

**ANALISA PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP
UNJUK KERJA SISTEM TURBIN GAS
DI PT. RIAU POWER - PEKANBARU**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau*



OLEH :

IKHSANUL AJI
133310300

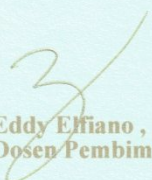
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2019



Sehat Abdi Saragih ST., MT
Dosen Pembimbing I


Tanggal : 16 April 2019


Eddy Elfiano , ST., M.Eng
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 18/04/2019

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP
UNJUK KERJA SISTEM TURBIN GAS
DI PT. RIAU POWER - PEKANBARU

TUGAS AKHIR

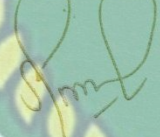
*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Guna Meraih Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau*

Disusun Oleh :

IKHSANULAJI
13.331.0300

Disetujui Oleh :

PEMBIMBING I



SEHAT ABDI SARAGIH, ST., MT

PEMBIMBING II



EDDY ELFIANO, ST., M.Eng

Disahkan Oleh :

DEKAN FAKULTAS TEKNIK



Dr. H. ABDUL KUDUS ZAINI, MT., MS., Tr

KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK MESIN



DODY YULIANTO, ST., MT

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ikhsanul Aji

NPM : 133310300

Judul Skripsi : Analisa pengaruh variasi beban terhadap unjuk kerja sistem turbin gas di PT. Riau Power-Pekanbaru.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri. Jika terdapat karya orang lain saya akan mencantumkan sumbernya yang jelas. Demikian pernyataan ini saya dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Riau.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Pekanbaru, April 2019

Mahasiswa Ybs



Ikhsanul Aji

Ikhsanul Aji

13.331.0300

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum, Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **"ANALISA PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP UNJUK KERJA SISTEM TURBIN GAS DI PT. RIAU POWER - PEKANBARU"**. Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau. Selain itu penulisan tugas akhir ini juga bertujuan agar mahasiswa bisa berpikir secara logis dan ilmiah serta bisa menuangkan pemikirannya secara sistematis dan terstruktur.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada **semua** pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan tugas akhir ini, khususnya kepada :

1. Bapak Ir. H. Abdul Kudus Zaini, MT.MS.Tr selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dody Yulianto, ST., MT. selaku Kepala Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
3. Bapak Dr. Dedi Karni, ST., MT. selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.

4. Bapak Sehat Abdi Saragih.,ST.,MT. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Bapak Eddy Elfiano.,ST.,M.eng. selaku Dosen Pembimbing II dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Kedua Orang tua penulis, ibu Sovia Liza dan bapak Aji Sudin yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik secara moril maupun materi. Serta kakak dan adik-adik penulis terimakasih atas doa dan semangat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Paman penulis yaitu Andri Liza (Mak Adang) yang telah banyak memberikan materi dan semangat dorongan kepada penulis.
8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin khususnya angkatan 2012, 2013 dan 2014 yang selalu membantu dan memberi semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kesalahan. Adanya saran dan kritik demi kesempurnaan tugas akhir ini akan penulis terima dengan senang hati dan penulis ucapkan terima kasih.

Wassalamualaikum, Wr. Wb.

Pekanbaru, April 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR NOTASI.....	ix
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
 BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Sistem Turbin Gas.....	5
2.2 Klasifikasi Sistem Turbin Gas.....	7
2.3 Komponen-komponen Utama PLTG	14
2.3.1 Komponen Utama PLTG.....	14
2.3.2 Bagian-bagian Utama Turbin Gas.....	19
2.4 Pengertian Udara	20
2.5 Pengertian Gas.....	20

2.6 Bahan Bakar Turbin Gas	21
2.7 Proses Pembakaran Pada Turbin Gas.....	23
2.8 Siklus Brayton.....	25
2.9 Pengertian Daya.....	27
2.10 Parameter <i>Performance</i> Turbin Gas.....	29
2.10.1 Panas Yang Masuk.....	29
2.10.2 Torsi	30
2.10.3 Laju Aliran Massa Bahan Bakar.....	30
2.10.4 Pemakaian bahan bakar spesifik.....	31
2.10.5 Efisiensi Termal	31
2.10.6 Kerja Yang berguna	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir.....	33
3.2. Waktu Dan Tempat Penelitian	34
3.3. Alat Dan Bahan	35
3.3.1 Alat Yang Digunakan.....	35
3.3.2 Bahan Yang Digunakan.....	41
3.4. Tahapan Penelitian	42
3.4.1 Persiapan Sebelum Penelitian.....	42
3.4.2 Pelaksanaan Penelitian.....	42
3.5. Pengolahan Data.....	44

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hubungan variasi Beban Terhadap Panas Masuk	51
4.2 Hubungan variasi Beban Terhadap Torsi	53
4.3 Hubungan variasi beban terhadap laju aliran massa bahan bakar...	55
4.4 Hubungan variasi Beban Terhadap Pemakaian Bahan Bakar Spesifik	57
4.5 Hubungan variasi Beban Terhadap Efisiensi Thermal.....	59
4.6 Hubungan variasi Beban Terhadap Kerja Yang Berguna	61

BAB V PENUTUP

4.7 Kesimpulan.....	63
4.8 Saran.....	64

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN DATA PENELITIAN & GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Turbin Gas.....	5
Gambar 2.2. Turbin Gas Siklus Terbuka.....	8
Gambar 2.3. Turbin Gas Siklus Tertutup.....	11
Gambar 2.4. Turbin Gas Poros Tunggal.....	12
Gambar 2.5. Turbin Gas Poros Ganda.....	13
Gambar 2.6. Komponen Utama PLTG.....	16
Gambar 2.7. <i>General Electric Gas Turbine MS5001</i>	12
Gambar 2.8. Proses Pembakaran turbin gas.....	23
Gambar 2.9. Diagram P-V Siklus Brayton.....	12
Gambar 3.0. Diagram T-S Siklus Brayton.....	13
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	33
Gambar 3.2. Tempat penelitian.....	35
Gambar 3.3. PLTG.....	36
Gambar 3.4. <i>Flowmeter</i>	37
Gambar 3.5. Barometer.....	37
Gambar 3.6. Vibration Digital Meter.....	38
Gambar 3.7. Termometer.....	38
Gambar 3.8. Termokopel.....	39
Gambar 3.9. Nozel.....	40
Gambar 3.10. <i>Starting diesel motor</i>	40
Gambar 3.11. <i>Turbin control sistem</i>	41
Gambar 4.1. Hubungan variasi beban (N_e) terhadap panas masuk (Q_m).....	52

Gambar 4.2. Hubungan variasi beban terhadap (MW) Torsi (N.m)	54
Gambar 4.3. Hubungan variasi beban (MW) Terhadap laju aliran massa bahan bakar (kg/jam).....	56
Gambar 4.4. Hubungan variasi beban (MW) terhadap pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) (Kg/Kw.h)	58
Gambar 4.5. Hubungan variasi beban terhadap efisiensi termal (η_{th})	60
Gambar 4.6. Hubungan variasi beban (MW) Terhadap Kerja Yang Berguna (Wn).....	62



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hubungan variasi beban (N_e) terhadap panas masuk (Q_m)	51
Tabel 4.2. Hubungan variasi beban terhadap (MW) Torsi ($N.m$).....	53
Tabel 4.3. Hubungan variasi beban (MW) Terhadap laju aliran massa bahan bakar (kg/jam).....	55
Tabel 4.4. Hubungan variasi beban (MW) terhadap pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) ($Kg/Kw.h$)	57
Tabel 4.5. Hubungan variasi beban terhadap efisiensi termal (η_{th})	59
Tabel 4.6. Hubungan variasi beban (MW) Terhadap Kerja Yang Berguna (W_n).....	61

DAFTAR NOTASI

SIMBOL	ARTI	SATUAN
N_e	Daya Efektif	kW
SFC	Pemakaian bahan bakar spesifik	kg/kW.h
η_{th}	Efisiensi Thermal	%
W_n	Kerja yang berguna	kJ/Jam
t	Temperatur	$^{\circ}C$
T	Torsi	N.m
n	Putaran	rpm
c_p	Kapasitas jenis panas konstan	kJ/kg.K
$\dot{m}_f$	Laju aliran massa bahan bakar	kg/jam
LHV	Nilai pembakaran bawah bahan bakar	kJ/kg
P	Tekanan	N/m^2
Q_m	Panas Masuk	kJ/jam
Q_k	Panas keluar	Kj/jam
P_{bb}	Massa jenis bahan bakar	kg/m^3
$\dot{m}_a$	Laju aliran massa udara	kg/s
N_k	Daya kompresor	kW
N_T	Daya turbin	kW
h	<i>Enthalpy</i>	kJ/k

ANALISA PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP UNJUK KERJA SISTEM TURBIN GAS DI PT. RIAU POWER-PEKANBARU

Ikhsanul Aji⁽¹⁾, Sehat Abdi Saragih⁽²⁾, Eddy Elfiano⁽³⁾

*Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
Jl. Kaharuddin Nasution, Km. 11, No. 133, Perhentian Marpoyan, Pekanbaru.
Telp (0761) 72126-674884. Fax (0761) 674834 Pekanbaru-Riau. 28284*

Email : Ikhsanulaji2@gmail.com

ABSTRAK

Pekanbaru merupakan kota dengan tingkat populasi konsumsi listrik terbesar diprovinsi riau, untuk mengatasi kebutuhan listrik yang terus meningkat maka PT. PLN (persero) sektor pekanbaru menggandeng BUMD PLTG PT. Riau Power, namun untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut masih terdapat permasalahan yang terjadi khususnya pada PLTG Riau Power, salah satunya pada penambahan beban. Beban yang bervariasi atau bertambah akan mempengaruhi kinerja dari setiap komponen yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin, dengan adanya permasalahan beban generator yang bervariasi maka perlu dianalisa dari parameter unjuk kerja sistem turbin gas yang diperoleh. Variasi beban generator memiliki pengaruh terhadap unjuk kerja sistem turbin gas. Dimana semakin besar beban maka unjuk kerja sistem turbin gas meningkat. Hal ini ini dapat dilihat dari nilai-nilai parameter unjuk kerja sistem turbin gas yang nilainya bervariasi tergantung dengan kenaikan beban pada generator. Dari hasil penelitian diperoleh perbedaan setiap variasi beban yaitu dimana pada setiap beban mengalami peningkatan unjuk kerja. Variasi beban terhadap unjuk kerja tersebut diperoleh nilai beban tertinggi yaitu pada 17,2 MW, di peroleh unjuk kerja panas masuk 248940000 Kj/kg, Torsi 32205.47N.m, laju aliran massa bahan bakar 5530 kg/jam, Efisiensi Termal 47,84%, pemakaian bahan bakar spesifik SFC 0,3215 Kg/Kw.h dan kerja yang berguna 119096748 Kj/jam, di PLTG Riau Power.

