

ANALISIS *THERMAL* PENGARUH *RE-BLADING ROTOR STEAM TURBINE SC-2F* TERHADAP KETIDAKMAMPUAN UNIT 1 *FULL LOAD 60 MW* BERDASARKAN *LOSSES EKSERGI* DAN ENERGI PADA UNIT 1 PEMBANGKIT LISTRIK PANAS BUMI (PLTP) GUNUNG SALAK



PROGRAM STUDY TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2021

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS *THERMAL* PENGARUH *RE-BLADING ROTOR STEAM TURBINE SC-2F* TERHADAP KETIDAKMAMPUAN UNIT 1 *FULL LOAD* 60 MW BERDASARKAN *LOSSES* EKSERGI DAN ENERGI PADA UNIT 1 PEMBANGKIT LISTRIK PANAS BUMI (PLTP) GUNUNG SALAK



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Disusun Oleh:

Nama : Achriyan Widayana
NIM : 41319110087
Program Study : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA 1 (S1)
JANUARI 2021

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS *THERMAL* PENGARUH *RE-BLADING ROTOR STEAM TURBINE SC-2F* TERHADAP KETIDAKMAMPUAN UNIT 1 *FULL LOAD* 60 MW BERDASARKAN *LOSSES* EKSERGI DAN ENERGI PADA UNIT 1 PEMBANGKIT LISTRIK PANAS BUMI (PLTP) GUNUNG SALAK



Disusun Oleh:

Nama : Achriyan Widayana
NIM : 41319110087
Program Study : Teknik Mesin

UNIVERSITAS

MERCU BUANA
Telah diperiksa dan disetujui oleh pembimbing
Pada tanggal: 2 Februari 2021

Mengetahui,

Dosen Pembimbing

Koordinator Tugas Akhir



Alief Avicenna Luthfie, ST, M. Eng
NIP : 216910097

Alief Avicenna Luthfie, ST, M. Eng
NIP : 216910097

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Achriyan Widayana.

N.I.M : 41319110087.

Jurusan : Teknik Mesin.

Fakultas : Teknik.

Judul Skripsi : Analisis *Thermal* Pengaruh *Re-Blading* Rotor *Steam Turbine SC-2F* Terhadap Ketidakmampuan Unit 1 *Full Load* 60 MW Berdasarkan *Losses* Eksergi dan Energi pada Unit 1 Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak.

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Bogor, 2 Februari 2021



Achriyan Widayana

PENGHARGAAN

Alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT telah memberikan segala berkah dan karunia yang tak terhingga dan tak lupa shalawat kepada Baginda Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya yang telah membawa kita semua dari zaman jahiliyah ke zaman yang penuh ilmu pengetahuan dan teknologi seperti saat ini. Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan, petunjuk, dan bantuan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun material. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ngadino Surip, MS selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Ir. Mawardi Amin, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Dr. Nanang Ruhyat, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
4. Bapak Alief Avicenna Luthfie, S.T, M.eng. Selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana sekaligus Dosen Pembimbing yang telah sangat membantu penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
5. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa selama penyusunan laporan tugas akhir.
6. Pak Ervan Ambarita selaku manajer penulis yang telah mengizinkan untuk melanjutkan pendidikan ke jenjang lebih lanjut.
7. Pak Herry Nugraha, Abah Toni Sutrisna & Pak Dedi H. selaku Supervisor Senior (SP. S), Ahli Madya (AMA) Enjiniring & Supervisor (SP) Pemeliharaan Kamojang POMU Unit PLTP Gunung Salak yang telah banyak memberikan masukan serta arahan untuk pengumpulan data Laporan Tugas Akhir.
8. Rekan-rekan kerja Unit PLTP Gunung Salak yang telah banyak menemani penulis selama bekerja.

Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi peneliti umumnya kepada para pembaca.

