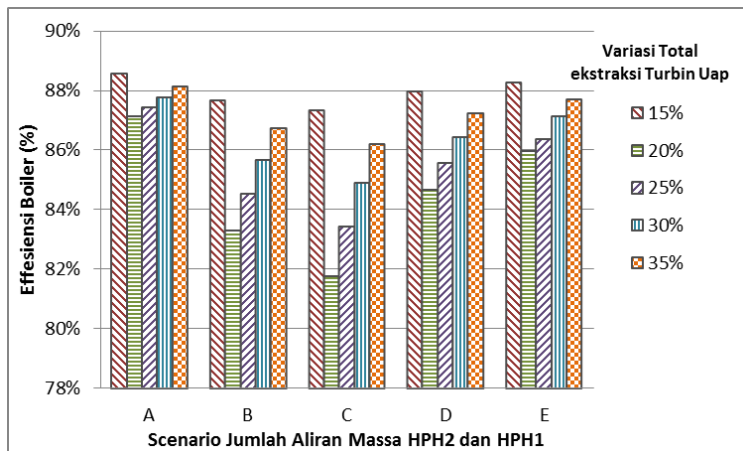
4.2.3 Analisa termodinamika variasi aliran massa ekstraksi turbin uap

Besaran tiap aliran massa ekstraksi turbin uap yang divariasikan merupakan gabungan variasi turbin uap HPH2 dan HPH1 dengan variasi total ekstraksi turbin uap, sehingga didapatkan pembagian untuk tiap Scenario seperti ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap untuk tiap Variasi

	Variasi	Jumlah Aliran Massa (kg/hr)								Perbandingan	
		m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	HPH2	HPH1
	Eksisting	381120	24350	20530	336240	19900	21310	23150	271880	54%	46%
Variasi 15 %	Plant A	381120	0	23487	357633	10414	11152	12115	323952	0%	100%
	Plant B	381120	5871.7	17615	357633	10414	11152	12115	323952	25%	75%
	Plant C	381120	11743	11743	357633	10414	11152	12115	323952	50%	50%
	Plant D	381120	17615	5871.7	357633	10414	11152	12115	323952	75%	25%
	Plant E	381120	23487	0	357633	10414	11152	12115	323952	100%	0%
	Plant A	381120	0	31316	349804	13886	14869	16153	304896	0%	100%
Variasi 20 %	Plant B	381120	7828.9	23487	349804	13886	14869	16153	304896	25%	75%
	Plant C	381120	15658	15658	349804	13886	14869	16153	304896	50%	50%
	Plant D	381120	23487	7828.9	349804	13886	14869	16153	304896	75%	25%
	Plant E	381120	31316	0	349804	13886	14869	16153	304896	100%	0%
	Plant A	381120	0	39145	341975	17357	18587	20192	285840	0%	100%
Variasi 25 %	Plant B	381120	9786.2	29359	341975	17357	18587	20192	285840	25%	75%
	Plant C	381120	19572	19572	341975	17357	18587	20192	285840	50%	50%
	Plant D	381120	29359	9786.2	341975	17357	18587	20192	285840	75%	25%
	Plant E	381120	39145	0	341975	17357	18587	20192	285840	100%	0%
	Plant A	381120	0	46974	334146	20828	22304	24230	266784	0%	100%
Variasi 30 %	Plant B	381120	11743	35230	334146	20828	22304	24230	266784	25%	75%
	Plant C	381120	23487	23487	334146	20828	22304	24230	266784	50%	50%
	Plant D	381120	35230	11743	334146	20828	22304	24230	266784	75%	25%
	Plant E	381120	46974	0	334146	20828	22304	24230	266784	100%	0%
	Plant A	381120	0	54803	326317	24300	26021	28268	247728	0%	100%
Variasi 35 %	Plant B	381120	13701	41102	326317	24300	26021	28268	247728	25%	75%
	Plant C	381120	27401	27401	326317	24300	26021	28268	247728	50%	50%
	Plant D	381120	41102	13701	326317	24300	26021	28268	247728	75%	25%
	Plant E	381120	54803	0	326317	24300	26021	28268	247728	100%	0%

Setelah variasi tiap kondisi ditentukan, maka langkah selanjutnya mencari properti dari tiap kondisi (lampiran). Setelah itu dilakukan analisa termodinamika, sehingga didapatkan hasil efisiensi boiler, efisiensi pembangkit dan daya pembangkit seperti ditunjukkan pada gambar 4.5, gambar 4.6 dan gambar 4.7 sebagai berikut:



Gambar 4.5 Grafik Efisiensi Boiler Variasi Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap

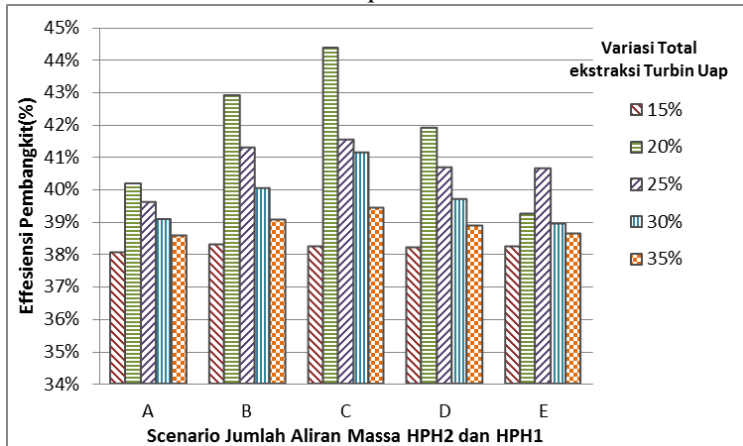
Gambar 4.5 menunjukkan bahwa efisiensi boiler untuk variasi perubahan ekstraksi turbin uap untuk HPH2 dan HPH1 mengalami penurunan ketika pada scenario A Aliran Massa ekstraksi dari High Pressure Steam Turbine hanya untuk HPH2 hingga komposisi variasi 50%-50% aliran massa ekstraksi turbin uap untuk HPH2 dan HPH1. Setelah mengalami penurunan hingga komposisi 50%-50% untuk HPH2 dan HPH1 Efisiensi Boiler mengalami peningkatan kembali hingga akhirnya ekstraksi dari high pressure steam turbin 100% hanya untuk HPH1 saja.

Fenomena yang ditunjukkan oleh variasi aliran massa HPH2 dan HPH1 pada efisiensi Boiler menunjukkan bahwa

terjadi penurunan Δh pada boiler ketika ekstraksi turbin uap dibagi untuk 2 FWH dibandingkan hanya untuk 1 FWH saja. Hal ini dikarenakan Q_{input} boiler dan aliran massa yang masuk boiler adalah konstan.

Gambar 4.5 juga menunjukkan perbandingan variasi total ekstraksi turbin uap untuk model pembangkit listrik tenaga uap 100 M W. Gambar menunjukkan bahwa variasi total ekstraksi turbin uap berbeda-beda pengaruhnya terhadap efisiensi boiler, dimana efisiensi boiler tertinggi terjadi ketika total ekstraksi turbin uap 15% dari total main steam yang masuk turbin uap, kemudian diikuti oleh 35%, 30%, 25% dan terakhir 20%.

Fenomena yang ditunjukkan oleh variasi total ekstraksi turbin uap menunjukkan bahwa semakin banyak ekstraksi turbin uap dilakukan pada pembangkit listrik tenaga uap 100 MW maka efisiensi boiler semakin rendah, atau kontribusi pada Δh dengan semakin banyaknya ekstraksi turbin uap untuk efisiensi boiler berubah dengan terjadinya variasi total ekstraksi turbin uap ini.



Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Pembangkit Variasi Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap

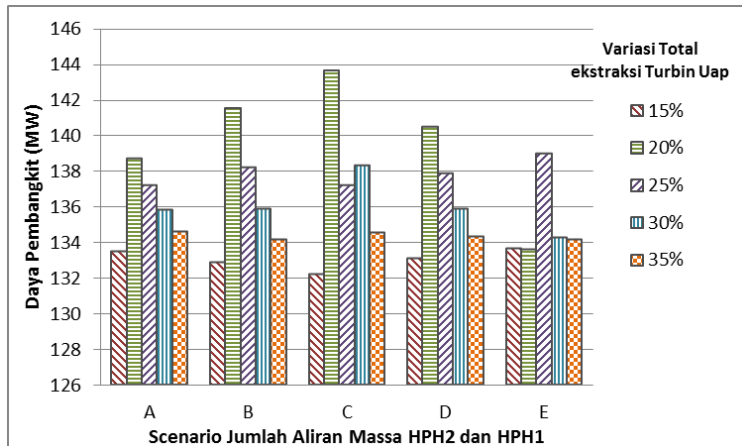
Gambar 4.6 menunjukkan bahwa efisiensi pembangkit untuk variasi perubahan aliran massa ekstraksi turbin uap untuk HPH2 dan HPH1 mengalami peningkatan ketika pada scenario A Aliran Massa ekstraksi dari *High Pressure Steam Turbine* hanya untuk HPH2 hingga komposisi variasi 50%-50% aliran massa ekstraksi turbin uap untuk HPH2 dan HPH1. Setelah mengalami peningkatan hingga puncaknya pada komposisi 50%-50% untuk HPH2 dan HPH1. Effisiensi pembangkit mengalami penurunan setelah mengalami puncaknya hingga ekstraksi dari *high pressure steam turbine* 100% hanya untuk HPH1 saja.

Fenomena yang ditunjukkan oleh variasi aliran massa HPH2 dan HPH1 pada efisiensi pembangkit menunjukkan bahwa terjadi peningkattan W_{netto} ketika ekstraksi turbin uap dibagi secara seimbang untuk 2 FWH dibandingkan hanya untuk 1 FWH saja atau ekstraksi dilakukan secara tidak sama. Hal ini dikarenakan perubahan Q_{input} pembangkit dan W_{pompa} dianggap tidak mengalami perubahan signifikan sehingga bisa dianggap konstan.

Gambar 4.6 juga menunjukkan perbandingan variasi total ekstraksi turbin uap untuk model pembangkit listrik tenaga uap 100 M W. Gambar menunjukkan bahwa variasi total ekstraksi turbin uap berbeda-beda pengaruhnya terhadap efisiensi pembangkit, dimana efisiensi pembangkit tertinggi terjadi ketika total ekstraksi turbin uap 20% dari total main steam yang masuk turbin uap, kemudian diikuti oleh 25%, 30%, 35% dan terakhir 15%.

Fenomena yang ditunjukkan oleh variasi total ekstraksi turbin uap menunjukkan bahwa perubahan total ekstraksi turbin uap yang dilakukan pada pembangkit listrik tenaga uap 100 MW tidak memiliki pola meningkat dari total ekstraksi 15% hingga 20% kemudian mengalami penurunan kembali hingga total ekstraksi turbin uap 35%, atau kontribusi total ekstraksi turbin uap berpengaruh terhadap W_{netto} seiring

dengan perubahan total ekstraksi turbin uap, sehingga untuk total ekstraksi turbin uap tidak harus minimum (terlalu sedikit) atau maksimum (terlalu banyak).



Gambar 4.7 Grafik Daya Pembangkit (netto) Variasi Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa daya pembangkit untuk variasi perubahan aliran massa ekstraksi turbin uap untuk HPH2 dan HPH1 mengalami tren peningkatan ketika pada scenario A Aliran Massa ekstraksi dari *High Pressure Steam Turbine* hanya untuk HPH2 hingga komposisi variasi 50%-50% aliran massa ekstraksi turbin uap untuk HPH2 dan HPH1. Setelah mengalami peningkatan hingga puncaknya pada komposisi 50%-50% untuk HPH2 dan HPH1, daya pembangkit mengalami penurunan setelah mengalamai puncaknya hingga ekstraksi dari *high pressure steam turbine* 100% hanya untuk HPH1 saja.

Fenomena yang ditunjukkan oleh variasi aliran massa HPH2 dan HPH1 pada daya pembangkit menunjukkan bahwa terjadi peningkatan total W_{turbin} ketika ekstraksi turbin uap dibagi secara seimbang untuk 2 FWH dibandingkan hanya

untuk 1 FWH saja atau ekstraksi dilakukan secara tidak sama. Hal ini dikarenakan perubahan W_{pompa} dianggap tidak mengalami perubahan signifikan sehingga bisa dianggap konstan.

Gambar 4.7 juga menunjukkan perbandingan variasi total ekstraksi turbin uap untuk model pembangkit listrik tenaga uap 100 MW terhadap daya pembangkit. Gambar 4.7 menunjukkan bahwa variasi total ekstraksi turbin uap berbeda-beda pengaruhnya terhadap efisiensi pembangkit, dimana efisiensi pembangkit tertinggi terjadi ketika total ekstraksi turbin uap 20% dari total main steam yang masuk turbin uap, kemudian diikuti oleh 25%, 30%, 35% dan terakhir 15%.

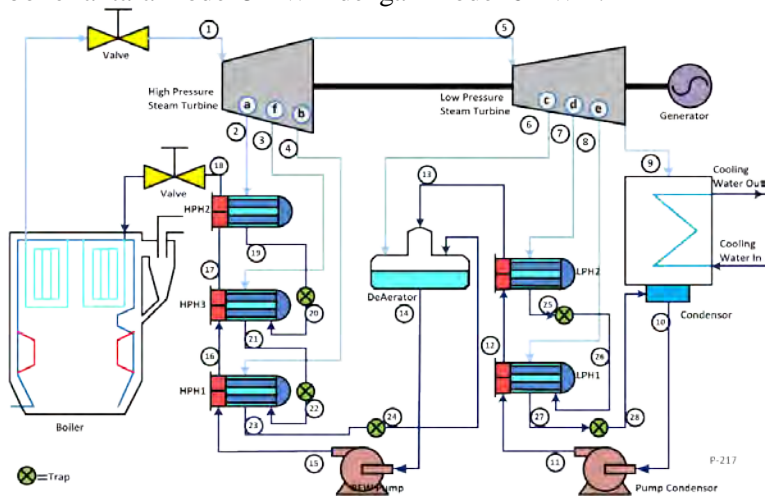
Fenomena yang ditunjukkan oleh variasi total ekstraksi turbin uap menunjukkan bahwa perubahan total ekstraksi turbin uap yang dilakukan pada pembangkit listrik tenaga uap 100 MW tidak memiliki pola meningkat dari total ekstraksi 15% hingga 20% kemudian mengalami penurunan kembali hingga total ekstraksi turbin uap 35%, atau kontribusi total ekstraksi turbin uap berpengaruh terhadap W_{netto} seiring dengan perubahan total ekstraksi turbin uap, sehingga untuk total ekstraksi turbin uap tidak harus minimum (terlalu sedikit) atau maksimum (terlalu banyak).

4.3 Variasi Penambahan *Feedwater Heaters*

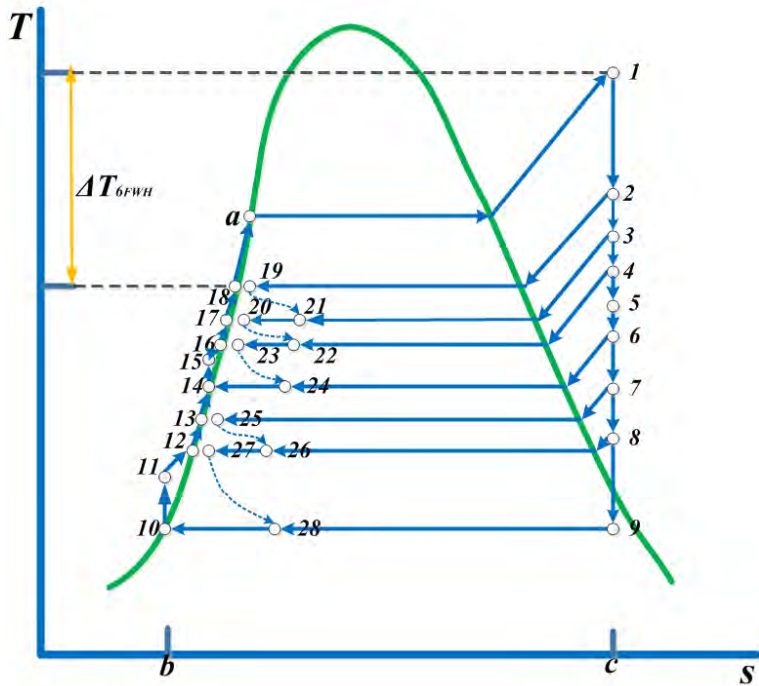
Dengan komposisi ekstraksi turbin uap dan volume maksimal ekstraksi turbin uap diketahui maka pada model dapat dilakukan penambahan feedwater Heater dari 5 buah menjadi 7 buah. Pada jurnal yang ditulis oleh Dendi Junaidi dkk, disebutkan bahwa jumlah FWH optimal adalah 7 dan setelah itu penambahan FWH tidak memberikan penambahan efisiensi yang optimal terhadap performa pembangkit.