Kata kunci: PLTG, Turbin Gas, Unjuk Kerja Sistem Turbin Gas

1. Mahasiswa
2. Dosen Pembimbing 1
3. Dosen Pembimbing 2

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF LOAD VARIATION ON THE
PERFORMANCE OF THE GAS TURBINE SYSTEM AT PT. RIAU
POWER-PEKANBARU**

*IkhsanulAji (1), SehatAbdiSaragih (2), Eddy Elfiano (3) Mechanical Engineering
Study Program, Faculty of Engineering, Islamic University Riau Jl.
KaharuddinNasution, Km. 11, No. 133, PerhentianMarpoyan, Pekanbaru. Tel
(0761) 72126-674884. Fax (0761) 674834 Pekanbaru-Riau. 28284
Email: Ikhsanulaji2@gmail.com*

ABSTRACT

Pekanbaru is a city with the largest level of electricity consumption in Riau Province, to overcome the increasing electricity demand, PT. PLN (Persero) Pekanbaru sector cooperates with BUMD PLTG PT. Riau Power, but to meet the electricity needs there are still problems that occur, especially in the Riau Power PLTG, one of which is the addition of loads. The varying or increasing load will affect the performance of each component, namely the compressor, combustion chamber and turbine, with the presence of varying generator load problems it is necessary to analyze the performance parameters of the gas turbine system obtained. Variation in generator load has an influence on the performance of the gas turbine system. Where the greater the load, the performance of the gas turbine system increases. This can be seen from the performance parameters of the gas turbine system whose values vary depending on the increase in load on the generator. From the results of the study, there are differences in each load variation which is where each load experiences an increase in performance. The load variation on the performance obtained the highest load value, which is at 17.2 MW, obtained heat performance 248940000 Kj / kg, Torque 32205.47Nm, fuel mass flow rate 5530 kg / hour, Thermal Efficiency 47.84%, usage SFC specific fuel 0.3215 Kg / Kw.h and useful work 119096748 Kj / hour, in Riau Power PLTG.

Keywords: PLTG, Gas Turbine, Performance of Gas Turbine System

1. Students
2. Academic Adviser 1
3. Academic Adviser 2

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) adalah sebuah pembangkit energi listrik yang menggunakan peralatan atau mesin turbin gas untuk menggerakkan generator. Turbin gas dirancang dan dibuat dengan prinsip kerja yang sederhana dimana energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar diubah menjadi energi mekanik dan selanjutnya diubah menjadi energi listrik atau energi lainnya sesuai kebutuhannya.

Beban listrik adalah sesuatu yang harus ditanggung oleh pembangkit listrik, dalam kehidupan sehari-hari contoh beban listrik adalah perangkat elektronik, lampu listrik, televisi dan lain-lain.

Untuk melayani penambahan pasokan daya listrik kota pekanbaru maka PT. PLN (persero) sektor pembangkitan pekanbaru menggandeng BUMD PLTG PT. Riau Power yang mempunyai kapasitas daya 1x20 MW atau melakukan sistem pemadaman listrik bergilir yang sering terjadi saat ini dikarenakan tidak sebandingnya pasokan dengan beban listrik yang harus dipenuhi.

Beban listrik di PLTG yang bervariasi akan mempengaruhi kinerja dari setiap komponennya antara lain kompresor, turbin dan generator. Dalam merespon perubahan beban yang terjadi, maka secara otomatis suplai bahan bakar dan perubahan udara berubah juga. Untuk itu perlu dilakukan penelitian

variasi beban terhadap unjuk kerja turbin gas agar dapat dibuktikan secara ilmiah dan memperoleh masalah yang akan terjadi.

Dengan mengetahui unjuk kerja turbin gas pada tiap beban listrik yang bervariasi, maka dapat digambarkan grafik parameter unjuk kerja seperti daya kompresor, daya turbin, daya efektif, torsi, pemakaian bahan bakar spesifik, kerja yang berguna dan efisiensi pada PLTG. Sehingga diketahui pada beban berapakah parameter unjuk kerja turbin gas yang tertinggi.

Dengan adanya permasalahan diatas maka perlu dilakukan analisa pengaruh variasi beban terhadap unjuk kerja sistem turbin gas di PT. Riau Power-Pekanbaru.

1.2 Rumusan masalah

Dalam penelitian ini dapat dirumuskan beberapa masalah diantaranya sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi beban terhadap unjuk kerja sistem turbin gas penggerak generator di PLTG PT. Riau Power-Pekanbaru.
2. Bagaimana nilai unjuk kerja terbaik turbin gas terhadap variasi beban generator di PLTG PT. Riau Power-Pekanbaru.

1.3 Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi beban terhadap unjuk kerja turbin gas penggerak generator listrik di PLTG PT. Riau Power-Pekanbaru.
2. Untuk memperoleh nilai unjuk kerja terbaik turbin gas terhadap variasi beban generator di PLTG PT. Riau Power-Pekanbaru.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menganalisa masalah penulisan tugas akhir ini, maka perlu dibuat batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Turbin gas yang digunakan adalah *combine cycle* merk *General Electric* (U.S.A) tipe FT. ALT 244780
 - Bahan bakar : *Natural Gas*
 - Daya efektif yang dihasilkan : 20 MW
2. Bahan bakar yang digunakan adalah *natural gas*
3. Parameter unjuk kerja mesin yang diamati adalah
 - Daya kompresor
 - Daya turbin
 - Daya efektif
 - Torsi (T)
 - Konsumsi bahan bakar spesifik (sfc)
 - Panas yang masuk keruang bakar (Q_m)
 - Efisiensi thermal
 - Kerja yang berguna (W_n)

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang akan dilakukan dalam tugas akhir Analisa pengaruh variasi beban terhadap unjuk kerja sistem turbin gas di PT. Riau Power-Pekanbaru adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian , batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisikan tentang teori-teori turbin gas yang terpakai sebagai dasar untuk melakukan analisa.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini berisikan tentang tempat dan waktu penelitian, metode pengumpulan data, diagram alur penelitian dan data teknis.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisikan tentang hasil dari pembahasan dan analisa data penelitian.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

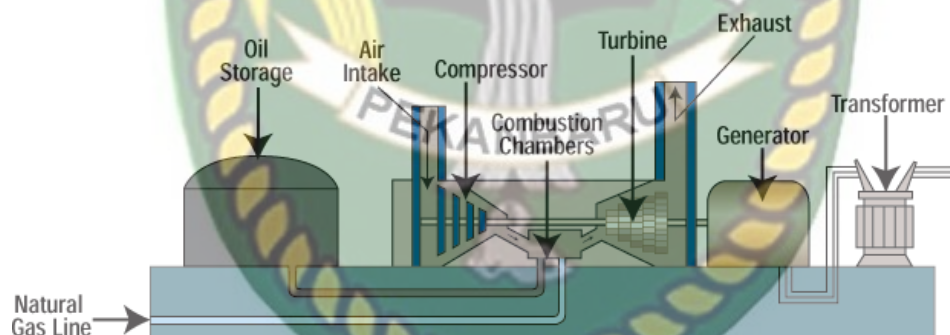
Dalam bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari tugas akhir penulis dapat, berdasarkan penelitian analisa pengaruh variasi beban turbin terhadap unjuk kerja sistem turbin gas di PT. Riau Power-Pekanbaru.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Turbin Gas

Turbin gas merupakan suatu mesin konversi energi yang merubah energi panas (energi kinetik) menjadi energi mekanik, berupa putaran rotor sehingga menghasilkan daya. Bagian turbin yang berputar disebut rotor dan bagian turbin yang diam disebut stator atau rumah turbin. Rotor memutar poros daya yang menggerakkan beban (generator listrik, pompa, kompresor atau yang lainnya). Gambar turbin gas dapat dilihat seperti berikut.



