



**Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap
Specific Fuel Consumption dan *Heat Rate* pada
Sistem PLTG di PLTGU PT Mitra Energi Batam**

Tugas Akhir

**Oleh:
Ikhsan Wahyu Ramadhan (4232211001)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2026**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate* pada Sistem PLTG di PLTGU PT Mitra Energi Batam” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri**. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 15 Juli 2026



Ikhsan Wahyu Ramadhan
NIM: 4232211001

Lembar Pengesahan Industri

Data Tugas Akhir ini bebas dari plagiasi dan mendapat izin untuk disimpan, dikelola dan dipublikasikan untuk kepentingan akademik.

Disusun oleh: Ikhsan Wahyu Ramadhan (4232211001)

Program Studi: Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi (TRPE)

Jurusan: Teknik Elektro (Politeknik Negeri Batam)

Judul Tugas Akhir:

Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate* pada Sistem PLTG di PLTGU PT Mitra Energi Batam

Perusahaan: PT Mitra Energi Batam

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing:

Pembimbing Industri:

Ir. Irwanto Zarma Putra S.Pd., M.Eng
NIK: 118200

M. Alif Fatullah, S.T
NIK: 81521091

HRD/Manager

Rivina, S.Kom
NIK: 82015128

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Ikhsan Wahyu Ramadhan (4232211001)

Tanggal Sidang: 06 Juli 2026

Disetujui oleh :

Penguji I



1. Dr. Ir. Didi Istardi, S.T., M.Sc., IPM
NIK: 102022

Pembimbing



1. Ir. Irwanto Zarma Putra S.Pd, M.Eng
NIK: 118200

Penguji II



2. Ir. Muhammad Syafei Gozali, ST., MT., IPM
NIK: 107050

Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate* pada Sistem PLTG di PLTGU PT Mitra Energi Batam

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan beban operasional terhadap *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan *Heat Rate* pada PLTG Unit 1 PT Mitra Energi Batam dengan metode analisis regresi linier sederhana guna menentukan bagaimana perubahan beban operasional memengaruhi nilai SFC dan *heat rate* dalam sistem PLTG. Hasil regresi sederhana untuk pengaruh beban terhadap SFC adalah $\hat{Y} = 55,412 - 1,199X$, dengan tingkat signifikansi 0,000 ($< 0,05$) serta R^2 sejumlah 83,7%. Adapun pengaruh beban terhadap *Heat Rate*, hasil regresi sederhana adalah $\hat{Y} = 13.561,596 - 130,767X$ dengan tingkat signifikansi 0,000 ($< 0,05$) serta $R^2 = 88,3\%$. Koefisien regresi bernilai negatif, yang dapat diartikan bahwa pengaruh variasi beban operasi terhadap SFC dan *Heat Rate* pada PLTG Unit 1 bersifat negatif berarti semakin tinggi nilai beban operasi, sehingga semakin rendah nilai SFC dan *Heat Rate* pada pembangkit. Bersumber pada hasil analisis, nilai signifikansi yang dihasilkan yaitu $0,000 < 0,05$. Dapat disimpulkan bahwa variasi beban operasi memengaruhi SFC dan *Heat Rate*. Besarnya pengaruh masing-masing adalah 83,7% dan 88,3%, sedangkan lebihnya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar model.

Kata kunci: *Heat Rate*, PLTG, SFC, Variasi beban operasi

The Effect of Operating Load Variations on Specific Fuel Consumption and Heat Rate in the PLTG System at PT Mitra Energi Batam's PLTGU

Abstract

This study aims to analyze the effect of changes in operational load on specific fuel consumption (SFC) and heat rate at PT Mitra Energi Batam's Gas-Fired Power Plant Unit 1 using simple linear regression analysis to determine how changes in operational load affect SFC and heat rate values in the gas-fired power plant system. The results of the simple regression for the effect of load on SFC are $\hat{Y} = 55.412 - 1.199X$, with a significance level of 0.000 (< 0.05) and an R^2 of 83.7%. As for the effect of load on the heat rate, the simple regression result is $\hat{Y} = 13,561.596 - 130.767X$, with a significance level of 0.000 (< 0.05) and $R^2 = 88.3\%$. The regression coefficients are negative, indicating that the effect of variations in operating load on SFC and Heat Rate at PLTG Unit 1 is negative that is, the higher the operating load, the lower the SFC and Heat Rate at the power plant. Based on the analysis results, the significance value obtained is $0.000 < 0.05$. It can be concluded that variations in operating load affect SFC and Heat Rate. The magnitude of the influence for each is 83.7% and 88.3%, respectively, while the remainder is influenced by other factors outside the model..

Keywords: Heat Rate, Operating Load Variation, PLTG, SFC

Kata Pengantar

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT karena atas berkat, rahmat, serta hidayah-Nya, penulis bisa menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan lancar serta tepat waktu berjudul “ Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate* pada Sistem PLTG di PLTGU PT Mitra Energi Batam”.

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan ujian guna mendapatkan gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) pada jurusan Teknik Elektro Prodi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam.

Penulis mengakui bahwa masih banyak masalah dengan tugas akhir ini, baik dari segi gaya penulisan maupun isi yang dibahas. Hal ini disebabkan oleh kurangnya keterampilan penulis. Oleh sebab itu, penulis terbuka terhadap kritik serta saran yang membangun. Penulis telah menerima bantuan materi dan moral yang luar biasa selama kerja lapangan dan karier akademiknya. Dalam kapasitasnya sebagai peneliti, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada:

1. Orang tua Ayahanda , Ibunda serta keluarga yang sangat saya sayangi serta cintai, yang sudah banyak memberikan dukungan, bimbingan, perhatian, semangat, kasih sayang yang tiada tara serta dukungan moral beserta mendoakan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Bambang Hendrawan, ST., MSM., CIPMP., CISC. sebagai Direktur Perguruan Tinggi Politeknik Negeri Batam.
3. Bapak Ir. Indra Hardian Mulyadi, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
4. Bapak Ir. Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng sebagai Ketua Prodi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi juga Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yang sudah banyak luangkan waktu serta pikirannya untuk membantu dalam hal bimbingan, serta pengarahan kepada penulis selama perkuliahan sampai penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ir. Muhammad Syafei Gozali, ST, M.T., IPM selaku Wali Dosen Prodi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi kelas A Malam yang senantiasa memberikan semangat serta nasihat selama perkuliahan berlangsung.
6. Ibu Hasnira, S.T., M.Tr.T sebagai Koordinator Magang Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam yang sudah memberikan arahan kepada penulis selama kegiatan magang.

7. Bapak Dr. Ir. Didi Istardi, S.T.,M.Sc.,IPM dan Bapak Ir. Muhammad Syafei Gozali, S.T.,M.T.,IPM selaku Dosen Penguji yang sudah memberikan kritik serta saran demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
8. Bapak Ir. Jhon Hericson Purba, S.Pd., M.Pd., sebagai Dosen Pengampu Tugas Akhir.
9. Segenap dosen pengajar jurusan Teknik Elektro yang sudah banyak memberikan ilmu, serta pengalaman yang luar biasa selama menempuh perkuliahan.
10. Bapak M Alif Fatullah S.T, selaku *Maintanance Manager* PT Mitra Energi Batam, yang telah memberikan bimbingan dan masukan selama penyusun melakukan kegiatan magang hingga akhirnya dapat menyelesaikan Laporan Akhir.
11. Bapak Nyu Zahlon selaku *Plant Manager* PT Mitra Energi Batam yang telah membimbing penulis dalam penyusunan tugas akhir.
12. Bapak Bambang Urip Setyawan Adi, Direktur PT Mitra Energi Batam yang sudah memberikan fasilitas, arahan serta motivasi selama melakukan kegiatan magang serta penyusunan Laporan Akhir.
13. Seluruh pegawai PT Mitra Energi Batam yang telah membantu dan mensupport penyusun selama menjalani kegiatan magang.
14. Kepada teman-teman magang di PT Mitra Energi Batam yaitu M Ricky Pratama, Budiman Ramadhan, Lucia Fransiska S dan Nur Aisyah Jumala yang telah bersama-sama dalam hal susah dan senang dalam berdiskusi dan bekerja sama ketika magang.
15. Teman-teman angkatan 2022 Jurusan Teknik Elektro Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi kelas A Malam yang namanya tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu. Terimakasih sudah memberikan kesan, motivasi, serta membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis telah melakukan segala upaya untuk menyelesaikan tugas terakhir ini. Selain itu, penulis mengakui kekurangan dalam tugas akhir ini. Oleh sebab itu, saran serta kritik konstruktif akan selalu dihargai. Terakhir, penulis berharap bahwa setiap orang yang membaca tugas akhir ini akan merasa terbantu dan terinspirasi.

