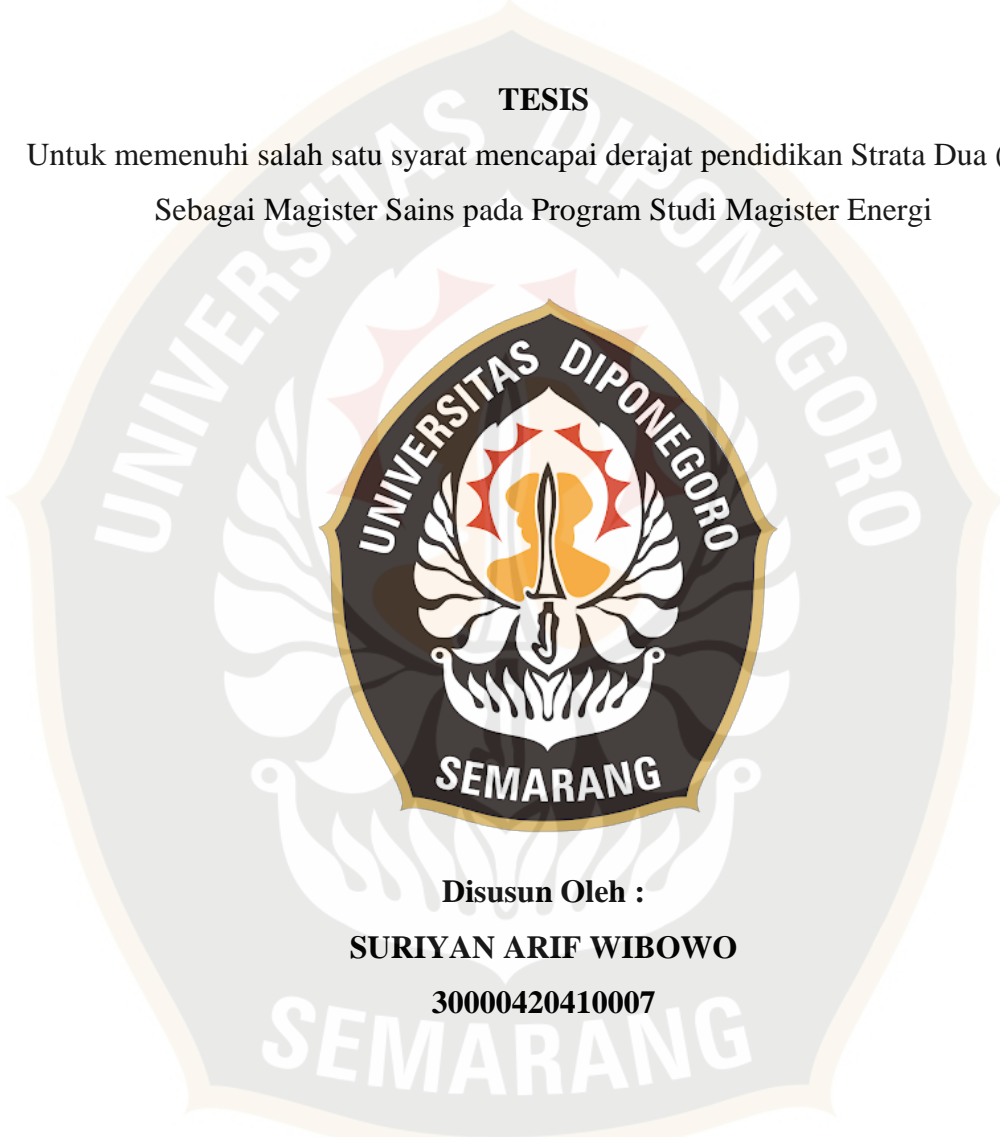


**AUDIT ENERGI DETAIL PADA PLTU BATUBARA DENGAN
MEMBANDINGKAN PARAMETER OPERASI AKTUAL
DENGAN KOMISIONING**

TESIS

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat pendidikan Strata Dua (S-2)
Sebagai Magister Sains pada Program Studi Magister Energi



Disusun Oleh :