Gambar 2.1 Sistem turbin gas

(Sumber: Google Image, diakses pada 2 November 2018)

Turbin gas adalah komponen dari suatu sistem turbin gas. Sistem turbin gas yang paling sederhana ada tiga komponen yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin gas. Menurut Dr. J. T. Retaliatta, sistem turbin gas sudah dikenal sejak

zaman *Hero of Alexandria*. rancangan turbin gas pertama kali dibuat oleh John Barber warga Negara Inggris pada tahun 1791. Sistemnya dengan gas hasil pembakaran batu bara, kayu, atau minyak, kompresor nya di gerakan oleh turbin dengan perantaraan rantai roda gigi. Pada tahun 1872, Dr.F. Stolze mendisain sistem turbin gas dengan menggunakan kompresor aksial bertingkat *double* yang digerakan langsung oleh turbin reaksi tingkat *double*. Tahun 1908, seperti halnya konsepsi H. Holzworth, dibuat suatu sistem turbin gas yang mencoba menggunakan proses pembakaran. Tetapi usaha tersebut berhenti dikarenakan terbentur pada masalah kontruksi ruang bakar dan tekanan gas pembakaran yang berubah sebanding beban. Pada tahun 1904, "*Societe des turbomoteurs*" di paris merarancang turbin gas yang intruksinya berdasarkan rancangan Armen Guard dan Lemate yang memakai bahan bakar cair. Suhu gas pembakaran yang masuk sekitar 450°C dengan tekanan 45 atm dan kompresornya langsung digerakkan oleh turbin tersebut.

Beberapa tahun berikutnya, perkembangan sistem turbin gas berjalan lambat sampai tahun 1935 sistem turbin gas mengalami perkembangan yang cepat dimana diperoleh efisiensi sebesar lebih kurang 15 %. Pesawat pancar gas yang pertama diselesaikan "*British Thomson Houston Co*" pada tahun 1937 sesuai dengan konsep Frank Whittle (tahun 1930).

Sekarang ini sistem turbin gas sudah banyak dipakai untuk bermacam keperluan yaitu mesin penggerak generator listrik, pesawat terbang, mesin industri dan sebagainya. Sistem turbin gas bisa diinstalasi dengan waktu yang singkat serta

biaya investasi yang murah jika dibanding sama pemasangan turbin uap dan motor diesel untuk pusat pembangkit tenaga listrik.

2.2 Klasifikasi Sistem Turbin Gas

Turbin gas dapat dibedakan berdasarkan siklusnya, konstruksi poros dan lainnya. Menurut siklusnya turbin gas terdiri dari:

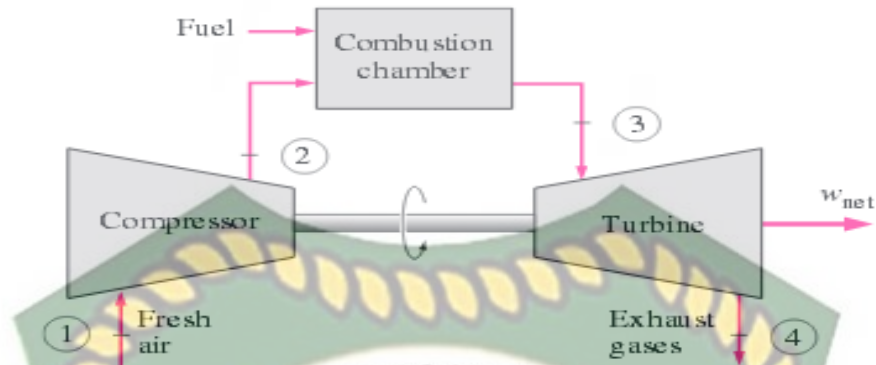
- Turbin gas siklus terbuka (*Open cycle*)
- Turbin gas sistem tertutup (*Close cycle*)

Perbedaan dari kedua tipe ini adalah berdasarkan siklus fluida kerja. Pada turbin gas siklus terbuka, akhir ekspansi fluida kerjanya langsung dibuang ke udara atmosfer, sedangkan untuk siklus tertutup akhir ekspansi fluida kerjanya didinginkan untuk kembali kedalam proses awal.

Dalam industri turbin gas umumnya diklasifikasikan dalam dua jenis yaitu:

1. Turbin gas *Open cycle*

Sebelum turbin gas *Open cycle* sederhana memiliki komponen yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin. kompresor mengambil udara ambien dan menaikkan tekanannya. Kalor ditambahkan pada udara diruang bakar dengan membakar bahan bakar dan meningkatkan temperaturnya. Seperti pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Turbin gas open cycle

Sumber : (Yunus A Cengel *thermodynamic an engineering approach 5th-
edition*)

Gas-gas yang bersuhu tinggi keluar dari ruang bakar yang berikutnya diekspansi keturbin hingga mekanik bekerja. berikutnya daya yang didapat dari turbin dipakai untuk mendorong kompresor serta *accessories* lain dan sisa lainnya dipakai untuk pembangkit listrik. dikarenakan udara masuk ke kompresor dan gas yang keluar dari turbin di buang ke atmosfer, media kerja harus digantikan secara berkesinambungan. bentuk siklus dikenali sebagai siklus turbin gas terbuka dan banyak digunakan disemua PLTG dikarenakan mempunyai berbagai kelebihan.

1. Kelebihan siklus terbuka :

- Waktu pemanasan: ketika turbin sampai nilai kecepatannya dengan menjalankan motor dan menyulut bahan bakar, turbin gas sangat cepat dari mulanya dingin hingga beban penuh tanpa waktu pemanasan.

- Bahan bakar: semua bahan bakar hidrokarbon dari bensin bernilai oktan tinggi hingga bahan bakar diesel bisa dipakai dalam ruang pembakaran.
- Pembangkit *Open cycle* menempati ruang yang relatif kecil.
- Syarat start cepat dan menangani beban berkesinambungan adalah nilai yang mensupport dari pembangkit *open cycle* ketika pembangkit ini dipakai untuk pembangkit beban tertinggi.
- Komponen atau perlengkapan pendukung bisa dipakai untuk menaikkan efisiensi termal dan memberikan daya kesemua yang paling efisien untuk *factor* beban PLTG dan kondisi operasi lain nya.
- PLTG *Open cycle*, tidak termasuk yang mempunyai sebuah intercooler, tidak membutuhkan air *water cooler*. Dan kerana itu PLTG *Open cycle* tidak memerlukan alat pendingin.

2. Kekurangan Siklus Terbuka :

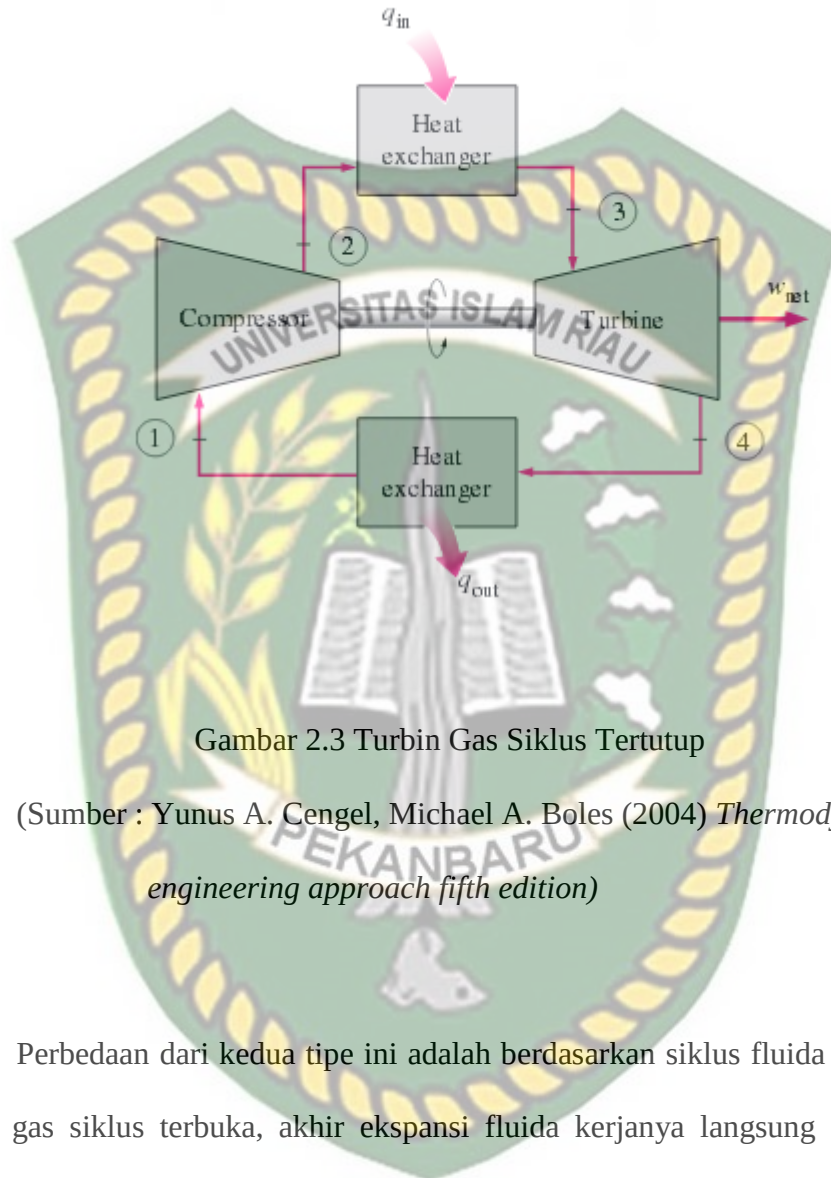
- Efisiensi sebagian beban pembangkit siklus terbuka berkurang secara cepat karena persentase yang cukup besar dari daya yang dihasilkan oleh turbin digunakan untuk menggerakkan kompresor.
- Sistem ini sensitif terhadap efisiensi komponen: terutama dari kompresor. Pembangkit siklus terbuka sensitif terhadap perubahan suhu udara atmosfer, tekanan dan kelembaban.
- Pembangkit turbin gas siklus terbuka memiliki laju udara yang tinggi dibandingkan dengan siklus lain, oleh karena itu diperlukan menghilangkan panas dalam gas buang dan membutuhkan saluran berdiameter besar.

