



TUGAS AKHIR - TF 141581

ANALISIS THERMAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI PT. INDONESIA POWER UPJP KAMOJANG

**KADEK CHESTHA AMRITA
NRP. 0231 14 40000 109**

**Dosen Pembimbing :
Gunawan Nugroho S.T.,M.T.,Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

“Halaman ini memang dikosongkan”



FINAL PROJECT - TF 141581

**THERMAL ANALYSIS OF GEOTHERMAL POWER
PLANTS PT. INDONESIA POWER UPJP
KAMOJANG**

**KADEK CHESTHA AMRITA
NRP. 0231 14 40000 109**

Supervisors :
Gunawan Nugroho S.T.,M.T.,Ph.D.

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018**

“Halaman ini memang dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

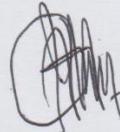
Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Kadek Chestha Amrita
NRP : 02311440000109
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Analisis Thermal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi PT. Indonesia Power UPJP Kamojang" adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari orang lain. Apalagi di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 17 Juli 2018
Yang membuat pernyataan,



Kadek Chestha Amrita
NRP. 0231 14 40000 109

“Halaman ini memang dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS THERMAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA PANAS BUMI PT. INDONESIA POWER UPJP
KAMOJANG**

Oleh:

Kadek Chestha Amrita
NRP. 02311440000109

Surabaya, 26 Juli 2018

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D
NIPN. 19771127 200212 1 002

Mengetahui,
Kepala Departemen
Telorik Fisika FTI-ITS



Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIPN. 19780902 200312 1 002

“Halaman ini memang dikosongkan”

**ANALISIS THERMAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA PANAS BUMI PT. INDONESIA POWER UPJP
KAMOJANG**

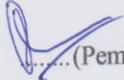
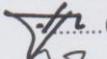
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Energi
Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Kadek Chestha Amrita
NRP. 02311440000109

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.  (Pembimbing)
2. Ir. Sarwono, M.M.  (Penguji I)
3. Ir. Roekmono, M.T.  (Penguji II)
4. Andi Rahmadiansah, S.T., M.T.  (Penguji III)

**SURABAYA
2018**

“Halaman ini memang dikosongkan”

ANALISIS THERMAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI PT. INDONESIA POWER UPJP KAMOJANG

Nama : Kadek Chestha Amrita
NRP : 02311440000109
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Gunawan Nugroho S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Pada saat ini PT. Indonesia Power UPJP Kamojang mengoperasikan PLTP dengan kapasitas total sebesar 375 MW, untuk penelitian Tugas Akhir berikut menggunakan unit II pada PLTP Kamojang. Agar memperoleh kapasitas listrik yang optimum maka diperlukan efisiensi yang baik dari proses produksi dengan menganalisa efisiensi thermal dan eksergi serta menghitung biaya kerugian eksergi berdasarkan termoekonomi. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkan efisiensi thermal sistem sebesar 19,41%. Dengan eksergi loss terbesar dan terendah pada komponen turbin dan cooling tower sehingga biaya rugi eksergi pada cooling tower bernilai kecil sebesar 7.394.034,76 Rp/bln dan biaya rugi eksergi pada turbin sebesar 252.766.682,24 Rp/bln, untuk nilai efisiensi eksergi yang terbesar pada komponen separator yaitu 99,47% sedangkan efisiensi eksergi sistemnya sebesar 47,06%. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi sistem dipengaruhi oleh performansi masing-masing komponen, dan banyaknya eksergi yang hilang dalam komponen-komponen tersebut. Sedangkan saran yang bisa dilakukan untuk pembangkit listrik yang telah diteliti adalah perlu dilakukannya maintenance secara rutin terhadap komponen turbin serta kondensor dikarenakan memiliki eksergi *loss* yang cukup tinggi yang akan mempengaruhi efisiensi dari sistem.

Kata Kunci : PLTP Kamojang, Eksergi, Biaya Rugi Eksergi

“Halaman ini memang dikosongkan”

THERMAL ANALYSIS OF GEOTHERMAL POWER PLANTS PT. INDONESIA POWER UPJP KAMOJANG

Name : ***Kadek Chestha Amrita***
NRP : ***0231144000109***
Department : ***Teknik Fisika FTI-ITS***
Supervisors : ***Gunawan Nugroho S.T., M.T., Ph.D.***

Abstract

At this time PT. Indonesia Power UPJP Kamojang operates a PLTP with a total capacity of 375 MW, for the following Final Project research using unit II of the Kamojang PLTP. In order to obtain optimum electrical capacity, good efficiency of the production process is required by analyzing thermal and exothermal efficiency and calculating the cost of exergy losses based on thermodynamics. Based on the calculations that have been made, the thermal efficiency of the system is 19.41%. With the exergy of the biggest and lowest losses in the turbine and cooling tower components so that the cost of exergy loss on the cooling tower is of small value of 7,394,034.76 Rp / month and the cost of exergy loss on the turbine is 252,766,682.24 Rp / month, for the value of exergy efficiency the largest in the separator component is 99.47% while the system's execution efficiency is 47.06%. From these results can be seen that the efficiency of the system is influenced by the performance of each component, and the number of missing allergy in these components. While the advice that can be done for the power plant that has been investigated is the need for routine maintenance of the components of the turbine and condenser because it has a high enough exergy loss that will affect the efficiency of the system.

Keywords : PLTP Kamojang, Exergy, Cost of Exergy Loss

“Halaman ini memang dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini dengan judul **“ANALISIS THERMAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI PT. INDONESIA POWER UPJP KAMOJANG”**.

Tidak lupa penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Gunawan Nugroho S.T., M.T., Ph.D. selaku kepala laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika ITS serta dosen pembimbing tugas akhir ini, yang telah membimbing serta memberikan motivasi
2. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah membimbing serta memberikan nasehat dan motivasi
3. Bapak Agus Muhammad Hatta, S.T, Msi, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS
4. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika
5. Bapak Slamet Riyadi selaku Humas di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang, Bapak Dedi selaku penanggung jawab bagian Divisi Pemeliharaan Mesin, yang telah membantu penulis selama pengambilan data di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang
6. Mas Fahri, mas Tomi, mas Dwipa dan para teknisi serta karyawan yang turut membantu penulis selama pengambilan data di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang
7. Segenap Keluarga penulis yang telah memberikan dukungan penuh terhadap penyelesaian tugas akhir
8. Teman-teman asisten Lab laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika ITS yang memberikan bantuan serta motivasi

9. Rika Puspita selaku partner selama kuliah di ITS yang selalu memberikan dukungan, susah maupun senang selalu ada.
10. Luthviah, Luthfa, Fatma bagian dari keluarga GUNHO serta teman-teman TAWan dan F49 yang sangat membantu dalam memberikan motivasi
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 31 Maret 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
Abstrak	ix
Abstract	xi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.5 Sistematika Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Hukum Termodinamika	5
2.2 Siklus Rankine	6
2.3 Flash Steam Power Plant.....	7
2.4 Efisiensi Thermal Plant	8
2.5 Eksergi	10
2.6 Efisiensi Eksergi	12
2.7 Termoekonomi	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Skema Diagram Alir Penelitian	15
3.2 Studi Literatur	15
3.3 Parameter dan Asumsi	16
3.4 Data yang digunakan.....	16
3.5 Perhitungan Efisiensi Thermal Plant.....	16
3.6 Perhitungan Eksergi dan Efisiensi Eksergi	17
3.7 Perhitungan Kerugian Eksergi berdasarkan Termoekonomi	17
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Asumsi.....	19
4.2 Hasil Perhitungan Efisiensi Thermal PLTP	19
4.3 Analisis Efisiensi Thermal PLTP Kamojang.....	25
4.4 Hasil Perhitungan Eksergi	27
4.5 Hasil Perhitungan Termoekonomi.....	37

4.6 Analisis Termoekonomi pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi UPJP Kamojang	38
BAB V PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan	41
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Siklus Rankine Ideal	6
Gambar 2. 2	Single Flash Steam Power Plant	7
Gambar 2. 3	Diagram T-s Single Flash Steam Power Plant	7
Gambar 3. 1	Skema diagram alir penelitian tugas akhir	15
Gambar 4. 1	Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi ...	19
Gambar 4. 2	Diagram T-s Siklus Single Flash pada PLTP Kamojang Unit II.....	20
Gambar 4. 3	State pada PT. Indonesia Power UPJP Kamojang	27

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Nilai Entalpi dan Entropi Uap Masuk Turbin.....	21
Tabel 4. 2 Entalpi dan Entropi Keluaran Turbin	21
Tabel 4. 3 Data untuk Perhitungan Eksergi	28
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Eksergi dari State	32
Tabel 4. 5 Nilai dari Eksergi Loss dan Efisiensi Eksergi dari Setiap Unit.....	34
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Biaya Rugi Eksergi per Komponen	38

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun belakangan ini, krisis energi yang terjadi di Indonesia menjadi perbincangan. Berdasarkan data dari *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia* tahun 2010, sektor industri mengonsumsi energi terbesar yaitu sekitar 40,86% dari total konsumsi energi di tahun 2009. Sedangkan di tahun 2009, sektor industri mengonsumsi energi sebesar 38,47% yang berasal dari sektor gas sehingga efisiensi energi menjadi hal yang sangat penting dan berpengaruh. Blueprint Pengelolaan Energi Nasional tahun 2006 memiliki data yang menyatakan bahwa elastisitas energi di Indonesia sebesar 1,84 di mana angka ini jauh lebih tinggi dibanding negara – negara maju lainnya sehingga Indonesia dikatakan negara yang tidak efisien dalam memanfaatkan energi (Shanti,2012).

Permasalahan terkait energi semakin kompleks, terutama dalam hal pemenuhan akan kebutuhan energi listrik. Konsumsi energi listrik semakin bertambah dengan meningkatnya jumlah populasi manusia tiap tahunnya. Selama ini kebutuhan energi listrik masih mengandalkan penggunaan energi tak terbarukan seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam, dimana persediaannya di alam kian menipis. Energi terbarukan merupakan salah satu solusi tepat untuk mengatasi permasalahan di atas. Panas bumi sebagai salah satu energi terbarukan, saat ini banyak dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik di beberapa negara termasuk Indonesia. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (Geothermal) memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan di beberapa daerah Indonesia karena secara geologis terletak di antara pertemuan tiga lempeng tektonik utama yaitu Lempeng Eropa-Asia, India-Australia, dan Pasifik. Sehingga berperan dalam pembentukan gunung berapi yang membuat sekitar 40% potensi panas bumi dunia terdapat di Indonesia. Dengan potensi pembangkitan sebesar 28.100 MW tersebut, disayangkan bahwa pemanfaatan PLTP di Indonesia masih sangatlah kecil yaitu sekitar

1.197 MW atau 4% dari total potensi yang ada (Suharmantoa, 2015). Pada prinsipnya cara kerja pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah sama dengan pembangkit listrik tenaga uap, kecuali pada asal steam. Pada PLTP steam diperoleh dari reservoir dengan memanfaatkan panas bumi, sedangkan pada pembangkit tenaga uap steam diperoleh dari proses boiler (Junaldi, 2012). Dengan demikian kualitas fisik steam yang dihasilkan berbeda pula.