SURIYAN ARIF WIBOWO

30000420410007

**PROGRAM MAGISTER ENERGI
SEKOLAH PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2021

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 25 September 2021

Materai

Suriyan Arif Wibowo
NIM. 30000420410007

Sekolah Pascasarjana

**HALAMAN PENGESAHAN
TESIS**

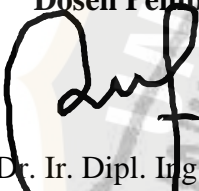
**AUDIT ENERGI DETAIL PADA PLTU BATUBARA DENGAN
MEMBANDINGKAN PARAMETER OPERASI AKTUAL
DENGAN KOMISIONING**

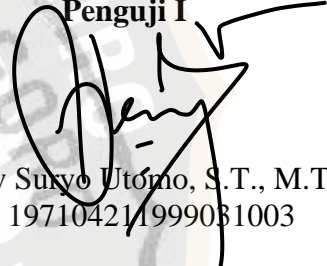
Disusun oleh :
SURIYAN ARIF WIBOWO
30000420410007

**Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji
Pada tanggal 25 September 2021**

Tim Penguji,

Dosen Pembimbing I



(Prof. Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK)
NIP. 195907221987031003


(M.S.K. Tony Sukyo Utomo, S.T., M.T., PhD)
NIP. 197104211999031003

Dosen Pembimbing II

(Dr.Ir. Jaka Windarta, MT)
NIP. 196405261989031002

Penguji II


(Dr. Ir. Hermawan)
NIP. 196002231986021001

**Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh
gelar Magister Energi
Tanggal 25 September 2021**

Dekan Sekolah Pascasarjana

Kaprodi Magister Energi

Sekolah Pascasarjana

(Dr. Rb. Sularto, SH., M. HUM)
NIP 196701011991031005

(Dr.Ir. Jaka Windarta, MT)
NIP. 196405261989031002

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Suriyan Arif Wibowo
NIM : 30000420410007
Program Studi : Magister Energi
Sekolah : Program Pascasarjana
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**AUDIT ENERGI DETAIL PADA PLTU BATUBARA DENGAN
MEMBANDINGKAN PARAMETER OPERASI AKTUAL DENGAN
KOMISIONING**

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak bebas Royalti Noneksklusif ini Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database) merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta

Dibuat di : Semarang
Pada tanggal : **September 2021**
Yang menyatakan

Sekolah ^{Materai} Pascasarjana

Nama : Suriyan Arif Wibowo
NIM : 30000420410007

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas berkah dan karuniaNya, sehingga saya dapat menyelesaikan tesis yang berjudul Audit Energi Detail Pada PLTU Batubara dengan Membandingkan Parameter Operasi Aktual dengan Komisioning. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Energi pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dalam penyusunan tesis ini, khususnya kepada :

1. Dr. Rb. Sularto, SH., M. HUM, selaku Dekan Pascasarjana, Universitas Diponegoro Semarang.
2. Dr.Ir. Jaka Windarta, MT, selaku Ketua Program Studi Magister Energi Universitas Diponegoro Semarang dan selaku Dosen Pembimbing atas waktu, tenaga, arahan dan saran dalam membimbing penulis mengerjakan proposal.
3. Prof. Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK, selaku Dosen Pembimbing atas waktu, tenaga, arahan dan saran dalam membimbing penulis mengerjakan proposal.
4. Segenap manajemen, pegawai dan enjiner efisiensi PLTU XYZ yang telah membantu proses pengambilan data tesis, arahan, dan masukannya.
5. Keluarga dan kedua orang tua yang selalu mendukung dan memberi semangat.
6. Bapak dan Ibu dosen Magister Energi yang telah memberikan ilmunya.
7. Teman - teman Magister Energi atas kerjasamanya selama ini.

Saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan guna penyempurnaan dan pengembangan proposal ini ke arah yang lebih baik.