Sangat penting mencegah debu memasuki kompresor untuk meminimalkan erosi dan deposisi pada bilah dan bagian-bagian kompresor dan turbin yang dapat merusak profil dan efisiensinya. Pengendapan karbon dan abu pada bilah turbin sama sekali tidak diinginkan karena akan mengurangi efisiensi turbin.

1. Turbin gas Siklus Tertutup

Siklus turbin gas tertutup yang berasal dan dikembangkan di Swiss. Pada tahun 1935, J. Ackeret dan C. Keller pertama kali diusulkan jenis mesin dan pabrik pertama selesai pada tahun 1944 di Zurich. Dalam turbin gas siklus tertutup, fluida kerja (udara atau gas) keluar dari kompresor dipanaskan dalam pemanas dengan sumber eksternal pada tekanan konstan. Suhu tinggi dan tekanan udara tekanan tinggi keluar dari pemanas eksternal dilewatkan melalui turbin.

Cairan yang keluar dari turbin didinginkan kesuhu aslinya dalam pendingin menggunakan sumber pendingin eksternal sebelum diteruskan ke kompresor. Fluida kerja terus digunakan dalam sistem tanpa fase dan panas yang dibutuhkan diberikan kepada fluida kerja dalam penukar panas berikut gambar 2.5 siklus tertutup.



Gambar 2.3 Turbin Gas Siklus Tertutup

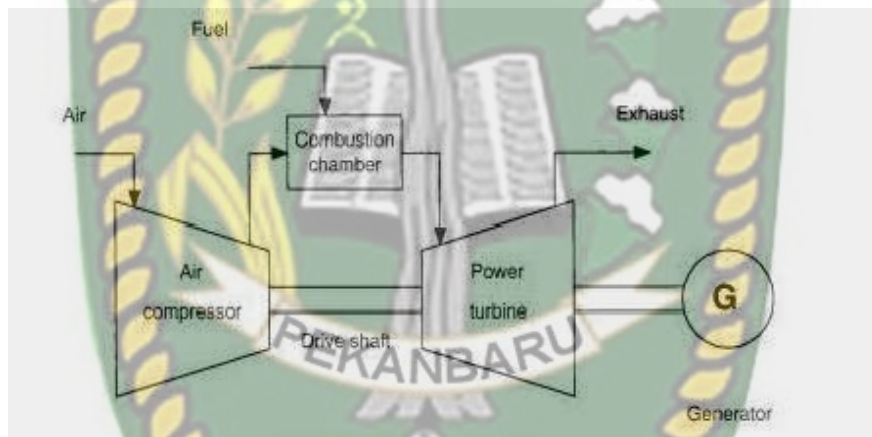
(Sumber : Yunus A. Cengel, Michael A. Boles (2004) *Thermodynamics an engineering approach fifth edition*)

Perbedaan dari kedua tipe ini adalah berdasarkan siklus fluida kerja. Pada turbin gas siklus terbuka, akhir ekspansi fluida kerjanya langsung dibuang ke udara atmosfer, sedangkan untuk siklus tertutup akhir ekspansi fluida kerjanya didinginkan untuk kembali ke dalam proses awal

Pada industri turbin gas biasanya di klasifikasikan dengan dua tipe seperti Berdasarkan konstruksi porosnya :

1. Turbin Gas Poros Tunggal (*Single Shaft*)

Pada sistem poros tunggal, Seluruh komponen rotasi berada dalam satu poros. Komponen yang umumnya ada didalam Turbin Gas Poros Tunggal ini adalah kompresor udara, *compressor* turbin, dan Power Turbin. Power Turbin inilah yang akan menggerakkan generator. Tipe turbin gas poros tunggal banyak dipakai pada industri sebagai penggerak generator listrik untuk mendapatkan energi listrik.

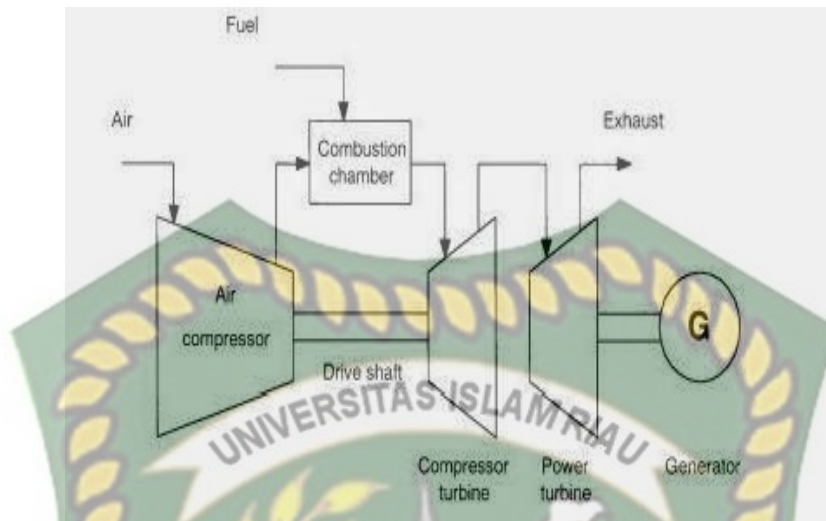


Gambar 2.4 Turbin Single Shaft

(Sumber : Maherwan P. Boyce (2010) *Gas Turbine Engineering Handbook Fourth Edition*)

2. Turbin Gas Poros Ganda (*Double Shaft*)

Turbin gas *Double Shaft* terbagi dua yaitu *high pressure turbine* dan *low pressure turbine*, biasanya turbin gas poros ganda dipakai sebagai penggerak beban yang mengalami perubahan di kompresor pada saat beroperasi.



Gambar 2.5 Turbin Gas *Double Shaft*

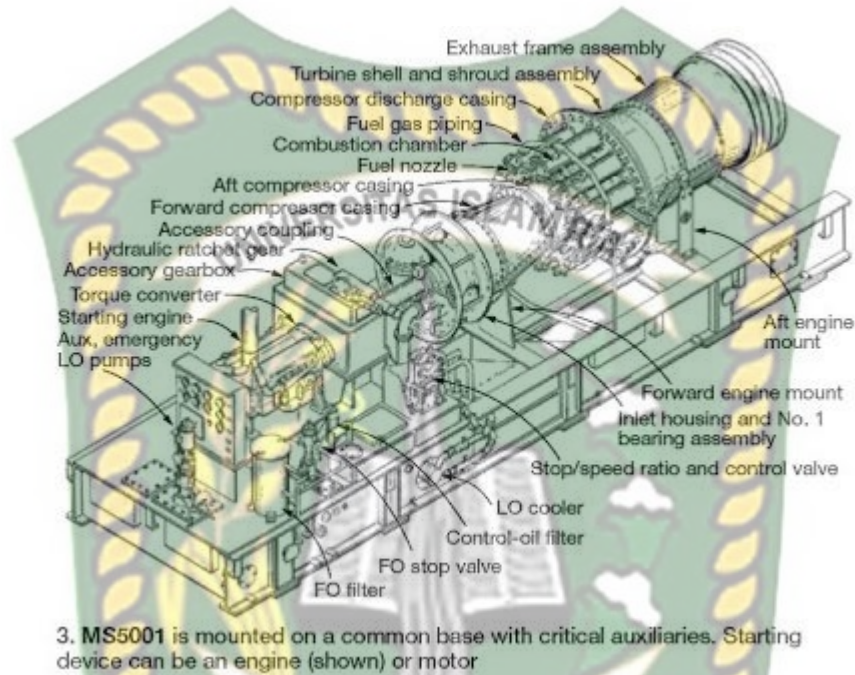
(Sumber : Maherwan P. Boyce (2010) *Gas Turbine Engineering Handbook Fourth Edition*)

Faktor perbandingan pada pemakaian *Double Shaft System*:

1. Perputaran pada *high speed* agar terjadi peningkatan efisiensi pada *compressor* dan *gas turbine*. Oleh sebab itu dengan poros terpisah, unjuk kerja terbaik pada *compressor* dan *turbine* bisa diperoleh.
2. Menggunakan mesin *Aeroderivative* menandakan, bias diganti dengan *Power Turbine* serta disamakan bersama rancangan dan output.
3. Pada hal respon sistem *Double Shaft* terbilang kurang baik jika dikomparasi bersama sistem *Single Shaft*. Respon yang kurang baik dapat mengakibatkan buruknya unjuk kerja mesin saat beroperasi, akan ada energi yang hilang dari lambatnya respon.

2.3 Komponen-komponen Utama PLTG

2.3.1 Komponen Utama PLTG



Gambar 2.6 Komponen Utama PLTG

(Sumber : *Gas Turbine and Accessories MS5001 Manual*, General Electric PT.

Riau Power, PLTG Teluk Lembu)

Komponen utama PLTG terdiri atas 4 komponen utama yaitu *compressor*, *combustion chamber*, *gas turbine*, dan generator. Dimana komponen satu sama lain disusun demikian rupa sehingga menjadi unit mesin pembangkit listrik yang bekerja secara kompak dan dapat di *starting* secara cepat.

1. kompresor (*Compressor*)

Kompresor adalah alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida mampu mampat, yaitu gas atau udara dengan tujuan meningkatkan

tekanan supaya mengalirkan atau kebutuhan proses dalam suatu sistem proses yang lebih besar (bisa sistem fisika maupun kimia contohnya pada pabrik-pabrik kimia untuk kebutuhan reaksi). Secara umum kompresor dibagi menjadi dua jenis yaitu dinamik dan perpindahan positif.

Kompresor utama adalah kompresor aksial yang berguna untuk memasok udara bertekanan ke dalam ruang bakar yang sesuai dengan kebutuhan. Kapasitas kompresor harus cukup besar karena pasokan udara lebih (*excess air*) untuk turbin gas dapat mencapai 350%. Disamping untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna, udara lebih ini digunakan untuk pendingin dan menurunkan suhu gas hasil pembakaran.