Batam, 15 Juli 2026



Ikhsan Wahyu R

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir.....	i
Lembar Pengesahan Industri.....	ii
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak.....	iv
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xi
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah.....	2
1.3.Tujuan	3
1.4.Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	4
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas.....	4
2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas.....	4
2.3 <i>Specific Fuel Consumption</i>	6
2.4 <i>Heat Rate</i>	7
2.5 Variasi beban pada sistem pembangkit	8
2.5.1 Klasifikasi Beban Listrik	8
2.5.2 Operasi <i>Partial Load</i> dan <i>Full Load</i>	9
2.6 DCS (<i>Distributed Control System</i>)	10
2.7 Efisiensi <i>Thermal</i>	10
Bab 3. Metodologi Penelitian.....	11
3.1 Diagram Alir Penelitian	11
3.2 Objek Penelitian	12

3.3. Variabel Penelitian	13
3.3.1 Variabel Bebas	13
3.3.2 Variabel Terikat	13
3.4 Metode Penelitian.....	13
3.5 Analisa Pengujian	14
3.5.1 Uji Signifikansi t	14
3.5.2 Uji Koefisien Determinasi (R²)	15
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	16
4.1 Hasil Pengolahan Data	16
4.2 Analisa Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap <i>Specific Fuel Consumption</i>	18
4.3 Analisa Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap <i>Heat Rate</i>	19
4.4 Uji Analisis Regresi Linear Sederhana	20
4.4.1 Analisis Regresi Variasi Beban Operasi terhadap SFC.....	20
4.4.2 Analisis Regresi Variasi Beban Operasi terhadap <i>Heat Rate</i>	20
4.4 Uji Parsial (Uji T)	21
4.5 Uji Koefisiensi Determinasi	22
Bab 5. Kesimpulan dan Saran.....	23
5.1 Kesimpulan	23
5.2 Saran	23
Daftar Pustaka.....	25
Biodata	27
Lampiran.....	28

Daftar Gambar

Gambar 1. PLTG Unit 1 PT Mitra Energi Batam	4
Gambar 2. Siklus Kerja PLTG	5
Gambar 3. Jenis Beban pada Pembangkit Listrik	9
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian	11
Gambar 5. Grafik Hubungan Beban Operasi Pembangkit terhadap SFC	16
Gambar 6. Grafik Hubungan Beban Operasi Pembangkit terhadap <i>Heat Rate</i>	17
Gambar 7. Grafik Linearitas Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap SFC.....	18
Gambar 8. Grafik Linearitas Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap Heat Rate	19

Daftar Tabel

Tabel 1. Hasil Uji Regresi Sederhana Variasi Beban Operasi terhadap SFC	20
Tabel 2. Hasil Uji Regresi Sederhana Variasi Beban Operasi terhadap <i>Heat Rate</i>	21
Tabel 3. Hasil Uji Koefisiensi Determinasi Variasi Beban terhadap SFC.....	22
Tabel 4. Hasil Uji Koefisiensi Determinasi Variasi Beban terhadap <i>Heat Rate</i>	22
Tabel 5. Hasil Pengambilan Data Parameter Operasi.....	28
Tabel 6. Hasil Pengolahan Data pada berbagai Variasi Beban Operasi	30

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi yang pesat di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, telah mendorong kebutuhan yang semakin meningkat terhadap pasokan listrik yang andal dan berkelanjutan. Listrik merupakan infrastruktur vital yang menopang hampir seluruh sektor ekonomi, mulai dari manufaktur dan perumahan hingga teknologi tinggi. Sebagai negara dengan populasi terbesar di Asia Tenggara, Indonesia dihadapkan pada tantangan besar dalam memenuhi permintaan energi yang terus berkembang. Proyeksi dari Badan Pusat Statistik (BPS) memperlihatkan jika konsumsi listrik per kapita di Indonesia pada tahun 2024 diperkirakan akan meningkat sejumlah 7,78% menjadi 1.411 kWh yang menegaskan urgensi peningkatan kapasitas pembangkit listrik nasional yang efisien dan responsif [1].

Diantara berbagai teknologi, Pembangkit Listrik Tenaga Gas memiliki peran penting dalam sistem pembangkitan listrik, terutama pada konfigurasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTGU). PT Mitra Energi Batam mengoperasikan PLTGU dimana komponen PLTG terdiri dari dua unit turbin gas *Rolls-Royce* RB211-GT berkapasitas $2 \times 27,75$ MW [2]. Sistem ini mempunyai peran vital dalam memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat, baik keperluan domestik ataupun industri di Pulau Batam [3]. Namun demikian, karakteristik permintaan listrik di kawasan industri sangat dinamis dengan fluktuasi beban yang dipengaruhi oleh aktivitas industri dan konsumsi domestik yang menyebabkan pembangkit harus beroperasi pada berbagai tingkat beban sepanjang waktu.

Variasi beban operasi pada sistem PLTG memiliki pengaruh signifikan terhadap parameter efisiensi pembangkit, khususnya *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate*. *Specific Fuel Consumption* mengukur jumlah bahan bakar yang dikonsumsi untuk menghasilkan 1 kWh listrik yang menggambarkan tingkat efisiensi penggunaan bahan bakar dalam proses pembangkitan [4]. Sedangkan *Heat Rate* memperlihatkan jumlah energi panas yang diperlukan guna memproduksi energi listrik [5], dimana nilai *Heat Rate* yang lebih rendah mengindikasikan efisiensi termal yang lebih baik. Kedua parameter ini menjadi acuan penting dalam mengevaluasi kinerja operasional pembangkit sebab berhubungan langsung dengan konsumsi bahan bakar, biaya operasional, serta emisi gas buang yang dihasilkan.

Secara umum, PLTG mencapai tingkat efisiensi terbaik ketika beroperasi mendekati kapasitas penuh atau titik desain yang telah ditentukan. Pada kondisi tersebut, proses pembakaran berlangsung dengan perbandingan udara serta bahan bakar yang seimbang, sehingga energi panas yang dihasilkan dapat diubah menjadi energi mekanik secara optimal. Sebaliknya, ketika unit pembangkit

dijalankan pada beban parsial atau beban rendah, efisiensi pembakaran cenderung menurun. Hal ini biasanya dipengaruhi oleh adanya kelebihan udara dalam proses pembakaran, temperatur gas buang yang relatif lebih rendah, serta karakteristik turbin yang tidak bekerja pada titik desain idealnya. Keadaan tersebut berdampak langsung pada peningkatan nilai *Specific Fuel Consumption*, karena jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan setiap kWh listrik menjadi lebih besar. Selain itu, *heat rate* juga mengalami kenaikan akibat energi panas yang hilang lebih banyak dibandingkan energi listrik yang berhasil diproduksi.

Penelitian oleh Ibadurrahman (2019) [6] pada PLTG Sicanang Unit Lot 3 memperlihatkan jika pada beban rendah, nilai SFC mencapai 0,45 liter/kWh dengan efisiensi termal sejumlah 23%, sedangkan pada beban puncak nilai SFC menurun menjadi 0,34 liter/kWh dengan efisiensi termal meningkat hingga 30%. Serta *Heat Rate* pada beban rendah sejumlah 15649,95 kJ/kWh serta pada beban puncak sejumlah 11814,68 kJ/kWh. Penelitian kedua yang dilakukan oleh Mohamad Humam Fadhlullah (2023) menunjukkan bahwa perubahan beban operasi PLTG berdampak pada konsumsi bahan bakar dan efisiensi pembangkit listrik. Pada beban rendah, konsumsi bahan bakar per satuan listrik yang dihasilkan cenderung lebih tinggi karena pemanfaatan energi dari proses pembakaran belum optimal. Sebaliknya, peningkatan beban hingga mendekati kapasitas operasi optimum dapat menurunkan nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan *Heat Rate*, sehingga efisiensi pembangkit meningkat [7]. Dengan kata lain, pembangkit bekerja lebih optimal pada beban mendekati kapasitas maksimumnya.

Dari hasil penelitian sebelumnya, dapat ditunjukkan bahwa variasi beban operasi berpengaruh terhadap nilai *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate*. Namun, karakteristik masing-masing PLTG dipengaruhi oleh kapasitas unit, kondisi operasi, dan karakteristik bahan bakar yang digunakan, sehingga hasil penelitian pada satu pembangkit listrik tidak selalu dapat diterapkan pada pembangkit listrik lainnya. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi beban operasi terhadap *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate* pada PLTG Unit 1 PT Mitra Energi Batam, guna mengetahui karakteristik kinerja pembangkit listrik tenaga gas berdasarkan kondisi operasi aktual.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi beban operasi terhadap konsumsi bahan bakar spesifik pada sistem PLTG Unit 1 PT Mitra Energi Batam.
2. Bagaimana pengaruh variasi beban operasi terhadap heat rate pada sistem PLTG Unit 1 PT Mitra Energi Batam.

1.3. Tujuan

1. Menganalisis pengaruh variasi beban operasi terhadap *Specific Fuel Consumption* PLTG Unit 1 PT Mitra Energi Batam.
2. Menganalisis pengaruh variasi beban operasi terhadap *Heat Rate* PLTG Unit 1 PT Mitra Energi Batam.

