

ANALISIS PERHITUNGAN NETT PLANT HEAT RATE PERBANDINGAN
PEMAKAIAN BAHAN BAKAR BATUBARA 100% DENGAN CO-FIRING
CAMPURAN BIOMASSA SAWDUST PADA PLTU X DI BANTEN



NAMA : DEVA HENDRY ARTO
NIM : 41321110014

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2025

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS PERHITUNGAN NETT PLANT HEAT RATE PERBANDINGAN
PEMAKAIAN BAHAN BAKAR BATUBARA 100% DENGAN CO-FIRING
CAMPURAN BIOMASSA SAWDUST PADA PLTU X DI BANTEN



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Disusun Oleh:

Nama : Deva Hendry Arto
NIM : 41321110014
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA 1 (S1)
JUNI 2025

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Deva Hendry Arto

NIM : 41321110014

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Laporan Skripsi : **ANALISIS PERHITUNGAN *NETT PLANT HEAT RATE* PERBANDINGAN PEMAKAIAN BAHAN BAKAR BATUBARA 100% DENGAN *CO-FIRING* CAMPURAN BIOMASSA *SAWDUST* PADA PLTU X DI BANTEN**

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata I pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing : Fajar Anggara, ST., M.Eng

NIDN. : 118910610

Ketua Penguji : Ir. Nurato, ST., MT., Ph.D

NIDN. : 0313047302

Penguji 1 : Dafit Feriyanto, S.T., M.Eng., Ph.D

NIDN. : 0310029004

Penguji 2 : Fajar Anggara, ST., M.Eng

NIDN. : 118910610

Jakarta, 11 Juli 2025

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi

Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.

NIDN : 0307037202

Imam Hidayat, Dr.Eng., ST,MT,

NIDN : 0005087502

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Deva Hendry Arto

NIM : 41321110014

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Tugas Akhir : **ANALISIS PERHITUNGAN NETT PLANT HEAT RATE PERBANDINGAN PEMAKAIAN BAHAN BAKAR BATUBARA 100% DENGAN CO-FIRING CAMPURAN BIOMASSA SAWDUST PADA PLTU X DI BANTEN**

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan Hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian 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 tanpa paksaan.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 26 Juni 2025



Deva Hendry Arto

PENGHARGAAN

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur kepada Tuhan Maha Esa yang telah memberi kekuatan, kemampuan dan kesabaran kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah memenuhi salah satu persyaratan bagi mahasiswa untuk dapat menyelesaikan Pendidikan Strata-1 Jurusan Teknik Mesin di Universitas Mercu Buana. Judul Tugas Akhir ini adalah “Analisis Perhitungan *Nett Plant Heat Rate* Perbandingan Pemakaian Bahan Bakar Batubara 100% Dengan *Co-Firing* Campuran Biomassa *Sawdust* Pada PLTU X Di Banten”

Tugas Akhir ini merupakan sebuah upaya untuk mengetahui dan menyelaraskan antara pengetahuan yang diperoleh saat kuliah dan di dunia kerja. Banyak bantuan dari berbagai pihak dalam penulisan laporan ini, Maka penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Dr. Eng. Imam Hidayat., ST,MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin.
4. Fajar Anggara, ST. M.Eng selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen pengajar Program Studi Teknik Mesin (S-1), Sekolah Tinggi Teknik Universitas Mercubuana.
6. Indarto dan Asiyah Sebagai Orang Tua yang memberikan arahan hidup untuk terus maju ke depan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan.
7. Muhammad Abdullah, Zulhana Eko Saputro, dan Ahmad Fahrur Fery Pradana sebagai kakak yang selalu memberikan motivasi dan semangat untuk terus maju dalam menyelesaikan skripsi.
8. Keluarga besar PLTU PLN tempat saya melakukan pengolahan data.
9. Rekan – rekan tim operator, niaga dan Efisiensi unit di PLTU PLN yang selalu menyemangati dalam penyelesaian laporan tugas akhir.
10. Nur Azizah Hakim selaku calon istri yang selalu memberikan dukungan motivasi dan doa serta bantuan kepada penulis.
11. Sahabat-sahabat seperjuangan Teknik Mesin SMU Angkatan 2021 yang selalu bersama-sama dalam susah maupun senang.