Pada saat ini PT. Indonesia Power UPJP Kamojang mengoperasikan PLTP dengan kapasitas total sebesar 375 MW, yaitu: unit PLTP Kamojang, unit PLTP Darajat, unit PLTP Gunung Salak, dan unit PLTP Ulumbu. Agar memperoleh kapasitas listrik yang optimum maka diperlukan efisiensi yang baik dari proses produksi dengan memperhatikan performansi masing-masing unit. Perubahan keluaran daya listrik sebuah pembangkit listrik tenaga panas bumi berkaitan dengan kondisi steam dari sumur produksi. Konsistensi produksi daya listrik menyebabkan keuntungan dari perusahaan pun akan tetap. Sebaliknya penurunan daya listrik dapat menimbulkan kerugian, sehingga harus diantisipasi. Dengan demikian, analisa efisiensi thermal berdasarkan hukum termodinamika digunakan untuk menganalisa system thermal dari pembangkit listrik tenaga panas bumi PT. Indonesia Power UPJP Kamojang. Selain itu, digunakan analisa eksergi dengan melakukan identifikasi aliran eksergi, menentukan lokasi dimana besarnya kerugian eksergi yang terjadi serta menghitung biaya kerugian eksergi berdasarkan termoekonomi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi lokasi di mana eksergi terbuang atau hilang yang bisa mengurangi performansi dari efisiensi sistem yang disebabkan oleh peralatan atau komponen-komponen pembangkit listrik tenaga panas bumi PT. Indonesia Power UPJP Kamojang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Bagaimana analisa dari efisiensi thermal pada pembangkit listrik tenaga panas bumi di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang?
- b. Bagaimana analisa dari efisiensi eksergi pada pembangkit listrik tenaga panas bumi?
- c. Bagaimana analisa termoekonomi pada plant pembangkit listrik tenaga panas bumi ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan permasalahan maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mendapatkan analisa dari efisiensi thermal pada pembangkit listrik tenaga panas bumi di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang
- b. Mendapatkan analisa efisiensi eksergi pada pembangkit listrik tenaga panas bumi
- c. Mendapatkan analisa termoekonomi dari plant pembangkit listrik tenaga panas bumi

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah maka batasan masalah dari tugas akhir ini adalah :

1. Jenis plant yang dianalisa adalah pembangkit listrik tenaga panas bumi PT. Indonesia Power UPJP Kamojang Unit II.
2. Perhitungan biaya rugi eksergi berdasarkan termoekonomi berkaitan dengan eksergi loss yang dihasilkan pada tiap-tiap komponen
3. Topik dari penelitian ini dalam lingkup *mechanical*
4. Hasil perhitungan berdasarkan pada data operasi pada bulan september 2017 di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang dan Tabel Termodinamika.
5. Analisa thermal terdiri dari analisa efisiensi thermal plant dan eksergi.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

a. **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan.

b. **BAB II TEORI PENUNJANG**

Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu efisiensi thermal, eksergi, kerugian eksergi dengan berdasarkan termoekonomi, dan sebagainya.

c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode dan langkah-langkah dalam penelitian.

d. **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab IV ini berisi tentang data hasil perhitungan dari efisiensi thermal plant, eksergi dan perhitungan kerugian eksergi berdasarkan termoekonomi, serta analisis dari perhitungan yang sudah dilakukan.

e. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hukum Termodinamika

Pernyataan dari hukum pertama Termodinamika yaitu *energi tidak bisa dibuat atau dimusnahkan, namun bisa dirubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya*. Dari hukum pertama ini bisa disimpulkan bahwa kerja eksternal yang dilakukan sama dengan energi yang diberikan oleh kalor ditambah dengan kenaikan temperature yang menghasilkan energi dalam. Sistem, volume dan suhu sistem akan bertambah jika kalor diberikan, sebaliknya sistem, volume dan suhu akan berkurang jika kalor diambil. Berikut merupakan persamaan dari Hukum 1 Termodinamika :

$$Q = W + \Delta U \quad (2.1)$$

Dimana : Q = kalor (J)

W = usaha (J)

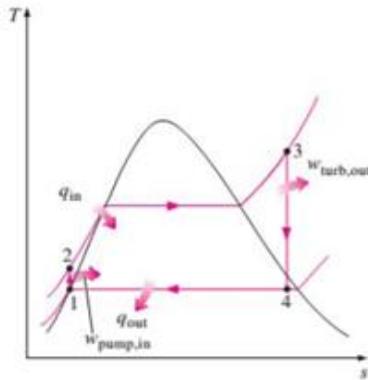
ΔU = perubahan energi dalam (J)

Persamaan diatas berlaku jika sistem melakukan kerja dan menyerap kalor pada lingkungannya.

Hukum kedua Termodinamika memiliki 2 pernyataan dari *Clausius* dan *Kelvin-Planck*. Pernyataan hukum kedua Termodinamika berdasarkan *Clausius* yaitu *adalah tidak mungkin bagi sistem apapun untuk beroperasi sedemikian rupa sehingga hasil tunggalnya akan berupa suatu perpindahan energi dalam bentuk kalor dari benda yang lebih dingin ke benda yang lebih panas*. Sedangkan pernyataan berdasarkan *Kevin-Planck* yaitu *adalah tidak mungkin untuk sistem apapun dapat beroperasi dalam siklus termodinamika dan memberikan sejumlah kerja netto sekelilingnya sementara menerima energi melalui perpindahan kalor dari suatu reservoir termal tunggal* (Moran,2006). Jadi dari kedua pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa tidak mungkin membuat sebuah sistem bekerja dalam suatu siklus untuk mengubah energi panas seluruhnya menjadi kerja atau dengan kata lain memiliki efisiensi termal 100% (Wirawan,2017).

2.2 Siklus Rankine

Penurunan tekanan secara fraksional tidak akan terjadi di dalam boiler dan kondensor jika fluida kerja mengalir melalui berbagai komponen dari sebuah siklus tenaga uap sederhana tanpa ireversibilitas serta fluida kerja akan mengalir melalui komponen-komponen tersebut dengan tekanan yang konstan. Jadi, dengan tidak adanya ireversibilitas dan perpindahan kalor dengan lingkungan sekitar, proses yang terjadi pada turbin dan pompa adalah isentropic (Moran,2006).



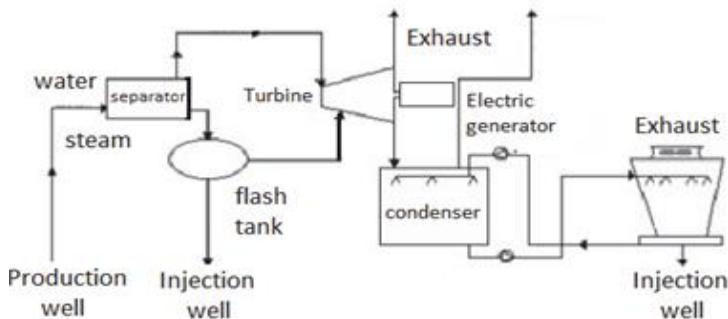
Gambar 2. 1 Siklus Rankine Ideal

Pada gambar 2.1 terdapat beberapa proses yang terjadi pada setiap tingkat keadaan siklus Rankine ideal. Berikut keterangan proses siklus Rankine Ideal :

- Proses 1 – 2 :Merupakan kompresi isentropis pada pompa.
- Proses 2 – 3 :Pemanasan isobarik pada boiler.
- Proses 3 – 4 :Ekspansi isentropis di dalam turbin.
- Proses 4 – 1 :Proses pengembunan pada condenser dengan tekanan dan temperatur konstan.

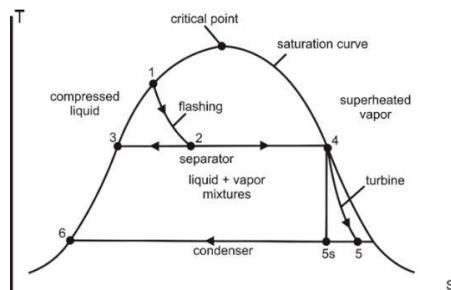
2.3 Flash Steam Power Plant

PLTP Kamojang menggunakan jenis energi panas bumi yaitu *Flash Steam Power Plant*. Jenis *Flash Steam Power Plant* yang digunakan adalah *Single Flash Steam*. Pembangkit jenis ini memanfaatkan reservoir panas bumi yang berisi air dengan temperatur lebih besar dari 82°C . Air yang sangat panas ini dialirkan ke atas melalui pipa sumur produksi dengan tekanannya sendiri. Karena mengalir keatas, tekanannya menurun dan beberapa bagian dari air menjadi uap. Uap ini kemudian dipisahkan dari air dan dialirkan untuk memutar turbin. Sisa air dan uap yang terkondensasi kemudian disuntikkan kembali melalui sumur injeksi kedalam reservoir, yang memungkinkan sumber energi ini berkesinambungan dan terbaru (IRENA,2017)



Gambar 2. 2 *Single Flash Steam Power Plant*

Berikut diagram T-s *Single Flash Steam* ditunjukkan dibawah ini :



Gambar 2. 3 *Diagram T-s Single Flash Steam Power Plant*

Dari reservoir (1) fluida-dalam hal ini saturated liquid-yang diproduksi ke permukaan mengalami penurunan temperatur yang menyebabkan sebagian kecil fasa cair mengalami perubahan fasa menjadi uap. Sebelum memasuki turbin fluida menjalani proses dari titik (1) ke titik (2) yang merupakan proses isentalpik. Didapat fraksi uap yang masuk ke bejana flasher, sedangkan fraksi airnya dibuang. Uap yang dihasilkan oleh penguapan pada bejana flasher kemudian dialirkan menuju turbin (4), sedangkan fraksi cair yang tersisa diinjeksikan kembali ke dalam sumur injeksi (3). Fraksi uap yang keluar dari bejana flasher inilah yang kemudian menghasilkan listrik dari perubahan entalpi yang terjadi di dalam turbin (antara titik 4 -5). Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah isobar isothermis dan terjadi didalam kondensor (antara titik 5-6).

2.4 Efisiensi Thermal Plant

Perbandingan antara output terhadap input pada suatu proses disebut efisiensi. Efisiensi sangat penting dalam termodinamika karna untuk mengetahui seberapa baik proses transfer terjadi. Pembangkit listrik tenaga panas bumi dirancang untuk menghasilkan output berupa energi listrik. Bila performansi pembangkit listrik tenaga panas bumi dikatakan tinggi maka biaya operasi pembangkit listrik tenaga panas bumi semakin rendah jika komponen-komponen PLTP memiliki efisiensi yang tinggi. Sebaliknya, jika performansi PLTP turun maka biaya operasi pembangkit listrik tenaga panas bumi menjadi tinggi. Biasanya, pada PLTP dihitung efisiensi termal maka output maupun input harus dinyatakan dalam besaran yang sama yaitu besaran panas. Efisiensi thermal pembangkit listrik tenaga panas bumi tergolong rendah. Tergolong rendah karena fluida panas bumi memiliki suhu yang relative rendah jika dibandingkan dengan PLTU yang memiliki uap dari boiler. Selain itu proses adiabatik yang terjadi pada sistem memungkinkan terjadinya perpindahan panas ke lingkungan sehingga dapat menurunkan efisiensi (Wirawan,2017). Berikut ini adalah tahapan untuk menghitung efisiensi thermal pada pembangkit listrik tenaga panas bumi Kamojang :

1. Mencari nilai entalpi (h_3) dan entropi (s_3) pada tekanan uap masuk turbin (P1) dengan menggunakan (Table A-6 Properties of Superheated Water Vapor).
2. Mencari nilai entalpi fluida (h_f), entalpi uap (h_g), dan entalpi campuran (h_{fg}) pada tekanan keluar turbin (P2) dengan menggunakan (Table A-5 Properties of Saturated Water (Liquid - Vapor): Pressure Table).
3. Mencari nilai entropi fluida (s_f), entropi uap (s_g), dan entropi campuran (s_{fg}) pada tekanan keluar turbin (P2) dengan menggunakan (Table A-5 Properties of Saturated Water (Liquid - Vapor): Pressure Table).
4. Menghitung entalpi keluaran uap dari turbin (h_4) dengan persamaan :

$$(h_3 - h_4) \cdot \dot{m} = \frac{\text{daya generator (MW)}}{\text{efisiensi generator}} \quad (2.1)$$

5. Menghitung fraksi uap (x) turbin dengan persamaan :

$$s_{4s} = s_3 = s_{f4} + x \cdot s_{fg4} \quad (2.2)$$

dengan asumsi bahwa entropi masukan pada turbin (s_3) bernilai sama dengan entropi (s_{4s}) keluaran dari turbin yaitu 6.81 kJ/kg.K

6. Menghitung entalpi keluaran turbin (h_{4s}) dengan persamaan :

$$h_{4s} = h_{f4} + x \cdot h_{fg4} \quad (2.3)$$

7. Menghitung efisiensi dari turbin dengan persamaan :

$$\eta_t = \frac{W}{W_s} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} \quad (2.4)$$

8. Menghitung jumlah energi yang dibuang oleh kondensor dengan persamaan berikut :

$$q_{kondensor} = h_5 - h_4 \quad (2.5)$$

Dan untuk menghitung kinerja kondensor adalah sebagai berikut :

$$Q_{kondensor} = \dot{m} \cdot q_{kondensor} \quad (2.6)$$

9. Menghitung kerja pompa

$$-w = v \cdot (p_2 - p_1) \quad (2.7)$$

10. Menghitung laju perpindahan kalor dari sumber energi ke dalam fluida kerja yang melalui receiving header dengan persamaan :

$$q_{boiler} = h_3 - h_6 \quad (2.8)$$

Maka energi pada receiving header adalah sebagai berikut :

$$Q_{boiler} = \dot{m} \cdot q_{boiler} \quad (2.9)$$

Jadi untuk menghitung total efisiensi thermal plant menggunakan persamaan berikut :

$$\eta_{sistem} = \frac{\sum W}{Q_{in}} = \frac{W_{turbin} - W_{total pompa}}{h_3 - h_6} \quad (2.10)$$