Perbedaan antara model sebelumnya sebelumnya antara model pembangkit 100 MW 5 FWH dengan 6 FWH dapat dilihat terjadi perubahan dari segi tempat ekstraksinya,

dimana seperti ditunjukkan pada gambar 4.11 untuk FWH no 6 (HPH3) ekstraksi diambil dari titik f. Titik Ekstraksi f terletak pada titik ekstraksi a dan b, dimana kontribusi tekanan paling besar diberikan oleh titik a lebih besar disbanding titik b. dari gambar 4.12, fenomena yang ditunjukkan oleh T-s diagram terjadi perubahan suhu antara temperature masuk air boiler antara model 5 FWH dengan model 6 FWH.



Gambar 4.8 Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW dengan penambahan 1 FWH (total 6 FWH)

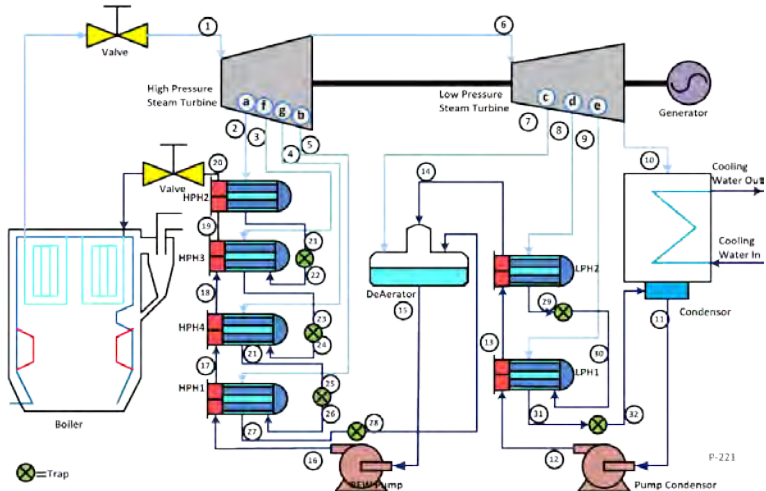


Gambar 4.9 T-s Diagram Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW dengan penambahan 1 FWH (total 6 FWH)

Tabel 4.4 Properti untuk tiap Kondisi pada Model dengan 6 FWH

kondisi	m Steam (kg/hr)	Temp (°C)	Press (kPa)	Enthalpy (kJ/kg)
1	381120	460.98	12552.71	3234.176
2	10438.59	268.55	3118.56	2905.01
3	10438.59	238.53	2400.75	2851.419
4	10438.59	203.81	1682.82	2782.923
5	349804.2	192.93	1337.94	2740.51
6	13885.55	169.61	784.54	2686.124
7	14869.4	134.43	307.93	2533.055
8	16153.29	95.6	86.4	2348.249
9	304896	51.52	13.3	2116.091
10	335918.7	51.52	13.3	215.6201
11	335918.7	55.7	750	233.7071
12	335918.7	74.77	750	313.5493
13	335918.7	92.39	750	387.4882
14	381120	109.92	715.9	461.3851
15	381120	112.05	15201	480.8956
16	381120	123.92	15201	530.8441
17	381120	136.19	15201	582.6767
18	381120	147.53	15201	630.8667
19	10438.59	141.79	2400.75	598.126
20	10438.59	141.79	2400.75	598.126
21	20877.18	127.77	3118.56	538.7153
22	20877.18	127.77	3118.56	538.7153
23	31315.77	120.91	1682.85	508.6122
24	31315.77	120.91	1682.85	508.6122
25	14869.4	79.26	307.93	332.0131
26	14869.4	79.26	307.93	332.0131
27	31022.69	58.04	86.4	242.918
28	31022.69	58.04	86.4	242.918

Perbedaan antara model pembangkit 100 MW 6 FWH dengan 7 FWH dapat dilihat terjadi perubahan dari segi tempat ekstraksinya, dimana seperti ditunjukkan pada gambar 4.13 untuk FWH no 7 (HPH4) ekstraksi diambil dari titik g. Titik Ekstraksi g terletak pada titik ekstraksi f dan b, dimana kontribusi tekanan paling besar diberikan oleh titik a lebih besar disbanding titik b. dari gambar 4.14, fenomena yang ditunjukkan oleh T-s diagram terjadi perubahan suhu antara temperature masuk air boiler antara model 6 FWH dengan model 7 FWH.



Gambar 4.10 Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100 MW dengan penambahan 2 FWH (total 7 FWH)

Tabel 4.5 Properti untuk tiap Kondisi pada Model dengan 7 FWH

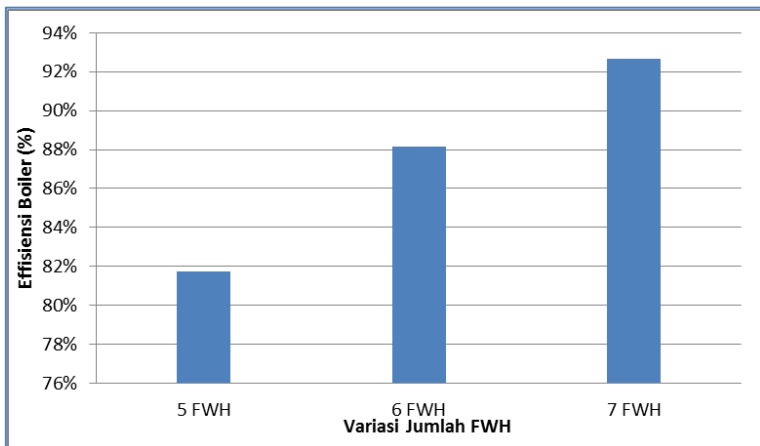
kondisi	m Steam (kg/hr)	Temp (°C)	Press (kPa)	Enthalpy (kJ/kg)
1	381120	461.01	12552.71	3234.26
2	7828.94	268.58	3118.56	2905.094
3	7828.94	238.55	2400.75	2851.419
4	7828.94	220.79	2041.78	2819.683
5	7828.94	203.81	1682.85	2782.965
6	349804.2	192.93	1337.94	2740.594
7	13885.55	169.61	784.54	2686.208
8	14869.4	134.43	307.93	2533.138
9	16153.29	95.6	86.4	2348.291
10	304896	51.52	13.29	2116.133
11	335918.7	51.52	13.29	215.6201
12	335918.7	55.7	750	233.7071
13	335918.7	74.77	750	313.5493
14	335918.7	92.39	750	387.53
15	381120	109.92	715.9	461.427
16	381120	112.06	15201	480.9375
17	381120	120.94	15201	518.2837
18	381120	130.53	15201	557.9746
19	381120	139.1	15201	595.0277
20	483284.2	147.45	15201	630.4899
21	7828.94	143.96	2041.78	607.1694
22	7828.94	143.96	2041.78	607.1694
23	15657.88	136.33	2400.75	574.7636
24	15657.88	136.33	2400.75	574.7636
25	23486.82	124.89	3118.56	526.5317
26	23486.82	124.89	3118.56	526.5317
27	31315.76	120.91	1682.85	508.6541
28	31315.76	120.91	1682.85	508.6541
29	14869.4	79.26	307.93	332.0131
30	14869.4	79.26	307.93	332.0131
31	31022.69	58.04	86.4	242.918
32	31022.69	58.04	86.4	242.918

Proses ekstraksi untuk tiap penambahan FWH dilakukan dengan tetap menjaga persentase ekstraksi sehingga jumlah ekstraksi turbin uap didapatkan seperti ditunjukkan pada table 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.6 Aliran Massa Ekstraksi Turbin uap untuk tiap penambahan FWH dan besaran Effisiensi tiap FWH