12. Seluruh pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu yang telah memberikan dukungan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Cilegon, 26 Juni 2025

Penulis,



Deva Hendry Arto

NIM. 41321110014



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

ABSTRAK

Minyak, gas, dan batu bara masih menjadi sumber energi utama bagi pembangkit listrik di Indonesia. Batubara diperkirakan akan menyumbang 59,8% dari pembangkit listrik Indonesia pada tahun 2030, diikuti oleh gas alam (termasuk LNG) sebesar 15,6%, EBT sebesar 24,2%, dan BBM sebesar 0,4%. Menurut RUPTL (2021–2030), pada tahun 2030, bauran energi dari EBT akan mencapai sekitar 24,2% berkat co-firing aktif dan pengoperasian PLTP dan PLTA. PLTU X yang ada di Cilegon, Indonesia, merupakan salah satu dari beberapa pembangkit listrik di negara ini yang menggunakan teknologi sub-critical pada boiler. Pada pembangkit sub-critical tingkat keadaan uap di bawah titik kritis atau berkisar ditemperatur 500 °C atau lebih tepatnya berdasarkan *manual book* yaitu di temperatur 546 °C dan pada tekanan 180 bar. Pemerintah saat ini gencar menargetkan Bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025 (RUPTL Tahun 2021 – 2030 tentang Roadmap *Co-firing* PLTU). Maka dari itu terdapat potensi yang belum banyak ter manfaatkan dari biomassa dan sampah di Indonesia yang dapat digunakan sebagai bahan bakar *Co-firing* pada PLTU. Dengan penggunaan biomassa *sawdust* pada PLTU dapat menunjang program PLN tersebut. Dari pemakaian bahan bakar dan beban yang dihasilkan nantinya dapat dihitung untuk *heat rate* baik nett maupun *gross* dan juga efisiensi termal. Nantinya dapat dibandingkan *heat rate* saat pemakaian bahan bakar yang menggunakan Batubara 100% dengan co-firing biomassa *sawdust* dan juga bisa dibandingkan saat *performance test commisioning*. Estimasi *nett plant heat rate* untuk biomassa *sawdust* lebih rendah daripada bahan bakar batu bara saja, karena nilai kalor Batubara yang dikombinasikan dengan biomassa *sawdust* lebih besar daripada bahan bakar Batubara saja. Berdasarkan data, laju panas bersih pembangkit berkisar antara 2563,97 kKal/kWh pada beban 149 MW hingga 4169,38 kKal/kWh pada beban 236 MW saat menggunakan 100% Batubara. Laju panas bersih pembangkit untuk bahan bakar biomassa *sawdust* berkisar antara 3045,20 kKal/kWh pada beban 147 MW hingga 3671,32 kKal/kWh pada beban 220 MW. Menurut hukum proporsionalitas terbalik, semakin rendah laju panas netto pembangkit, semakin baik efisiensinya. Misalnya, saat menggunakan 100% Batubara, efisiensi terendah adalah 22,26% pada nilai laju panas pabrik bersih sebesar 4169,38 kKal/kWh, dan efisiensi tertinggi adalah 35,86% pada nilai laju panas pabrik bersih sebesar 2563,97 kKal/kWh. Bahan bakar yang terbuat dari serbuk gergaji memiliki efisiensi berkisar dari 25,83% pada nilai laju panas pabrik bersih sebesar 3671,32 kKal/kWh hingga 30,22% pada nilai laju panas pabrik bersih sebesar 3045,20. Pada tahun 2024, elemen pemanas awal udara diganti, yang mengakibatkan peningkatan pada nilai laju panas pabrik bersih relatif terhadap nilai *commisioning*. Elemen air heater yang baru lebih renggang dan karena itu terdapat losses yang dapat menaikkan nilai *nett plant heat rate*.