2.5 Eksergi

Ukuran seberapa jauh perbedaan antara sistem dari lingkungannya disebut eksergi. Dengan demikian eksergi merupakan suatu sifat dari sistem dan lingkungannya. Pada keadaan mati (dead state) atau keadaan setimbang dengan lingkungan, eksergi dapat bernilai nol. Dapat dikatakan keadaan mati adalah ketika suatu sistem berubah menuju lingkungan maka kerja yang dihasilkan terus berkurang hingga didapati keadaan setimbang antara sistem dan lingkungan (Santoso, 2012). Tidak hanya dimusnahkan melalui sifat irreversibilitas tetapi eksergi juga dapat dipindahkan ke atau dari dalam suatu sistem sebagai bentuk kerugian yang mendampingi perpindahan kalor ke lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu, peningkatan pemanfaatan sumber energi dapat dilakukan dengan mengurangi kehilangan eksergi yang terjadi dalam sistem (Moran, 2006). Besarnya eksergi (E) sebuah sistem, pada suatu keadaan yang spesifik dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$E = E - U_0 + P_0 (V - V_0) - T_0 (S - S_0) \quad (2.7)$$

Dimana E (= U + KE + PE), V dan S masing-masing adalah energi, volume dan entropi sistem, sementara U_0 , V_0 dan S_0 merupakan nilai sifat-sifat tersebut, jika sistem berada pada keadaan mati. Selain itu, neraca laju eksergi pada sistem tertutup dinyatakan dengan bentuk persamaan berikut:

$$\frac{dE}{dt} = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j - \left(\dot{W} - p_0 \frac{dV}{dt}\right) - E_d \quad (2.8)$$

Dimana $\frac{dE}{dt}$ adalah laju perubahan eksergi, $\left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j$ menjelaskan laju perpindahan eksergi bersama perpindahan

kalor pada laju \dot{Q}_J yang muncul pada lokasi batas dimana temperatur sesaat adalah T_j . \dot{W} menunjukkan laju perpindahan energi melalui kerja, sedangkan laju perpindahan eksergi dinyatakan dengan bentuk $(\dot{W} - p_0 \frac{dV}{dt})$, dimana $\frac{dV}{dt}$ adalah laju perubahan volume sistem. E_d menyatakan laju pemusnahan eksergi akibat adanya ireversibilitas dalam sistem, serta berkaitan dengan laju produksi entropi dalam sistem, yang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$E_d = T_0 \cdot \sigma \quad (2.9)$$

Dimana T_0 adalah suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$) dan σ adalah entropi dalam sistem. Adapun neraca laju eksergi pada volume atur dinyatakan dengan persamaan berikut : (Moran, 2006)

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_J - \left(\dot{W}_{cv} - p_0 \frac{dV_{cv}}{dt}\right) + \sum_i m_i e_{fi} - \sum_e m_e e_{fe} - E_d \quad (2.10)$$

Dimana dE_{cv}/dt adalah laju waktu perubahan eksergi volume atur, \dot{Q}_J menjelaskan laju perpindahan kalor pada temperature T_j . Perpindahan eksergi yang menyertai adalah $\left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_J$. \dot{W}_{cv} adalah laju perpindahan energi melalui kerja selain dari kerja aliran. Laju perpindahan eksergi yang menyertai adalah $\left(\dot{W}_{cv} - p_0 \frac{dV_{cv}}{dt}\right)$, dimana $\frac{dV_{cv}}{dt}$ adalah laju waktu perubahan volume. Bentuk $m_i e_{fi}$ menunjukkan laju perpindahan eksergi yang menyertai aliran massa dan kerja aliran di sisi masuk i . Sedangkan, bentuk $m_e e_{fe}$ adalah laju perpindahan eksergi yang menyertai aliran massa dan kerja aliran dibagian keluar e . Serta E_d adalah laju kehilangan eksergi karena irreversibilitas terhadap waktu. Dengan persamaan berikut, dapat digunakan untuk menghitung eksergi dari masing-masing state :

$$E_k = m_g [(h_k - h_0) - T_0 (S_k^o - S_0^o - R \ln \frac{p_k}{p_0})] \quad (2.11)$$

$$E_k = m [(h_k - h_0) - T_0 (S_k - S_0)] \quad (2.12)$$

Dimana : E_k = eksergi pada state k (kW)

h_k = entalpi pada state (kJ/kg)

h_0 = entalpi pada temperatur lingkungan (kJ/kg)
 S_k^o = entropi spesifik gas pada *state* k (kJ/kg.K)
 S_0^o = entropi spesifik udara pada temperatur lingkungan (kJ/kg.K)
 R = konstanta gas (0,287 kJ/kg.K)
 p_k = tekanan pada *state* k (bar)
 p_o = tekanan udara lingkungan
 T_0 = temperatur lingkungan (°C)

Persamaan (2.9) digunakan untuk menghitung eksergi dengan fluida berupa gas dan persamaan (2.10) digunakan untuk menghitung eksergi dengan fluida uap dan air. Setelah dihitung eksergi pada plant, maka dihitung juga eksergi loss pada setiap unit dengan persamaan sebagai berikut : (Balqis,2012)

$$E_{kloss} = E_{kinput} - E_{koutput} \quad (2.13)$$

Dimana : E_{kloss} = Eksergi *Loss* (kW)
 E_{kinput} = Eksergi *Input* (kW)
 $E_{koutput}$ = Eksergi *Output* (kW)

2.6 Efisiensi Eksergi

Perbandingan antara eksergi masuk sebagai eksergi yang digunakan dengan eksergi keluar sebagai eksergi yang termanfaatkan disebut dengan efisiensi. Untuk menghitung efisiensi eksergi digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{ex} = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (2.14)$$

Dimana : E_{out} = eksergi yang keluar

E_{in} = eksergi yang masuk

Harga efisiensi eksergi sebagai efisiensi hukum kedua termodinamika dapat juga ditulis sebagai berikut :

$$\eta_{II} = \frac{W_{net}}{E_{in}} \quad (2.15)$$

Dimana : η_{II} = efisiensi eksergi

\dot{W}_{net} = daya listrik netto

\dot{E}_{in} = eksergi total yang masuk ke plant.

\dot{W}_{net} dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut : (Junaldi,2012)

$$W_{net} = \eta_{gen} \cdot \dot{m} \cdot X_2 \cdot w_t \quad (2.16)$$

Dimana : η_{gen} = Efisiensi generator
 \dot{m} = Massa laju aliran yang masuk ke turbin (kg/s)
 X_2 = Kualitas fraksi kekeringan pada separator
 w_t = Kerja turbin aktual

2.7 Termoekonomi

Termoekonomi adalah cabang dari ilmu rekayasa teknik yang menggabungkan analisis eksergi dan prinsip-prinsip ekonomi. Analisa termoekonomi sangat penting dalam pengelolaan pembangkit listrik diantaranya mengetahui informasi tentang operasi pabrik melalui perhitungan efisiensi, pemecahan masalah lebih cepat, dan dapat meningkatkan kinerja manajemen pemeliharaan serta optimalisasi operasi pabrik yang dinyatakan oleh Cafaro dalam jurnalnya (Cafaro,2010). Acuan yang digunakan dalam menghitung biaya kerugian eksergi adalah Tarif Dasar Listrik (TDL) per kWh. Tarif Dasar Listrik di Indonesia per bulan Maret 2018 untuk golongan I-4/TT dengan batas daya lebih dari 30.000 kVa adalah sebesar 1.467,28 Rp/kWh. Sehingga untuk menghitung biaya kerugian eksergi dari setiap komponen, perhitungan termoekonominya didapatkan dengan persamaan sebagai berikut : (Wijaya,2012)

$$C = E \times TDL \times hours \quad (2.17)$$

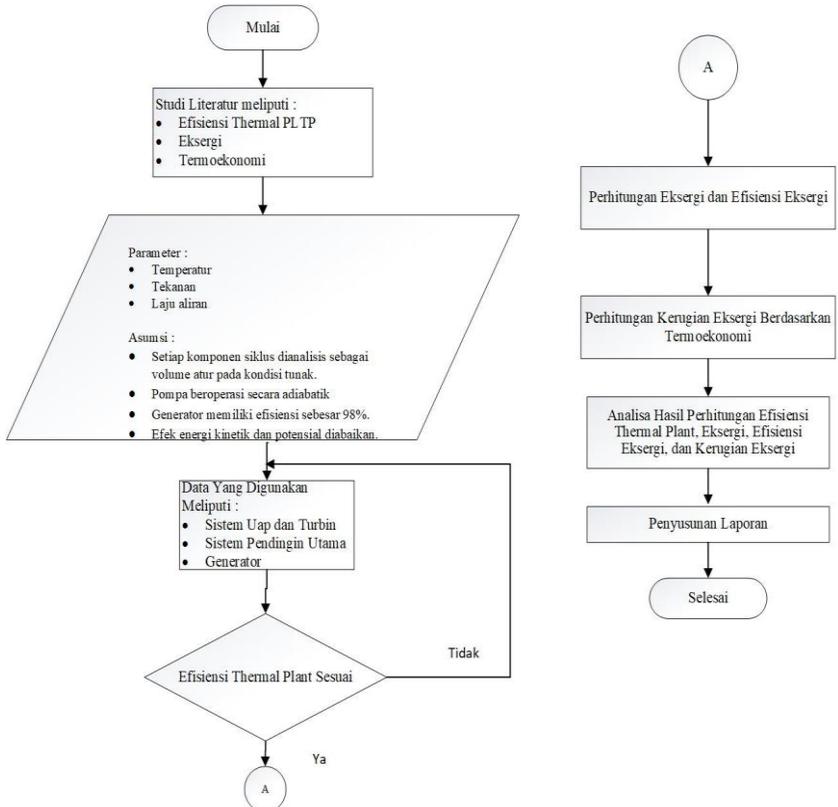
Dimana : C = biaya rugi eksergi (Rp/bln)
 E = Eksergi *loss* (kW)
 TDL = Tarif Dasar Listrik (Rp/kWh)
 $hours$ = waktu operasi

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Skema Diagram Alir Penelitian

Secara umum tahap-tahap pengerjaan tugas akhir ini dirangkum pada diagram alir berikut ini :



Gambar 3. 1 Skema diagram alir penelitian tugas akhir

3.2 Studi Literatur

Pelaksanaan tugas akhir ini diawali dengan melakukan studi literatur. Studi literatur bertujuan untuk meningkatkan pemahaman

peneliti terhadap topik penelitian yang akan diambil. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari pengetahuan pendukung seperti efisiensi thermal PLTP, eksergi, dan lain-lain. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan beberapa bahan referensi berupa jurnal ilmiah terkait perkembangan penelitian yang telah dilaksanakan sebelumnya.

3.3 Parameter dan Asumsi

Pada proses menyelesaikan penelitian ini, ada baiknya untuk menentukan parameter dan asumsi yang digunakan untuk mempermudah dalam penyelesaian permasalahan. Parameter yang terkait pada penelitian ini adalah tekanan, temperatur, dan laju aliran. Selain itu, asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah setiap komponen pada siklus dianalisis sebagai volume atur pada kondisi tunak, pompa beroperasi secara adiabatik, energi kinetik dan potensial diabaikan, dan lain-lain.

3.4 Data yang digunakan

Penelitian ini menggunakan data pada saat plant sedang beroperasi di PLTP UPJP Kamojang PT. Indonesia Power. Data yang digunakan meliputi data operasi yaitu sistem uap dan turbin, sistem pendingin utama dan generator pada Unit II di PLTP Kamojang. Selain data operasi yang digunakan, terdapat data teknik dengan nomor series TD-01 dan TD-02.