ABSTRAK

Permintaan dan tekanan pasar mendorong manajemen unit Gunung Salak untuk meningkatkan keandalan dan ketersediaan pembangkit dengan pasokan listrik yang stabil di luar kebutuhan perbaikan atau jadwal pemeliharaan (*Periodic or Corrective Maintenance*). Salah satu langkah dari strategi *maintenance management* guna menunjang keandalan unit pembangkit adalah melakukan penggantian *blade rotor* turbin yang biasa disebut dengan istilah *re-blading*. Menganalisis penyebab ketidakmampuan Unit 1 Gunung Salak *full load* (60 MW) paska dilakukan *re-blading* pada *rotor* turbin uap menjadi tujuan pada penelitian ini. Semakin tingginya konsumsi uap yang masuk turbin merupakan indikasi adanya transfer eksergi dan energi yang dihasilkan oleh sistem tidak maksimal. Berdasarkan kajian pustaka yang telah dilakukan, ditetapkan penggunaan metode analisis identifikasi aliran energi dan eksergi untuk menentukan besarnya kerugian energi dan eksergi yang terjadi pada sistem turbin uap. Analisis efisiensi *thermal* berdasarkan hukum termodinamika juga digunakan sebagai pembanding dan keakuratan data. Efisiensi *thermal* maksimum 21,5% pada tahun 2018; 21,76% pada tahun 2019, dan turun menjadi 21,72% pada tahun 2020. *Losses* eksergi dan energi pada tahun 2020 mencapai nilai 53,12 MWe dan 53,10 MW dari total energi yang masuk ke area turbin sebesar 370,3 MW. *Irreversibility* tertinggi turbin unit 1 PLTP Gunung Salak sebesar 52,63 MW (2020); 46,6 MW (2019), 48 MW (2018). Keakuratan data dengan data *commissioning* memperlihatkan bahwa nilai efisiensi energi yang terjadi pada turbin tahun 2020 mengalami peningkatan 0,93 % setelah *up-rating* (2005). Artinya, *re-blading* bukan menjadi penyebab ketidakmampuan Unit 1 Gunung Salak tidak mampu *full load* 60 (MW).

Kata Kunci: Eksergi, Efisiensi, Turbin, *Re-Blading*

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

**THERMAL ANALYSIS EFFECT OF RE-BLADING ROTOR STEAM TURBINE
SC-2F ON INABILITY UNIT 1 FULL LOAD 60 MW BASED ON
EXERGY AND ENERGY LOSSES OF MOUNT SALAK
GEOTHERMAL POWER PLANT**

ABSTRACT

Demands and market pressures encourage Mount Salak management to increase the reliability and availability of a plant with a stable electricity supply exclude the requirements repairs or maintenance schedules (Periodic or Corrective Maintenance). One of the steps of the strategy maintenance management to support the reliability of the generating unit is to replace the rotor turbine blades, which are commonly referred to as re-blading. Analyzing the cause of the inability of the unit 1 Mount Salak full load (60 MW) post be re-blading on a rotor steam turbine is the aim of this study. The higher the consumption of steam entering the turbine is an indication that the transfer of exergy and energy generated by the system is not optimal. Based on the literature review that has been carried out, this study determines the use of the analysis method of energy flow identification and exergy to determine the amount of energy loss and exergy that occurs in the steam turbine system. Maximum Efficiency thermal 21.5% in 2018; 21.76% in 2019, and decreased to 21.72% in 2020. Exergy and energy losses in 2020 reached a value of 53.12 MWe and 53.10 MW of total energy into the turbine area of 370.3 MW. Irreversibility highest turbine unit 1 of the Gunung Salak PLTP of 52.63 MW (2020); 46.6 MW (2019), 48 MW (2018). The accuracy of the data with the data commissioning shows that the energy efficiency value that occurs in the 2020 turbine has increased by 0.93% after the up-rating (2005). This means that re-blading is not the cause of the inability of Unit 1 Gunung Salak to be unable to full load 60 (MW).