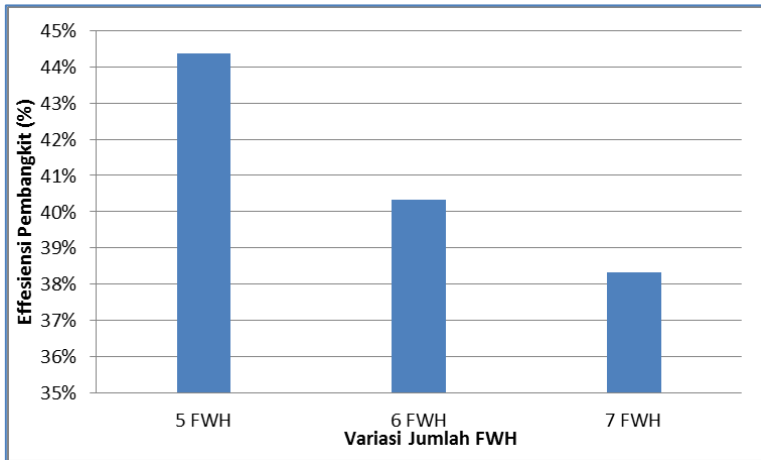
Jumlah FWH	Persentase Ekstraksi	Jumlah Aliran Massa (kg/hr)								Jumlah ekstraksi
		Main Steam	HPH4	HPH3	HPH2	HPH1	Deaerator	LPH2	LPH1	
5 FWH	20%	381120			15657.88	15657.88	13885.55	14869.4	16153.29	76224
	FWH Effectifeness				0.566078	0.05624		0.580264	0.794698	
6 FWH	20%	381120		10438.59	10438.59	10438.59	13885.55	14869.4	16153.29	76224
	FWH Effectifeness			0.060921	0.089536	0.036309		0.238078	0.445777	
7 FWH	20%	381120	7828.939	7828.939	7828.939	7828.939	13885.55	14869.4	16153.29	76224
	FWH Effectifeness		0.037914	0.032405	0.193349	0.000362		0.238078	0.445777	
	Ekstraction Pressure		2041.778	2400.705	3118.56	1682.85	784.54	307.93	86.4	

Dilihat dari perbandingan tekanan ekstraksi uap pada Variasi aliran massa untuk HPH2 dan HPH1, kontribusi dari tiap ekstraksi terhadap kenaikan effisiensi dapat dilihat pada grafik sebagai berikut:



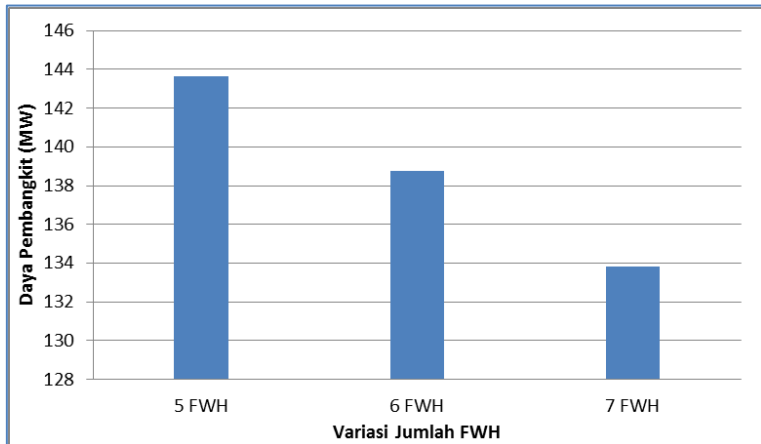
Gambar 4.12 Grafik Effisiensi Boiler Variasi untuk tiap penambahan FWH

Gambar 4.12 menunjukkan grafik efisiensi boiler pembangkit dengan variasi jumlah FWH yang digunakan pada pembangkit. Efisiensi boiler tertinggi pada jumlah FWH 5 buah dengan besar efisiensi boiler 98.314% dan terendah ketika jumlah FWH 7 buah yaitu sebesar 97.28%. Rata-rata variasi penambahan jumlah FWH pada pembangkit 100 MW menurunkan Efisiensi Boiler sebesar 0.51389 % tiap penambahan 1 FWH.



Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Pembangkit Variasi untuk tiap penambahan FWH

Gambar 4.13 menunjukkan grafik efisiensi pembangkit dengan variasi jumlah FWH yang digunakan pada pembangkit. Efisiensi pembangkit tertinggi pada jumlah FWH 7 buah dengan besar efisiensi pembangkit 26.191% dan terendah ketika jumlah FWH 5 buah yaitu sebesar 25.987%. Rata-rata variasi penambahan jumlah FWH pada pembangkit 100 MW meningkatkan efisiensi pembangkit sebesar 0.102% tiap penambahan 1 FWH.



Gambar 4.14 Grafik DayaPembangkit Netto Variasi untuk tiap penambahan FWH

Gambar 4.14 menunjukkan grafik daya pembangkit netto dengan variasi jumlah FWH yang digunakan pada pembangkit. Efisiensi pembangkit tertinggi pada jumlah FWH 7 buah dengan besar daya pembangkit 90.431 MW dan terendah ketika jumlah FWH 5 buah yaitu sebesar 89.732 MW. Grafik yang ditunjukkan gambar 4.10 menunjukkan bahwa penambahan jumlah FWH dari 5 buah menjadi 7 buah dapat meningkatkan Daya Pembangkit sebesar 0.238 MW. Penambahan 5 % volume total ekstraksi turbin menunjukkan pengurangan rata-rata daya pembangkit sebesar 0.71 MW.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pembahasan mengenai keseluruhan hasil perhitungan terhadap pengaruh perubahan aliran massa ekstraksi Turbin Uap terhadap performa pembangkit listrik tenaga uap 100 MW maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perbandingan komposisi aliran Ekstraksi Turbin uap terbaik untuk HPH2 dan HPH1 adalah 50%:50% dengan total ekstraksi turbin uap sebesar 20%;
2. Penambahan FWH akan meningkatkan efisiensi boiler, namun penambahan FWH mengalami penurunan efisiensi pembangkit dan daya pembangkit dari 5 FWH hingga 7 FWH.
3. Penambahan ekstraksi turbin uap untuk FWH dan perubahan aliran massa ekstraksi turbin uap dapat meningkatkan daya pembangkit netto dari kondisi eksisting hingga 5.32 MW

5.2 Saran

Beberapa saran yang bisa diberikan setelah pelaksanaan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut :

1. Dalam perhitungan performa pembangkit dengan acuan pembangkit listrik tenaga uap 100 MW harus memiliki data-data peralatan pembangkit yang lebih lengkap, serta skema pembangkit yang jelas.
2. Perlunya pengikutsertaan perhitungan *pressure drop* dan juga kebocoran dalam pelaksanaan tugas akhir ini, sehingga dalam perancangan pembangkit listrik tenaga uap aslinya dapat diantisipasi.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Albert, Paul. **Steam Turbine Thermal Evaluation and Assessment**. GE Power System Schenectady New York ; 2000.
- ANSI/ASME PTC 6-2004 “Steam Turbines”
- Dendi Junaidi, I Made Suardjaja, Tri Agung Rohmat. **Kesetimbangan Massa dan Kalor Serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai Perubahan Beban dengan Menvariasikan Jumlah Feedwater Heater**. Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta ; 2010.
- Elwakil, M.Mohamed. **Power Plant Technology**, The McGraw – Hill book company, Singapore, 1984.
- Li, Yong & Wang Chao. **Study on The Effect of Regenerative System on Power Type Relative Internal Efficiency of Nuclear Steam Turbine**. 2012 International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems, Energy Procedia 17 (2012) 906-912: 2012.
- Moran MJ, Shapiro HN. **Fundamentals of Engineering Thermodynamics**. John Wiley & Sons Inc.; 2006.
- Srinivas T., Gupta A. V. S. S. K. S., Reddy B.V. **Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with ‘n’ Number of Feedwater Heaters**. International Journal of Thermodynamics, Vol. 10, No. 4, pp 177-185 ; 2007.

- Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS). Badan Pusat Statistik : 2007.

BIODATA PENULIS



Ari Fadlansyah Jaya Subrata, anak pertama bagi Orangnya dan cucu pertama di keluarga besarnya, lahir di Garut 16 Agustus 1991. Bungsu dari pasangan Ayi Tatang Kosmara Jaya dan Vivi Afiati Fitri ini sudah mengenyam pendidikan dari umur dibawah 5 tahun di sebuah PAUD, dan tanpa menjalani jenjang TK sehingga tahun 1997 masuk SDN Leuwidaun I dan lulus dari SD yang sama namun dengan nama yang berbeda yaitu SDN Paminggir IV pada tahun 2003, dengan cita-cita kecil

Penulis melanjutkan pendidikannya di Pondok Pesantren Darul Arqam Muhammadiyah Garut hingga Lulus pada tahun 2009. Cita-citanya ingin menjadi seorang Astronot menjadikan Penulis merantau hingga Surabaya dengan status penerima Program Beasiswa Santri Berprestasi Departemen Agama dan menjalani kehidupan sebagai mahasiswa Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya angkatan 2009 (M-52).