3.5 Perhitungan Efisiensi Thermal *Plant*

Dilakukan perhitungan efisiensi thermal plant dengan menggunakan data yang telah diambil selama beberapa hari dengan waktu 24 jam perharinya. Data yang relevan diperoleh dan diproses dengan menggunakan spread sheet Excel. Setelah itu, di dapatkan nilai entalpi dan entropi suatu fluidanya pada setiap komponen maka dilanjutkan menghitung keseluruhan efisiensi thermal plant untuk unit II PLTP UPJP Kamojang. Persamaan untuk menghitung efisiensi thermal *plant* dapat dilihat pada **Bab II** (Sub Bab 2.4)

3.6 Perhitungan Eksergi dan Efisiensi Eksergi

Setelah menghitung efisiensi thermal pembangkit listrik tenaga panas bumi yang ada di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang, dilanjutkan menghitung eksergi dan efisiensi eksergi dari pembangkit listrik tenaga panas bumi tersebut dengan melihat *Proses Flow Diagram (PFD)* yang telah disederhanakan berdasarkan *Piping Instrument Diagram (P&Id)* yang didapatkan dari PT. Indonesia Power UPJP Kamojang. Kemudian dilakukan penentuan *state* untuk menghitung nilai eksergi. Dalam menghitung nilai eksergi setiap *statenya* digunakan data temperatur, tekanan dan laju aliran pada setiap *state*. Perhitungan eksergi dan efisiensi eksergi dilakukan dengan persamaan yang ada pada **Bab II** (Sub Bab 2.5 dan Sub Bab 2.6)

3.7 Perhitungan Kerugian Eksergi berdasarkan Termoekonomi

Perhitungan biaya kerugian eksergi dari pembangkit listrik tenaga panas bumi PT. Indonesia Power UPJP Kamojang dengan menggunakan acuan pada Tarif Dasar Listrik (TDL) per kWh. Tarif Dasar Listrik di Indonesia per bulan Maret 2018 untuk golongan I-4/TT dengan batas daya lebih dari 30.000 kVa adalah sebesar 1.467,28 Rp/kWh. Perhitungan biaya rugi eksergi dapat dilihat pada **Bab II** (Sub Bab 2.7)

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

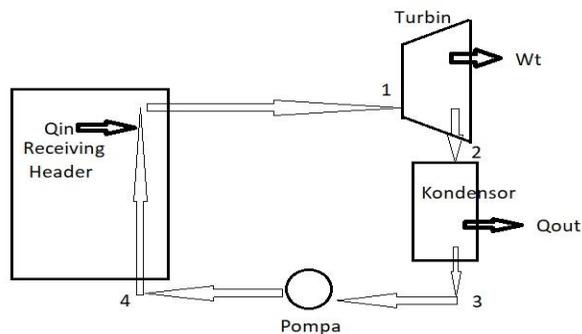
4.1 Asumsi

Asumsi yang digunakan untuk mempermudah dalam penyelesaian permasalahan adalah sebagai berikut :

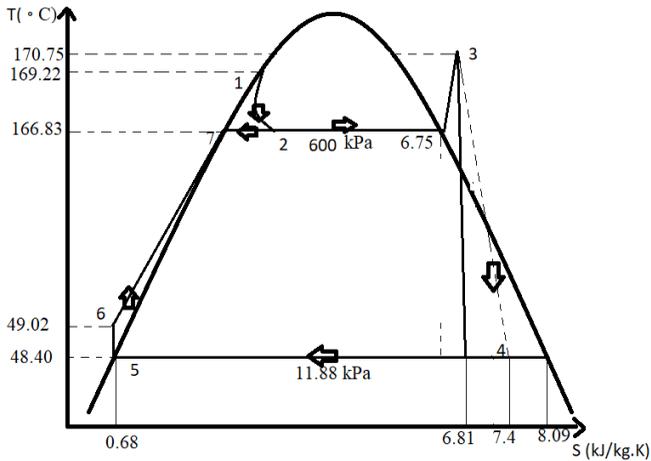
1. Setiap komponen siklus dianalisis sebagai volume air pada kondisi tunak.
2. Pompa beroperasi secara adiabatik
3. Generator memiliki efisiensi sebesar 98%.
4. Efek energi kinetik dan potensial diabaikan.

4.2 Hasil Perhitungan Efisiensi Thermal PLTP

Berdasarkan data yang diperoleh dari operator control room, diambil data sebanyak 1 bulan pada bulan september 2017 untuk mewakili perhitungan efisiensi thermal PLTP Unit II, dimana data 1 bulan ini telah dirata-rata pada *spread sheet Excel*. Dalam perhitungan parameter yang digunakan (tekanan, temperatur, laju aliran, daya generator) diambil nilai rata – rata perhari selama 24 jam. Pengolahan data hasil perhitungan menggunakan software Microsoft Excel 2016. Berikut gambar sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi :



Gambar 4. 1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi



Gambar 4. 2 Diagram T-s Siklus *Single Flash* pada PLTP Kamojang Unit II

Keterangan:

- Proses 1 – 2 : proses flashing yaitu dari receiving header masuk ke separator dan demister terjadi penurunan temperature dari 169,22°C menjadi 166,83 °C. Selain itu, proses flashing ini terjadi secara isentropik dan adiabatik karena berlangsung secara spontan dan tidak ada pengaruh kerja di dalamnya.
- Proses 2 – 3 : uap kering masuk turbin dengan tekanan 600 kPa dan temperature 170,75°C termasuk ke dalam fasa superheated vapor, sehingga diperoleh nilai entropi titik 3 pada turbin sebesar 6,81 kJ/kg.K.
- Proses 3 – 4 : untuk proses ideal dari turbin adalah terjadi secara isentropik antara inlet dan tekanan exhaust, pada proses yang berlangsung pada plant sebenarnya menunjukkan bahwa terjadi kenaikan entropi keluar turbin dari 6,81 kJ/kg.K menjadi 7,4 kJ/kg.K (titik 4) uap bekas turbin masuk kondensor. Selain itu, pada proses 3 – 4 terjadi penurunan tekanan dan temperature secara drastis menjadi 11,88 kPa (0.118 bar) dan 48,40°C.
- Proses 4 – 5 : proses kondensasi uap menjadi cair terjadi pada kondensor secara isobarik pada tekanan dan temperatur konstan yaitu 11,88 kPa dan 48,40°C. Proses kondensasi ini menyebabkan

entropi turun menjadi 0,68 kJ/kg.K yaitu uap berubah fasa menjadi cair (saturasi).

- Proses 5 – 6 : air hasil kondensasi dipompa oleh *Main Cooling Water Pump* menuju Cooling Tower untuk proses pendinginan. Pada MCWP ini, temperatur mengalami kenaikan menjadi 49,02 °C.

- Proses 6 – 7 : setelah di dinginkan di Cooling Tower, sebagian dari air hasil kondensasi juga dipompa oleh *Main Cooling Water Pump* menuju perut bumi melalui sumur injeksi.

Adapun hasil perhitungan sesuai dengan tahapan – tahapan pada metodologi adalah sebagai berikut:

1. Menghitung entalpi dan entropi uap masuk turbin dengan cara interpolasi karena temperatur yang diketahui kurang spesifik.

Diketahui :

$$P3 = 600 \text{ kPa} \quad \dot{m} = 110,51 \text{ kg/s}$$

$$T3 = 170,75 \text{ °C} \quad P4 = 11,88 \text{ kPa}$$

Dengan tabel termodinamika *superheated water-A6* pada tekanan 600 kPa di dapatkan entalpi(h_3) dan entropi(s_3) masukan pada turbin.

Tabel 4. 1 Nilai Entalpi dan Entropi Uap Masuk Turbin

P3(kPa)	T3(°C)	h3(kJ/kg)	s3(kJ/kg.K)
600	170,75	2783,53	6,81

2. Mencari nilai entalpi fluida (h_f), entalpi uap (h_g), entalpi campuran (h_{fg}), entropi fluida (s_f), entropi uap (s_g), dan entropi campuran (s_{fg}) pada tekanan keluar turbin (P_4) dengan menggunakan (Table A-5 Properties of Saturated Water (Liquid - Vapor): Pressure Table).

Tabel 4. 2 Entalpi dan Entropi Keluaran Turbin

P4	hf(kJ/kg)	hg(kJ/kg)	sf(kJ/kg.K)	sg(kJ/kg.K)	sfg(kJ/kg.K)	hfg(kJ/kg)
11,88	204,64	2589,31	0,688	8,09	7,40	2384,67

3. Setelah didapatkan entalpi uap masuk turbin (h_3) maka di lanjutkan dengan menghitung nilai entalpi keluaran uap turbin (h_4). Untuk mendapatkan nilai entalpi(h_4) keluaran dari turbin, maka digunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} (h_3-h_4) \cdot \dot{m} &= \frac{\text{daya generator (kW)}}{\text{efisiensi generator}} \\ (h_3-h_4) \cdot 110,51 &= \frac{54163 \text{ kW}}{98\%} \\ (h_3-h_4) \cdot 110,51 &= 55268 \text{ kW} \\ h_3-h_4 &= \frac{55268 \text{ kW}}{110,51} \\ h_3-h_4 &= 500 \text{ kJ/kg} \\ 2783,53 \text{ kJ/kg} - h_4 &= 500 \text{ kJ/kg} \\ h_4 &= 2283,53 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Jadi, entalpi(h_4) keluaran turbin adalah 2283,53 kJ/kg.

4. Menghitung fraksi uap dengan asumsi bahwa entropi masukan pada turbin(s_3) bernilai sama dengan entropi(s_4) keluaran dari turbin yaitu 6.81 kJ/kg.K, maka fraksi uap dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} s_4 &= s_3 &&= sf_4 + x \cdot sfg_4 \\ 6,81 \text{ kJ/kg.K} &&&= 0,688 \text{ kJ/kg.K} + x \cdot 7,40 \text{ kJ/kg.K} \\ 6,81 \text{ kJ/kg.K} - 0,688 \text{ kJ/kg.K} &&&= x \cdot 7,40 \text{ kJ/kg.K} \\ 6,122 \text{ kJ/kg.K} &&&= x \cdot 7,40 \text{ kJ/kg.K} \\ 0,82 &&&= x \end{aligned}$$

5. Setelah didapatkan nilai fraksi uapnya, kemudian dihitung entalpi(h_4) keluaran turbin dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} h_4 &= hf_4 + x \cdot hfg_4 \\ h_4 &= 204,64 \text{ kJ/kg} + 0,82 \cdot 2384,67 \text{ kJ/kg} \\ h_4 &= 2160,06 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

6. Nilai entalpi h_4 telah didapatkan, maka dapat dihitung efisiensi dari turbin dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{W}{W_s} = \frac{h_3-h_4}{h_3-h_4s}$$

$$\eta = \frac{2783,53 \frac{kJ}{kg} - 2283,53 \frac{kJ}{kg}}{2783,53 \frac{kJ}{kg} - 2160,06 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\eta_t = 80,19 \%$$

7. Menghitung jumlah energi yang dibuang oleh kondensor dan menghitung kinerja kondensor.

Diketahui temperatur keluar kondensor sebesar 49,02 °C, sehingga dapat diperoleh nilai entalpi fluida (hf) yaitu h5 sebesar 205,24 kJ/kg dengan menggunakan Tabel Temperatur Termodinamika (Cengel, Ed.8) A-4 *Saturated Water*. Dan nilai entalpi keluaran turbin, h4 diketahui sebesar 2283,53 kJ/kg. Sehingga dapat dihitung jumlah energi yang dibuang oleh kondensor adalah sebagai berikut :

$$q_{kondensor} = h_5 - h_4$$

$$q_{kondensor} = 205,24 \text{ kJ/kg} - 2283,53 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{kondensor} = -2078,29 \text{ kJ/kg}$$

Nilai negatif pada hasil perhitungan diatas berarti fluida membuang panas keluar sistem. Selanjutnya dapat dihitung kinerja kondensor dengan sebagai berikut :

$$Q_{kondensor} = \dot{m} \cdot q_{kondensor}$$

$$Q_{kondensor} = 110,5 \frac{kg}{s} \cdot -2078,29 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{kondensor} = -229671,83 \text{ kW}$$

8. Menghitung kerja pompa

Pompa bertugas untuk menaikkan tekanan fluida sebelum masuk ke receiving header pada siklus rankine. Semakin tinggi tekanan air maka akan semakin tinggi pula energi panas yang bisa diserap oleh tiap satuan massa fluida. Diketahui air inlet pompa memiliki tekanan sebesar 11,88 kPa dengan temperatur 49,02 °C. Disaat keluar pompa, air akan bertekanan 304,33 kPa, dengan temperatur konstan yaitu 49,02 °C. Serta dengan menggunakan Tabel Temperatur Termodinamika A-4 *Saturated Water* diperoleh nilai volume spesifik air (v) sebesar 0,001011 m³/kg dengan interpolasi. Selanjutnya, diasumsikan tidak terjadi perubahan

energi kinetic dan potensial fluida pada pompa, sehingga untuk menghitung kerja pompa sebagai berikut :

$$-w = v. (p_2 - p_1)$$

$$-w = 0,001011 \text{ m}^3/\text{kg}. (304,33 - 11,88) \text{ kPa}$$

$$w_1 = -0,2956 \text{ kJ/kg}$$

Karena pompa yang digunakan adalah 2 buah, sehingga di hitung kerja pompa kedua dengan keluar pompa, air akan bertekanan 304,33 kPa menuju receiving header dengan tekanan 6,5 bar(650 kPa), sehingga perhitungannya sebagai berikut :

$$-w = v. (p_2 - p_1)$$

$$-w = 0,001011 \text{ m}^3/\text{kg}. (650 - 304,33) \text{ kPa}$$

$$w_2 = -0,3494 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga, total kerja pompa adalah sebagai berikut :

$$w_{total \text{ pompa}} = w_1 + w_2$$

$$w_{total \text{ pompa}} = -0,2956 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \frac{(-0,3494) \text{ kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{total \text{ pompa}} = -0,645 \text{ kJ/kg}$$