1.4. Manfaat

1. Penelitian ini dapat dijadikan acuan lebih lanjut mengenai optimalisasi efisiensi dalam pembangkit listrik berbasis turbin gas.
2. Memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan di bidang teknik pembangkit listrik.
3. Hasil penelitian dapat digunakan untuk strategi operasional PLTG Unit 1 PT Mitra Energi Batam.
4. Hasil penelitian diharapkan dapat berfungsi sebagai acuan bagi tim operasi dan pemeliharaan dalam menetapkan beban optimal PLTG.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian hanya dilakukan pada sistem Unit 1 PLTG di PT Mitra Energi Batam.
2. Analisis difokuskan pada dua parameter yaitu *specific fuel consumption* dan *heat rate* tanpa membahas faktor-faktor eksternal lainnya seperti fluktuasi bahan bakar, pemeliharaan pembangkit, faktor lingkungan dan lainnya.
3. Penelitian terbatas pada penggunaan gas alam sebagai bahan bakar utama.
4. Variasi beban yang diteliti berkisar antara beban minimum operasi hingga beban penuh sesuai kondisi operasional pembangkit.
5. Penelitian ini tidak membahas aspek ekonomi, biaya bahan bakar maupun analisis keandalan, melainkan hanya terbatas pada aspek performa termal.
6. Data yang digunakan merupakan data operasional aktual yang diperoleh dari sistem.
7. Penelitian tidak mencakup perhitungan HRSG dan turbin uap secara detail.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) merupakan jenis pembangkit listrik yang mengenakan gas selaku fluida kerjanya serta turbin selaku penggerak utamanya. Turbin gas merupakan perangkat yang digerakkan oleh udara bertekanan tinggi dan gas panas dari pembakaran bahan bakar. Energi kinetik gas bertekanan tinggi diubah menjadi energi mekanik di dalam turbin gas, yang memutar bilah turbin. Poros turbin diposisikan sejajar dengan generator hingga putarannya menghasilkan energi mekanik, yang selanjutnya diubah menjadi energi Listrik [8].



Gambar 1. PLTG Unit 1 PT Mitra Energi Batam

Sumber: (Dokumentasi Lapangan)

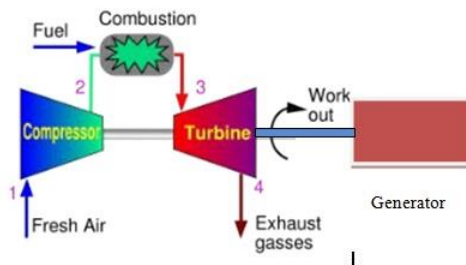
2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Kompresor menarik udara serta kemudian memampatkannya untuk mengurangi volume ruang udara dan menciptakan tekanan tertentu. Proses pembakaran yang melibatkan udara terkompresi, bahan bakar, dan panas di dalam ruang pembakaran kemudian difasilitasi oleh udara bertekanan yang masuk ke dalam ruang tersebut. Gas panas yang dihasilkan oleh proses ini diubah menjadi energi mekanik untuk menggerakkan bilah turbin gas.

Penambahan energi kalor (Q_{in}) di ruang pembakaran menyebabkan suhu dan volume meningkat selama proses pembakaran. Namun demikian, karena proses

pembakaran berlangsung pada tekanan konstan, tidak terjadi peningkatan tekanan. Setelah itu, komponen nosel mengarahkan panas dari gas yang keluar dari proses pembakaran langsung ke bilah turbin gas. Kompresor diputar oleh energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin, serta energi residual dimanfaatkan guna menggerakkan generator listrik yang menghasilkan listrik.

Namun demikian, penting untuk diingat bahwa kompresor dalam turbin gas mengalami kerugian terbesar. Hal ini disebabkan karena setelah turbin menghasilkan daya mekanik, daya tersebut digunakan untuk terus menggerakkan kompresor dan bagian-bagian lain selain generator listrik. Oleh sebab itu, pada pembangkit listrik berbahan bakar gas, turbin gas berfungsi selaku penggerak utama, sedangkan komponen lain seperti kompresor, ruang bakar, dan generator berfungsi sebagai komponen yang digerakkan. Gas buang kemudian dilepaskan langsung ke atmosfer melalui cerobong asap atau saluran pembuangan setelah gas panas tersebut melewati turbin[9].



Gambar 2. Siklus Kerja PLTG

Sumber: (<https://haloedukasi.com/pembangkit-listrik-tenaga-gas>)

2.3 Specific Fuel Consumption

Specific Fuel Consumption yaitu jumlah bahan bakar yang diperlukan oleh suatu pembangkit guna memproduksi energi per kWh [10]. Parameter SFC (*Specific Fuel Consumption*) merupakan salah satu parameter paling penting guna mengukur seberapa efisien pembangkit listrik mengubah bahan bakar menjadi listrik. Nilai SFC yang rendah memperlihatkan jika pembangkit tersebut sangat efisien dalam melakukan hal ini. Pengukuran SFC dapat dilakukan dalam satuan l/kWh, kg/kWh, atau BTU/kWh tergantung pada jenis bahan bakar yang dikenakan misalnya batu bara, gas alam, atau bahan bakar cair lainnya. Teknologi pembakaran yang digunakan, kondisi operasional mesin, kualitas bahan bakar, dan sistem pemeliharaan yang digunakan secara rutin semuanya mempengaruhi nilai SFC. Efisiensi termal dan SFC memiliki hubungan yang berbanding terbalik, ketika efisiensi termal meningkat, SFC akan mengalami penurunan yang tajam. Karakteristik SFC juga dipengaruhi oleh beban operasi pembangkit listrik, pada beban parsial atau rendah, nilai SFC biasanya meningkat sebagai akibat dari pembangkit tidak beroperasi pada kondisi desain optimalnya. Di sisi lain, efisiensi termal mencapai puncaknya ketika PLTG beroperasi mendekati beban penuh dan menghasilkan nilai SFC terendah dan paling ekonomis. Rumus untuk mencari SFC dengan bahan bakar gas alam mengacu pada SPLN 80 1989 [11]:

$$SFC = \frac{MSCF \times GHV}{\text{Beban Operasi}} \quad (1)$$

Keterangan Rumus :

SFC : *Specific Fuel Consumption* (BTU/kWh)

MSCF : Penggunaan bahan bakar gas (ft³/h)

GHV : *Gross Heating Value gas* (BTU/ft³)

Beban Operasi : Output yang dihasilkan generator (kW)

2.4 Heat Rate

Heat Rate adalah salah satu cara untuk menilai keandalan unit pembangkit listrik. Jumlah energi bahan bakar yang diperlukan guna menghasilkan satu kilowatt-jam energi listrik dikenal sebagai laju panas. Total energi yang diekstrak dari bahan bakar yang diperlukan guna menghasilkan sejumlah listrik tertentu per jam yaitu definisi lain dari *Heat Rate*. [12]. *Heat Rate* biasanya diukur dalam kilojoule per kilowatt-hour (kJ/kWh), yang secara numerik berbanding terbalik dengan efisiensi termal pembangkit. *Heat Rate* adalah kemampuan pembangkit listrik untuk mengubah energi bahan bakar menjadi energi listrik, yang meningkat seiring dengan menurunnya tingkat termal. Beban operasi pembangkit listrik memiliki dampak besar terhadap *heat rate* dan efisiensi termal pembangkit. Pembangkit listrik biasanya mengalami lonjakan besar pada *heat rate* saat beroperasi pada beban rendah atau sebagian karena sistem pembakaran tidak beroperasi pada titik desain optimalnya. Hal ini terjadi karena sejumlah masalah teknis, seperti perbandingan udara-bahan bakar yang tidak optimal, kehilangan panas yang lebih besar daripada output, dan bagian-bagian pendukung yang berfungsi kurang baik saat beban rendah. *Heat Rate* pada PLTG dapat dihitung dengan persamaan SPLN 80 1989 berikut [13]:

$$HR = \frac{Mf \times LHV}{Beban\ Operasi} \quad (2)$$

Keterangan Rumus :

HR : *Heat Rate* (kJ/kWh)

Mf : Massa bahan bakar gas per jam (kg/h)

LHV : Nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)

Beban Operasi : Output yang dihasilkan generator (kW)

2.5 Variasi beban pada sistem pembangkit

Permintaan listrik secara alami bukanlah hal yang stabil karena berubah berdasarkan sejumlah faktor. Kita dapat melihat perubahan ini setiap hari, minggu, bulan, dan musim, seiring dengan perubahan pola aktivitas sosial, ekonomi, dan industri [14]. Misalnya, penggunaan listrik meningkat pesat pada sore dan malam hari tetapi menurun pada pagi hari. Tren pada akhir pekan atau hari libur juga mungkin menunjukkan pola penggunaan listrik yang berbeda dibandingkan pada hari kerja.

Variasi beban adalah istilah untuk ketidakstabilan jenis ini dalam sistem tenaga listrik. Sistem pembangkit listrik mesti mampu beradaptasi dengan perubahan beban agar dapat memenuhi kebutuhan aktual. Jika tidak ditangani dengan benar, perbedaan antara pasokan dan permintaan dapat mempercepat penurunan tegangan, membuat sistem kurang andal, meningkatkan biaya operasional, dan mungkin menurunkan efisiensi energi. Perubahan beban operasi tidak hanya membuat sistem tenaga kurang stabil, tetapi juga mengubah kinerja pembangkit listrik dalam hal panas.

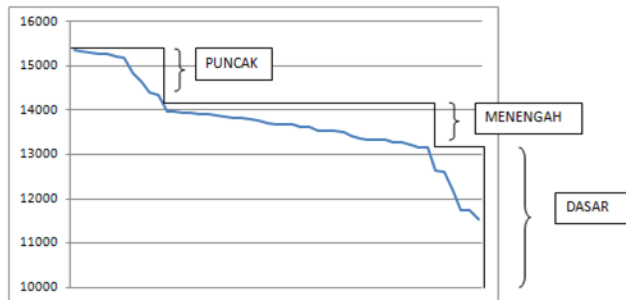
2.5.1 Klasifikasi Beban Listrik

Sistem listrik mengklasifikasikan beban menjadi tiga jenis dasar berdasarkan karakteristik dan waktu operasinya. Kategori pertama adalah beban dasar, yang merupakan jumlah minimum listrik yang harus tersedia setiap saat. Beban ini umumnya berasal dari kebutuhan listrik yang tidak dapat ditunda seperti penerangan jalan, sistem pendingin, dan peralatan rumah tangga yang menyala terus menerus.