Ketertarikannya akan pengembangan kepribadian dan manajemen organisasi menjadikan Penulis menghabiskan banyak waktunya di bidang LKMM dan Kepemanduan. 3 tahun berturut-turut dihabiskan penulis untuk aktif di BEM ITS pada kementerian PSDM khususnya di Ditjen Badan Koordinasi Pemandu. Memiliki banyak teman, cerita dan pengalaman baru dengan latar belakang yang beragam didapatkannya selama di BEM ITS.

Selain di bidang kemahasiswaan, Penulis selama 3 tahun mulai dari Mahasiswa Baru hingga tahun ke 4 selalu menulis PKM, dan Proposalnya selalu didanai. Ketertarikannya akan bidang kepenulisan pernah mengantarkannya menjadi Finalis

National Innovation Challenge pada tahun 2011 yang diadakan oleh HMM ITB. Bidang kepenulisan yang selalu berkutat dengan masalah Energi mengantarkan Penulis untuk mengambil Tema Konversi Energi sebagai Tugas akhirnya dengan judul “Analisa Termodinamika Pengaruh Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap untuk *Feedwater Heaters* terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap 100MW” dengan dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng.

Motto Penulis yang sejak kecil dibawanya adalah “Struggling till the End”. Penulis dapat dihubungi di alamat email afj.subrata@gmail.com.

LAMPIRAN

- Properti dari tiap Variasi

Properti	Satuan	15%					20%					25%				
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
m1	kg/h	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	
m2	kg/h	0	5871.704	11743.41	17615.11	23486.82	0	7828.939	15657.88	23486.82	31315.76	0	9786.174	19572.35	29358.52	39144.69
m3	kg/h	23486.82	17615.11	11743.41	5871.704	0	31315.76	23486.82	15657.88	7828.939	0	39144.69	29358.52	19572.35	9786.174	0
m4	kg/h	357633.2	357633.2	357633.2	357633.2	357633.2	349804.2	349804.2	349804.2	349804.2	349804.2	341975.3	341975.3	341975.3	341975.3	341975.3
m5	kg/h	10414.16	10414.16	10414.16	10414.16	10414.16	13885.55	13885.55	13885.55	13885.55	13885.55	17356.94	17356.94	17356.94	17356.94	17356.94
m6	kg/h	11152.05	11152.05	11152.05	11152.05	11152.05	14869.4	14869.4	14869.4	14869.4	14869.4	18586.75	18586.75	18586.75	18586.75	18586.75
m7	kg/h	12114.97	12114.97	12114.97	12114.97	12114.97	16153.29	16153.29	16153.29	16153.29	16153.29	20191.61	20191.61	20191.61	20191.61	20191.61
m8	kg/h	323952	323952	323952	323952	323952	304896	304896	304896	304896	304896	285840	285840	285840	285840	285840
m9	kg/h	357633.2	357633.2	357633.2	357633.2	357633.2	349804.2	349804.2	349804.2	349804.2	349804.2	341975.3	341975.3	341975.3	341975.3	341975.3
m10	kg/h	357633.2	357633.2	357633.2	357633.2	357633.2	349804.2	349804.2	349804.2	349804.2	349804.2	341975.3	341975.3	341975.3	341975.3	341975.3
m11	kg/h	357633.2	357633.2	357633.2	357633.2	357633.2	349804.2	349804.2	349804.2	349804.2	349804.2	341975.3	341975.3	341975.3	341975.3	341975.3
m12	kg/h	357633.2	357633.2	357633.2	357633.2	357633.2	349804.2	349804.2	349804.2	349804.2	349804.2	341975.3	341975.3	341975.3	341975.3	341975.3
m13	kg/h	381120	375248.3	369376.6	363504.9	357633.2	381120	373291.1	365462.1	357633.2	349804.2	381120	371333.8	361547.7	351761.5	341975.3
m14	kg/h	381120	375248.3	369376.6	363504.9	357633.2	381120	373291.1	365462.1	357633.2	349804.2	381120	371333.8	361547.7	351761.5	341975.3
m15	kg/h	381120	375248.3	369376.6	363504.9	357633.2	381120	373291.1	365462.1	357633.2	349804.2	381120	371333.8	361547.7	351761.5	341975.3
m16	kg/h	381120	375248.3	369376.6	363504.9	357633.2	381120	373291.1	365462.1	357633.2	349804.2	381120	371333.8	361547.7	351761.5	341975.3
m17	kg/h	0	5871.704	11743.41	17615.11	23486.82	0	7828.939	15657.88	23486.82	31315.76	0	9786.174	19572.35	29358.52	39144.69
m18	kg/h	0	5871.704	11743.41	17615.11	23486.82	0	7828.939	15657.88	23486.82	31315.76	0	9786.174	19572.35	29358.52	39144.69
m19	kg/h	23486.82	23486.82	23486.82	23486.82	23486.82	31315.76	31315.76	31315.76	31315.76	31315.76	39144.69	39144.69	39144.69	39144.69	39144.69
m20	kg/h	23486.82	23486.82	23486.82	23486.82	23486.82	31315.76	31315.76	31315.76	31315.76	31315.76	39144.69	39144.69	39144.69	39144.69	39144.69
m21	kg/h	11152.05	11152.05	11152.05	11152.05	11152.05	14869.4	14869.4	14869.4	14869.4	14869.4	18586.75	18586.75	18586.75	18586.75	18586.75
m22	kg/h	11152.05	11152.05	11152.05	11152.05	11152.05	14869.4	14869.4	14869.4	14869.4	14869.4	18586.75	18586.75	18586.75	18586.75	18586.75
m23	kg/h	23267.02	23267.02	23267.02	23267.02	23267.02	31022.69	31022.69	31022.69	31022.69	31022.69	38778.37	38778.37	38778.37	38778.37	38778.37
m24	kg/h	23267.02	23267.02	23267.02	23267.02	23267.02	31022.69	31022.69	31022.69	31022.69	31022.69	38778.37	38778.37	38778.37	38778.37	38778.37