9. Menghitung laju perpindahan kalor dari sumber energi ke dalam fluida kerja yang melalui receiving header.

Diketahui : h_3 = entalpi masukan pada turbin = 2783,53 kJ/kg, \dot{m} (massa laju aliran yang masuk pada receiving header) sebesar 113,117 kg/s. Air masuk ke receiving header memiliki tekanan 304,33 kPa dengan temperatur 49,02 °C. Dengan menggunakan Tabel Temperatur Termodinamika (Cengel, Ed.8) A-4 *Saturated Water*, pada temperatur tersebut akan diketahui nilai entalpi fluida, $h_6 = 205,24$ kJ/kg. Sehingga dapat dihitung energi panas spesifik yang dibutuhkan oleh receiving header adalah sebagai berikut :

$$q_{boiler} = h_3 - h_6$$

$$q_{boiler} = 2783,53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 205,24 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{boiler} = 2578,29 \text{ kJ/kg}$$

Maka energi pada receiving header adalah sebagai berikut :

$$Q_{boiler} = \dot{m} \cdot q_{boiler}$$

$$Q_{boiler} = 113,117 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 2578,29 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{boiler} = 291648,42 \text{ kW}$$

Jadi untuk menghitung total efisiensi thermal plant menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{\sum W}{Q_{in}} = \frac{W_{turbin} - W_{pompa}}{h_3 - h_6}$$

$$\eta_{sistem} = \frac{(h_3 - h_4) - W_{pompa}}{2783,53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 205,24 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\eta_{sistem} = \frac{\left(2783,53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2283,53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) - (-0,645) \text{ kJ/kg}}{2783,53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 205,24 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\eta_{sistem} = \frac{500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 0,645 \text{ kJ/kg}}{2578,29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\eta_{sistem} = 19,41 \%$$

4.3 Analisis Efisiensi Thermal PLTP Kamojang

Energi panas bumi adalah energi panas yang tersimpan di dalam bumi. Energi panas bumi tersebut berasal dari aktivitas tektonik dari dalam bumi. Keberadaan PLTP hanya dapat dibangun di sekitar lempeng tektonik di mana temperatur tinggi dari sumber panas bumi tersedia di dekat permukaan. Pembangkit listrik tenaga panas bumi cenderung memiliki efisiensi termal yang rendah karena fluida panas bumi berada pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan uap atau air mendidih. Efisiensi thermal pada PLTP Kamojang Unit II bernilai 19,41%, maka pernyataan diatas benar adanya bahwa PLTP cenderung memiliki efisiensi thermal yang rendah. Pada hukum termodinamika,

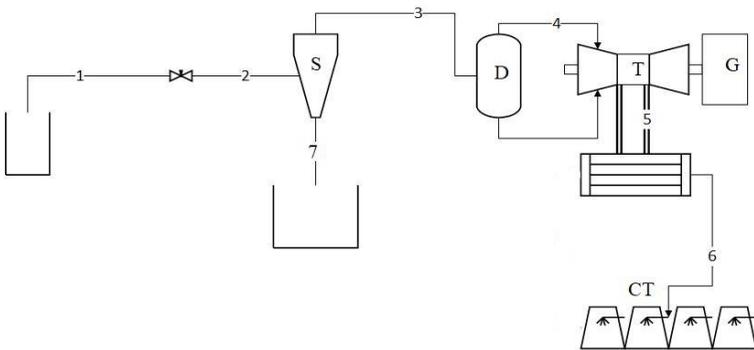
rendahnya temperatur akan membatasi efisiensi dari sistem dalam mengambil energi selama menghasilkan listrik. Jadi sisa panas akan terbuang, kecuali jika bisa dimanfaatkan secara langsung, misalnya untuk pemanas ruangan. Efisiensi sistem yang rendah dapat juga disebabkan oleh adanya kerugian-kerugian energi panas yang banyak sekali di temukan pada peralatan atau komponen-komponen pada PLTP. Misalnya turbin uap, pada sudu-sudu dan rumah turbin banyak kehilangan panas karena proses ekspansi uap air. Adapun, kebocoran uap juga dapat menimbulkan kerugian-kerugian yang akhirnya menyebabkan efisiensi menjadi turun. Peralatan lain seperti kondensor juga dapat mempengaruhi efisiensi sistem yaitu perubahan tekanan. Jika kondensor memiliki tekanan vakum rendah maka kinerja dan efisiensi dari turbin akan meningkat, dan apabila tekanan vakum bernilai tinggi maka kinerja dan efisiensi dari turbin akan menurun. Jika dilihat pada **Gambar 4.2** yaitu diagram T-s, penyimpangan siklus aktual dari siklus ideal dikarenakan beberapa faktor seperti gesekan fluida, kerugian panas dan kebocoran uap. Gesekan fluida mengakibatkan tekanan jatuh pada banyak peralatan seperti steam receiving header, kondensor dan di pipa-pipa yang menghubungkan banyak peralatan. Dengan demikian sangat diperlukan dalam menjaga kinerja setiap komponen atau peralatan PLTP agar tetap optimal sehingga PLTP memiliki efisiensi yang baik. Selain komponen atau peralatan yang dapat mempengaruhi efisiensi sistem adalah uap yang keluar dari sumur produksi, karena uap yang keluar dari sumur produksi mengandung berbagai macam unsur kimia yang dapat merusak sudu-sudu turbin sehingga akan berpengaruh pada efisiensi PLTP. Proses dari PLTP pada prinsipnya hampir sama dengan PLTU, hanya saja pada PLTU uapnya dibuat dengan menggunakan boiler, sedangkan PLTP dari reservoir panas bumi. Apabila fluida yang mengalir dari wellhead berupa uap maka uap tadi langsung dialirkan lewat turbin, kemudian turbin akan mengubah energi panas bumi menjadi energi gerak yang kemudian akan memutar generator. Namun, fluida panas bumi keluar dari wellhead sebagai campuran fluida dua fasa (uap dan cair) maka terlebih dahulu dilakukan proses pemisahan pada fluida, yaitu dengan mengalirkan

lewat separator, kemudian fase uapnya dialirkan langsung ke turbin.

4.4 Hasil Perhitungan Eksergi

A. Tinjauan *Plant*

Pengambilan data dan tinjauan *plant* dari penelitian Analisa Thermal ini dilakukan di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang. Dalam peninjauan *plant*, berdasarkan *Piping Instrument Diagram (P&Id)* yang didapatkan dari PT. Indonesia Power UPJP Kamojang yang dapat di sederhanakan menjadi *Proses Flow Diagram (PFD)* maka jenis PLTP yang berada di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang adalah jenis *single-flash power plant*. Kemudian dilakukan penentuan *state* untuk menghitung nilai eksergi. Dalam menghitung nilai eksergi setiap *statenya* digunakan data temperature, tekanan dan laju aliran pada setiap *state*. Berikut gambar *state* pada PT. Indonesia Power UPJP Kamojang :



Gambar 4. 3 *State* pada PT. Indonesia Power UPJP Kamojang

B. Perhitungan Eksergi pada *Plant*

Setelah *Proses Flow Diagram (PFD)* diberikan *state*, kemudian dilakukan perhitungan eksergi. Sebelum melakukan perhitungan eksergi, berikut data yang diperoleh dari PT. Indonesia Power UPJP Kamojang pada bulan September 2017.

Data tersebut digunakan untuk perhitungan eksergi sesuai dengan state yang diberikan seperti pada **Gambar 4.3**.

Tabel 4. 3 Data untuk Perhitungan Eksergi

State ke-	T (°C)	P (bar)	ṁ (kg/s)
0	17	-	113,117
1	169,22	6,5	113,117
2	166,83	6,5	113,117
3	166,83	6,0	110,51
4	170,75	6,0	110,51
5	48,40	0,1188	110,51
6	49,02	3,0433	110,51
7	166,83	6,5	2,601

Dengan menggunakan persamaan (2.12) diperoleh hasil perhitungan eksergi dengan data pada **Tabel 4.3**. untuk setiap statenya, juga diketahui temperatur lingkungan yang digunakan sebesar 17 (°C) sehingga entalpi dari temperatur lingkungan (h_0) adalah 290,16 kJ/kg dan entropi dari temperatur lingkungan (s_0) adalah 1,66 kJ/kg.K yang didapatkan dari Tabel Termodinamika A-22 Sifat Gas Ideal dari Udara, berikut perhitungannya:

- *State 0*

Diasumsikan massa laju aliran (\dot{m}) pada state 0 = massa laju aliran pada Steam Receiving Header yaitu 113,117 kg/s. Diketahui dari Tabel Termodinamika (Moran, 2004) A-2 *Saturated Water* dengan temperatur (T) adalah 17 (°C), maka didapatkan entalpi uap-air pada *state 0* adalah 2461,20 kJ/kg dan entropi uap-air pada *state 0* adalah 8,73 kJ/kg.K. Sehingga untuk menghitung eksergi sebagai berikut :

$$E_0 = \dot{m}[(h_0 - h_0(\text{entalpi lingkungan})) - T_0(S_0 - S_0(\text{entropi lingkungan}))]$$

$$E_0 = 113,117 [(2461,20 - 290,16) - 290(8,73 - 1,66)]$$

$$E_{k0} = 13657,74 \text{ kW}$$

- *State 1*

Diketahui massa laju aliran (\dot{m}) dari *state 1* (Steam Receiving Header) sebesar 113,117 kg/s, dengan entalpi uap h_1 adalah 2767,1 kJ/kg dan entropi uap s_1 adalah 6,67 kJ/kg.K di dapatkan dari Tabel Temperatur Termodinamika (Cengel, Ed.8) A-4 *Saturated Water* dengan temperatur 169,22 (°C) dan tekanan 6,5 bar (650 kPa). Sehingga untuk menghitung eksergi sebagai berikut :

$$E_1 = m[(h_1 - h_0) - T_0(S_1 - S_0)]$$

$$E_1 = 113,117[(2767,1 - 290,16) - 290(6,67 - 1,66)]$$

$$E_{k1} = 115787,12 \text{ kW}$$

- *State 2*

Sesuai dengan **Gambar 4.2** diagram T-s pada pembangkit listrik tenaga panas bumi UPJP Kamojang terjadi proses isobarik atau tekanan konstan pada *state 2*. Dalam *state 2* dapat diketahui nilai X_2 (kualitas fraksi kekeringan) dengan perhitungan sebagai berikut :

$$X_2 = \frac{h_2 - h_7}{h_3 - h_7}$$

Dengan diketahui entalpi uap, h_2 adalah sebesar 2767,1 kJ/kg, entalpi keluaran *state 2* menuju *state 7*, h_7 adalah sebesar 2059,45 kJ/kg dan entalpi keluaran *state 2* menuju *state 3*, h_3 adalah sebesar 2783,53 kJ/kg. Sehingga perhitungannya adalah :

$$X_2 = \frac{2767,1 - 2059,45}{2783,53 - 2059,45}$$

$$X_2 = 0,977$$

Setelah diperoleh nilai kualitas fraksi kekeringan, X_2 maka dapat dihitung nilai massa laju aliran dari *state 2* menuju *state 3* dengan sebagai berikut :

$$\dot{m}_3 = X_2 \cdot \dot{m}_2$$

Dengan X_2 adalah kualitas fraksi kekeringan sebesar 0,977 dan \dot{m}_2 adalah massa laju aliran masukan pada *state 2* sebesar 113,117 kg/s, sehingga perhitungannya adalah :

$$\dot{m}_3 = 0,977 \cdot 113,117 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_3 = 110,51 \text{ kg/s}$$

Serta dihitung massa laju aliran yang keluar dari *state* 2 menuju *state* 7 dengan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\dot{m}_7 &= (1 - X_2) \cdot \dot{m}_2 \\ \dot{m}_7 &= (1 - 0,977) \cdot 113,117 \text{ kg/s} \\ \dot{m}_7 &= 2,6016 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

Dengan demikian dapat dilanjutkan menghitung eksergi pada *state* 2, diketahui entalpi uap $h_1 =$ entalpi uap h_2 yaitu 2767,1 kJ/kg dan entropi uap s_2 adalah 6,69 kJ/kg.K di dapatkan dari Tabel Temperatur Termodinamika (Cengel, Ed.8) A-4 *Saturated Water* dengan temperatur 166,83 (°C) dan tekanan 6,5 bar (650 kPa), maka perhitungan eksergi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}E_2 &= m[(h_2 - h_0) - T_0(S_2 - S_0)] \\ E_2 &= 113,117[(2767,1 - 290,16) - 290(6,69 - 1,66)] \\ E_{k2} &= 115180,25 \text{ kW}\end{aligned}$$