Kategori kedua, yang disebut beban menengah, adalah jumlah permintaan listrik yang lebih besar dari beban dasar tetapi lebih kecil dari beban puncak. Tergantung pada aktivitas di rumah tangga, bisnis, dan industri, beban ini berfluktuasi sepanjang hari [15]. Seiring berjalannya hari, beban ini biasanya semakin besar seiring dengan meningkatnya aktivitas di sekitarnya. Pembangkit listrik berbahan bakar gas digunakan untuk memenuhi permintaan beban menengah karena dapat dinyalakan dan dimatikan dengan cepat.

Kategori ketiga, beban puncak, terjadi ketika permintaan listrik mencapai puncaknya. Hal ini biasanya terjadi pada siang hari dan malam hari ketika orang-orang sibuk dengan pekerjaan dan pada rumah tangga. Biasanya berlangsung selama 4 hingga 6 jam setiap hari. Dan untuk mengatasinya, sistem kelistrikan sering mengandalkan pembangkit cadangan atau teknologi penyimpanan seperti baterai dan *pumped hydro storage*. Ketiga kategori beban ini memengaruhi pola

operasi pembangkit termasuk PLTG yang berdampak pada parameter *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate*.



Gambar 3. Jenis Beban pada Pembangkit Listrik

Sumber: (<https://watergius.wordpress.com/2011/03/02/kurva-beban-dan-alasan-memiliki-beragam-pembangkit/>)

2.5.2 Operasi *Partial Load* dan *Full Load*

Dalam praktiknya, pembangkit listrik tidak selalu beroperasi pada kapasitas terpasang maksimum. Kondisi tersebut menciptakan dua pola operasi utama yang memiliki karakteristik berbeda. Ketika unit pembangkit dijalankan mendekati kapasitas penuh, sistem berada dalam mode penuh. Pada keadaan ini, efisiensi kerja cenderung optimal karena seluruh komponen berfungsi sesuai fungsinya [16]. Sebaliknya, saat pembangkit beroperasi di bawah kapasitas maksimumnya, kondisi tersebut dikenal sebagai mode beban parsial. Situasi ini sering terjadi dalam operasi harian karena pembangkit harus menyesuaikan output dengan fluktuasi permintaan energi. Namun beban parsial menghasilkan efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan beban penuh. Perbedaan antara kedua operasi tersebut dapat dijelaskan melalui aspek termodinamika dan karakteristik fluida pada turbin gas. Pada beban parsial, rasio kompresi dan temperatur gas buang mengalami deviasi dari kondisi ideal, sehingga memengaruhi kinerja generator [17].

2.6 DCS (*Distributed Control System*)

Distributed Control System ialah sebuah rancangan kontrol pada sebuah pembangkit, dimana alat-alat seperti kontrol berada di semua sistem [18]. Pada pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), DCS mengelola berbagai subsistem yang ada di pembangkit seperti kontrol injeksi bahan bakar, *air fuel ratio* (AFR), sistem pendingin, sistem proteksi pada turbin, serta pemantauan tekanan, suhu, dan getaran pada berbagai titik kritis untuk memastikan efisiensi dan keselamatan operasional secara menyeluruh. Sistem DCS juga memungkinkan para operator untuk mengawasi kondisi pembangkit, mengoptimalkan efisiensi parameter melalui antarmuka terpusat.

Pada proses pembakaran, sistem DCS (*Distributed Control System*) mengelola proses pembakaran di dalam ruang bakar melalui pengendalian katup kontrol gas bahan bakar dan *inlet guide vane* (IGV) yang bertugas mengatur aliran udara dari kompresor guna mencapai rasio udara - bahan bakar yang ideal. Pengendalian ini beroperasi secara otomatis dengan memanfaatkan umpan balik dari sensor suhu gas buang (*exhaust gas temperature*), tekanan pembakaran, serta beban generator, sehingga memungkinkan sistem menyesuaikan sistem pembakaran secara langsung demi menjaga efisiensi maksimal di bawah berbagai kondisi beban operasional.

2.7 Efisiensi *Thermal*

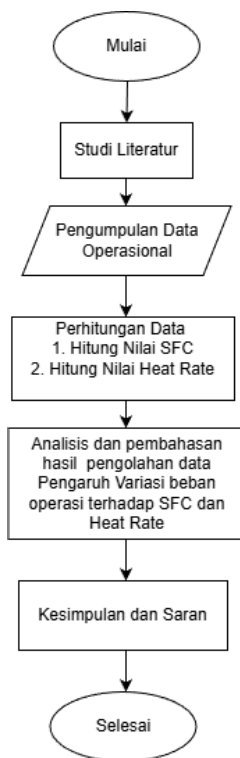
Efisiensi termal PLTG pada dasarnya merupakan ukuran efisiensi sistem dalam mengubah energi panas dari pembakaran bahan bakar menjadi energi listrik. Biasanya, turbin gas digunakan untuk proses ini, yang mengubah energi termal menjadi energi mekanik sebelum digunakan untuk menghasilkan listrik. Sederhananya, efisiensi termal ditentukan dengan membagi jumlah energi listrik yang dihasilkan secara efektif dengan energi panas bahan bakar.

Dalam kajian efisiensi termal, terdapat dua pendekatan utama yang sering digunakan. Pertama, efisiensi termal bruto, yaitu rasio antara energi listrik yang dihasilkan dengan total energi panas yang dikonsumsi, tanpa memperhitungkan kerugian energi yang terbuang dalam bentuk panas sisa. Kedua, efisiensi termal neto, yang lebih realistis karena memasukkan faktor kerugian energi dari sistem, misalnya panas buangan dari turbin maupun sistem pendinginan [19]. Dengan demikian, efisiensi neto dianggap lebih mencerminkan kondisi operasional pembangkit secara nyata.

Bab 3. Metodologi Penelitian

Pada bab ini peneliti menjelaskan metode yang dikenakan mengenai Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate* pada Sistem PLTG di PLTGU PT. Mitra Energi Batam.

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Penyelesaian penelitian ini meliputi beberapa langkah-langkah kerja yang dilaksanakan yakni:

1. Langkah awal penelitian ini dimulai dengan tahap studi literatur yaitu mengumpulkan informasi serta data relevan terkait dengan judul penelitian.
2. Selanjutnya, data operasional yang berkaitan dengan pengoperasian PLTG Unit 1 PT MEB dikumpulkan. Periode pengambilan data dari tanggal 18-20 Desember 2025. Data operasional yang dikumpulkan meliputi *Output Generator (Gross Load)* (kW), konsumsi bahan bakar gas (ft^3/h), *Gross Heating Value* (BTU/ft^3), *Lower Heating Value* (kJ/kg), dan *Mass Flow* (kg/s). Data tersebut diperoleh dari *Distributed Control System* (DCS) PLTG Unit 1 PT Mitra Energi Batam. Pada penelitian ini, parameter *Output Generator* digunakan sebagai representasi beban operasi dalam analisis *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan *Heat Rate*. Langkah ini sangat penting guna memastikan jika data yang digunakan dalam perhitungan tersebut akurat dan relevan, sehingga hasilnya dapat dipercaya.
3. Setelah data operasional terkumpul, kemudian dilakukan pengolahan dan perhitungan nilai *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate* menggunakan rumus (1), (2). Pengolahan data ini dilakukan untuk mencari hubungan antara perubahan beban dengan nilai *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate*. Peneliti akan mengolah data tersebut dengan hati-hati guna memastikan hasil yang benar serta akan dianalisis lebih lanjut.
4. Tahap akhir penelitian ini yaitu menganalisis data yang dihasilkan, dimana peneliti akan mengenakan hasil perhitungan dan analisis untuk menarik kesimpulan serta dilakukan pembahasan dari data yang diolah. Setelah proses analisa, peneliti juga membuat kesimpulan tentang pengaruh variasi beban operasi mempengaruhi *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate* dari hasil analisis serta memberikan saran untuk mengelola operasi PLTG berdasarkan hasil analisis tersebut.

3.2 Objek Penelitian

Penelitian ini berfokus pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) MEB 1 yang dioperasikan oleh PT Mitra Energi Batam. Unit pembangkit ini menghasilkan listrik melalui pembakaran bahan bakar gas, yang menghasilkan gas bertekanan dan bertemperatur tinggi, yang kemudian dikonversi menjadi energi mekanik pada turbin gas untuk menggerakkan generator listrik.

