



**ANALISIS PENGARUH VARIASI BEBAN TURBIN GAS
TERHADAP EFISIENSI *HEAT RECOVERY STEAM*
GENERATOR TIPE *TRIPLE PRESSURE REHEAT* UNIT 4.2
PLTGU X**

SKRIPSI

REZA ARNANDA

1810311064

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
2022**



**ANALISIS PENGARUH VARIASI BEBAN TURBIN GAS
TERHADAP EFISIENSI *HEAT RECOVERY STEAM*
GENERATOR TIPE TRIPLE PRESSURE REHEAT UNIT 4.2
PLTGU X**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik**

REZA ARNANDA

1810311064

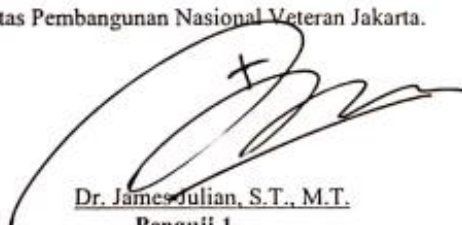
**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
2022**

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Reza Arnanda
NIM : 1810311064
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH VARIASI BEBAN TURBIN
GAS TERHADAP EFISIENSI *HEAT RECOVERY*
STEAM GENERATOR TIPE *TRIPLE PRESSURE*
REHEAT UNIT 4.2 PLTGU X

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.




Dr. James Julian, S.T., M.T.

Penguji 1




Dr. Fayza Yulia, S.T., M.T.

Penguji 2



Dr. Damora Rhakasywi, S.T., M.T., IPP

Penguji 3



Dr. Ir. Reda Rizal, B.Sc., M.Si., IPU
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Muchamad Oklaviandri Syas,
M.T., IPM., P.Eng., ASEAN.Eng.

Kepala Program Studi

Disahkan di : Jakarta

Pada tanggal : 29 Juni 2022

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

**ANALISIS PENGARUH VARIASI BEBAN TURBIN GAS TERHADAP
EFISIENSI *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR* TIPE *TRIPLE
PRESSURE REHEAT* UNIT 4.2 PLTGU X**

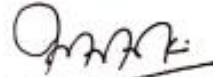
Dipersiapkan dan disusun oleh:

REZA ARNANDA
1810311064

Menyetujui,



Dr. Damora Rhakasywi, S.T., M.T., IPP
Pembimbing I



Fahrudin, S.T., M.T.
Pembimbing II

Mengetahui,



Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri Syas, M.T., IPM., P.Eng., ASEAN.Eng.
Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Reza Arnanda
NIM : 1810311064
Program Studi : Teknik Mesin

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 29 Juni 2022

Yang Menyatakan,



(Reza Arnanda)

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reza Arnanda
NIM : 1810311064
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Rights*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

ANALISIS PENGARUH VARIASI BEBAN TURBIN GAS TERHADAP
EFISIENSI *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR* TIPE *TRIPLE PRESSURE
REHEAT* UNIT 4.2 PLTGU X

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mengaplikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada Tanggal : 29 Juni 2022

Yang menyatakan,


(Reza Arnanda)

**ANALISIS PENGARUH VARIASI BEBAN TURBIN GAS TERHADAP
EFISIENSI *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR* TIPE *TRIPLE
PRESSURE REHEAT* UNIT 4.2 PLTGU X**

Reza Arnanda

ABSTRAK

Kebutuhan listrik selalu berubah-ubah karena dipengaruhi oleh permintaan konsumen. Permintaan konsumsi energi listrik yang berubah-ubah harus diikuti dengan jumlah dan ketersediaan beban yang dihasilkan oleh pembangkit. PLTGU X sering mengalami perubahan beban dimana perubahan tersebut akan memengaruhi kinerja dari komponen lainnya khususnya HRSG. HRSG adalah alat untuk menghasilkan uap dengan cara memanfaatkan panas gas buang keluaran PLTG. Perhitungan menggunakan data operasioanal HRSG Unit 4.2 pada tanggal 18 Januari 2022 dengan menggunakan variasi beban antara 205 MW hingga 250 MW. Proses perhitungan dilakukan secara teori dan simulasi menggunakan *Cycle Tempo Release 5.0*. Dari hasil perhitungan didapat bahwa variasi beban turbin gas dapat memengaruhi kinerja dari HRSG. Efisiensi energi HRSG mengalami penurunan saat mencapai beban tinggi. Efisiensi energi mengalami kenaikan dari beban 210 MW kemudian terjadi tren penurunan pada beban 220 MW hingga 250 MW. Efisiensi eksergi HRSG juga meningkat seiring dengan bertambahnya beban turbin gas. Efisiensi eksergi turbin uap mengalami peningkatan dengan bertambahnya temperatur gas masuk HRSG. Efisiensi mengalami tren kenaikan dari temperatur 594°C hingga 612,13 °C. Temperatur gas masuk HRSG memengaruhi efisiensi siklus daya uap meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur gas buang masuk HRSG. *Heat transfer rate* meningkat seiring bertambahnya beban turbin gas. *Heat transfer rate* meningkat dari beban 205 MW sebesar 3702535 kJ/s hingga 250 MW sebesar 4232602,069 kJ/s.