- *State* 3

Diketahui massa laju aliran (\dot{m}) dari *state* 3 sebesar 110,51 kg/s. Untuk entalpi uap h_3 adalah 2783,53 kJ/kg dan entropi uap s_3 adalah 6,75 kJ/kg.K di dapatkan dari Tabel Tekanan Termodinamika (Cengel, Ed.8) A-5 *Saturated Water* dengan temperatur 166,83 (°C) dan tekanan 6,0 bar (600 kPa). Sehingga untuk menghitung eksergi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}E_3 &= m[(h_3 - h_0) - T_0(S_3 - S_0)] \\ E_3 &= 110,51[(2783,53 - 290,16) - 290(6,75 - 1,66)] \\ E_{k3} &= 112418,50 \text{ kW}\end{aligned}$$

- *State* 4

Diketahui massa laju aliran (\dot{m}) dari *state* 4 diperoleh sebesar 110,51 kg/s. Untuk kerja turbin (w_t) adalah 500 kJ/kg dan entalpi uap h_4 adalah 2283,53 kJ/kg diperoleh dari perhitungan beberapa tahapan untuk mencari efisiensi thermal plant dan entropi uap s_4 adalah 6,81 kJ/kg.K di dapatkan dari Tabel Termodinamika (Cengel, Ed.8) *Superheated Water* dengan temperatur 170,75 (°C) dan tekanan 6,0 bar (600 kPa). Sehingga untuk menghitung eksergi sebagai berikut :

$$E_4 = m[(h_4 - h_0) - T_0(S_4 - S_0)]$$

$$E_4 = 110,51[(2283,53 - 290,16) - 290(6,81 - 1,66)]$$

$$E_{k4} = 55240,63 \text{ kW}$$

- *State 5*

Diketahui massa laju aliran (\dot{m}) dari *state 5* adalah 110,51 kg/s. Untuk entalpi fluida h_5 adalah 204,24 kJ/kg dan entropi fluida s_5 adalah 0,68 kJ/kg.K di dapatkan dari Tabel Temperatur Termodinamika (Cengel, Ed.8) A-4 *Saturated Water* dengan temperatur 48,40 ($^{\circ}\text{C}$) dan tekanan 118,80 mbar (11,88 kPa). Sehingga untuk menghitung eksergi sebagai berikut :

$$E_5 = m[(h_5 - h_0) - T_0(S_5 - S_0)]$$

$$E_5 = 110,51[(204,24 - 290,16) - 290(0,68 - 1,66)]$$

$$E_{k5} = 21911,92 \text{ kW}$$

- *State 6*

Diketahui massa laju aliran (\dot{m}) dari *state 6* adalah 110,51 kg/s. Untuk entalpi fluida h_6 adalah 205,24 kJ/kg dan entropi fluida s_6 adalah 0,69 kJ/kg.K di dapatkan dari Tabel Temperatur Termodinamika (Cengel, Ed.8) A-4 *Saturated Water* dengan temperatur 49,02 ($^{\circ}\text{C}$) dan tekanan 304,33 kPa. Sehingga untuk menghitung eksergi sebagai berikut :

$$E_6 = m[(h_6 - h_0) - T_0(S_6 - S_0)]$$

$$E_6 = 110,51[(205,24 - 290,16) - 290(0,69 - 1,66)]$$

$$E_{k6} = 21701,95 \text{ kW}$$

- *State 7*

Diketahui massa laju aliran (\dot{m}) dari *state 7* adalah 2,601 kg/s. Untuk entalpi campuran h_7 adalah 2059,45 kJ/kg dan entropi campuran s_7 adalah 4,68 kJ/kg.K di dapatkan dari Tabel Temperatur Termodinamika (Cengel, Ed.8) A-4 *Saturated Water* dengan temperatur 166,83 ($^{\circ}\text{C}$) dan tekanan 6,5 bar (650 kPa). Sehingga untuk menghitung eksergi sebagai berikut :

$$E_7 = m[(h_7 - h_0) - T_0(S_7 - S_0)]$$

$$E_7 = 2,601[(2059,45 - 290,16) - 290(4,68 - 1,66)]$$

$$E_{k7} = 2324,50 \text{ kW}$$

Setelah dihitung eksergi dari keseluruhan state, maka di dapatkan hasil perhitungan dalam **Tabel 4.4** sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Eksergi dari State

State ke-	E_k (kW)
0	13657,74
1	115787,12
2	115180,25
3	112418,50
4	55240,63
5	21911,92
6	21701,95
7	2324,50

Setelah diperoleh hasil perhitungan eksergi pada **Tabel 4.4**, maka dapat diperoleh eksergi *loss* dan efisiensi eksergi dengan persamaan (2.13) dan persamaan (2.14), berikut perhitungan eksergi *loss* dan efisiensi eksergi setiap unit :

- Separator

Diketahui eksergi input sebesar 115787,12 kW dan eksergi output sebesar 115180,25 kW, maka perhitungan eksergi *loss* nya adalah sebagai berikut :

$$E_{kloss} = E_{kinput} - E_{koutput}$$

$$E_{kloss\ separator} = 115787,12 - 115180,25$$

$$E_{kloss\ separator} = 606,87\ kW$$

Dan untuk menghitung efisiensi eksergi dari separator adalah sebagai berikut :

$$\eta_{ex} = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

$$\eta_{ex} = \frac{115180,25}{115787,12}$$

$$\eta_{ex} = 99,47\ \%$$

- Demister

Diketahui eksergi input sebesar 115180,25 kW dan eksergi output sebesar 112418,50 kW, maka perhitungan eksergi *loss* nya adalah sebagai berikut :

$$E_{kloss} = E_{kinput} - E_{koutput}$$

$$E_{kloss\ demister} = 115180,25 - 112418,50$$

$$E_{kloss\ demister} = 2761,75\ kW$$

Dan untuk menghitung efisiensi eksergi dari demister adalah sebagai berikut :

$$\eta_{ex} = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

$$\eta_{ex} = \frac{112418,50}{115180,25}$$

$$\eta_{ex} = 97,60\ \%$$

- Turbin

Diketahui eksergi input sebesar 112418,50 kW dan eksergi output sebesar 55240,63 kW, dengan $W_t = 500 \frac{kJ}{kg} = 50.000\ kW$ maka perhitungan eksergi *loss* nya adalah sebagai berikut :

$$E_{kloss} = E_{kinput} - E_{koutput} - W_t$$

$$E_{kloss\ turbin} = 112418,50 - 55240,63 - 50.000\ kW$$

$$E_{kloss\ turbin} = 7177,87\ kW$$

Untuk menghitung efisiensi eksergi dari turbin, diketahui e_{f3} adalah 1017,27 kJ/kg dan e_{f4} adalah 64,95 kJ/kg, sehingga perhitungannya sebagai berikut:

$$\eta_{ex} = \frac{W_t/m}{e_{f3} - e_{f4}}$$

$$\eta_{ex} = \frac{500\ kJ/kg}{1017,27 \frac{kJ}{kg} - 64,95 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\eta_{ex} = 52,50\ \%$$

- Kondensor

Diketahui eksergi input sebesar 55240,63 kW dan eksergi output sebesar 21911,92 kW, maka perhitungan eksergi *loss* nya adalah sebagai berikut :

$$E_{kloss} = E_{kinput} - E_{koutput} - E_{th,c}$$

$$E_{kloss\ kondensor} = 55240,63 - 21911,92 - 26197,45$$

$$E_{kloss\ kondensor} = 7131,26\ kW$$

Dan untuk menghitung efisiensi eksergi dari kondensor adalah sebagai berikut :

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{E_{kloss,c}}{E_{kinput}}$$

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{7131,26}{55240,63}$$

$$\eta_{ex} = 87,09\ \%$$

- Cooling Tower

Diketahui eksergi input sebesar 21911,92 kW dan eksergi output sebesar 21701,95 kW, maka perhitungan eksergi loss nya adalah sebagai berikut :

$$E_{kloss} = E_{kinput} - E_{koutput}$$

$$E_{kloss\ Cooling\ tower} = 21911,92 - 21701,95$$

$$E_{kloss\ Cooling\ Tower} = 209,97\ kW$$

Dan untuk menghitung efisiensi eksergi dari cooling tower adalah sebagai berikut :

$$\eta_{ex} = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

$$\eta_{ex} = \frac{21701,95}{21911,92}$$

$$\eta_{ex} = 99,04\ \%$$

Tabel 4. 5 Nilai dari Eksergi Loss dan Efisiensi Eksergi per Komponen

Keterangan	Eksergi Loss (kW)	Efisiensi Eksergi (%)
Separator	606,87	99,47%
Demister	2761,75	97,60%
Turbin	7177,87	52,50%
Kondensor	7131,26	87,09%
Cooling Tower	209,97	99,04%

Selanjutnya, dapat dihitung efisiensi eksergi *overall*. Dengan menggunakan persamaan (2.15) maka di dapatkan efisiensi eksergi *overall* sebagai berikut :

$$\eta_{UI} = \frac{W_{net}}{E_{in}}$$

Dimana, sebelum menghitung efisiensi eksergi, dihitung terlebih dahulu W_{net} yaitu daya listrik netto dari plant, dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} W_{net} &= \eta_{gen} \cdot m \cdot X_2 \cdot w_t \\ &= 0,98 \cdot 110,51 \cdot 0,977 \cdot 500 \\ &= 52904,45 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sehingga, efisiensi eksergi dapat diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta_{UI} &= \frac{52904,45 \text{ kW}}{112418,50 \text{ kW}} \\ &= 47,06 \% \end{aligned}$$

C. Analisis Efisiensi Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi PLTP Kamojang

Pada **Tabel 4.5**, dapat dilihat eksergi *loss* pada separator dan demister yaitu sebesar 606,87 kW dan 2761,75 kW, untuk efisiensi eksergi dari separator dan demister yaitu sebesar 99,47 % dan 97,60 %. Eksergi *loss* pada separator dan demister dapat disebabkan karena beberapa hal yaitu seperti terbentuknya korosi akibat kotoran yang ada di dalam dust collector meskipun telah di drain secara berkala baik otomatis ataupun manual. Selain itu kerusakan sambungan akan menyebabkan kehilangan panas didalam separator. Sedangkan pada demister, jika uap yang dihasilkan oleh demister tidak benar-benar kering dan kotor maka akan menyebabkan vibrasi, erosi dan pembentukan kerak pada turbin sehingga dapat menimbulkan *losses*. Untuk turbin dan kondensor dapat dilihat bahwa 2 komponen tersebut memiliki eksergi *loss* yang cukup tinggi dengan nilai efisiensi ekserginya lebih kecil dibandingkan komponen separator dan demister, yaitu untuk turbin nilai eksergi *loss*nya adalah 7177,87 kW dengan

efisiensi eksergi sebesar 52,50 % dan untuk kondensor nilai eksergi *loss*nya adalah 7131,26 kW. Eksergi *loss* yang terjadi pada turbin dapat terjadi akibat pengaruh dari uap demister yang tidak benar-benar kering atau kotor, sehingga menyebabkan terbentuknya kerak pada sudu-sudu turbin. Selain penyebab tersebut, dapat dilihat pada saat *steam* masuk ke dalam turbin, suhu yang masuk ke dalam turbin akan berbeda jauh dengan suhu yang keluar dari turbin karena akan mempengaruhi nilai entropinya dengan adanya perubahan suhu yang keluar dari turbin tersebut. Sedangkan pada kondensor, eksergi *loss* yang terjadi adalah akibat dari adanya hambatan saat pelepasan kalor karena kotoran-kotoran dalam pipa kondensor. Selain itu pengaruh dari level air kondensat akan mempengaruhi kinerja dari kondensor, karena jika level air kondensat terlalu tinggi maka akan menyebabkan kondensor pada bagian bawah tergenang dan mengurangi luas permukaan pendingin karena uap tidak dapat menyentuh bagian tube yang tergenang tersebut, dan pada akhirnya temperatur dan tekanan kondensasi akan menjadi naik. Adapun komponen pada kondensor yang sangat penting bagi kinerja kondensor yaitu pompa vakum kondensor yang berfungsi sebagai menghisap gas-gas yang tidak dapat terkondensasi. Gas-gas tersebut harus dikeluarkan dari kondensor karena sifatnya tidak dapat terkondensasi yang telah bercampur dengan uap air dan dapat mengurangi kinerja kondensor. Eksergi *loss* pada cooling tower sebesar 209,97 kW dengan efisiensi eksergi sebesar 99,04%. Untuk meningkatkan kinerja cooling tower yang perlu diperhatikan adalah perawatan dan pembersihan tower. Selain itu, yang mempengaruhi adalah saat proses pelepasan panas, pada proses pelepasan panas alat yang digunakan di dalam cooling tower adalah kipas atau fan sehingga perlu diperhatikan agar kerja fan tidak terlalu berat. Karena, jika kerja fan terlalu berat maka akan mendorong penggunaan energi yang lebih besar dan terjadinya pemborosan energi. Dengan demikian perlunya perawatan dan pembersihan secara berkala di masing-masing unit cooling tower sehingga kerja fan ringan. Jika melihat **Tabel 4.5** dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi eksergi *loss* pada suatu komponen, maka efisiensi ekserginya semakin

rendah, dan jika eksergi *loss*nya rendah maka efisiensinya semakin tinggi. Apabila nilai efisiensi semakin tinggi, maka sistem tersebut dapat dikatakan baik, karena energi yang dibutuhkan untuk memulai kerja pada sistem secara keseluruhan lebih kecil dari pada energi yang dihasilkan.