3.3. Variabel Penelitian

Adapun variabel akan dianalisis oleh peneliti yakni:

3.3.1 Variabel Bebas

1. Variasi Beban Operasi

3.3.2 Variabel Terikat

1. *Specific Fuel Consumption*
2. *Heat Rate*

3.4 Metode Penelitian

Metode analisis dikenakan penelitian ini yaitu regresi linier sederhana. Metode ini dipilih untuk mengetahui hubungan dan pengaruh setiap variabel independen terhadap variabel dependen dalam data kuantitatif serta terukur. Dalam penelitian ini, variabel bebas berupa variasi beban operasi PLTG, sedangkan variabel terikat adalah *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate*. Model persamaan regresi linear sederhana dinyatakan sebagai berikut [20]:

$$Y' = a + bx \quad (3)$$

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (4)$$

$$b = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (5)$$

Keterangan:

Y : variabel terikat (*Specific Fuel Consumption* atau *Heat Rate*)

X : variabel bebas (beban operasi PLTG)

a : konstanta regresi

b : koefisien arah regresi linier

Y' : Nilai yang diprediksi

Nilai konstanta menunjukkan nilai SFC atau *Heat Rate* saat beban operasi bernilai nol secara matematis, sedangkan koefisien regresi menunjukkan besar perubahan SFC atau *Heat Rate* akibat perubahan satu satuan beban operasi. Analisis regresi dilakukan secara terpisah untuk masing-masing parameter, yaitu hubungan antara beban operasi terhadap *Heat Rate* serta beban operasi terhadap

Specific Fuel Consumption. Untuk analisis regresi linier sederhana ini dengan mengenakan fitur-fitur program SPSS 25.

3.5 Analisa Pengujian

3.5.1 Uji Signifikansi t

Uji t dikenakan guna menetapkan apakah variabel independen, yakni variasi beban operasi, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen, yakni *Specific Fuel Consumption* dan *Heat Rate*. Uji ini dilakukan terhadap koefisien regresi pada model regresi linear sederhana. Adapun persamaan yaitu [21]:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (5)$$

Keterangan :

t : Nilai dari t_{hitung}

r : Koefisien Korelasi *Pearson Product*

n : Banyak data

Hipotesis yang dikenakan dalam uji t yakni:

H_0 : Variasi beban operasi tidak berpengaruh signifikan terhadap SFC atau *Heat Rate*.

H_a : Variasi beban operasi berpengaruh signifikan terhadap SFC atau *Heat Rate*.

Pengambilan keputusan dengan kriteria berikut:

H_0 : diterima jikalau $t_{hitung} < t_{tabel}$ pada $\alpha : 5 \%$

H_a : diterima jikalau $t_{hitung} > t_{tabel}$ pada $\alpha : 5 \%$

Uji hipotesis dilaksanakan dengan membandingkan nilai t yang dihitung (t_{hitung}) dengan nilai t tabel (t_{tabel}) pada tingkat signifikansi 5 %. Untuk menghitung t_{hitung} digunakan alat bantu SPSS 25. Uji ini juga dapat dilakukan dengan memeriksa nilai signifikansi (p-value). Jikalau nilai $p < 0,05$ sehingga H_0 ditolak serta H_a diterima. Uji t dilakukan secara terpisah untuk masing-masing hubungan regresi, yaitu antara beban operasi dengan *Specific Fuel Consumption* dan antara beban operasi dengan *Heat Rate*.

3.5.2 Uji Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi dikenakan guna menentukan kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan variasi variabel terikat. Dimana pada parameter variasi beban operasi (X) terhadap SFC atau *Heat Rate* (Y), Nilai R^2 menunjukkan jumlah varian variabel terikat yang bisa dijelaskan oleh variabel bebasnya. Koefisien determinasi bisa dihitung dengan rumus berikut [21]:

$$KD = r^2 \times 100\% \quad (6)$$

Dimana :

KD : Koefisien Determinan

r^2 : Koefisien Korelasi

Salah satu indikator statistik yang dikenakan guna mengetahui sejauh mana variabel independen bisa menjelaskan variasi yang terjadi pada variabel dependen adalah R kuadrat ataupun koefisien determinasi. Nilainya berkisar antara 0 serta 1. Semakin mendekati angka 1, makin besar pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Dengan kata lain, R kuadrat (R^2) merupakan ukuran seberapa kuat hubungan antara dua jenis variabel. Dalam praktiknya, nilai R kuadrat biasanya dikategorikan menjadi 3 tingkatan, yakni kuat, sedang, serta lemah, sehingga memudahkan peneliti untuk menilai seberapa kuat model penelitian yang dikenakan. Guna mengetahui nilai dari koefisien determinasi pada penelitian ini dikenakan alat bantu SPSS 25 .

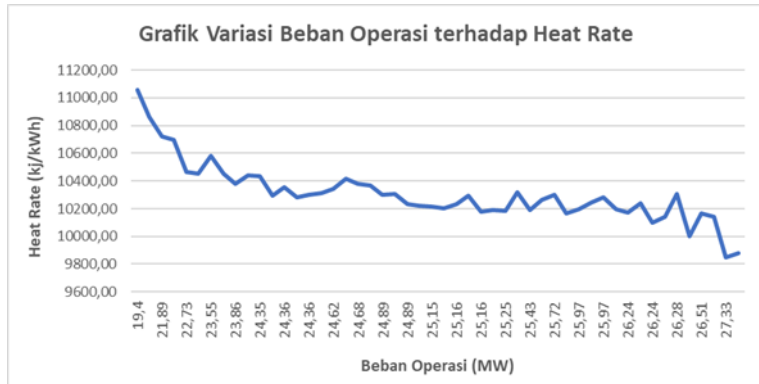
Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengolahan Data



Gambar 5. Grafik Hubungan Beban Operasi Pembangkit terhadap SFC

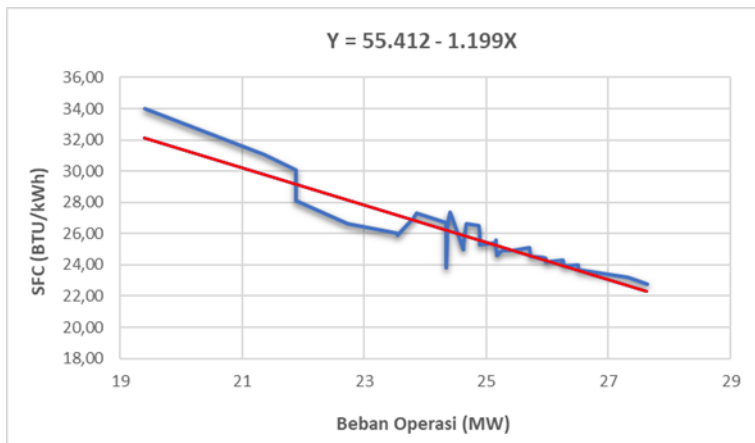
Gambar 5 merupakan grafik hubungan antara Beban Operasi Pembangkit (MW) dengan *Specific Fuel Consumption* (BTU/kWh) berdasarkan data yang dikumpulkan dan diolah selama tanggal 18 – 20 Desember 2025. Grafik tersebut menunjukkan bahwa *Specific Fuel Consumption* (SFC) berfluktuasi dan cenderung menurun seiring dengan meningkatnya beban operasi PLTG. Pada beban terendah sekitar 19,4 MW, nilai SFC tetap berada dalam kisaran 33,9 BTU/kWh, kemudian menurun cukup tajam menjadi hampir 26 BTU/kWh saat beban naik di atas 22 MW. Nilai SFC terus berfluktuasi dalam rentang beban sekitar 23 hingga 25 MW, yang menunjukkan pengaruh kondisi operasi turbin, karakteristik pembakaran, atau perubahan efisiensi selama operasi. Namun, tren umumnya tetap menunjukkan penurunan SFC seiring dengan meningkatnya beban. Di sekitar beban 27,33 MW, SFC berada pada sekitar 22,77 BTU/kWh, titik terendah pada grafik. Hal ini menunjukkan bahwa PLTG beroperasi lebih efisien pada beban yang lebih tinggi, karena output energi meningkat lebih besar daripada konsumsi bahan bakar. Oleh karena itu, hubungan antara perubahan beban operasional dan SFC bersifat negatif. Dengan demikian, peningkatan beban operasional berkontribusi pada penurunan konsumsi bahan bakar spesifik dan peningkatan efisiensi operasional pembangkit listrik.



Gambar 6. Grafik Hubungan Beban Operasi Pembangkit terhadap *Heat Rate*

Gambar 6 memperlihatkan grafik hubungan antara beban operasi pembangkit (MW) dengan nilai *Heat Rate* (kJ/kWh) berdasarkan data yang dikumpulkan dan diolah selama tanggal 18 – 20 Desember 2025. Dari grafik di atas, terlihat bahwa nilai *heat rate* menunjukkan tren penurunan seiring dengan meningkatnya beban operasi PLTG. Pada beban 19,4 MW, nilai *heat rate* yang dihitung berada pada kisaran 11.054,84 kJ/kWh. Nilai ini menurun cukup signifikan menjadi sekitar 10.450 kJ/kWh pada beban 22 MW. Selanjutnya, nilai *heat rate* terus berfluktuasi dalam rentang beban 23–26 MW, namun perubahannya relatif kecil dan tetap berada dalam kisaran 10.150 sampai 10.350 kJ/kWh. Variasi kondisi operasi turbin, karakteristik pembakaran, serta perubahan parameter operasi selama pembangkit beroperasi dapat menyebabkan fluktuasi ini. Namun, tren umum pada grafik menunjukkan korelasi negatif antara beban operasi dan nilai *heat rate*. Pada beban tertinggi sekitar 27,33 MW nilai *heat rate* mencapai titik terendahnya, yaitu sekitar 9.880 kJ/kWh. Penurunan nilai *heat rate* berarti energi termal yang dibutuhkan untuk menghasilkan setiap kWh listrik menjadi lebih sedikit, sehingga meningkatkan efisiensi termal PLTG. Oleh karena itu, peningkatan beban operasi berdampak positif terhadap efisiensi PLTG, karena jumlah energi bahan bakar yang diperlukan per satuan energi listrik yang dihasilkan berkurang.