Keywords: Exergy, Efficiency, Turbine, Re-Blading

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL dan SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN	3
1.4. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	3
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. ENERGI PANAS BUMI	6
2.2. PROSES KERJA PLTP GUNUNG SALAK	8
2.3. TURBIN UAP UNIT 1 PLTP GUNUNG SALAK	10
2.3.1. <i>History Kerusakan Rotor Turbine SC-2F PLTP Gunung Salak</i>	12
2.3.2. Siklus Kerja PLTP Gunung Salak	16
2.3.3. Perhitungan Efisiensi <i>Thermal Plant</i>	19
2.4. SISTEM TERMODINAMIKA	23

2.5. ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI	24
2.5.1. Analisis Energi	24
2.5.2. Analisis Eksergi	28
2.6. MACAM-MACAM EKSERGI	30
2.7. PERHITUNGAN ENERGI DAN EXERGI TURBIN	34
BAB III METODOLOGI	36
3.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN	36
3.1.1. <i>Flowchart</i> Pengumpulan Data	38
3.1.2. <i>Flowchart</i> Pengolahan Data	39
3.2. ALAT DAN BAHAN	40
3.2.1. Alat Penelitian	40
3.2.2. Bahan Penelitian	40
3.2.2.1. Data Parameter Penggunaan Uap Turbin <i>Type SC-2F</i>	41
3.2.2.2. Data Observasi 5 September 2018	42
3.2.2.3. Data Observasi 5 September 2019	43
3.2.2.4. Data Observasi 5 September 2020	43
3.2.2.5. Lingkungan Sebagai Acuan Perhitungan	44
3.3. PEMODELAN AREA ANALISIS DAN RUMUS PERHITUNGAN	45
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	47
4.1. PENGOLAHAN DATA	47
4.1.1. Hasil Perhitungan 5 September 2018	51
4.1.2. Hasil Perhitungan 5 September 2019	53
4.1.3. Hasil Perhitungan 5 September 2020	55
4.2. ANALISIS DATA	56
4.3. PELUANG PERBAIKAN	66
BAB V PENUTUP	69
5.1. KESIMPULAN	69

5.2. SARAN	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	74



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Lokasi <i>Geothermal Power Plant</i> di Indonesia	6
Gambar 2. 2. Proses Kerja PLTP Gunung Salak	9
Gambar 2. 3. Turbin Uap Unit 1 Gunung Salak	10
Gambar 2. 4. <i>Overview</i> Turbin Uap Unit 1 Gunung Salak	11
Gambar 2. 5. Kerusakan <i>Rotor</i> Turbin Unit 1 PLTP G. Salak	13
Gambar 2. 6. <i>Trend</i> Parameter Beban <i>Netto</i> Unit 1 PLTP Gunung Salak 2018	14
Gambar 2. 7. <i>Trend</i> Parameter Beban <i>Netto</i> Unit 1 PLTP Gunung Salak 2019	14
Gambar 2. 8. <i>Trend</i> Parameter Beban <i>Netto</i> Unit 1 PLTP Gunung Salak 2020	14
Gambar 2. 9. Hasil Inspeksi <i>Blade Rotor Turbine SC-2F</i>	15
Gambar 2. 10. Proser Pekerjaan <i>Re-Blading</i>	15
Gambar 2. 11. <i>Cutting Row Blade Rotor</i>	16
Gambar 2. 12. Skema Diagram Siklus Penguapan Tunggal (<i>Single Flash Cycle</i>)	17
Gambar 2. 13. Diagram T-S untuk siklus penguapan tunggal (<i>Single Flash Cycle</i>)	17
Gambar 2. 14. Skema Interpolasi	20
Gambar 2. 15. Eksergi Sebagai Jumlah dan Kualitas Energi	29
Gambar 2. 16. Gambaran Eksergi Pembangkit	29
Gambar 3. 1. <i>Flowchart</i> Penelitian	36
Gambar 3.2. <i>Flowchart</i> Pengumpulan Data	38
Gambar 3.3. <i>Flowchart</i> Pengolahan Data	39
Gambar 3.4. Grafik Persentase Kandungan NCG Berdasarkan Jam Operasi	42
Gambar 3.5. Pemodelan Area Analisis	45
Gambar 4.1. Grafik Fraksi Uap Berdasarkan Jam Operasi	57
Gambar 4.2. Grafik Efisiensi Isentropik Turbin Berdasarkan Jam Operasi	58
Gambar 4.3. Grafik Tekanan Kondensor Berdasarkan Jam Operasi	58
Gambar 4.4. Grafik Daya Turbin Isentropik Berdasarkan Jam Operasi	59
Gambar 4.5. Grafik Efisiensi <i>Thermal</i> Berdasarkan Jam Operasi	60
Gambar 4.6. Grafik Konsumsi Uap Berdasarkan Jam Operasi	60
Gambar 4.7. Grafik Nilai Eksergi Berdasarkan Jam Operasi	61
Gambar 4.8. Grafik Nilai Energi Berdasarkan Jam Operasi	61
Gambar 4.9. Grafik Nilai <i>Losses</i> Eksergi Berdasarkan Jam Operasi	62
Gambar 4.10. Grafik Nilai <i>Losses</i> Energi Berdasarkan Jam Operasi	63