Kata Kunci : Biomassa *sawdust*, *Heat Rate*, Efisiensi

***ANALYSIS OF THE CALCULATED NETT PLANT HEAT RATE
COMPARISON OF 100% COAL USAGE WITH CO FIRING WITH A MIXTURE
OF BIOMASS SAWDUST IN A PLTU X IN BANTEN***

ABSTRACT

Oil, gas, and coal are still the main energy sources for power generation in Indonesia. Coal is expected to contribute 59.8% of Indonesia's power generation in 2030, followed by natural gas (including LNG) at 15.6%, renewable energy at 24.2%, and fuel oil at 0.4%. According to the RUPTL (2021–2030), in 2030, the energy mix from renewable energy will reach around 24.2% thanks to active co-firing and the operation of geothermal power plants and hydroelectric power plants. The PLTU X in Banten, Indonesia, is one of several power plants in the country that uses sub-critical technology in boilers. In sub-critical power plants, the steam level is below the critical point or around a temperature of 500 °C or more precisely based on the Unit 1-2 manual book, namely at a temperature of 546 °C and at a pressure of 180 bar. PLTU X in Banten with a generator output capacity of 400 MW. The government is currently aggressively targeting a New and Renewable Energy (EBT) Mix of 23% by 2025 (RUPTL 2021-2030 concerning the Co-firing Roadmap for PLTU). Therefore, there is untapped potential from biomass and waste in Indonesia that can be used as Co-firing fuel in PLTU. The use of sawdust biomass in PLTU can support the PLN program. From the use of fuel and the resulting load, it can later be calculated for the net and gross heat rate and also thermal efficiency. Later, the heat rate can be compared when using fuel using 100% coal with sawdust biomass co-firing and can also be compared during the performance test commissioning. The estimated net plant heat rate for sawdust biomass is lower than coal fuel alone because the calorific value of coal combined with sawdust biomass is greater than coal fuel alone. Based on the data, the net heat rate of the generator ranges from 2563.97 kCal/kWh at a load of 149 MW to 4169.38 kCal/kWh at a load of 236 MW when using 100% coal. The net heat rate of the generator for sawdust biomass fuel ranges from 3045.20 kCal/kWh at a load of 147 MW to 3671.32 kCal/kWh at a load of 220 MW. According to the law of inverse proportionality, the lower the net heat rate of the generator, the better its efficiency. For example, when using 100% coal, the lowest efficiency is 22.26% at a net heat rate of 4169.38 kCal/kWh, and the highest efficiency is 35.86% at a net heat rate of 2563.97 kCal/kWh. The sawdust-based fuel has an efficiency ranging from 25.83% at a net plant heat rate of 3671.32 kCal/kWh to 30.22% at a net plant heat rate of 3045.20. In 2024, the air preheater element was replaced, resulting in an increase in the net plant heat rate relative to the commissioning value. The new air preheater element is looser and therefore has losses that can increase the net plant heat rate.

Keywords : (sawdust) Biomass, Heat Rate, Efficiency

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	ii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	8
2.2.1 Sejarah singkat Boiler Sub-Critical	8
2.2.2 Prinsip Teknologi dari Boiler Sub-critical	10
2.2.3 Status PLTU Sub-critical di Indonesia	15
2.3 Siklus Termodinamika	19
2.3.1 Siklus Carnot	19
2.3.2 Siklus Clausius - Rankine	20
2.3.3 Pemanasan Ulang Uap (Reheating Steam)	22
2.3.4 Siklus Tenaga Uap	24
2.3.5 Plant Heat Rate	25
2.3.6 Karakterisasi Batubara	28
2.3.6 Karakteristik Batubara	34
2.3.7 Biomassa	39
2.3.8 Proses Pencampuran Batubara dengan <i>Sawdust</i>	42
2.4 Pengembangan Desain Penelitian	43