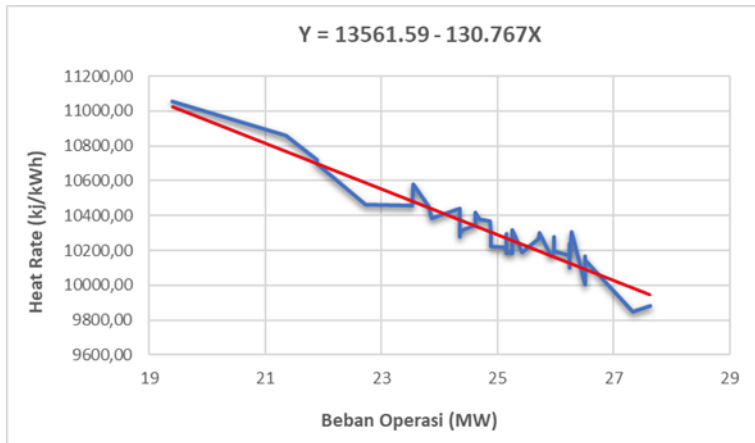
4.2 Analisa Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap *Specific Fuel Consumption*



Gambar 7. Grafik Linearitas Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap SFC

Gambar 7 adalah grafik linier yang menunjukkan hubungan antara Beban Operasi (MW) dan *Specific Fuel Consumption* (BTU/kWh). Grafik tersebut menggambarkan bahwa hubungan antara beban operasi (MW) dan *Specific Fuel Consumption* (BTU/kWh) sesuai dengan asumsi linearitas. Hal ini dapat diamati dari distribusi data yang cenderung mengikuti pola garis lurus dan mendekati garis regresi yang dihasilkan. Tidak terdapat pola melengkung atau penyimpangan yang signifikan, sehingga hubungan antara variabel-variabel tersebut dapat dianggap linier. Persamaan regresi $\hat{Y} = 55,412 - 1,199X$ memperlihatkan jika kemiringan garis tersebut negatif. Hal ini mengindikasikan adanya hubungan terbalik, di mana peningkatan beban disertai dengan penurunan nilai SFC. Dalam konteks linearitas, perubahan pada variabel bebas menyebabkan perubahan pada variabel terikat dengan arah dan laju yang relatif stabil. Selain itu, kedekatan titik-titik data dengan garis regresi memperlihatkan jika model linier yang dikenakan secara memadai mewakili hubungan antara kedua variabel tersebut. Penelitian ini menerapkan analisis regresi sederhana untuk memprediksi sejauh mana hubungan antara beban operasi *Specific Fuel Consumption*.

4.3 Analisa Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap *Heat Rate*



Gambar 8. Grafik Linearitas Pengaruh Variasi Beban Operasi terhadap Heat Rate

Gambar 8 menunjukkan grafik linier antara Beban Operasi (MW) dan *Heat Rate* (kJ/kWh). Analisis regresi sederhana dikenakan untuk memprediksi kekuatan hubungan antara beban operasional dan *Heat Rate* dalam penelitian ini. Gambar tersebut memperlihatkan jika hubungan antara beban operasi (MW) dan *heat rate* (kJ/kWh) memenuhi asumsi linearitas. Perihal ini terlihat dari distribusi data yang cenderung mengikuti pola garis lurus di sekitar garis regresi. Tidak terdapat pola penyimpangan yang mencolok. Dengan demikian, hubungan antar variabel dapat dikategorikan sebagai hubungan linier. Persamaan regresi $\hat{Y} = 13561,59 - 130,767X$ memperlihatkan jika nilai kemiringan (*slope*) bersifat negatif. Hal ini memperlihatkan jika ketika beban operasi meningkat, nilai *Heat Rate* menurun. Perubahan *Heat Rate* ini memiliki arah yang konsisten dan laju yang relatif tetap seiring dengan perubahan variabel beban dalam kerangka linearitas. Kedekatan titik-titik data dengan garis regresi juga memperlihatkan jika model linier yang dikenakan mampu menggambarkan hubungan antara kedua variabel tersebut. Analisis regresi sederhana digunakan untuk memprediksi besaran hubungan antara beban operasi dengan *Heat Rate*.

4.4 Uji Analisis Regresi Linear Sederhana

4.4.1 Analisis Regresi Variasi Beban Operasi terhadap SFC

Penelitian ini mengenakan analisis regresi sederhana untuk memprediksi besarnya hubungan antara beban operasional dengan *Specific Fuel Consumption*. Hasil uji analisis regresi sederhana bisa dilihat pada tabel 1 :

Tabel 1. Hasil Uji Regresi Sederhana Variasi Beban Operasi terhadap SFC

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	55.412	1.902		29.133	.000
Variasi Beban	-1.199	.076	-.915	-15.274	.000

Sumber: Output SPSS yang diolah penulis (2026)

Dari hasil analisis regresi linier sederhana di atas mengenakan SPSS, didapatkan persamaan $\hat{Y} = 55,412 - 1,199X$. Nilai konstanta sejumlah 55,412 memperlihatkan jika pada kondisi beban mendekati nol, nilai SFC diperkirakan berada pada angka tersebut Koefisien regresi yang diperoleh adalah -1,199, yang berarti bahwa jika beban meningkat sejumlah 1 satuan, nilai SFC akan menurun sejumlah 1,199. Tanda negatif pada koefisien memperlihatkan adanya hubungan yang berbanding terbalik antara beban dan SFC. Perihal ini menunjukkan jika peningkatan beban operasi diikuti oleh penurunan *Specific Fuel Consumption*, sehingga efisiensi penggunaan bahan bakar menjadi lebih baik. Dengan demikian, model regresi ini menggambarkan bahwa beban merupakan faktor yang memengaruhi perubahan nilai SFC secara konsisten.

4.4.2 Analisis Regresi Variasi Beban Operasi terhadap Heat Rate

Penelitian ini mengenakan analisis regresi sederhana untuk memprediksi besarnya hubungan antara beban operasional terhadap *Heat Rate*. Hasil uji analisis regresi sederhana bisa dilihat pada tabel 2 :

Tabel 2. Hasil Uji Regresi Sederhana Variasi Beban Operasi terhadap *Heat Rate*

<i>Coefficients^a</i>					
Model	<i>Unstandardized Coefficients</i>		<i>Standardized Coefficients</i>	T	Sig.
	B	Std.Error	Beta		
1 (Constant)	13561.596	171.269		79.183	.000
Variasi Beban	-130.767	6.867	-.940	-19.043	.000

Sumber: Output SPSS yang diolah penulis (2026)

Hasil analisis regresi linier sederhana mengenakan SPSS memperlihatkan persamaan $\hat{Y} = 13561,596 - 130,767X$. Nilai konstanta sejumlah 13561,596 memperlihatkan jika pada kondisi beban mendekati nol, nilai *heat rate* berada pada kisaran tersebut. Koefisien regresi sejumlah -130,767 memperlihatkan jika setiap kenaikan beban sejumlah 1 satuan akan menurunkan nilai *Heat Rate* sejumlah 130,767. Arah hubungan yang negatif memperlihatkan jika peningkatan beban operasi berkontribusi terhadap penurunan *Heat Rate* yang dihasilkan. Hal ini mengindikasikan jika *Heat Rate* menurun seiring dengan bertambahnya beban. Model ini memperlihatkan jika variasi beban memiliki peran yang kuat dalam menjelaskan perubahan nilai *Heat Rate*.

4.4 Uji Parsial (Uji T)

Tabel 1 memperlihatkan nilai t sejumlah -15,274 untuk variabel beban terkait *Specific Fuel Consumption*, sedangkan Tabel 2 menunjukkan nilai t sejumlah -19,043 untuk variabel beban terkait *Heat Rate* di mana kedua nilai tersebut > nilai t tabel sejumlah 1,67 (sebagaimana ditunjukkan dalam lampiran), dengan tingkat signifikansi $0,000 < 0,05$. Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian ini adalah yaitu variasi beban mempunyai pengaruh negatif signifikan terhadap SFC dan *Heat Rate* sebab nilai t yang dihitung > nilai t tabel serta tingkat signifikansinya < 0,05. Oleh sebab itu, H_0 ditolak serta H_a diterima. Dengan demikian, perihal ini memperlihatkan jika peningkatan beban memiliki pengaruh terhadap penurunan nilai SFC dan *Heat Rate* sebagai indikator peningkatan efisiensi pembangkit.