Properti	Satuan	15%					20%					25%				
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
T1	°C	467.9225	467.5821	467.4703	529.84	467.8063	444.1024	443.5275	443.357	443.7149	443.9015	449.4079	448.8753	448.7114	449.0608	446.8313
T2	°C	273.7669	273.4961	273.4119	323.28	273.6651	256.0581	255.6343	255.5079	255.7731	255.9118	259.9588	259.5667	259.4454	259.7003	258.0539
T3	°C	204.8568	204.6212	204.5478	248.46	204.7682	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134
T4	°C	192.9349	192.9349	192.9349	223.01	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349
T5	°C	169.608	169.608	169.608	185.31	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608
T6	°C	134.4318	134.4318	134.4318	134.43	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318
T7	°C	95.59612	95.59612	95.59612	95.6	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612
T8	°C	51.66872	51.69698	51.70516	52.91	51.68127	51.01818	51.07375	51.09035	51.05553	51.03732	51.17287	51.22033	51.23501	51.20403	51.14022
T9	°C	51.66933	51.6957	51.70382	52.91	51.67999	51.01904	51.07439	51.09087	51.05636	51.03835	51.17309	51.22063	51.23528	51.204	51.13931
T10	°C	55.84682	55.87514	55.88332	57.09	55.85937	55.19494	55.25063	55.26727	55.23238	55.2141	55.34997	55.39751	55.41219	55.38116	55.31722
T11	°C	70.28991	70.28548	70.2835	76.39	70.29009	87.91228	87.81139	87.78133	87.84435	87.87743	83.59588	83.527	83.50576	83.55032	83.5205
T12	°C	83.85857	83.82473	83.81359	94.26	83.84765	116.6018	116.3785	116.3119	116.4515	116.5247	108.7974	108.6341	108.5837	108.6896	108.682
T13	°C	97.63372	97.5707	97.28002	115.71	97.61166	143.4978	143.1819	142.8166	143.2857	143.3898	132.8918	132.6535	132.2806	132.7299	132.8946
T14	°C	99.63528	99.57159	99.27792	117.91	99.613	146.0267	145.7067	145.3367	145.8118	145.9174	135.2871	135.046	134.6685	135.1232	135.29
T15	°C	127.3378	127.3378	127.3378	142.31	127.6602	195.9155	195.9155	195.9155	195.9155	195.9155	180.8587	180.8587	180.8587	180.8587	180.8587
T16	°C	127.3378	128.3136	128.6378	150.08	127.6602	195.9155	197.4908	198.0159	196.9648	196.4385	180.8587	182.3388	182.8302	181.8433	188.1412
T17	°C	273.7669	111.0124	103.9732	216.88	124.5516	256.0581	161.7549	148.4502	174.2954	186.1246	259.9588	150.1614	138.1484	161.5735	177.5739
T18	°C	273.7669	111.0124	103.9732	216.88	124.5516	256.0581	161.7549	148.4502	174.2954	186.1246	259.9588	150.1614	138.1484	161.5735	177.5739
T19	°C	109.6916	109.6341	103.975	179.98	109.6715	151.6049	151.3158	148.4501	151.4107	151.5061	141.902	141.6841	138.1488	141.7539	141.9046
T20	°C	109.6916	109.6341	103.975	179.98	109.6715	151.6049	151.3158	148.4501	151.4107	151.5061	141.902	141.6841	138.1488	141.7539	141.9046
T21	°C	75.11703	75.11294	75.11111	80.89	75.11721	91.4132	91.31991	91.29208	91.3504	91.38097	87.42162	87.35793	87.33828	87.37951	87.35192
T22	°C	75.11703	75.11294	75.11111	80.89	75.11721	91.4132	91.31991	91.29208	91.3504	91.38097	87.42162	87.35793	87.33828	87.37951	87.35192
T23	°C	58.17788	58.20452	58.21224	59.37	58.18969	57.56423	57.61666	57.63232	57.59948	57.58227	57.71017	57.75491	57.76876	57.73952	57.67934
T24	°C	58.17788	58.20452	58.21224	59.37	58.18969	57.56423	57.61666	57.63232	57.59948	57.58227	57.71017	57.75491	57.76876	57.73952	57.67934

Properti	Satuan	15%					20%					25%				
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
P1	kPa	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	
P2	kPa	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	
P3	kPa	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	
P4	kPa	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	
P5	kPa	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	
P6	kPa	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	
P7	kPa	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	
P8	kPa	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	
P9	kPa	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	
P10	kPa	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	
P11	kPa	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	
P12	kPa	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	
P13	kPa	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	
P14	kPa	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	
P15	kPa	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	
P16	kPa	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	
P17	kPa	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	
P18	kPa	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	
P19	kPa	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	
P20	kPa	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	
P21	kPa	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	
P22	kPa	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	
P23	kPa	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	
P24	kPa	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	

Properti	Satuan	15%					20%					25%				
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
h1	kJ/kg	3978.547	3983.921	3985.731	3982.095	3980.301	4426.601	4438.989	4443.129	4434.851	4430.722	4314.175	4324.874	4328.443	4321.279	4367.379
h2	kJ/kg	0	2914.48	2914.281	2914.664	2914.977	0	2861.667	2861.295	2862.06	2862.592	0	2873.651	2873.324	2874.095	3347.344
h3	kJ/kg	2791.635	2790.934	2791.341	2791.074	0	2744.957	2743.824	2744.532	2744.112	0	2755.687	2754.504	3208.875	2754.984	0
h4	kJ/kg	3407.001	3412.206	3413.929	3410.471	3408.746	3941.708	3955.036	3959.002	3950.694	3946.362	3797.744	3808.929	3812.374	3805.01	3788.939
h5	kJ/kg	2694.305	2693.657	2693.457	2693.885	2694.071	2649.968	2648.839	2648.505	2649.209	2649.578	2660.111	2659.093	2658.78	2659.437	2655.154
h6	kJ/kg	2540.575	2539.979	2539.792	2540.186	2540.352	2499.464	2498.421	2498.105	2498.763	2499.104	2508.941	2508.002	2507.709	2508.32	2504.36
h7	kJ/kg	2355.04	2354.497	2354.327	2354.687	2354.836	2317.647	2316.693	2316.408	2317.005	2317.317	2326.266	2325.407	2325.141	2325.701	2322.095
h8	kJ/kg	2683.831	2688.556	2690.11	2686.981	2685.441	3345.014	3359.414	3363.7	3354.72	3350.037	3142.472	3153.947	3157.483	3149.93	3135.04
h9	kJ/kg	261.2747	261.8814	262.0783	261.6823	261.4899	294.9477	296.4533	296.9022	295.962	295.4723	285.884	287.147	287.5368	286.7053	285.5631
h10	kJ/kg	283.1263	283.812	284.0225	283.5766	283.3935	319.9184	321.5295	322.0126	321.0008	320.4723	310.0337	311.3771	311.7941	310.917	309.7305
h11	kJ/kg	356.1521	356.8118	357.0143	356.5854	356.4092	509.2725	510.7352	511.1736	510.2552	509.7753	467.9619	469.2005	469.5849	468.7758	467.3577
h12	kJ/kg	424.8917	425.5336	425.7305	425.3134	425.142	676.4184	677.8298	678.2525	677.3666	676.9035	609.6063	610.8006	611.1709	610.3909	608.7187
h13	kJ/kg	500.6809	525.5454	532.864	517.0013	508.7386	839.9623	942.5591	980.6167	905.7147	871.6223	753.4497	831.1434	858.7168	803.5572	788.982
h14	kJ/kg	524.3268	550.3805	558.1151	541.4278	532.7701	867.9296	974.0032	1013.404	935.9106	900.663	780.3004	860.8105	889.445	832.2247	817.0984
h15	kJ/kg	666.5693	587.9864	558.1151	615.9226	642.1022	1167.785	1063.53	1013.404	1105.127	1139.538	1043.71	937.1197	889.445	978.1752	1060.032
h16	kJ/kg	666.5693	705.415	719.1715	692.0589	679.1412	1167.785	1324.231	1385.069	1268.044	1216.06	1043.71	1163.033	1208.36	1120.669	1137.77
h17	kJ/kg	0	466.9941	437.3547	495.9278	524.2273	0	683.4375	626.1138	737.9591	789.944	0	633.4507	582.0421	682.6567	877.7209
h18	kJ/kg	0	466.9941	437.3547	495.9278	524.2273	0	683.4375	626.1138	737.9591	789.944	0	633.4507	582.0421	682.6567	877.7209
h19	kJ/kg	460.3888	460.1403	437.3624	460.2071	460.2981	638.78	637.5359	626.1135	637.9329	638.3548	597.1459	596.2009	582.0438	596.5123	696.6833
h20	kJ/kg	460.3888	460.1403	437.3624	460.2071	460.2981	638.78	637.5359	626.1135	637.9329	638.3548	597.1459	596.2009	582.0438	596.5123	696.6833
h21	kJ/kg	314.1321	314.1149	314.1072	314.1228	314.1328	382.4389	382.0472	381.9304	382.1752	382.3036	365.6909	365.4237	365.3412	365.5142	365.3985
h22	kJ/kg	314.1321	314.1149	314.1072	314.1228	314.1328	382.4389	382.0472	381.9304	382.1752	382.3036	365.6909	365.4237	365.3412	365.5142	365.3985
h23	kJ/kg	243.1277	243.239	243.2713	243.2024	243.1771	240.5615	240.7805	240.8459	240.7087	240.6368	241.174	241.361	241.4188	241.2968	241.0453
h24	kJ/kg	243.1277	243.239	243.2713	243.2024	243.1771	240.5615	240.7805	240.8459	240.7087	240.6368	241.174	241.361	241.4188	241.2968	241.0453