BAB III METODOLOGI	44
3.1 Diagram Alir	44
3.1.1 Studi Literatur	45
3.1.2 Waktu dan Tempat Penelitian	46
3.1.3 Variabel Penelitian	46
3.2 Alat dan Bahan	47
3.2.1 Hasil Analisa Kualitas Batubara yang meliputi :	47
3.2.2 Boiler	47
3.2.3 Turbin - Generator	47
3.3 Konsep Analisis Data	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Data Penelitian	49
4.2 Menghitung NPHR Dan Efisiensi Boiler	50
4.2.1 Menghitung Data NPHR dan efisiensi boiler menggunakan batubara 100%	50
4.2.2 Menghitung NPHR dan Efisiensi boiler saat Co-Firing <i>sawdust</i>	50
4.3 Analisis Data Penelitian Dan Pembahasan	51
4.3.1 Analisis Data dan Pembahasan Uji Heat Rate	51
4.3.2 Analisis Data dan Pembahasan Uji Efisiensi	54
4.4 Analisis Data Parameter Operasi Dan Pembahasan	56
4.4.1 Analisis Data Parameter Operasi	56
4.4.2 Pembahasan Data Parameter Operasi	57
4.5 Analisis Dan Pembahasan Perbandingan Data <i>Commisioning</i> Penggunaan Batubara 100% Dibanding Dengan Saat Co-Firing Menggunakan Biomassa <i>Sawdust</i>	58
4.5.1 Pembahasan Perbandingan Data Commisioning Dengan Saat Co-Firing	58
BAB V PENUTUP	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Perbandingan teknologi Boiler supercritical dengan laluan sekali (a) dan Boiler Subcritical menggunakan drum (b) (B&W, 1998)	9
Gambar 2. 2. Siklus uap subcritical dan diagram temperature-entropi PLTU subcritical	13
Gambar 2. 3. Siklus uap supercritical dan diagram temperature-entropi PLTU supercritical	14
Gambar 2. 4. Boiler PLTU 1 & 2 Paiton dan Tampak samping PLTU 1&2 Paiton (MHI, 2013)	15
Gambar 2. 5. Boiler PLTU Tanjung Jati B (CPS & Sumitomo, 2015)	16
Gambar 2. 6. Boiler PLTU X di Banten (JICA, 1984)	17
Gambar 2. 7. Diagram T – s dan p – V siklus Carnot (Spliethoff, 2011)	19
Gambar 2. 8. Skema diagram pembangkitan uap pada power plant	20
Gambar 2. 9. Diagram T – s dan h – s siklus ideal Clausius-Rankine	21
Gambar 2. 10. Tekanan maksimum steam pada inlet turbin (Nag P.K, 2008)	23
Gambar 2. 11. Siklus pemanasan ulang (<i>Reheat Cycle</i>) pada siklus Rankine	23
Gambar 2. 12. Skema kontrol volume pada termodinamika peralatan PLTU	26
Gambar 2. 13. Perbandingan beberapa sistem klasifikasi Batubara (ASTM)	29
Gambar 2. 14. Batubara Gambut	30
Gambar 2. 15. Profil kandungan air, zat volatile, karbon dan nilai kalor masing-masing peringkat batubara menurut ASTM	31
Gambar 2. 16. Batubara Lignit	32
Gambar 2. 17. Batubara Sub-Bituminus	33
Gambar 2. 18. Batubara Bituminus	33
Gambar 2. 19. Batubara Antrasit	34
Gambar 2. 20. Temperatur leleh abu batubara berdasarkan standar ASTM dan DIN (Schultz and Kitto, 1992)	38
Gambar 2. 21. <i>Wood Pellet</i> (Pelet Kayu)	41
Gambar 2. 22. <i>Sawdust</i> (Serbuk Gergaji)	42
Gambar 2. 23. Proses pencampuran batubara dengan <i>sawdust</i>	43
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penyusunan Tugas Akhir	44
Gambar 3. 2. Hasil Analisis Kualitas Biomassa (<i>Sawdust</i>)	46
Gambar 4. 1. Grafik beban terhadap NPHR	52
Gambar 4. 2. Grafik beban terhadap Efisiensi	55
Gambar 4. 3. Grafik flue gas pada Batubara 100% dengan Co-Firing	57
Gambar 4. 4. Grafik beban terhadap NPHR baseline dengan Co-Firing	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2. 1. Sistem klasifikasi batubara menurut ASTM (ASTM., 2009)	31
Tabel 4. 1. Data laporan produksi saat menggunakan batubara 100%	49
Tabel 4. 2. Data laporan produksi saat Co-Firing sawdust	49
Tabel 4. 3. Perhitungan Nett Plant Heat Rate dan Gross Plant Heat Rate	52
Tabel 4. 4. Perhitungan Efisiensi	54
Tabel 4. 5. Parameter operasi saat menggunakan batubara 100% dan Co-Firing sawdust	56