Gambar 4.11. Grafik Nilai <i>Irreversibilitas</i> Berdasarkan Jam Operasi	64
Gambar 4.12. Grafik Nilai <i>Waste</i> Energi Berdasarkan Jam Operasi	65
Gambar 4.13. Grafik Nilai Efisiensi Eksergi Berdasarkan Jam Operasi	65
Gambar 4.14. Grafik Efisiensi Energi Berdasarkan Jam Operasi	66



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Turbin Uap Unit 1 Gunung Salak	11
Tabel 2.2. Hasil Investigasi Paska <i>Black Out</i> 2019	12
Tabel 2.3. Riwayat Kerusakan dan Gangguan <i>Rotor</i> Turbin Unit 1 PLTP Gunung Salak	13
Tabel 3.1. Komposisi Uap Gunung Salak	40
Tabel 3.2. Data Penggunaan Uap Pada Tanggal 5 September 2018	42
Tabel 3.3. Data Penggunaan Uap Pada Tanggal 5 September 2019	43
Tabel 3.4. Data Penggunaan Uap Pada Tanggal 5 September 2020	44
Tabel 3.5. Referensi Lingkungan	45
Tabel 4.1. Tabel <i>Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor)</i>	47
Tabel 4.2. Tabel <i>Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor)</i>	48
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Pada Tanggal 5 September 2018	52
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Energi dan Eksergi Turbin Pada Tanggal 5 September 2018	53
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Pada Tanggal 5 September 2019	54
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Energi dan Eksergi Turbin Pada Tanggal 5 September 2019	54
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Pada Tanggal 5 September 2020	55
Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Energi dan Eksergi Turbin Pada Tanggal 5 September 2020	56
Tabel 4.9. Perbandingan Data Kinerja Turbin Setelah <i>Up-rating</i> Dengan Kondisi Saat Ini	67

DAFTAR SIMBOL dan SINGKATAN

Lambang	Keterangan	Satuan
E	Energi	[W]
X	Eksergi	[W]
I	Ireversibilitas	[W]
L	Panjang	[m]
\dot{m}	Laju aliran massa	[kg/s]
n	Putaran mesin	[rpm]
w	Keluaran	[W]
p	Tekanan	[bar]
s	Entropi Spesifik	[kJ/kg-K]
h	Entalpi Spesifik	[kJ/kg]
T	Temperatur	[K]
t	Waktu	[s]
V	Volume	m ³
v	Kecepatan	[m/s]
η	Efisiensi	[%]
NCG	<i>Non Condensable Gas</i>	[%]
t	Turbin	
g	Generator	
0	<i>Dead State</i> (Keadaan sama dengan lingkungan)	

UNIVERSITAS
MERCU BUANA