Properti	Satuan	30%					35%				
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
m1	kg/h	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120
m2	kg/h	0	11743.41	23486.82	35230.22	46973.63	0	13700.64	27401.29	41101.93	54802.57
m3	kg/h	46973.63	35230.22	23486.82	11743.41	0	54802.57	41101.93	27401.29	13700.64	0
m4	kg/h	334146.4	334146.4	334146.4	334146.4	334146.4	326317.4	326317.4	326317.4	326317.4	326317.4
m5	kg/h	20828.33	20828.33	20828.33	20828.33	20828.33	24299.71	24299.71	24299.71	24299.71	24299.71
m6	kg/h	22304.1	22304.1	22304.1	22304.1	22304.1	26021.45	26021.45	26021.45	26021.45	26021.45
m7	kg/h	24229.94	24229.94	24229.94	24229.94	24229.94	28268.26	28268.26	28268.26	28268.26	28268.26
m8	kg/h	266784	266784	266784	266784	266784	247728	247728	247728	247728	247728
m9	kg/h	334146.4	334146.4	334146.4	334146.4	334146.4	326317.4	326317.4	326317.4	326317.4	326317.4
m10	kg/h	334146.4	334146.4	334146.4	334146.4	334146.4	326317.4	326317.4	326317.4	326317.4	326317.4
m11	kg/h	334146.4	334146.4	334146.4	334146.4	334146.4	326317.4	326317.4	326317.4	326317.4	326317.4
m12	kg/h	334146.4	334146.4	334146.4	334146.4	334146.4	326317.4	326317.4	326317.4	326317.4	326317.4
m13	kg/h	381120	369376.6	357633.2	345889.8	334146.4	381120	367419.4	353718.7	340018.1	326317.4
m14	kg/h	381120	369376.6	357633.2	345889.8	334146.4	381120	367419.4	353718.7	340018.1	326317.4
m15	kg/h	381120	369376.6	357633.2	345889.8	334146.4	381120	367419.4	353718.7	340018.1	326317.4
m16	kg/h	381120	369376.6	357633.2	345889.8	334146.4	381120	367419.4	353718.7	340018.1	326317.4
m17	kg/h	0	11743.41	23486.82	35230.22	46973.63	0	13700.64	27401.29	41101.93	54802.57
m18	kg/h	0	11743.41	23486.82	35230.22	46973.63	0	13700.64	27401.29	41101.93	54802.57
m19	kg/h	46973.63	46973.63	46973.63	46973.63	46973.63	54802.57	54802.57	54802.57	54802.57	54802.57
m20	kg/h	46973.63	46973.63	46973.63	46973.63	46973.63	54802.57	54802.57	54802.57	54802.57	54802.57
m21	kg/h	22304.1	22304.1	22304.1	22304.1	22304.1	26021.45	26021.45	26021.45	26021.45	26021.45
m22	kg/h	22304.1	22304.1	22304.1	22304.1	22304.1	26021.45	26021.45	26021.45	26021.45	26021.45
m23	kg/h	46534.04	46534.04	46534.04	46534.04	46534.04	54289.71	54289.71	54289.71	54289.71	54289.71
m24	kg/h	46534.04	46534.04	46534.04	46534.04	46534.04	54289.71	54289.71	54289.71	54289.71	54289.71

Properti	Satuan	30%					35%				
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
T1	°C	455.1068	454.61	454.4897	454.8039	454.9601	461.2555	460.8605	460.7195	460.9968	461.1335
T2	°C	264.1722	263.8161	263.7141	263.9477	264.0619	268.7542	268.4629	268.357	268.564	268.6654
T3	°C	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134	203.8134
T4	°C	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349	192.9349
T5	°C	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608	169.608
T6	°C	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318	134.4318
T7	°C	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612	95.59612
T8	°C	51.33385	51.37032	51.38479	51.35885	51.34612	51.49957	51.5292	51.54003	51.51888	51.5086
T9	°C	51.33309	51.37109	51.38403	51.35809	51.34515	51.49886	51.52892	51.53967	51.51855	51.50814
T10	°C	55.51125	55.54781	55.56231	55.53631	55.52355	55.6773	55.70699	55.71786	55.69668	55.68636
T11	°C	79.22002	79.17937	79.16512	79.19308	79.20684	74.7849	74.76424	74.75683	74.77139	74.77859
T12	°C	100.7419	100.6364	100.5981	100.6713	100.7073	92.43084	92.36651	92.34316	92.38879	92.41122
T13	°C	121.7278	121.5692	121.1979	121.6214	121.6777	109.9879	109.8831	109.5437	109.9196	109.9562
T14	°C	123.9912	123.8307	123.4552	123.8835	123.9405	112.1204	112.0145	111.6713	112.0514	112.0883
T15	°C	164.4876	134.485	123.4552	144.8492	154.8812	146.697	120.8884	111.6713	129.7897	138.3917
T16	°C	164.4876	165.9424	166.2953	165.4011	164.9506	146.7062	147.8961	148.2857	147.5002	147.1033
T17	°C	264.1722	137.9712	127.3202	147.9795	157.6669	268.7542	124.8415	115.941	133.4371	141.7437
T18	°C	264.1722	137.9712	127.3202	147.9795	157.6669	268.7542	124.8415	115.941	133.4371	141.7437
T19	°C	131.6964	131.5515	127.3198	131.5992	131.6507	120.9715	120.8758	115.9384	120.9092	120.9426
T20	°C	131.6964	131.5515	127.3198	131.5992	131.6507	120.9715	120.8758	115.9384	120.9092	120.9426
T21	°C	83.37508	83.33752	83.32433	83.35018	83.36291	79.27374	79.25463	79.24776	79.26125	79.26791
T22	°C	83.37508	83.33752	83.32433	83.35018	83.36291	79.27374	79.25463	79.24776	79.26125	79.26791
T23	°C	57.86199	57.89642	57.91006	57.88558	57.87359	58.0183	58.04626	58.05648	58.03655	58.02682
T24	°C	57.86199	57.89642	57.91006	57.88558	57.87359	58.0183	58.04626	58.05648	58.03655	58.02682

Properti	Satuan	30%					35%				
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
P1	kPa	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71	12552.71
P2	kPa	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	0	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56
P3	kPa	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85
P4	kPa	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94	1337.94
P5	kPa	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54	784.54
P6	kPa	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93
P7	kPa	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4
P8	kPa	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04
P9	kPa	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04	14.04
P10	kPa	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
P11	kPa	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
P12	kPa	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
P13	kPa	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9	715.9
P14	kPa	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201
P15	kPa	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201
P16	kPa	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201	15201
P17	kPa	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	0	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56
P18	kPa	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56	0	3118.56	3118.56	3118.56	3118.56
P19	kPa	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85
P20	kPa	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85	1682.85
P21	kPa	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93
P22	kPa	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93	307.93
P23	kPa	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4
P24	kPa	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.4

Properti	Satuan	30%					35%				
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
h1	kJ/kg	4201.935	4211.534	4213.891	4207.979	4205.014	4090.149	4097.315	4099.598	4094.921	4092.524
h2	kJ/kg	0	2886.439	2886.112	2886.731	2887.128	0	2900.051	2899.743	2900.345	2900.602
h3	kJ/kg	2766.976	2791.457	2766.708	2766.311	0	2778.922	2778.136	2778.693	2778.433	0
h4	kJ/kg	3661.05	3669.799	3672.763	3666.798	3663.821	3531.042	3537.811	3540.229	3535.474	3533.134
h5	kJ/kg	2670.902	2670	2669.74	2670.33	2670.63	2682.349	2681.633	2681.377	2681.881	2682.13
h6	kJ/kg	2518.924	2518.095	2517.856	2518.401	2518.667	2529.342	2528.678	2528.437	2528.906	2529.138
h7	kJ/kg	2335.343	2334.587	2334.368	2334.866	2335.108	2344.822	2344.218	2343.999	2344.427	2344.638
h8	kJ/kg	2968.138	2976.698	2979.604	2973.764	2970.853	2816.679	2823.019	2825.288	2820.829	2818.637
h9	kJ/kg	277.2841	278.2762	278.608	277.9333	277.5977	269.1015	269.8656	270.1395	269.6014	269.3372
h10	kJ/kg	300.6624	301.6806	302.0746	301.3542	301.0012	291.7157	292.5205	292.8144	292.2406	291.9608
h11	kJ/kg	428.8024	429.7518	430.1237	429.4497	429.1194	391.5866	392.35	392.6291	392.0844	391.8191
h12	kJ/kg	545.5873	546.5005	546.8625	546.212	545.8931	484.0858	484.8246	485.0947	484.5674	484.3107
h13	kJ/kg	668.069	724.7338	743.7294	704.7392	685.908	583.7925	622.7883	635.2063	609.2209	596.2224
h14	kJ/kg	693.8303	752.713	772.5217	731.9361	712.367	608.4855	649.1539	662.1742	635.0042	621.4479
h15	kJ/kg	918.9147	816.5699	772.5217	854.3581	888.5551	793.2294	699.5221	662.1742	733.6218	764.7625
h16	kJ/kg	918.9147	1007.056	1038.87	975.6338	946.5173	793.2791	853.9244	875.9622	832.8154	812.589
h17	kJ/kg	0	581.2914	535.9736	624.0784	665.7703	0	525.4606	487.8002	561.9682	597.3868
h18	kJ/kg	0	581.2914	535.9736	624.0784	665.7703	0	525.4606	487.8002	561.9682	597.3868
h19	kJ/kg	553.5975	554.2548	535.9719	553.1693	553.4055	508.0635	507.6566	487.7893	507.7994	507.9392
h20	kJ/kg	553.5975	554.2548	535.9719	553.1693	553.4055	508.0635	507.6566	487.7893	507.7994	507.9392
h21	kJ/kg	348.7281	348.5705	348.5153	348.6237	348.677	331.5291	331.4491	331.4203	331.4768	331.5047
h22	kJ/kg	348.7281	348.5705	348.5153	348.6237	348.677	331.5291	331.4491	331.4203	331.4768	331.5047
h23	kJ/kg	241.8124	241.9561	242.0131	241.9109	241.8608	242.4559	242.5727	242.6154	242.5321	242.4915
h24	kJ/kg	241.8124	241.9561	242.0131	241.9109	241.8608	242.4559	242.5727	242.6154	242.5321	242.4915