Kata Kunci: HRSG, Efisiensi Energi, Efisiensi Eksergi, *Heat Transfer Rate*

**ANALYSIS OF GAS TURBINE LOAD VARIATION EFFECT ON
HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR TRIPLE PRESSURE REHEAT
TYPE UNIT 4.2 PLTGU X**

Reza Arnanda

ABSTRACT

Electricity needs are always changing because it is influenced by consumer demand. The changing demand for electrical energy consumption must be followed by the amount and availability of loads generated by the generator. PLTGU X often experiences load changes where these changes will affect the performance of other components, especially HRSG. HRSG is a tool to produce steam by utilizing the heat of exhaust gas from PLTG. Calculations using HRSG Unit 4.2 operational data on January 18, 2022 using load variations between 205 MW to 250 MW. The calculation process is carried out in theory and simulation using Cycle Tempo Release 5.0. From the calculation results, it is found that the variation of the gas turbine load can affect the performance of the HRSG. HRSG's energy efficiency decreases when it reaches high loads. Energy efficiency has increased from a load of 210 MW and then a downward trend occurs at a load of 220 MW to 250 MW. The HRSG's exergy efficiency also increases as the gas turbine load increases. The exergy efficiency of the steam turbine increases with the increase in the HRSG inlet gas temperature. Efficiency has an increasing trend from 594°C to 612.13°C. The temperature of the HRSG inlet gas affects the efficiency of the steam power cycle which increases with the increase in the temperature of the exhaust gas entering the HRSG. The heat transfer rate increases as the gas turbine load increases. The heat transfer rate increased from a load of 205 MW of 3702535 kJ/s to 250 MW of 4232602,069 kJ/s.

Keywords: *HRSG, Energy Efficiency, Exergy Efficiency, Heat Transfer Rate*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "**ANALISIS PENGARUH VARIASI BEBAN TURBIN GAS TERHADAP EFISIENSI *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR* TIPE *TRIPLE PRESSURE REHEAT* UNIT 4.2 PLTGU X**". Penulis menyadari bahwa penelitian ini dapat terwujud dengan baik dengan bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak, baik secara langsung dan tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas karunia dan petunjuk-Nya yang telah diberikan kepada penulis.
2. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan do'a dan dukungan.
3. Bapak Dr. Ir. Reda Rizal, B.S., M.Si., IPU selaku Dekan Fakultas Teknik.
4. Bapak Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri Syas, M.T., IPM., P.Eng., ASEAN.Eng. selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
5. Bapak Dr. Damora Rhakasywi, S.T., M.T., IPP. dan bapak Fahrudin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan II yang telah memberikan arahan dalam menyusun penelitian ini.
6. Bapak Dr. James Julian, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Fayza Yulia, S.T., M.T. selaku Penguji I dan II yang telah memberikan arahan dalam menyusun penelitian ini.
7. Muhammad Hizbullah Abrori dan Muhammad Reyhan selaku mentor praktik kerja lapangan yang telah membantu dalam penelitian ini.
8. Muhammad Jive Bimasakti, Rizki Maulana, Febryan Andhika Saputra, dan seluruh angkatan Teknik mesin 2018 yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini.
9. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat

membangun guna mencapai kesempurnaan pada penelitian ini. Akhir kata, penulis mengharapkan semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jakarta, 29 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iii
PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat.....	5
1.6 Sistematika Penelitian.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Definisi dan Prinsip Kerja Siklus Kombinasi di PLTGU.....	7
2.2 HRSG.....	10
2.2.1 Definisi HRSG.....	10
2.2.2 Komponen Penyusun HRSG.....	11
2.2.3 Klasifikasi HRSG.....	15
2.2.4 Analisis Termodinamika.....	20
2.2.5 Analisis Heat Transfer Rate pada HRSG.....	30
2.3 Perangkat Lunak Cycle Tempo Release 5.0.....	37