Semarang, 25 September 2021
Penyusun

Suriyan Arif Wibowo

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN TESIS	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DATAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian	4
I.4. Manfaat Penelitian	4
I.5. Originalitas Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
II.1. Audit Energi pada Sektor Industri.....	9
II.2. Proses Produksi PLTU Batubara	10
II.3. Listrik Pemakaian Sendiri	12
II.4. Analisa Efisiensi Boiler.....	13
II.4.1. Efisiensi boiler metode langsung.....	14
II.4.2. Efisiensi boiler metode kerugian panas	15

II.5. Analisa <i>Turbine Heat Rate</i>	22
II.6. Analisa <i>Plant Heat Rate</i>	23
II.7. Analisa Efisiensi Turbin Isentropik.....	24
II.8. Analisa Kinerja <i>Feedwater Heater</i>	26
II.9. Analisa Kinerja <i>Air Preheater</i>	28
II.10. Faktor Koreksi Perubahan Parameter Operasi Terhadap NPHR.....	29
II.11. Perubahan Parameter Operasi dan Kinerja Peralatan Utama Terhadap NPHR.....	30
II.12. Perubahan Biaya Bahan Bakar Akibat Perubahan Heat Rate	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
III.1. Lokasi Penelitian dan Jadwal Penelitian	33
III.2. Jenis Penelitian.....	33
III.3. Kerangka Pikir Penelitian	34
III.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	35
III.5. Jenis dan Sumber Data.....	35
III.6. Teknik Pengumpulan Data.....	35
III.7. Teknik Analisa Data.....	40
BAB IV PEMBAHASAN.....	44
IV.1. Menentukan Efisiensi Generator.....	44
IV.2. Menentukan Listrik Pemakaian Sendiri , Kerugian GT, dan Kerugian UAT	46
IV.3. Menentukan Efisiensi Boiler	46
IV.3.1. Menentukan Efisiensi Boiler Metode Langsung.....	47
IV.3.2. Menentukan Efisiensi Boiler Metode Kerugian Panas	48

IV.4. Menentukan <i>Turbine Heat Rate</i>	53
IV.5. Menentukan <i>Plant Heat Rate</i>	55
IV.6. Menentukan Efisiensi Turbin Isentropik	56
IV.7. Menentukan Kinerja <i>Feedwater Heater</i> (FWH)	59
IV.8. Menentukan Kinerja <i>Air Preheater</i> (APH)	61
IV.9. Menetapkan Nilai Benchmark Parameter Operasi dan Kinerja Peralatan Utama	64
IV.10. Menganalisa Deviasi Antara <i>Net Plant Heat Rate</i> (NPHR) Aktual dan Komisioning	66
IV.10.1. Kerugian Operator Controllable	67
IV.10.2. Kerugian Plant Controllable	69
IV.10.3. Kerugian Turbine Cycle Component	71
IV.10.4. Kerugian Boiler Component	73
IV.10.5. Kerugian lain	75
IV.10.6. Kerugian yang Tidak Teridentifikasi	76
IV.11. Menentukan Peluang dan Rekomendasi Penghematan Energi	77
BAB V PENUTUP	85
V.1. Kesimpulan	85
V.2. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	87

Sekolah Pascasarjana

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Ringkasan penelitian terdahulu	4
Tabel 2.1. Faktor perubahan NPHR akibat perubahan nilai parameter operasi dan kinerja peralatan utama PLTU (Southern-Company, 2004)	30
Tabel 3.1. Jadwal penelitian.....	33
Tabel 3.2. Hasil komisioning unit 3	36
Tabel 3.3. Parameter operasi sistem turbin	38
Tabel 3.4. Parameter operasi sistem boiler	39
Tabel 3.5. Parameter proximate analysis batubara.....	39
Tabel 3.6. Parameter ultimate analysis batubara.....	40
Tabel 3.7. Parameter unburnt carbon analysis pada abu	40
Tabel 3.8. Faktor kerugian NPHR dan biaya bahan bakar.....	42
Tabel 4.1. Data dan perhitungan daya turbin dan efisiensi generator	44
Tabel 4.2. Data dan perhitungan total listrik pemakaian sendiri, kerugian GT, dan kerugian UAT.....	46
Tabel 4.3. Data pengukuran dan perhitungan efisiensi boiler metode langsung ...	48
Tabel 4.4. Hasil proximate analysis batubara	49
Tabel 4.5. Hasil ultimate analysis batubara	49
Tabel 4.6 Hasil analisa kandungan karbon dalam abu	49
Tabel 4.7 Data pengukuran parameter operasi boiler	50
Tabel 4.8 Hasil perhitungan kebutuhan udara pembakaran	51
Tabel 4.9 Hasil perhitungan kerugian boiler, heat credit dan efisiensi boiler metode kerugian panas.....	52
Tabel 4.10. Data pengukuran dan perhitungan GTHR dan NTHR.....	54
Tabel 4.11 Hasil perhitungan GPHR dan NPHR.....	55
Tabel 4.12 Data pengukuran parameter main steam dan ekstraksi turbin no.4	57
Tabel 4.13 Entalpi pada tekanan konstan 0,203 bar.....	57
Tabel 4.14 Perhitungan efisiensi turbin isentropik	58