-Analisa Termodinamika:

Keterangan	Satuan	15%					20%					25%				
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
y'	-	0	0.047979	0.065023	0.031478	0.015493	0	0.119685	0.08228	0.076699	0.03692	0	0.100845	0.139186	0.065023	0.031478
y''	-	0.061016	0.015993	0.065023	0.031478	0	0.14237	0.039896	0.08228	0.0767	0	0.122031	0.033616	0.139186	0.065022	0
y'''	-	0.032442	0.043118	0.046576	0.039448	0.036604	0.085583	0.137574	0.157819	0.118872	0.09943	0.070892	0.108532	0.124855	0.095152	0.086733
y''''	-	0.027989	0.027568	0.025421	0.027713	0.029266	0.060956	0.055492	0.0535	0.057457	0.068188	0.053339	0.05003	0.03944	0.051206	0.058276
y''''''	-	0.031463	0.030988	0.028575	0.031152	0.032898	0.071074	0.064685	0.062359	0.066981	0.079499	0.061624	0.05779	0.045555	0.059152	0.067331
Wt HP	kJ/h	2.32E+08	2.31E+08	2.46E+08	2.31E+08	2.21E+08	2.5E+08	2.53E+08	2.57E+08	2.52E+08	2E+08	2.45E+08	2.46E+08	2.79E+08	2.46E+08	2.26E+08
Wt LP	kJ/h	2.64E+08	2.64E+08	2.45E+08	2.64E+08	2.77E+08	2.65E+08	2.72E+08	2.75E+08	2.69E+08	2.99E+08	2.64E+08	2.67E+08	2.28E+08	2.66E+08	2.92E+08
Qout	kJ/h	-7.8E+08	-7.7E+08	-7.1E+08	-7.8E+08	-8.2E+08	-7.4E+08	-6.8E+08	-6.6E+08	-7E+08	-8.3E+08	-7.5E+08	-7.1E+08	-5.6E+08	-7.3E+08	-8.2E+08
Wp Con	kJ/h	-7549749	-7463081	-6886231	-7489886	-7913004	-7347462	-6717112	-6484869	-6944555	-8228872	-7428296	-6990660	-5517129	-7149553	-8121864
Wp BFW	kJ/h	-8169698	-8451520	-7923938	-8356105	-8681737	-8229179	-8422894	-8467469	-8374884	-9558880	-8259081	-8559251	-6988880	-8465327	-9449008
Qin	kJ/h	1.26E+09	1.25E+09	1.24E+09	1.25E+09	1.26E+09	1.24E+09	1.19E+09	1.17E+09	1.21E+09	1.23E+09	1.25E+09	1.21E+09	1.19E+09	1.22E+09	1.23E+09
Nett Power		133.4881	132.9006	132.2129	133.0999	133.664	138.7055	141.5401	143.6577	140.4966	133.5803	137.2061	138.2328	137.2406	137.8674	138.9675
Eff Plant (%)		38.07113	38.29057	38.23175	38.21358	38.24622	40.2045	42.92359	44.3735	41.90684	39.25073	39.62821	41.29637	41.54868	40.68829	40.6447

Keterangan gan	Satuan	30%					35%				
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
y'	-	0	0.082635	0.113333	0.053599	0.026093	0	0.065023	0.088637	0.04242	0.020765
y''	-	0.101693	0.027545	0.113333	0.053599	0	0.081354	0.021674	0.088637	0.04242	0
y'''	-	0.057247	0.083531	0.093899	0.074281	0.065805	0.04447	0.061901	0.068131	0.055833	0.050696
y''''	-	0.04526	0.043389	0.036562	0.044047	0.048868	0.036791	0.035833	0.031759	0.036166	0.039079
y'''''	-	0.051814	0.049666	0.04185	0.050421	0.055942	0.041736	0.040646	0.036023	0.041025	0.044331
Wt HP	kJ/h	2.41E+08	2.4E+08	2.79E+08	2.41E+08	2.14E+08	2.36E+08	2.35E+08	2.61E+08	2.36E+08	2.18E+08
Wt LP	kJ/h	2.64E+08	2.65E+08	2.32E+08	2.64E+08	2.87E+08	2.64E+08	2.64E+08	2.38E+08	2.64E+08	2.82E+08
Qout	kJ/h	-7.6E+08	-7.3E+08	-6.2E+08	-7.4E+08	-8.2E+08	-7.7E+08	-7.5E+08	-6.7E+08	-7.6E+08	-8.2E+08
Wp Con	kJ/h	-7493801	-7192003	-6076608	-7306274	-8099876	-7534299	-7351214	-6521121	-7414476	-8006162
Wp BFW	kJ/h	-8257651	-8597817	-7455653	-8484205	-9157350	-8226890	-8555264	-7755715	-8444211	-8926926
Qin	kJ/h	1.25E+09	1.22E+09	1.21E+09	1.23E+09	1.24E+09	1.26E+09	1.24E+09	1.23E+09	1.24E+09	1.25E+09
Nett Power		135.8332	135.8666	138.3132	135.867	134.2901	134.6015	134.1631	134.5513	134.3201	134.1333
Eff Plant (%)		39.08167	40.04941	41.14887	39.70425	38.92848	38.56461	39.07281	39.426	38.89412	38.62888

- Analisa Direct Method

Keterangan	Satuan	15%					20%					25%				
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0
m _{main steam}	kg/h	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	
m _{bb}	kg/h	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	
h _{main steam}	kJ/kg	3978.547	3983.921	3985.731	3982.095	3980.301	4426.601	4438.989	4443.129	4434.851	4430.722	4314.175	4324.874	4328.443	4321.279	4367.379
h _{in, fwh}	kJ/kg	666.5693	705.415	719.1715	692.0589	679.1412	1167.785	1324.231	1385.069	1268.044	1216.06	1043.71	1163.033	1208.36	1120.669	1137.77
HHV	kJ/kg	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78
Effisiensi Boiler (%)		88.54933	87.65444	87.33503	87.96271	88.26012	87.128	83.27647	81.76056	84.66805	85.9475	87.43947	84.53526	83.41882	85.57181	86.34712
Keterangan	Satuan	30%					35%									
		A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen	A scen	B Scen	C Scen	D Scen	E Scen					
		0-100	25-75	50-50	75-25	100-0	0-100	25-75	50-50	75-25	100-0					
m _{main steam}	kg/h	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120	381120		
m _{bb}	kg/h	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000		
h _{main steam}	kJ/kg	4201.935	4211.534	4213.891	4207.979	4205.014	4090.149	4097.315	4099.598	4094.921	4092.524	4092.524	4092.524	4092.524		
h _{in, fwh}	kJ/kg	918.9147	1007.056	1038.87	975.6338	946.5173	793.2791	853.9244	875.9622	832.8154	812.589	812.589	812.589	812.589		
HHV	kJ/kg	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	28509.78	
Effisiensi Boiler (%)		87.77513	85.67521	84.88764	86.42028	87.11946	88.14541	86.71559	86.18743	87.21596	87.69266	87.69266	87.69266	87.69266		

(halaman ini sengaja dikosongkan)