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	43
3.1 Lokasi dan Waktu Pengambilan Data	43
3.2 Tahapan Penelitian.....	43
3.2.1 Identifikasi Masalah.....	43
3.2.2 Studi Literatur	43
3.2.3 Teknik Pengumpulan Data	43
3.2.4 Teknik Pengolahan Data.....	48
3.2.5 Teknik Perhitungan Data	48
3.2.6 Tahapan Simulasi.....	49
3.2.7 Teknik Analisis Data	56
3.3 Diagram Alir	57
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	58
4.1 Data Operasional Unit 4.2	58
4.2 Perhitungan HRSG Unit 4.2	61
4.3 Analisis Perhitungan.....	64
BAB 5 SIMPULAN DAN SARAN.....	120
5.1 Simpulan.....	120
5.2 Saran	121
DAFTAR PUSTAKA	
RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi HRSG blok IV	44
Tabel 3.2 Data Spesifikasi Tube.....	45
Tabel 3.3 Data Operasional yang Dibutuhkan	46
Tabel 3.4 Wawancara Operator CCR blok IV	47
Tabel 4.1 Data Operasional Turbin Gas Unit 4.2.....	58
Tabel 4.2 Data Operasional Sistem <i>High Pressure</i> HRSG Unit 4.2.....	59
Tabel 4.3 Data Operasional Sistem <i>Intermediate Pressure</i> HRSG Unit 4.2.....	59
Tabel 4.4 Data Operasional Sistem <i>Low Pressure</i> HRSG Unit 4.2	60
Tabel 4.5 Data Operasional Sistem <i>Reheat</i> HRSG Unit 4.2	60
Tabel 4.6 Data Operasional Turbin Uap.....	61
Tabel 4.7 Efisiensi Eksergi pada Setiap Komponen HRSG Unit 4.2.....	63
Tabel 4.8 Laju Destruksi Eksergi pada Setiap Komponen HRSG Unit 4.2	64
Tabel 4.9 Nilai Entalpi Setiap Komponen <i>Steam</i> terhadap Variasi Beban	65
Tabel 4.10 Nilai Entalpi Setiap Komponen <i>Feedwater</i> terhadap Variasi Beban .	65
Tabel 4.11 Nilai Entalpi Setiap Parameter terhadap Variasi Beban.....	66
Tabel 4.12 Nilai Entalpi Setiap Parameter Q_{in} terhadap Variasi Beban.....	66
Tabel 4.13 Nilai Laju Aliran Energi Panas Setiap Parameter terhadap Variasi Beban.....	68
Tabel 4.14 Nilai Efisiensi Energi HRSG terhadap Variasi Beban	70
Tabel 4.15 Nilai Entropi Setiap Komponen <i>Steam</i> terhadap Variasi Beban.....	71
Tabel 4.16 Nilai Entropi Setiap Komponen <i>Feedwater</i> terhadap Variasi Beban.	71
Tabel 4.17 Nilai Entropi Setiap Parameter E_{in} terhadap Variasi Beban.....	72
Tabel 4.18 Tabel Laju Eksergi terhadap Variasi Beban.....	76
Tabel 4.19 Tabel Efisiensi Eksergi terhadap Variasi Beban	84
Tabel 4.20 Tabel Efisiensi Siklus Dayau Uap dan Eksergi Turbin terhadap Temperatur Gas Buang Masuk HRSG.....	87
Tabel 4.21 <i>Properties of Superheated Water Vapor</i>	88
Tabel 4.22 Nilai Entropi Setiap Komponen <i>Feedwater</i> terhadap Variasi Beban.	90
Tabel 4.23 <i>Properties of Gases at Atmospheric Pressure</i>	91

Tabel 4.24 Temperatur Gas Buang Keluar Tiap Komponen Berdasarkan Variasi Beban.....	92
Tabel 4.25 Nilai <i>Reynold Number</i> Tiap Komponen terhadap Variasi Beban	94
Tabel 4.26 Nilai Koefisien Perpindahan Panas Di Luar Pipa Tiap Komponen terhadap Variasi Beban	95
Tabel 4.27 Nilai Beban Panas per Tube Tiap Komponen terhadap Variasi Beban	96
Tabel 4.28 <i>Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids</i>	97
Tabel 4.29 <i>Properties of Gases at Atmospheric Pressure</i>	98
Tabel 4.30 Nilai Nusselt Number Tiap Komponen terhadap Variasi Beban	99
Tabel 4.31 Nilai Entropi Setiap Komponen <i>Feedwater</i> terhadap Variasi Beban	100
Tabel 4.32 Nilai <i>Overall Heat Transfer Coefficient</i> Tiap Komponen terhadap Variasi Beban	101
Tabel 4.33 Nilai <i>Log Mean Temperature Difference</i> Tiap Komponen terhadap Variasi Beban	103
Tabel 4.34 Nilai Laju Perpindahan Panas terhadap Variasi Beban.....	104