Kompresor lebih tepatnya difungsikan untuk men-supply kebutuhan *compress air* atau udara terkompresi dengan jumlah dan tekanan tertentu. Dalam sebuah industri besar, seperti di pembangkit tenaga listrik ini, keberadaan *compress air* ini sangat vital keberadaannya. Seperti *air motor* atau juga disebut *pneumatic motor*, *acoustic horn* pada *gas air heater*, *atomizing air* pada proses pembakaran furnace menggunakan solar, semuanya membutuhkan *compress air* sebagai sumber energinya.

2. Ruang bakar (*Combustion Chamber*)

Combustion Chamber adalah ruangan tempat proses terjadinya pembakaran. Ada turbin gas yang mempunyai satu atau dua *Combustion Chamber* yang letaknya terpisah dari *casing* turbin, akan tetapi yang lebih banyak dijumpai adalah memiliki *Combustion* dengan beberapa buah *Combustion basket*,

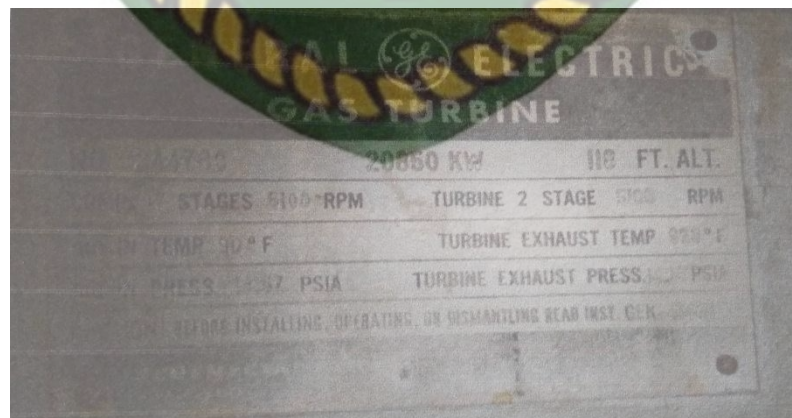
mengelilingi sisi masuk (inlet) turbin. Di dalam *Combustion* dipasang komponen-komponen untuk proses pembakaran beserta sarana penunjangnya, diantaranya:

1. *Fuel Nozzle*
2. *Combustion Liner*
3. *Transition Piece*
4. *Igniter*
5. *Flame Detector*

3. Turbin Gas (*Gas Turbine*)

Turbin gas adalah suatu mesin yang mengubah tenaga panas (energi kinetik) menjadi tenaga mekanik, berupa putaran rotor. Prinsip kerjanya terdiri dari empat langkah:

1. Proses kompresi udara didalam *axial compressor*.
2. Proses pembakaran di ruang bakar atau *combustor*.
3. Proses ekspansi untuk menggerakkan sudu-sudu turbin.
4. Proses pembuangan sisa panas ke udara bebas.



Gambar 2.7 General Electric Gas Turbine MS5001

Tabel 2.1 *Name plate Gas Turbine* PLTG PT. Riau Power Pekanbaru

Spesifikasi	Keterangan
Pabrikan	<i>General Electric</i>
Tipe	FT. ALT
Nomor Seri	244780
Putaran Rpm	5100 rpm
Temperature Udara	90 ⁰ C
Tekanan Udara	14.57 psi
Turbin <i>Exhaust Press</i>	14.57 psi
<i>Temperature Exhaust</i>	923 ⁰ C

Turbin gas yang digunakan di PLTG PT. Riau *Power* Pekanbaru ini, merupakan mesin turbin pabrikan perusahaan *General Electric* yang dibuat pada tahun 1974. Awalnya, sebelum turbin gas ini digunakan oleh PLTG PT. Riau *Power*, turbin gas ini digunakan oleh PT. *Caltex* (sekarang perusahaan *Chevron*) yang beroperasi di daerah duri, Provinsi Riau.

2.3.2 Bagian-bagian Utama Turbin Gas

Pada pembangkitan PLTG PT Riau *Power* terdapat empat jenis bagian utama pada turbin gas secara garis besar menurut buku panduan *Gas Turbine Operation Manual 1X20 MW Power Generation* oleh PT *Dalle Operation Service* tahun 2010. Bagian-bagian utama pada turbin gas tersebut sebagai berikut:

❖ *Turbine compartment*

- *Fuel nozzle*
- *Combustion chamber*

- 
- *Axial air compressor*
 - *Turbine*
 - *Exhaust*
 - *Flame detector*
 - *Spark plug*
 - *Compressor bleed valve*
 - *Variable inlet guide vane (IGV)*
 - *DII*
 - ❖ ***Load compartment***
 - *Load coupling*
 - *Load gear*
 - *Exhaust thermocouple*
 - ❖ ***Accessory Compartment***
 - *Starting mean (diesel engine atau motor)*
 - *Starting clutch*
 - *Torque converter*
 - *Hydraulic ratchet system*
 - *Accessories gear, accessories coupling*
 - *Atomizing air compressor, starting booster compressor*
 - *Main lube oil pump*
 - *Auxiliary lube oil pump (ac motor)*
 - *Emergency lube oil pump (dc motor)*
 - *Lube oil tank*

- *Flow divider*
- *Gas stop & ratio valve, gas control device*
- *Main liquid fuel pump*
- *Water cooling system*
- *Gauge panel*

❖ **Control**

- *Turbine control*
- *Generator control*
- *MCC (Motor Control Center)*
- *Battery & Battery charger*

4. Generator

Pada sistem pembangkitan tenaga listrik, komponen utama yang dibutuhkan adalah generator dan penggerak utama (*prime mover*). Generator merupakan suatu mesin listrik yang mampu mengubah energi kinetik menjadi energi listrik dengan prinsip induksi elektromagnetik. Sedangkan penggerak utama dalam hal ini adalah turbin yang dikopel dengan rotor generator dan bekerja dengan memanfaatkan berbagai macam sumber energi, baik tenaga air, uap, gas maupun diesel.

2.4 Pengertian udara

Udara adalah campuran gas yang berada di lapisan yang mengelilingi komposisi campuran gas tersebut tidak terlalu konsisten. Komponen yang konsistensinya bervariasi adalah air dalam bentuk uap H_2O dan karbon dioksida CO_2 . Jumlah uap air yang terdapat di udara adalah bervariasi tergantung oleh cuaca dan temperatur.

Proses udara sebelum menjadi gas dan masuk ke turbin yaitu udara luar kemudian dihisap kemudian udara tersebut dimampatkan dalam kompresor. Temperatur naik dari temperatur atmosfer T_1 menjadi T_2 dan tekananya meningkat dari P_1 menjadi P_2 , temperatur dan tekanan ini dibutuhkan untuk proses pembakaran. Kemudian udara yang sudah dimampatkan ini kemudian dimasukan keruang pembakaran. Dan diinjeksikan juga bahan bakar keruang pembakaran.

Setelah udara yang telah dimampatkan dan bahan bakar bercampur, kemudian ditambah oksigen maka akan terjadi proses pembakaran didalam ruang bakar. Kemudian temperatur T_2 meningkat lagi menjadi T_3 , temperatur T_3 adalah gas hasil pembakaran didalam ruang bakar yang akan masuk turbin gas, setelah proses ekspansi pada turbin, temperatur gas sisa menjadi turun sampai menjadi T_4 dan temperatur gas sisa ini masih tinggi.

2.5 Pengertian Gas

Gas adalah suatu keadaan zat dalam hal ini molekul-molekulnya dapat bergerak sangat bebas dan dapat mengisi seluruh ruangan yang ditempatinya. Kondisi gas ditentukan oleh tiga faktor yaitu tekanan, temperatur dan volume.

Pengertian gas ideal adalah keadaan gas yang dianggap sempurna, memiliki sifat tertentu sehingga dapat diterapkan pada teori kinetik gas.

Sedangkan gas yang masuk ke turbin adalah suatu pengembangan dari gas-gas panas bertekanan tinggi hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara yang berlangsung didalam ruang bakar yang tertutup didalam mesin disebut ruang bakar.

Gas hasil pembakaran tersebut mengalir ke turbin gas melalui suatu nozel yang memiliki fungsi sebagai pengarah aliran tersebut kesudu-sudu turbin. Selain itu, kekuatan sudu turbin juga sangat di pengaruhi oleh temperatur gas masuk turbin. Sehingga untuk temperatur gas masuk turbin dibatasi untuk turbin industri(850-1100)°C.

Daya yang didapatkan dari turbin gas tersebut dipakai sebagai pemutar kompresornya sendiri dan memutar beban lainnya seperti generator listrik, dan lain-lain. Setelah melewati turbin, gas ini akan dibuang keluar melalui saluran buang atau (*exhaust*).

2.6 Bahan bakar turbin gas

Bahan bakar yang dipakai pada turbin ini adalah gas alam (*natural gas*).

Gas alam dipakai untuk bahan bakar turbin gas di prioritaskan karena:

1. Pembakaran gas tidak menghasilkan abu dan jelaga sehingga akan memperkecil kerusakan yang dialami sudu-sudu turbin gas.
2. Pembakaran dengan gas alam relatif lebih sempurna, sehingga bahan bakar ini cenderung mengurangi polusi yang dihasilkan dari gas buang turbin.

3. Nilai panas gas alam (*natural gas*) lebih tinggi dibanding bahan bakar diesel, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari turbin gas tersebut.

Komposisi dari gas alam (*natural gas*) yaitu pada tabel 2.1 dibawah:

Tabel 2.2 Komposisi bahan bakar gas alam (*Natural gas*).