4.5 Hasil Perhitungan Termoekonomi

Dalam menghitung biaya rugi eksergi, menggunakan acuan Tarif Dasar Listrik Indonesia per kWh bulan Maret 2018. Untuk menentukan biaya rugi eksergi per unit dapat dilakukan dengan perhitungan termoekonomi menggunakan persamaan (3.11). Asumsi yang digunakan pada Tarif Dasar Listrik Indonesia bulan Maret 2018 untuk industri yang tidak mendapatkan subsidi sebesar Rp 1.467,28 per kWh yang termasuk pada golongan I-4/TT dengan batas daya lebih dari 30.000 kVa. Sehingga perhitungannya sebagai berikut :

- Separator

Diketahui eksergi loss sebesar 606,87 kW dengan waktu proses selama 24 jam, maka perhitungan biaya rugi eksergi per unitnya adalah sebagai berikut :

$$C = E \times TDL \times \text{hours}$$

$$C_{separator} = 606,87 \text{ kW} \times 1.467,28 \text{ Rp/kWh} \times 24\text{h}$$

$$C_{separator} = 21.370.757,1 \text{ Rp/bln}$$

- Demister

Diketahui eksergi loss sebesar 2761,75 kW dengan waktu proses selama 24 jam, maka perhitungan biaya rugi eksergi per unitnya adalah sebagai berikut :

$$C = E \times TDL \times \text{hours}$$

$$C_{demister} = 2761,75 \text{ kW} \times 1.467,28 \text{ Rp/kWh} \times 24\text{h}$$

$$C_{demister} = 97.254.253 \text{ Rp/bln}$$

- Turbin

Diketahui eksergi loss sebesar 7177,87 kW dengan waktu proses selama 24 jam, maka perhitungan biaya rugi eksergi per unitnya adalah sebagai berikut :

$$C = E \times TDL \times \text{hours}$$

$$C_{turbine} = 7177,87 \text{ kW} \times 1.467,28 \text{ Rp/kWh} \times 24 \text{ h}$$

$$C_{turbine} = 252.766.682,24 \text{ Rp/bln}$$

- Kondensator

Diketahui eksergi loss sebesar 7131,26 kW dengan waktu proses selama 24 jam, maka perhitungan biaya rugi eksergi per unitnya adalah sebagai berikut :

$$C = E \times TDL \times \text{hours}$$

$$C_{kondensator} = 7131,26 \text{ kW} \times 1.467,28 \text{ Rp/kWh} \times 24 \text{ h}$$

$$C_{kondensator} = 251.125.324,1 \text{ Rp/bln}$$

- Cooling Tower

Diketahui eksergi loss sebesar 209,97 kW dengan waktu proses selama 24 jam, maka perhitungan biaya rugi eksergi per unitnya adalah sebagai berikut :

$$C = E \times TDL \times \text{hours}$$

$$C_{cooling\ tower} = 209,97 \text{ kW} \times 1.467,28 \text{ Rp/kWh} \times 24 \text{ h}$$

$$C_{cooling\ tower} = 7.394.034,76 \text{ Rp/bln}$$

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Biaya Rugi Eksergi per Komponen

Keterangan	E_{kloss} (kW)	Cost (Rp/bln)
Separator	606,87	21.370.757,1
Demister	2761,75	97.254.253
Turbin	7177,87	252.766.682,24
Kondensator	7131,26	251.125.324,1
Cooling Tower	209,97	7.394.034,76

4.6 Analisis Termoekonomi pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi UPJP Kamojang

Dari hasil perhitungan dapat dilihat biaya rugi eksergi pada komponen separator dan demister sebesar 21.370.757,1 Rp/bln dan 97.254.253 Rp/bln. Biaya rugi eksergi yang paling tinggi adalah turbin yaitu sebesar 252.766.682,24 Rp/bln. Sedangkan biaya rugi untuk komponen kondensator adalah sebesar 251.125.324,1 Rp/bln. Perhatikan pada **Tabel 4.4** bahwa eksergi loss terbesar juga

terdapat pada komponen turbin, sedangkan eksergi loss terendah terdapat pada komponen cooling tower sehingga biaya rugi eksergi pada cooling tower bernilai kecil sebesar 7.394.034,76 Rp/bln. Sehingga dapat disimpulkan bahwa biaya rugi eksergi akan berbanding lurus dengan eksergi *loss*nya. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besarnya nilai eksergi dan biaya rugi eksergi, salah satunya adalah besarnya masukan serta keluaran proses yang dapat berimbas pada efisiensi dan besar biaya rugi eksergi komponen tersebut. Semakin besar nilai eksergi *loss*nya atau rugi eksergi yang hilang, maka biaya yang dibutuhkan juga semakin banyak. Berbeda dengan perbandingan antara eksergi *loss* dengan efisiensi eksergi, semakin besar eksergi *loss*nya maka efisiensi eksergi pada komponen tersebut bernilai kecil. Biaya rugi eksergi berdasarkan termoekonomi diawali dengan melakukan analisis eksergi agar diketahui nilai eksergi *loss*nya, setelah itu dari segi ekonomi diperoleh nilai kerugian berupa cost dari setiap komponen.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis data yang dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Efisiensi thermal sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi PT. Indonesia Power UPJP Kamojang sebesar 19,41%. Pada hukum termodinamika, rendahnya temperatur akan membatasi efisiensi dari sistem dalam mengambil energi selama menghasilkan listrik. Jadi sisa panas akan terbuang, kecuali jika bisa dimanfaatkan secara langsung, misalnya untuk pemanas ruangan. Efisiensi sistem yang rendah dapat juga disebabkan oleh adanya kerugian-kerugian energi panas yang banyak sekali di temukan pada peralatan atau komponen-komponen pada PLTP.
2. Dilihat dari hasil perhitungan untuk efisiensi eksergi sistem sebesar 47,06%. Sedangkan hasil perhitungan efisiensi eksergi pada tiap-tiap komponen dengan efisiensi eksergi terbesar terdapat pada komponen separator yaitu 99,47%. Semakin tinggi eksergi *loss* pada suatu komponen, maka efisiensi ekserginya semakin rendah, dan jika eksergi *loss*nya rendah maka efisiensinya semakin tinggi.
3. Biaya rugi eksergi terbesar berdasarkan termoekonomi adalah pada komponen turbin yaitu sebesar 252.766.682,24 Rp/bln, karena eksergi *loss* pada turbin dikatakan cukup tinggi sebesar 7177,87 kW. Sedangkan eksergi *loss* terendah terdapat pada komponen cooling tower sehingga biaya rugi eksergi pada cooling tower bernilai kecil sebesar 7.394.034,76 Rp/bln. Berbeda dengan perbandingan antara eksergi *loss* dengan efisiensi eksergi, semakin besar eksergi *loss*nya maka efisiensi eksergi pada komponen tersebut bernilai kecil. Biaya rugi eksergi berbanding lurus dengan eksergi *loss* dari setiap komponen.

5.2 Saran

Adapun saran dari penulis untuk pembangkit listrik yang telah diteliti yaitu perlu dilakukannya maintenance secara rutin terhadap komponen turbin serta kondensor dikarenakan memiliki eksergi *loss* yang cukup tinggi yang akan mempengaruhi efisiensi dari sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Moran, M.J., (2006). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 5th ed. West Sussex England : John Wiley and Sons Inc.
- Cengel, YA., Boles, MA., 2015. *Thermodynamics : An Engineering Approach*, 8th ed. McGraw Hill.
- Wijaya, N.O., Nugroho G. dan Sarwono, 2012. "Analisa Eksergi dan Termoekonomi Pada Plant Penstabilan Kondensat". *Jurnal Teknik Fisika Vol. 1, No. 1,1-5*
- Junaldi, Indriawati K., 2012. "Prediksi Daya Listrik Geothermal Power Plant Berdasarkan Metode Weighted Moving Average di PT. GEO DIPA ENERGI Unit Dieng". *Jurnal Teknik Pomits, vol. 1, no. 1, pp. 1-6*
- Shanti, I., Nugroho G. dan Sarwono, 2012. "Analisa Termoekonomi Pada Sistem Kombinasi Turbin Gas – Uap PLTGU PT PJB Unit Pembangkitan Gresik". *Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1*
- Balqis, E.R.D., Indriawati K., dan Lelono B., 2012. "Optimasi Daya Listrik pada PT Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang, Jawa Barat". *Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1*
- Suharmantoa, P., Fitria A.N., and Ghaliyah S., 2015. "Indonesian Geothermal Energy Potential as Source of Alternative Energy Power Plant". *Renewable Energy and Energy Conversion Conference and Exhibition , vol. 1, no. -, pp. 119-124*
- IRENA, 2017. *Geothermal Power: Technology Brief*, Abu Dhabi: *International Renewable Energy Agency*
- Santoso, D., Yusuf R.M., 2012. "Analisis Eksergi Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (Pltp) Ubp Kamojang Unit Pltp Darajat, Jawa Barat". *Seminar Nasional AVoER ke-4*
- Cafaro, S., Napoll L., Traverso A., and Massardo A.F. 2010. "Monitoring of the thermoeconomic performance in an actual combined cycle power plant bottoming cycle". *Energy 35 (2010) : 902 – 910.*

- Azis, A., 2011. "Analisa Eksergi Pltp Kamojang 68 Kapasitas 3 MW". *JRL. Vol. 7 No. 2, Juli 2011 : 115 - 125*
- Ismawati, A.S., 2012. "Analisis Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Siklus Biner Dengan Regenerative Organic Rankine Cycle (RORC)". Universitas Indonesia.
- Kwak, H.Y., Kim D.J., and Jeon J.S. 2003. "Exergetic and thermoeconomic analysis of power plants". *Energy 28 : 343 – 360.*
- Mulyana, C., Adiprana R., Saad A.H., Ridwan M., and Muhammad F., 2015. "The Thermodynamic Cycle Models for Geothermal Power Plants by Considering the Working Fluid Characteristic". *2nd Padjadjaran International Physics Symposium 2015 (PIPS-2015)*
- Adiprana, R., Purnomo D.S., and Lubis I.E., 2015. "Kamojang Geothermal Power Plant Unit 1-2-3 Evaluation and Optimization Based on Exergy Analysis". *Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015*
- Nasruddin, Satrio P., 2015. "Analisa Energi, Exergi dan Optimasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Super Kritikal 660 MW". *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*
- DiPippo, Ronald. 2008. *Geothermal Power Plant: Principles Applications, Case Studies, and Environmental Impact.* Oxford OX2 8DP, UK: Elseiver.
- Zuchrillah, D.R., Handogo R., dan Juwari. 2016. "Optimisasi Teknologi Proses Geothermal Sistem Flash Steam pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi di Indonesia". *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri (SENIATI) 2016,ISSN: 2058-4218*
- Caturwati, N.K., Rosyadi I., Irfani F., 2011. "Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Efisiensi Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)". *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3*

LAMPIRAN A

Tabel Termodinamika *Superheated Water* (Cengel, Ed.8)