Tabel 4.15 Data pengukuran dan perhitungan TTD FWH yang beroperasi	60
Tabel 4.16 Data pengukuran dan perhitungan air heater leakage	62
Tabel 4.17 Data pengukuran dan perhitungan temperatur terkoreksi gas buang pada outlet air heater tanpa kebocoran udara	63
Tabel 4.18 Data pengukuran dan perhitungan air heater effectiveness	63
Tabel 4.19 Data performance test komisioning dan hasil interpolasi data performance test pada beban gros 61,19 MW	64
Tabel 4.20 Deviasi NPHR dan biaya bahan bakar antara performance test actual dan komisioning	66
Tabel 4.21 Analisa deviasi NPHR akibat kerugian panas pada operator controllable	68
Tabel 4.22 Analisa deviasi NPHR akibat kerugian panas pada plant controllable	69
Tabel 4.23 Analisa deviasi NPHR akibat kerugian panas pada turbine cycle component	71
Tabel 4.24 Analisa deviasi NPHR akibat kerugian panas pada boiler component	73
Tabel 4.25 Analisa deviasi NPHR akibat kerugian panas lainnya	75
Tabel 4.26 Kerugian NPHR yang teridentifikasi dan tidak teridentifikasi	76
Tabel 4.27 Estimasi potensi penurunan NPHR	78
Tabel 4.28 Daftar rekomendasi perbaikan kinerja energi pada PLTU XYZ	80
Tabel 4.29 Rencana anggaran biaya	82

Sekolah Pascasarjana

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram skematik proses pembangkitan pada PLTU XYZ.....	11
Gambar 2.2. Diagram skematik proses pengolahan air sungai pada WTP	12
Gambar 2.3. Ruang lingkup daya gross dan daya neto pada PLTU	13
Gambar 2.4 Kesetimbangan energi pada boiler (ASME PTC 4, 2013).....	16
Gambar 2.5. Ruang lingkup sistem pembangkit pada perhitungan efisiensi boiler, GTHR, NTHR, GPHR, dan NPHR pada PLTU XYZ	24
Gambar 2.6. Proses ekspansi turbin uap pada diagram h-s (Rolando Samosir, Danial, 2019).....	25
Gambar 2.7. Konfigurasi FWH dengan 3 zona.....	26
Gambar 2.8. Grafik perpindahan panas pada feedwater heater	27
Gambar 2.9. Kebocoran udara pada rotating APH	28
Gambar 2.10. Kurva koreksi perubahan persentase NPHR akibat perubahan nilai tekanan uap masuk turbin (PTC-6A, 2008)	30
Gambar 3.1. Kerangka pikir penelitian	34
Gambar 3.2. Diagram skematik titik pengambilan data.....	37
Gambar 3.3. Kerugian NPHR pada PLTGU (Muchlisin & Kukuh Widodo, 2019)	43
Gambar 4.1. Diagram skematik sistem udara dan gas pada boiler PLTU XYZ....	47
Gambar 4.2. Siklus air dan uap PLTU dengan 1 turbin	54
Gambar 4.3. Skematik diagram system turbin dan uap ekstraksi	56
Gambar 4.4 Estimasi nilai ELEP	58
Gambar 4.5. Konfigurasi feedwater heater PLTU XYZ.....	59
Gambar 4.6. Skematik diagram PAH dan SAH pada PLTU XYZ	61
Gambar 4.7. Pareto heat rate loss	77