4.5 Uji Koefisiensi Determinasi

Tabel 3. Hasil Uji Koefisiensi Determinasi Variasi Beban terhadap SFC

Model Summary				
Model	R	R ²	Adjusted R ²	Std. Error of the Estimate
1	0.915	0.837	0.834	0.80681

Sumber: Output SPSS yang diolah penulis (2026)

Tabel 4. Hasil Uji Koefisiensi Determinasi Variasi Beban terhadap *Heat Rate*

Model Summary				
Model	R	R ²	Adjusted R ²	Std. Error of the Estimate
1	0.940	0.883	0.881	72.64971

Sumber: Output SPSS yang diolah penulis (2026)

Tabel 3 menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) sejumlah 0,837. Perihal ini artinya jika 83,7% variasi nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) bisa dijelaskan oleh perubahan beban operasi. Hal ini memperlihatkan jika beban merupakan faktor utama yang memengaruhi nilai SFC. Sementara sisanya sejumlah 16,3% dipengaruhi faktor lain di luar model, misalnya kondisi peralatan, kualitas bahan bakar, maupun faktor operasional lainnya. Tabel 4 menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) sejumlah 0,883 berarti 88,3% dari variasi *Heat Rate* dapat dijelaskan oleh perubahan beban operasi. Sisanya sejumlah 11,7% dipengaruhi faktor-faktor lain yang tidak termasuk dalam model, yang berada di luar variabel beban. Sutisna dan Rahmayanti menyatakan bahwa mengacu pada Hair et al 2011, nilai koefisiensi determinasi (R^2) sebesar 0,75 atau lebih termasuk dalam kategori kuat [22]. Nilai ini memperlihatkan adanya tingkat keterkaitan yang kuat antara beban dengan *Specific Fuel Consumption* maupun dengan *Heat Rate*.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

- 1) Berdasarkan pada hasil analisis yang telah dilaksanakan, variasi beban operasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai *Specific Fuel Consumption* Spesifik (SFC). Perihal ini ditunjukkan oleh persamaan regresi $\hat{Y} = 55,412 - 1,199X$, di mana konstanta sejumlah 55,412 dan koefisien regresi bernilai negatif sejumlah -1,199. Nilai koefisien tersebut memperlihatkan jika setiap kenaikan beban sejumlah 1 unit akan menurunkan nilai SFC sejumlah 1,199. Hubungan negatif ini memperlihatkan jika semakin tinggi beban kerja, semakin efisien penggunaan bahan bakar. Nilai signifikansi yang diperoleh yaitu $0,000 < 0,05$. Bisa dikatakan jika variasi beban memiliki pengaruh yang signifikan terhadap SFC. Nilai koefisien determinasi sejumlah 83,7% memperlihatkan jika sebagian besar variasi SFC bisa dijelaskan oleh perubahan beban, sementara itu lebihnya dipengaruhi faktor-faktor lain di luar model.
- 2) Hasil pengujian juga memperlihatkan jika variasi beban mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap *Heat Rate*. Perihal ini terlihat dari persamaan regresi $\hat{Y} = 13561,596 - 130,767X$ dengan nilai konstanta sejumlah 13561,596 dan koefisien regresi bernilai negatif sejumlah -130,767. Nilai tersebut memperlihatkan jika setiap kenaikan beban sejumlah satu unit akan mengakibatkan penurunan *Heat Rate* sejumlah 130,767. Kondisi ini memperlihatkan jika peningkatan beban berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi termal pembangkit. Berdasarkan nilai signifikansi yang didapat sejumlah $0,000 < 0,05$, sehingga bisa dikatakan jika pengaruh tersebut signifikan. Nilai koefisien determinasi sejumlah 88,3% memperlihatkan jika variasi *Heat Rate* sebagian besar dipengaruhi oleh beban, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar model.

5.2 Saran

- 1) Penelitian selanjutnya perlu memasukkan variabel seperti kualitas bahan bakar, suhu udara masuk kompresor, kondisi komponen turbin maupun faktor lainnya. Hal ini karena 16,3 % variasi SFC dan 11,3 % variasi *Heat Rate* dipengaruhi faktor diluar beban operasi.
- 2) Perlu dilakukan pengoptimalan pembebanan PLTG Unit 1 pada beban tinggi mendekati kapasitas desain dan menghindari operasi dibawah 22 MW, karena dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar dan biaya produksi listrik.
- 3) Penelitian serupa perlu dilakukan untuk membandingkan karakteristik SFC dan *Heat Rate* antar unit, sehingga pembebanan sistem PLTG secara keseluruhan dapat dioptimalkan.

Daftar Pustaka

- [1] B. P. Statistik, "Pertumbuhan Ekonomi Indonesia Triwulan IV-2024," Jakarta, 2025.
- [2] M. Energi, "MITRA ENERGI BATAM," medcopower.co.id. [Online]. Available: <https://medcopower.co.id/id/project/mitra-energi-batam/>
- [3] N. Azila and P. Loyda Tarigan, "Analisis Efektivitas Gas Turbine Generator pada PT Mitra Energi Batam," *SURYA Tek.*, vol. 10, pp. 834–841, 2023.
- [4] A. Ariyandi, T. Taqiyuddin, and D. P. S, "Analisis Variasi Pembebanan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Pembangkit Batubara, Heat Rate dan Biaya Produksi Listrik di PLTU Asam Asam Unit 4," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 9, no. 1, pp. 526–532, Oct. 2024, doi: 10.36277/jteuniba.v9i1.298.
- [5] L. Hasanudin, Y. Gunawan, A. Lolok, . S., . K., and . S., "HEAT RATE SYSTEM ANALYSIS IN THE STEAM POWER PLANT IN NIITANASA USING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY LOW-CALORIE FUELS (REVISI)," *MATTER Int. J. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 58–70, Apr. 2020, doi: 10.20319/mijst.2020.61.5870.
- [6] M. F. Ibadurrahman, "Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pembangkitan (Studi Kasus pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Sicanang) , Skripsi," Universitas Sumatra Utara, 2019. [Online]. Available: <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/23752>
- [7] M. H. FADHLULLAH, "ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR PEMBANGKIT DI PT. INDONESIA POWER UNIT PEMBANGKITAN SEMARANG SUB UNIT PLTG SUNYARAGI CIREBON Skripsi," Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2023. [Online]. Available: <https://etd.umy.ac.id/id/eprint/41186/>
- [8] N. Mahfuzah, S. Tara Difpa, and H. Ibrahim, "PERAWATAN TURBIN SEBELUM DAN SESUDAH COMBUSTION INSPECTION DI PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK GAS," *SINERGI POLMED J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 21–30, Mar. 2024, doi: 10.51510/sinergipolmed.v5i1.1430.
- [9] V. Nabilah, R. S. Marpaung, and R. Nainggolan, "Analisis Pengaruh Pemeliharaan Komponen Pltg Terhadap Unjuk Kerja Turbin Gas Pt Pln Updk Belawan," in *Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan*, Politeknik Negeri Medan, 2022, pp. 1047–1055.
- [10] I. Nanda Kumara, K. Hie Khwee, and Yandri, "Studi Pengaruh Heat Rate Terhadap Kinerja Pada Pltu Biomassa Di Pt. Harjohn Timber," *J. Untan*, p. 10, 2021.
- [11] "Standar Operasi Pusat Listrik Tenaga Gas, SPLN 80 : 1989," Jakarta.

- [12] M. M. N. Rizca, Q. Sholehah, and S. Siswanto, "ANALISIS BEBAN GENERATOR TERHADAP NILAI HEAT RATE DAN EFISIENSI PLTU (STUDI OBSERVASIONAL DI PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA, Tbk P-12 TARJUN – KALIMANTAN SELATAN)," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–84, Dec. 2018, doi: 10.20527/sjmekinematika.v3i2.13.
- [13] A. A. Tjoteng, D. M. Kamal, and Belyamin, "Analisis Eksergi Turbin Gas Setelah Overhaul Combustor Blok 4 Di PT. X," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 2023, pp. 859–867. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [14] T. Gallo Cassarino, E. Sharp, and M. Barrett, "The impact of social and weather drivers on the historical electricity demand in Europe," *Appl. Energy*, vol. 229, no. April, pp. 176–185, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.07.108.
- [15] I. E. Agency, *Status of Power System Transformation 2018*. Paris: OECD, 2018. doi: 10.1787/9789264302006-en.
- [16] R. Grigore, A. Hazi, I. V. Banu, S. E. Popa, and S. G. Vernica, "Enhancing the Energy Performance of a Gas Turbine: Component of a High-Efficiency Cogeneration Plant," *Energies*, vol. 17, no. 19, p. 4860, Sep. 2024, doi: 10.3390/en17194860.
- [17] J. H. Lee, D. W. Kang, J. H. Jeong, and T. S. Kim, "Quantification of variations in the compressor characteristics of power generation gas turbines at partial loads using actual operation data," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 37, no. 3, pp. 1509–1521, Mar. 2023, doi: 10.1007/s12206-023-0236-9.
- [18] K. Selvasundar, T. Kalaiselvi, S. Arunchezian, and M. Senthilarasan, "Automation of FCC Centered Oil Refinery for Diesel Maximization," vol. 08, no. 05, pp. 996–1000, 2016.
- [19] M. H. Ahmadi, M. Alhuyi Nazari, R. Ghasempour, F. Pourfayaz, M. Rahimzadeh, and T. Ming, "A review on solar-assisted gas turbines," *Energy Sci. Eng.*, vol. 6, no. 6, pp. 658–674, Dec. 2018, doi: 10.1002/ese3.238.
- [20] D. Muriyatmoko, "ANALISA VOLUME TERHADAP SITASI MENGGUNAKAN REGRESI LINIER PADA JURNAL BEREPUTASI DI INDONESIA," *J.Simantec*, vol. 6, no. 3, pp. 129–134, 2018, doi: 10.21107/simantec.v6i3.4406.
- [21] B. I. Sanny and R. K. Dewi, "Pengaruh Net Interest Margin (NIM) Terhadap Return on Asset (ROA) Pada PT Bank Pembangunan Daerah Jawa Barat Dan Banten Tbk Periode 2013-2017," *J.E-Bis (Ekonomi-Bisnis)*, vol. 4, no. 1, pp. 78–87, 2020, doi: 10.37339/jurnal e-bis.v4i1.239.
- [22] D. Sutisna and R. Rahmayanti, "The Influence of Persistence on Job-Change Intentions Among Industrial Millennial Workers," *Indones. Interdiscip. J. Sharia Econ.*, vol. 8, no. 3, pp. 13526–13540, 2025.