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Siklus <i>Brayton</i> Terbuka	8
Gambar 2.2 Siklus <i>Brayton</i> Sederhana (a) Diagram p-v (b) Diagram T-s	8
Gambar 2.3 Skema Siklus <i>Rankine</i> Sederhana.....	9
Gambar 2.4 Diagram T-s Siklus <i>Rankine</i> Sederhana	9
Gambar 2.5 Skema Siklus Kombinasi PLTGU	10
Gambar 2.6 Komponen Utama HRSG	12
Gambar 2.7 Pompa	12
Gambar 2.8 <i>Blowdown Tank</i>	13
Gambar 2.9 <i>DeSuperheater</i>	13
Gambar 2.10 <i>Steam Drum</i>	14
Gambar 2.11 (a) Sirkulasi Natural; (b) Sirkulasi Paksa	16
Gambar 2.12 (a) <i>Unfired</i> ; (b) <i>Supplementary Fired</i>	18
Gambar 2.13 Skema HRSG Blok IV	18
Gambar 2.14 Heat Balance pada HRSG.....	20
Gambar 2.15 Aliran Fluida Melintasi (a) <i>Aligned Tube</i> dan (b) <i>Staggered Tube</i> 32	
Gambar 2.16 <i>Constants for The Tube Bank in Cross Flow</i>	33
Gambar 2.17 Susunan <i>Tube</i> (a) <i>Aligned</i> , (b) <i>Straggered</i>	34
Gambar 2.18 Antar Muka Perangkat Lunak <i>Cycle Tempo Release 5.0</i>	38
Gambar 3.1 Tampilan Diagram Sistem Turbin Uap dengan HRSG Tipe <i>Triple Pressure Reheat</i>	50
Gambar 3.2 Data Laju Aliran Massa, Temperatur, dan Tekanan Gas Buang	51
Gambar 3.3 (a) dan (b) Data Komposisi Gas Buang.....	51
Gambar 3.4 (a), (b), dan (c) Data Uap yang Dipanaskan	52
Gambar 3.5 Data Uap Keluar Turbin	53
Gambar 3.6 Data Asumsi Turbin.....	53
Gambar 3.7 Kotak Dialog yang Menunjukkan Bahwa Proses telah Selesai dan Berhasil	53
Gambar 3.8 Pilihan Hasil pada Menu View	54

Gambar 3.9 Tampilan Hasil Simulasi Sistem Turbin Uap: (a) Hasil Keseluruhan, (b) Keseimbangan Energi, (c) Peralatan Penukar Panas, dan (d) Efisiensi Sistem	55
Gambar 3.10 Diagram Alir	57
Gambar 4.1 Siklus Daya Uap dengan HRSG Tipe Triple Pressure <i>Reheat</i>	62
Gambar 4.2 Perpindahan Panas yang Terjadi pada HP Steam Tube.....	96
Gambar 4.3 Nilai Faktor Koreksi LMTD untuk <i>Heat Exchanger</i> pada beban minimum	102
Gambar 4.4 Pengaruh Variasi Beban Turbin Gas Efisiensi Energi HRSG	105
Gambar 4.5 Pengaruh Variasi Beban Turbin Gas Efisiensi Energi HRSG	106
Gambar 4.6 Pengaruh Variasi Beban Turbin Gas Efisiensi Energi HRSG	107
Gambar 4.7 Pengaruh Variasi Beban Turbin Gas terhadap Efisiensi Energi Sistem IP	108
Gambar 4.8 Pengaruh Variasi Beban Turbin Gas terhadap Efisiensi Energi Sistem LP	109
Gambar 4.9 Pengaruh Variasi Beban Turbin Gas terhadap Efisiensi Energi Sistem RH.....	110
Gambar 4.10 Pengaruh Variasi Beban Turbin Gas Efisiensi Energi HRSG	111
Gambar 4.11 Pengaruh Variasi Beban Turbin Gas Efisiensi Eksergi HRSG ...	112
Gambar 4.12 Pengaruh Variasi Beban Turbin Gas terhadap Efisiensi Eksergi pada Setiap Komponen	113
Gambar 4.13 Pengaruh Variasi Beban Turbin Gas terhadap Laju Destruksi Eksergi pada Setiap Komponen	114
Gambar 4.14 Pengaruh Temperatur Gas Masuk HRSG terhadap Efisiensi Eksergi Turbin Uap	115
Gambar 4.15 Pengaruh Temperatur Gas Masuk HRSG terhadap Efisiensi Siklus Tenaga Uap	116
Gambar 4.16 Pengaruh Variasi Beban Turbin Gas terhadap Heat Transfer Rate HRSG	117