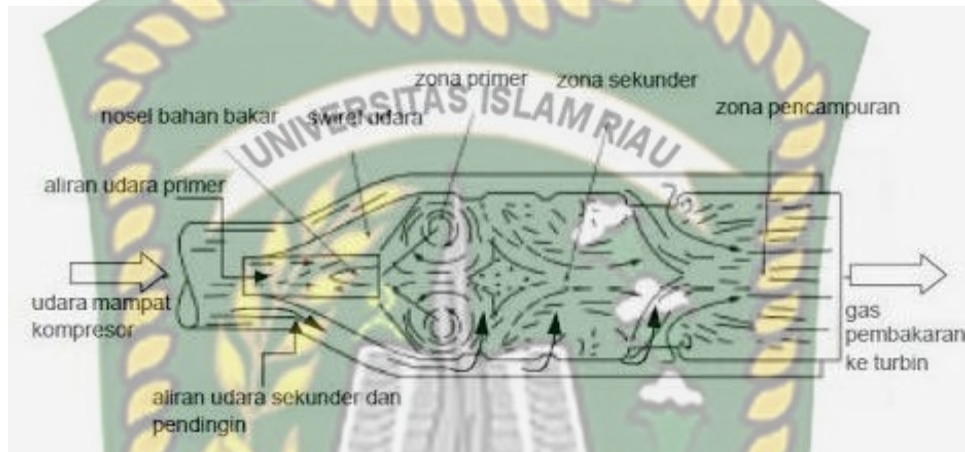
Komposisi	Mol (%)
Karbon dioksida (CO ₂)	0,023
Nitrogen (N ₂)	2,019
Methana (CH ₄)	97,031
Ethana (C ₂ H ₆)	0,227
Propana (C ₂ H ₈)	0,658
n- butana (n-C ₄ H ₁₀)	0,03
Total	100

Sumber: Arum Plant Orientation, Training Center

Pada umumnya bahan bakar biasanya berbentuk hidrokarbon bisa berupa fasa liquid maupun gas. Namun berapa kasus, zat non hidrokarbon bisa dipakai tetapi membutuhkan modifikasi dari mesin turbin untuk mengatur temperatur di *combution chamber* serta kandungan kimia pada bahan bakar yang umum digunakan.

2.7 Proses Pembakaran Pada Turbin Gas

Pada gambar, bisa dilihat dari kontruksi komponen ruang bakar, jika digambarkan ulang dengan proses pembakaran adalah seperti berikut:



Gambar 2.8 proses pembakaran turbin gas

Sumber: Dwi Nugroho (jurnal rancangan ruang bakar turbin gas 2009)

Proses pembakaran di turbin gas serupa dengan pembakaran mesin diesel, dimana terjadinya pembakaran berada di tekanan konstan. Proses terjadinya seperti berikut, udara mampat di kompresor masuk ruang bakar, udara ada dua klasifikasi yaitu udara primer yang masuk saluran primer, terletak satu tempat dengan nosel, dan udara mampat sekunder yang melalui selubung ruang bakar. Udara primer kemudian masuk ruang bakar melewati *swirlet*, menyebabkan aliran udara tersebut berputar. Bahan bakar kemudian diinjeksikan dari nosel ke zona primer, setelah keduanya bertemu terjadi percampuran. Hal ini menyebabkan campuran lebih homogen, pembakaran lebih sempurna. Udara

sekunder yang masuk melalui lubang-lubang pada selubung ruang bakar akan membantu proses pembakaran pada zona sekunder. Jadi, zona sekunder akan menyempurnakan pembakaran dari zona primer.

Disamping untuk membantu proses pembakaran pada zona sekunder, udara sekunder juga membantu pendinginan ruang bakar. Ruang bakar harus didinginkan, karena dari proses pembakaran dihasilkan temperatur yang tinggi yang dapat merusak material bahan bakar. Maka, dengan cara pendinginan udara sekunder, temperatur ruang bakar menjadi terkontrol dan tidak melebihi dari yang diizinkan. Pada gambar diatas, terlihat zona terakhir adalah zona percampuran (*dillute zone*) adalah zona percampuran gas pembakaran yang memiliki temperatur tinggi menjadi temperatur yang aman apabila mengenai sudu-sudu turbin ketika gas pembakaran berekspansi. Disamping itu, udara sekunder juga akan menambah massa dari gas pembakaran sebelum masuk turbin, dengan massa yang lebih besar energi potensial pembakaran juga bertambah. Apabila $W_{kinetik}$ adalah energi kinetik gas pembakaran dengan kecepatan V , massa sebelum ditambah udara sekunder adalah m_1 maka energi kinetiknya adalah sebagai berikut.

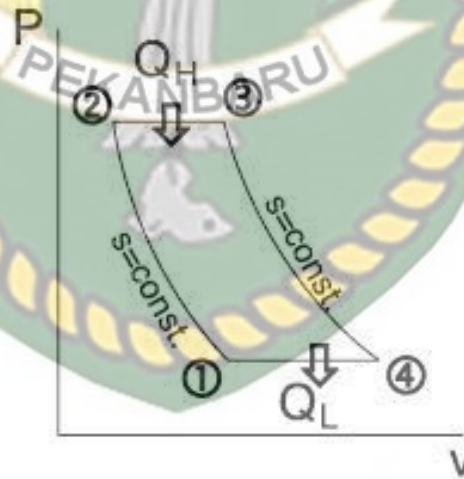
Proses pembakaran pada gas turbin memerlukan udara yang berlebih, biasanya sampai 30% dari kondisi normal untuk proses pembakaran dengan jumlah bahan bakar tertentu. Kondisi ini akan berkebalikan , apabila udara pembakaran terlalu berlimpah (lebih 30%), udara justru akan mendinginkan proses pembakaran dan mati, Karena panas banyak terbuang keluar melalui gas bekas yang bercampur udara dingin sekunder. Dengan pemikiran yang sama,

apabila jumlah udara kurang dari normal, yaitu terjadi *overheating*, material ruang bakar dan sudu-sudu turbin bekerja melampaui kekuatannya dan ruang bakar dapat pecah, hal ini berarti turbin gas berhenti bekerja atau proses pembakaran terhenti.

2.8 Siklus Brayton

Siklus ini merupakan siklus daya termodinamika ideal untuk turbin gas, sehingga saat ini siklus ini yang sangat populer digunakan oleh pembuat mesin turbin atau manufaktur dalam analisa untuk *performance* turbin gas.

Siklus Brayton ini terdiri dari proses kompresi isentropik yang diakhiri dengan proses pelepasan panas pada tekanan konstan. Pada siklus Brayton tiap-tiap keadaan dapat dianalisa secara berikut pada gambar 2.8 dan 2.9 :



Gambar 2.9. Diagram P-V Siklus Brayton



Gambar 3.0. Diagram T-S Siklus Brayton

Urutan proses kerja sistem turbin gas adalah:

Dari diagram T – S tersebut, proses yang terjadi adalah:

- a) Proses 1- 2 : Proses kompresi isentropik pada kompresor

Proses ini merupakan proses kerja kompresor. Kerja spesifik kompresor ini sendiri adalah kalor spesifik yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor pada kondisi ideal.

$$W_k = C_p(T_2 - T_1) \dots \dots \dots \text{pers. 2.1(Lit.2 hal.16)}$$

- b) Proses 2 – 3: Proses pembakaran pada tekanan konstan (isobar) dalam ruang bakar.

Proses ini merupakan proses terjadinya pemasukan panas yang juga berarti besarnya kalor spesifik pada ruang bakar.

$$Q_{in} = C_p (T_3 - T_2) \dots \dots \dots \text{pers. 2.2(Lit.2 hal.17)}$$

- c) Proses 3- 4 : Proses Isentropik pada turbin

Proses ini merupakan proses kerja turbin

$$W_T = C_p (T_3 - T_2) \dots\dots\dots \text{pers. 2.3(Lit.2 hal.17)}$$

d) Proses 4- 1 : Proses pembuangan kalor pada tekanan konstan

Proses ini menyatakan besarnya kalor spesifik pada proses pembuangan kalor.

$$Q_{out} = C_p (T_4 - T_1) \dots\dots\dots \text{pers. 2.4(Lit.2 hal.17)}$$

Dari kerja spesifik yang terjadi pada setiap proses diatas maka:

1. Kerja netto siklus (W_{net})

Kerja netto siklus adalah selisih kerja yang dihasilkan turbin dengan kerja yang dibutuhkan kompresor tiap kg gas.

$$W_{net} = W_T - W_K \dots\dots\dots \text{pers. 2.5(Lit.2 hal.17)}$$

2. Efisiensi Siklus (η_{th})

Efisiensi siklus adalah perbandingan antara kerja netto dengan pemasukan energi.

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \dots\dots\dots \text{pers. 2.6 (Lit.2 hal.17)}$$

2.9.Beban PLTG

Beban PLTG adalah daya yang dihasilkan oleh PLTG untuk memenuhi kebutuhan listrik konsumen. Daya sama dengan jumlah energi yang di habiskan persatuan waktu. Dalam sistem SI, satuan daya adalah Joule per detik (J/s), atau Watt untuk menghormati James Watt. Dalam sistem turbin gas daya terbagi 3:

1. Daya Kompresor adalah daya poros yang digunakan untuk pemampatan udara dalam kompresor.

2. Daya Turbin adalah daya yang dihasilkan dari proses pembakaran di ruang bakar
3. Daya generator (daya efektif) adalah suatu daya yang dihasilkan dari pengurangan antara daya turbin dengan daya kompresor (daya efektif).