894 | Thermodynamics

TABLE A-6

Superheated water

<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K		
<i>P</i> = 0.01 MPa (45.81°C)*					<i>P</i> = 0.05 MPa (81.32°C)					<i>P</i> = 0.10 MPa (99.61°C)				
Sat. [†]	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.3589		
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741										
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.3611		
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148		
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356		
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346		
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172		
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452		
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.8362		
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.0999		
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.3424		
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.5682		
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.7800		
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.9800		
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.1698		
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.3504		
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429	7.2605	4687.2	5413.3	10.5229		
<i>P</i> = 0.20 MPa (120.21°C)					<i>P</i> = 0.30 MPa (133.52°C)					<i>P</i> = 0.40 MPa (143.61°C)				
Sat.	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917	0.46242	2553.1	2738.1	6.8955		
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0732	0.47088	2564.4	2752.8	6.9306		
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2865.9	7.3192	0.53434	2647.2	2860.9	7.1723		
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180	0.59520	2726.4	2964.5	7.3804		
300	1.31623	2808.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037	0.65489	2805.1	3067.1	7.5677		
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347	0.77265	2964.9	3273.9	7.9003		
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271	0.88936	3129.8	3485.5	8.1933		
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34139	3301.6	3704.0	8.5915	1.00558	3301.0	3703.3	8.4580		
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345	1.12152	3479.0	3927.6	8.7012		
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605	1.23730	3663.9	4158.9	8.9274		
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725	1.35298	3855.7	4396.9	9.1394		
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726	1.46859	4054.3	4641.7	9.3396		
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624	1.58414	4259.2	4892.9	9.5295		
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.7102		
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.8828		
<i>P</i> = 0.50 MPa (151.83°C)					<i>P</i> = 0.60 MPa (158.83°C)					<i>P</i> = 0.80 MPa (170.41°C)				
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1	6.8207	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593	0.24035	2576.0	2768.3	6.6616		
200	0.42503	2643.3	2855.8	7.0610	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683	0.26088	2631.1	2839.8	6.8177		
250	0.47443	2723.8	2961.0	7.2725	0.39390	2721.2	2957.6	7.1833	0.29321	2715.9	2950.4	7.0402		
300	0.52261	2803.3	3064.6	7.4614	0.43442	2801.4	3062.0	7.3740	0.32416	2797.5	3056.9	7.2345		
350	0.57015	2883.0	3168.1	7.6346	0.47428	2881.6	3166.1	7.5481	0.35442	2878.6	3162.2	7.4107		
400	0.61731	2963.7	3272.4	7.7956	0.51374	2962.5	3270.8	7.7097	0.38429	2960.2	3267.7	7.5755		
500	0.71095	3129.0	3484.5	8.0893	0.59200	3128.2	3483.4	8.0041	0.44332	3126.6	3481.3	7.8692		
600	0.80409	3300.4	3702.5	8.3544	0.66976	3299.8	3701.7	8.2695	0.50186	3298.7	3700.1	8.1354		
700	0.89696	3478.6	3927.0	8.5978	0.74725	3478.1	3926.4	8.5132	0.56011	3477.2	3925.3	8.3794		
800	0.98966	3663.6	4158.4	8.8240	0.82457	3663.2	4157.9	8.7395	0.61820	3662.5	4157.0	8.6061		
900	1.08227	3855.4	4396.6	9.0362	0.90179	3855.1	4396.2	8.9518	0.67619	3854.5	4395.5	8.8185		
1000	1.17480	4054.0	4641.4	9.2364	0.97893	4053.8	4641.1	9.1521	0.73411	4053.3	4640.5	9.0189		
1100	1.26728	4259.0	4892.6	9.4263	1.05603	4258.8	4892.4	9.3420	0.79197	4258.3	4891.9	9.2090		
1200	1.35972	4470.0	5149.8	9.6071	1.13309	4469.8	5149.6	9.5229	0.84980	4469.4	5149.3	9.3898		
1300	1.45214	4686.6	5412.6	9.7797	1.21012	4686.4	5412.5	9.6955	0.90761	4686.1	5412.2	9.5625		

*The temperature in parentheses is the saturation temperature at the specified pressure.

[†] Properties of saturated vapor at the specified pressure.

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN B

Tabel Termodinamika *Saturated Water-Tekanan* (Cengel, Ed.8)

TABLE A-5

Saturated water—Pressure table

Press., P kPa	Sat. temp., T_{sat} °C	Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.200	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN C

Tabel Termodinamika *Saturated Water-Temperatur* (Cengel, Ed.8)

TABLE A-4

Saturated water—Temperature table

Temp., T °C	Sat. press., P _{sat} kPa	Specific volume, m ³ /kg			Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat.	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556	
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249	
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999	
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803	
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661	
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567	
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520	
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517	
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556	
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633	
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748	
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898	
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082	
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296	
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540	
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812	
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111	
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435	
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782	
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151	
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542	
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952	
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382	
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829	
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292	
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771	
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265	
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773	
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294	
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827	
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371	
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927	
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492	
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067	
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650	
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242	
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841	
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447	
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059	
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678	
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302	

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN D

Tabel Termodinamika *Saturated Water-Temperatur* (Moran, Ed.6)

Table A-2 Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor): Temperature Table

Pressure Conversions:
1 bar = 0.1 MPa
= 10² kPa

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
.01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	.01
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0514	4
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257	5
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003	6
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9501	8
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008	10
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765	11
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524	12
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285	13
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048	14
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814	15
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582	16
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2535	8.7351	17
18	0.02064	1.0014	65.038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123	18
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897	19
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672	20
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450	21
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229	22
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011	23
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794	24
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580	25
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367	26
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156	27
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946	28
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	0.4231	8.4739	29
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533	30
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329	31
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127	32
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	0.4781	8.3927	33
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728	34
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531	35
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336	36
38	0.06632	1.0071	21.602	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5458	8.2950	38
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570	40
45	0.09593	1.0099	15.258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648	45

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN E

Tabel Termodinamika A-22 Sifat Gas Ideal dari Udara

Table A-22 Ideal Gas Properties of Air

$T(\text{K}), h \text{ and } u(\text{kJ/kg}), s^\circ (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})$											
T	h	u	s°	when $\Delta s = 0^1$		T	h	u	s°	when $\Delta s = 0$	
				p_r	v_r					p_r	v_r
200	199.97	142.56	1.29559	0.3363	1707.	450	451.80	322.62	2.11161	5.775	223.6
210	209.97	149.69	1.34444	0.3987	1512.	460	462.02	329.97	2.13407	6.245	211.4
220	219.97	156.82	1.39105	0.4690	1346.	470	472.24	337.32	2.15604	6.742	200.1
230	230.02	164.00	1.43557	0.5477	1205.	480	482.49	344.70	2.17760	7.268	189.5
240	240.02	171.13	1.47824	0.6355	1084.	490	492.74	352.08	2.19876	7.824	179.7
250	250.05	178.28	1.51917	0.7329	979.	500	503.02	359.49	2.21952	8.411	170.6
260	260.09	185.45	1.55848	0.8405	887.8	510	513.32	366.92	2.23993	9.031	162.1
270	270.11	192.60	1.59634	0.9590	808.0	520	523.63	374.36	2.25997	9.684	154.1
280	280.13	199.75	1.63279	1.0889	738.0	530	533.98	381.84	2.27967	10.37	146.7
285	285.14	203.33	1.65055	1.1584	706.1	540	544.35	389.34	2.29906	11.10	139.7
290	290.16	206.91	1.66802	1.2311	676.1	550	554.74	396.86	2.31809	11.86	133.1
295	295.17	210.49	1.68515	1.3068	647.9	560	565.17	404.42	2.33685	12.66	127.0
300	300.19	214.07	1.70203	1.3860	621.2	570	575.59	411.97	2.35531	13.50	121.2
305	305.22	217.67	1.71865	1.4686	596.0	580	586.04	419.55	2.37348	14.38	115.7
310	310.24	221.25	1.73498	1.5546	572.3	590	596.52	427.15	2.39140	15.31	110.6
315	315.27	224.85	1.75106	1.6442	549.8	600	607.02	434.78	2.40902	16.28	105.8
320	320.29	228.42	1.76690	1.7375	528.6	610	617.53	442.42	2.42644	17.30	101.2
325	325.31	232.02	1.78249	1.8345	508.4	620	628.07	450.09	2.44356	18.36	96.92
330	330.34	235.61	1.79783	1.9352	489.4	630	638.63	457.78	2.46048	19.44	92.84
340	340.42	242.82	1.82790	2.149	454.1	640	649.22	465.50	2.47716	20.64	88.99
350	350.49	250.02	1.85708	2.379	422.2	650	659.84	473.25	2.49364	21.86	85.34
360	360.58	257.24	1.88543	2.626	393.4	660	670.47	481.01	2.50985	23.13	81.89
370	370.67	264.46	1.91313	2.892	367.2	670	681.14	488.81	2.52589	24.46	78.61
380	380.77	271.69	1.94001	3.176	343.4	680	691.82	496.62	2.54175	25.85	75.50
390	390.88	278.93	1.96633	3.481	321.5	690	702.52	504.45	2.55731	27.29	72.56
400	400.98	286.16	1.99194	3.806	301.6	700	713.27	512.33	2.57277	28.80	69.76
410	411.12	293.43	2.01699	4.153	283.3	710	724.04	520.23	2.58810	30.38	67.07
420	421.26	300.69	2.04142	4.522	266.6	720	734.82	528.14	2.60319	32.02	64.53
430	431.43	307.99	2.06533	4.915	251.1	730	745.62	536.07	2.61803	33.72	62.13
440	441.61	315.30	2.08870	5.332	236.8	740	756.44	544.02	2.63280	35.50	59.82

1. p_r and v_r data for use with Eqs. 6.41 and 6.42, respectively.

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN F

Tarif Dasar Listrik PLN per Maret 2018

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
7.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
11.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
12.	P-3/TR		*)	1.467,28	1.467,28
13.	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

Tarif Dasar Listrik Non-Subsidi Maret 2018

Untuk golongan pelanggan non-subsidi, PLN menerapkan mekanisme *tariff adjustment* (penyesuaian tarif). Kebijakan ini berlaku sejak 1 Januari 2015 sesuai dengan Permen ESDM No. 31 Tahun 2014. *Tariff adjustment* diberlakukan setiap bulan menyesuaikan 3 faktor, yaitu : perubahan nilai tukar rupiah, harga bahan bakar, dan inflasi bulanan.

Dengan mekanisme *tariff adjustment*, harga listrik menyesuaikan kondisi pasar. Tarif dasar listrik non-subsidi per Maret 2018 adalah **Rp 1467,28 / kWh**. Sedangkan untuk golongan R-1/900 VA-RTM yang baru saja mengalami pencabutan subsidi, berlaku tarif sedikit lebih rendah yaitu **Rp 1352 / kWh**.

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN G
Data Rata-Rata Masukan Per-Komponen

KOMPONEN	P_{in} (kPa)	T_{in} (°C)	h_{in} (kJ/kg)	s_{in} (kJ/kg.K)
Receiving Header	650	169.22	2767.104	6.6715052
Separator	650	169.22	2767.104	6.6715052
Demister	650	166.83	2764.74	6.691145
Turbin	600	170.75	2783.532	6.81981202
Kondensor	11.88	48.4	2588.452	8.10312
MCWP	11.88	49.02	2589.556	8.092146

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN H
Data Rata-Rata Keluaran Per-Komponen

KOMPONEN	Pout (kPa)	Tout (°C)	h_f (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)	S_f (kJ/kg.K)	S_g (kJ/kg.K)	S_{fg} (kJ/kg.K)	h_{fg} (kJ/kg)	Daya Generator	ng
Receiving Header	650	169.22	684.08	2759.6	1.9623	6.7322	4.7699	2075.5	54.1638	0.98
Separator	650	166.83	705.2334	2764.6666	2.0103804	6.691438	4.680994	2059.451	54.1638	0.98
Demister	600	170.75	670.38	2756.2	1.9308	6.7593	4.8285	2085.8	54.1638	0.98
Turbin	11.88	48.4	204.6429	2589.3144	0.6889432	8.095521	7.406578	2384.672	54.1638	0.98
Kondensor	11.88	49.02	205.2436	2589.5556	0.6910208	8.092146	7.401125	2384.352	54.1638	0.98
MCWP	304.33	49.02	563.4668	2725.54084	1.6766882	6.987076	5.310387	2162.097	54.1638	0.98

“Halaman ini memang dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Nama penulis yaitu Kadek Chestha Amrita, biasa disapa Chestha. Penulis lahir di Surabaya pada 06 Juni 1996. Penulis adalah puteri kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan formal di SD Hang Tuah 10 Juanda, SMPN 22 Surabaya, dan SMAN 18 Surabaya. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di kegiatan non akademik yaitu sebagai Sekretaris pada acara Bakti Sosial di Pura Jagad Giri Natha, Gresik (2015), Staff Ahli di Departemen Pengabdian Masyarakat TPKH-ITS (2015-2016), Bendahara kegiatan Donor Darah TPKH-ITS (2016), Sekretaris Departemen Pengabdian Masyarakat TPKH-ITS (2016-2017). Lalu, bidang minat yang menjadi fokus penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir yaitu Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan. Pada bulan Juli 2018 penulis telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Thermal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi PT. Indonesia Power UPJP Kamojang”. Penulis sangat terbuka akan kritik dan saran dari pembaca. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi dengan penulis, dapat menghubungi melalui *e-mail* : amritakadek@gmail.com.