Biodata

Pas Foto
2 x 3

Nama	: Ikhsan Wahyu Ramadhan
TTL	: Batam, 15 November 2002
Agama	: Islam
Alamat	: Kavling Sagulung Baru Blok N 118
Email	: ramadhanikhsan316@gmail.com
Riwayat Pendidikan	SMA/SMK : SMA N 5 Batam
	SMP : SMP N 9 Batam

Lampiran

Tabel 5. Hasil Pengambilan Data Parameter Operasi

Mf (kg/s)	GHV (BTU/ft³)	LHV (kj/kg)	Output Generator (MW)	MSCF (ft³/h)
1,348	1070,49	44193,85	19,4	615,63
1,458	1071,55	44193,85	21,36	618,65
1,475	1071,16	44193,85	21,89	613,95
1,472	1072,71	44193,85	21,89	573,62
1,495	1078,91	44193,85	22,73	560,62
1,547	1078,64	44193,85	23,54	568,42
1,566	1078,49	44193,85	23,55	564,9
1,564	1078,48	44193,85	23,81	595,89
1,557	1079,24	44193,85	23,86	604,19
1,598	1083,89	44193,85	24,35	599,88
1,597	1081,51	44193,85	24,35	536,81
1,576	1078,31	44193,85	24,35	537,98
1,586	1077,27	44193,85	24,36	577,92
1,574	1072,96	44193,85	24,36	591,77
1,577	1073,11	44193,85	24,36	600,65
1,582	1074,21	44193,85	24,4	622,01
1,601	1073	44193,85	24,62	572,34
1,612	1068,92	44193,85	24,62	584,21
1,61	1069,1	44193,85	24,68	614,5
1,621	1066,9	44193,85	24,88	617,56
1,611	1072,62	44193,85	24,89	604,34
1,612	1074,36	44193,85	24,89	603,67
1,601	1075,81	44193,85	24,89	592,59
1,599	1073,86	44193,85	24,89	585,65
1,615	1073,19	44193,85	25,15	595,91

Mf (kg/s)	GHV (BTU/ft³)	LHV (kj/kg)	Output Generator (MW)	MSCF (ft³/h)
1,613	1073,11	44193,85	25,16	585,65
1,618	1073,19	44193,85	25,16	600,23
1,628	1074,36	44193,85	25,16	594,47
1,61	1073,11	44193,85	25,16	592,92
1,612	1074,98	44193,85	25,17	576,54
1,616	1073,51	44193,85	25,25	586,32
1,638	1074,25	44193,85	25,26	586,1
1,629	1073,19	44193,85	25,43	589,76
1,659	1074,53	44193,85	25,71	600,56
1,665	1074,59	44193,85	25,72	586,88
1,656	1073,9	44193,85	25,92	590,23
1,664	1074,24	44193,85	25,97	590,19
1,672	1074,11	44193,85	25,97	589,55
1,678	1073,73	44193,85	25,97	590,91
1,664	1073,25	44193,85	25,97	585,46
1,678	1074,64	44193,85	26,24	593,34
1,689	1072,88	44193,85	26,24	589,02
1,666	1072,92	44193,85	26,24	590,14
1,673	1071,07	44193,85	26,25	595,56
1,702	1072,52	44193,85	26,28	586,77
1,667	1072,93	44193,85	26,51	592,09
1,694	1072,96	44193,85	26,51	586,71
1,69	1072,34	44193,85	26,51	585,22
1,692	1073,5	44193,85	27,33	590,79
1,716	1072,87	44193,85	27,63	586,53

Tabel 6. Hasil Pengolahan Data pada berbagai Variasi Beban Operasi

Beban Operasi (MW)	SFC (BTU/kWh)	Heat Rate (kJ/kWh)
19,4	33,97	11054,84
21,36	31,04	10859,77
21,89	30,04	10720,39
21,89	28,11	10698,59
22,73	26,61	10464,20
23,54	26,05	10455,58
23,55	25,87	10579,50
23,81	26,99	10450,61
23,86	27,33	10382,04
24,35	26,70	10441,00
24,35	23,84	10434,47
24,35	23,82	10297,26
24,36	25,56	10358,34
24,36	26,07	10279,97
24,36	26,46	10299,56
24,4	27,38	10315,28
24,62	24,94	10345,88
24,62	25,36	10416,97
24,68	26,62	10378,75
24,88	26,48	10365,66
24,89	26,04	10297,58
24,89	26,06	10303,97
24,89	25,61	10233,66
24,89	25,27	10220,87
25,15	25,43	10216,42
25,16	24,98	10199,72
25,16	25,60	10231,33
25,16	25,38	10294,57

Beban Operasi (MW)	SFC (BTU/kWh)	Heat Rate (kJ/kWh)
25,16	25,29	10180,75
25,17	24,62	10189,34
25,25	24,93	10182,26
25,26	24,93	10316,80
25,43	24,89	10191,52
25,71	25,10	10266,17
25,72	24,52	10299,30
25,92	24,45	10164,59
25,97	24,41	10194,03
25,97	24,38	10243,04
25,97	24,43	10279,79
25,97	24,20	10194,03
26,24	24,30	10174,02
26,24	24,08	10240,71
26,24	24,13	10101,26
26,25	24,30	10139,84
26,28	23,95	10303,83
26,51	23,96	10004,38
26,51	23,75	10166,42
26,51	23,67	10142,41
27,33	23,20	9849,747
27,63	22,77	9880,996

Lampiran Tabel t

Tabel t (41 – 80)

df \ Pr	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
	0.50	0.20	0.10	0.050	0.02	0.010	0.002
41	0.68052	1.30254	1.68288	2.01954	2.42080	2.70118	3.30127
42	0.68038	1.30204	1.68195	2.01808	2.41847	2.69807	3.29595
43	0.68024	1.30155	1.68107	2.01669	2.41625	2.69510	3.29089
44	0.68011	1.30109	1.68023	2.01537	2.41413	2.69228	3.28607
45	0.67998	1.30065	1.67943	2.01410	2.41212	2.68959	3.28148
46	0.67986	1.30023	1.67866	2.01290	2.41019	2.68701	3.27710
47	0.67975	1.29982	1.67793	2.01174	2.40835	2.68456	3.27291
48	0.67964	1.29944	1.67722	2.01063	2.40658	2.68220	3.26891
49	0.67953	1.29907	1.67655	2.00958	2.40489	2.67995	3.26508
50	0.67943	1.29871	1.67591	2.00856	2.40327	2.67779	3.26141
51	0.67933	1.29837	1.67528	2.00758	2.40172	2.67572	3.25789
52	0.67924	1.29805	1.67469	2.00665	2.40022	2.67373	3.25451
53	0.67915	1.29773	1.67412	2.00575	2.39879	2.67182	3.25127
54	0.67906	1.29743	1.67356	2.00488	2.39741	2.66998	3.24815
55	0.67898	1.29713	1.67303	2.00404	2.39608	2.66822	3.24515
56	0.67890	1.29685	1.67252	2.00324	2.39480	2.66651	3.24226
57	0.67882	1.29658	1.67203	2.00247	2.39357	2.66487	3.23948
58	0.67874	1.29632	1.67155	2.00172	2.39238	2.66329	3.23680
59	0.67867	1.29607	1.67109	2.00100	2.39123	2.66176	3.23421
60	0.67860	1.29582	1.67065	2.00030	2.39012	2.66028	3.23171
61	0.67853	1.29558	1.67022	1.99962	2.38905	2.65886	3.22930
62	0.67847	1.29536	1.66980	1.99897	2.38801	2.65748	3.22696
63	0.67840	1.29513	1.66940	1.99834	2.38701	2.65615	3.22471
64	0.67834	1.29492	1.66901	1.99773	2.38604	2.65485	3.22253
65	0.67828	1.29471	1.66864	1.99714	2.38510	2.65360	3.22041
66	0.67823	1.29451	1.66827	1.99656	2.38419	2.65239	3.21837
67	0.67817	1.29432	1.66792	1.99601	2.38330	2.65122	3.21639
68	0.67811	1.29413	1.66757	1.99547	2.38245	2.65008	3.21446
69	0.67806	1.29394	1.66724	1.99495	2.38161	2.64898	3.21260
70	0.67801	1.29376	1.66691	1.99444	2.38081	2.64790	3.21079
71	0.67796	1.29359	1.66660	1.99394	2.38002	2.64686	3.20903
72	0.67791	1.29342	1.66629	1.99346	2.37926	2.64585	3.20733
73	0.67787	1.29326	1.66600	1.99300	2.37852	2.64487	3.20567
74	0.67782	1.29310	1.66571	1.99254	2.37780	2.64391	3.20406
75	0.67778	1.29294	1.66543	1.99210	2.37710	2.64298	3.20249
76	0.67773	1.29279	1.66515	1.99167	2.37642	2.64208	3.20096
77	0.67769	1.29264	1.66488	1.99125	2.37576	2.64120	3.19948
78	0.67765	1.29250	1.66462	1.99085	2.37511	2.64034	3.19804
79	0.67761	1.29236	1.66437	1.99045	2.37448	2.63950	3.19663
80	0.67757	1.29222	1.66412	1.99006	2.37387	2.63869	3.19526