Pada turbin, daya yang berguna ialah daya poros, karena daya poros itulah yang menggerakkan beban. Daya poros itu sendiri dihasilkan dari proses pembakaran yang merubah panas menjadi energi mekanik, energi mekanik tersebut digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin kemudian turbin memutar generator atau beban. Daya poros dihitung dalam Watt ($N.m/s$) atau dalam kW. Dengan demikian besar daya poros adalah :

$$N_T = N_K + N_e \dots \dots \dots \text{Pers 2.8 (Lit 4 hal 479)}$$

dimana, N_T = Daya Turbin (kW)

N_K = Daya Kompresor (kW)

N_e = Daya Efektif (kW)

$$N_T = (m_a + m_f) \cdot W_T$$

dimana, N_T = Daya Turbin (kW)

m_a = Laju aliran massa udara (kg/jam)

m_f = laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)

W_T = kerja turbin (kJ/kg)

$N_K = m_a \cdot w_k \dots \dots \dots$ pers 2.9 (lit 4 hal 479)

2.10 Parameter *Performance* Turbin Gas

Prestasi turbin gas menunjukkan kinerja suatu mesin/ peralatan. Dalam analisa turbin gas ada beberapa parameter *performance* yang harus di hitung, Diantaranya panas yang masuk ke ruang bakar (Q_m), daya poros efektif (N_e), torsi (T), laju alir massa bahan bakar ($\dot{m}_f$), pemakaian bahan bakar spesifik (SFC), efisiensi thermal (η_{th}), dan kerja yang berguna (W_n).

2.10.1 Panas Yang Masuk

Panas yang masuk menyatakan hasil kali antara nilai kalor bahan bakar dengan laju aliran massa bahan bakar. Panas yang masuk keruang bakar ini digunakan untuk proses terjadinya pembakaran di ruang bakar yang dinyatakan dalam satuan *kJ/jam*.

$$Q_m = \dot{m}_f \cdot LHV \dots \dots \dots \text{pers. 2.7(Lit.2 hal.89)}$$

Dimana :

Q_m = Panas yang masuk ke ruang bakar (*kJ/jam*)

$\dot{m}_f$ = Laju aliran massa bahan bakar (*kg/jam*)

LHV = Nilai kalor bahan bakar (*kJ/ kg*)

2.10.2 Torsi (T)

$$T = \frac{Ne \times 60 \times 1000}{2\pi \times n} \dots\dots\dots \text{pers.2.10(Lit.2 hal.30)}$$

Dimana : T = Momen torsi ($N.m$)

Ne = Daya Efektif (kW)

n = Putaran poros (rpm)

2.10.3 Laju Aliran Massa Bahan Bakar ($\dot{m}_f$)

Untuk mengukur banyaknya bahan bakar yang terpakai digunakan gelas ukur, yang merupakan fluks volume dikalikan massa bahan bakar menghasilkan fluks massa atau dinyatakan dalam kg/jam . Fluks massa atau aliran bahan bakar dituliskan dalam persamaan berikut :

$$\dot{m}_f = Q \cdot \rho_{bb} \dots\dots\dots \text{pers.2.11(Lit.2 hal.31)}$$

Karena volume bahan bakar (ΔV) yang dipakai ditentukan, maka :

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \dots\dots\dots \text{pers 2.12(Lit.2 hal.31)}$$

Sehingga persamaan diatas menjadi :

$$\dot{m}_f = \frac{V}{\Delta t} \cdot \rho_{bb} \cdot 3600 \dots\dots\dots \text{pers. 2.13(Lit.2 hal.32)}$$

Dimana : $\dot{m}_f$ = Laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)

V = Volume bahan bakar yang diuji (m^3)

Δt = waktu untuk menghabiskan bahan bakar uji (s)

ρ_{bb} = Massa jenis bahan bakar (kg/m^3)

2.10.4 Pemakaian Bakar Spesifik (SFC)

Pemakaian bahan bakar spesifik didefinisikan sebagai banyaknya bahan bakar yang terpakai per jam untuk menghasilkan setiap kW daya turbin. Pemakaian bahan bakar spesifik dipakai sebagai ukuran ekonomi pemakaian bahan bakar, semakin rendah harganya maka dapat dinyatakan sebagai efisiensi yang semakin tinggi.

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{N_e} \dots \text{pers. 2.14 (Lit.2 hal.52)}$$

Dimana : SFC = Pemakaian bahan bakar spesifik ($kg/kW.h$)

$\dot{m}_f$ = Laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)

N_e = Daya poros efektif (kW)

2.10.5 Efisiensi Termal (η_{th})

Efisiensi termal menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu.

Efisiensi termal dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{Q_m - Q_k}{Q_m} \dots \text{pers. 2.15 (Lit.4 hal 456)}$$

Dimana : η_{th} = Efisiensi thermal

Q_m = Panas yang masuk ke ruang bakar (kJ/Jam)

Q_k = Panas yang keluar dari gas buang (kJ/jam)

$Q_k = m_{gb} \times (h_4 - h_1)$pers 2.16 (lit 4 hal 456)

2.10.6 Kerja Yang Berguna

Kerja yang berguna adalah kerja efektif yang dihasilkan oleh instalasi turbin gas. Dapat dicari dengan perbandingan antara panas yang masuk ke ruang pembakaran di kurangi dengan panas yang keluar dari ruang pembakaran. Dapat dinyatakan dalam satuan kJ/jam .

$W_n = Q_m - Q_k$pers.2.16(Lit.2 hal.72)

Dimana :

W_n = Kerja yang berguna (kJ/jam)

Q_m = Panas yang masuk ke ruang bakar (kJ/jam)

Q_k = Panas yang keluar dari gas buang (kJ/jam)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian deskriptif yaitu membuat penulisan secara sistematis dan akurat tentang fakta yang diambil melalui penelitian serta tersusun dan terencana, dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dari gambar 3.1 diagram alir diatas, penulis memulai pertama studi literatur untuk mendukung teori-teori yang berhubungan dengan judul dengan

mencari dan membaca berbagai sumber yang berhubungan dengan turbin gas, selanjutnya survey lapangan yaitu ke PLTG PT. Riau *Power*.

Tahap pertama yang dilakukan yaitu pengenalan alat-alat yang berkaitan dengan instalasi turbin gas, kemudian menulis spesifikasi PLTG dan wawancara atau konsultasi dengan pegawai yang bekerja dibagian instalasi PLTG unit 1 tersebut berkaitan dengan sistem instalasi dan alat-alat yang digunakan yaitu alat ukur tekanan, temperatur dan variasi beban. Dalam melakukan penelitian, dilakukan pengumpulan data dengan mencatat nilai beban pada PLTG tiap jamnya dan data pendukung lainnya. Setelah semua data yang diperoleh maka penulis memulai untuk melakukan perhitungan dan menganalisa pengaruh variasi beban pada generator terhadap unjuk kerja turbin gas, kemudian dari analisa maka dapat diperoleh kesimpulan pengaruh variasi beban terhadap unjuk kerja sistem turbin gas.

3.2 Waktu dan tempat penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada tanggal 09 November s/d selesai. Lokasi penelitian bertempat di PLTG PT. Riau *Power* yang beralamat di Jl. Tanjung Datuk, Kelurahan Lima Puluh, Kota Pekanbaru.



Gambar 3.2 Tempat penelitian

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Yang Digunakan

1. Turbin

Peralatan yang diteliti adalah turbin gas *combine cycle* merek *GE General Electric*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Pabrik : U.S.A (*General Electric*)

Tipe : FT. ALT

NO Turbin : 244780

Compresor stages : 17

Putaran *Compresor* : 5100 RPM

Power turbine stages : 2

Putaran turbin gas : 5100 RPM

Number Of Combution Chamber : 10 Buah

Bahan bakar : *Natural Gas*

Daya efektif yang dihasilkan : 20 MW



Gambar 3.3 PLTG

Sumber: PLTG PT. Riau Power-Pekanbaru

2. *Flowmeter*

Flowmeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah aliran atau laju aliran fluida yang mengalir pada suatu penampang (kg/s) dan volume gas (m^3).



Gambar 3.4 *Flowmeter*

3. Barometer

Alat ini berfungsi untuk mengukur tekanan yang terjadi pada instalasi turbin gas terutama tekanan pada gas masuk turbin gas kg/cm^2 (Bar).



Gambar 3.5. Barometer

4. *Vibration Digital Meter.*

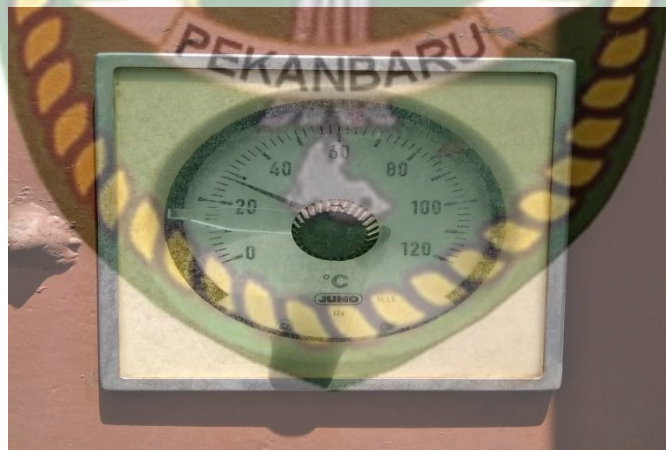
Alat ini digunakan pada instalasi turbin gas yang berfungsi sebagai mengukur getaran yang terjadi pada komponen-komponen sistem turbin gas. Diantaranya adalah pada badan *compressor*, sisi masuk *compressor*, dan lain-lain.



Gambar 3.6 Vibration Digital Meter

5. Thermometer

Termometer ini berfungsi untuk mengukur suhu di sekitar *inlet* kompresor. Pada dasarnya termometer ini sama dengan termometer lain hanya saja skala termometer ini berkisar antara 0°C sampai 200°C.



Gambar 3.7 Thermometer

6. Termokopel

Termokopel adalah alat sensor temperatur yang berfungsi untuk mendeteksi atau mengukur temperatur melalui dua jenis logam konduktor yang digabung pada ujungnya, sehingga menimbulkan efek *thermo-electric* dengan

jangkauan suhu yang dapat diukur berkisar -200°C hingga 2000°C . Termokopel ini digunakan untuk temperatur yang terdapat pada ruang bakar, kompresor, dan cerobong gas buang (*exhaust*).



Gambar 3.8 Termokopel

7. Nozel

Nozel merupakan alat untuk mengekspansikan fluida agar kecepatannya bertambah, sebagai *back pressure control* untuk mesin dan perangkat percepatan konversi energi gas panas menjadi kinetik.

Nozel pada sistem turbin ada 2 jenis, nozel pertama fungsi untuk menyemprotkan bahan bakar gas ke ruang bakar sehingga menjadi proses pembakaran, nozel kedua memiliki fungsi sebagai pengubah energi gas panas menjadi kinetik dan mengarahkan gas tersebut ke sudu-sudu turbin sehingga oleh sudu-sudu ini di konversi menjadi energi kinetik.



Gambar 3.9 Nozel

Sumber: PLTG Riau Power

8. *Starting Diesel Motor*

Merupakan suatu mesin penggerak mula yang berfungsi untuk memutar poros kompresor dan turbin pada saat *start* awal, diesel start bekerja untuk awal hingga putaran pada putaran 2100-3100 Rpm, *coupling torsi converter-accessories gear* yang berguna sebagai pemindah daya serta putaran dari poros diesel yang berputar ke poros turbin secara otomatis lepas setelah mencapai putaran antar 2100-3100 Rpm .



Gambar 3.10. *Starting Diesel Motor*

9. Turbine Control

Turbine Control adalah sistem kendali berbasis komputer yang mengendalikan dan mengatur kondisi turbin gas. Sistem ini mempermudah operator untuk mengendalikan *supply* aliran bahan bakar, udara, temperatur, putaran poros, daya efektif turbin dan beban listrik yang dihasilkan



Gambar 3.11 Turbine Control System

Sumber: PLTG Riau Power

3.3.2 Bahan Yang Digunakan

1. Bahan bakar Gas

Jenis bahan bakar yang dipakai pada turbin gas ini adalah gas alam (*natural gas*). Gas alam dipakai untuk bahan bakar turbin gas diprioritaskan dikarenakan beberapa faktor yaitu:

1. Pembakaran gas tidak menghasilkan abu dan jelaga sehingga akan memperkecil kerusakan yang dialami sudu-sudu turbin gas.

2. Pembakaran dengan gas alam relatif lebih sempurna, sehingga bahan bakar ini cenderung mengurangi polusi yang dihasilkan dari gas buang turbin.

3. Nilai panas gas alam (*natural gas*) lebih maksimal dibanding bahan bakar diesel, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari turbin gas tersebut.

3.4 Tahapan Penelitian

3.4.1 Persiapan Sebelum Penelitian

- Periksa kondisi *starting diesel motor*. Pastikan dalam kondisi baik.
- Periksa jumlah bahan bakar ditangki minyak diesel motor apakah mencukupi atau tidak selama beroperasi untuk memutar *compressor* dan *turbine*.
- Periksa setiap alat ukur pada setiap instalasi turbin gas. Seperti termokopel , barometer, dll.
- Periksa juga sistem pendingin dari instalasi turbin gas.
- Periksa sistem yang terdapat pada instalasi turbin gas. Jika terjadi kerusakan atau permasalahan, segera lakukan perbaikan secara menyeluruh.
- Setelah semua instalasi dipastikan siap operasi, lakukan persiapan untuk melakukan oprasi pada instalasi pada turbin gas.

3.4.2 Pelaksanaan Penelitian

- Hidupkan *starting diesel motor* kemudian poros *compressor* akan berputar.

- Kemudian lihat level minyak pelumas *starting diesel*. Pastikan dalam keadaan *full*.
- Setelah kompresor berputar, kompresor akan menghisap udara dari luar.
- Setelah itu, lihat temperatur dan tekanan udara di *display* sebelum masuk kompresor.
- Setelah udara dikompresi/dimampatkan di kompresor, udara tersebut akan dimasukkan ke ruang bakar.
- Kemudian lihat temperatur dan tekanan udara di *display* yang keluar dari kompresor.
- Setelah udara dikompresi maka di masukkan ke ruang bakar, dan dimasukkan juga bahan bakar gas ke ruang bakar.
- Kemudian lihat *flowmeter* aliran massa bahan bakar dan pemakaian bahan bakar per jam pada saat bersamaan dengan terjadinya pembakaran di ruang bakar.
- Setelah udara dan bahan bakar gas tercampur, akan terjadi percikan bunga api melalui *ignitors*.
- Setelah terjadi percikan bunga api, maka terjadilah pembakaran di ruang bakar.
- Gas hasil pembakaran ini kemudian di semprotkan ke sudu-sudu turbin melalui nozel.
- Lihat temperatur dan tekanan gas di *display* yang akan masuk ke turbin gas.

- Setelah gas hasil pembakaran disemprotkan ke sudu-sudu turbin maka poros turbin akan berputar dan akan terjadi konversi energi kinetik menjadi mekanik.
- Kemudian energi mekanik ini diteruskan ke generator melalui generator sinkron.
- Pada generator, energi mekanik ini diubah menjadi energi listrik.
- Gas sisa hasil pembakaran langsung di buang ke udara bebas sebagai gas sisa melalui cerobong (*exhaust*).
- Lihat di *display* temperatur dan tekanan gas sisa di cerobong (*exhaust*).

3.5 Pengolahan Data

Teknis pengolahan data hasil penelitian memakai analisis deskriptif untuk mendapatkan nilai getaran pada poros kompresor yang terbaik terhadap *performance* turbin gas. Dalam analisa turbin gas ada beberapa parameter *performance* yang harus di hitung, diantaranya panas yang masuk ke ruang pembakaran (Q_m), daya poros efektif (N_e), torsi (T), laju aliran massa bahan bakar (m_f), pemakaian bahan bakar spesifik (SFC), efisiensi termal (η_{th}), dan kerja yang berguna (W_n).

1. Pengaruh variasi beban pada unjuk kerja turbin gas

Pengambilan data variasi beban dari hasil pengujian menggunakan *display* dilengkapi dengan data akusisi yang dihubungkan dengan komputer. Pengambilan

dan penyimpanan data menggunakan komputer yang telah dilengkapi dengan *software* pengolahan dan pengumpulan data.

Pengujian karakteristik kenaikan beban pada generator dilakukan pada putaran 5100 rpm. Besarnya nilai kenaikan beban yang terjadi pada generator ditujukan pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Nilai variasi beban pada generator di PT. Riau *Power*-Pekanbaru

NO	Variasi beban pada generator (MW)
1	12,8
2	13,5
3	14,6
4	15,2
5	15,6
6	15,9
7	16,7
8	16,9
9	17,2

Hasil pengukuran variasi beban pada generator di dapatkan nilai tertinggi 17,2 MW

3.5.1 Laju Aliran Massa Bahan Bakar ($\dot{m}_f$)

Untuk mengukur banyaknya bahan bakar yang terpakai digunakan gelas ukur, yang merupakan fluks volume dikalikan massa bahan bakar menghasilkan fluks massa atau dinyatakan dalam kg/jam. Fluks massa atau aliran bahan bakar bisa dilihat di alat ukur *Flowmeter* berikut Laju aliran massa bahan bakar :

$\dot{m}_f =$ 3312 kg/jam, 4059 kg/jam, 4320 kg/jam, 4582 kg/jam, 4800 kg/jam, 4893 kg/jam, 4936 kg/jam, 5168 kg/jam, 5337 kg/jam, dan 5530 kg/jam.

3.5.2 Panas Yang Masuk

Panas yang masuk menyatakan hasil kali antara Nilai kalor bahan bakar dengan Laju aliran massa bahan bakar. Panas yang masuk keruang bakar ini digunakan untuk proses terjadinya pembakaran di ruang bakar yang dinyatakan dalam satuan *kJ/jam*.

$$Q_m = \dot{m}_f \cdot LHV \dots\dots\dots \text{pers. 2.7(hal.31)}$$

Dimana :

Q_m = Panas yang masuk ke ruang bakar (*kJ/jam*)

$\dot{m}_f$ = Laju aliran massa bahan bakar (*kg/jam*)

LHV = Nilai kalor bahan bakar(*kJ/ kg*)

$$Q_m = \dot{m}_f \cdot LHV$$

$$Q_m = 5530 \text{ kg/jam} \cdot 45000 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_m = 248940000 \text{ kJ/jam}$$

3.5.3 Daya Turbin (N_T)

Pada turbin, daya yang berguna ialah daya poros, karena daya poros itulah menggerakkan beban. Daya poros itu sendiri dihasilkan dari proses pembakaran yang merubah panas menjadi energi mekanik, energi mekanik tersebut digunakan

untuk menggerakkan sudu-sudu turbin kemudian turbin memutar generator atau beban. Daya poros dihitung dalam Watt atau dalam kW. Dengan demikian besar daya poros adalah :

$$N_T = N_K + N_e \dots \dots \dots \text{Pers 2.8 (hal 30)}$$

dimana, N_T = Daya Turbin (kW)

N_K = Daya Kompresor (kW)

N_e = Daya Efektif (kW)

$$N_T = (m_a + m_f) \cdot W_T$$

Dimana :

N_T = Daya Turbin (kW)

m_a = Laju aliran massa udara (kg/jam)

m_f = laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)

W_T = kerja turbin (kJ/kg)

$$W_T = c_p \cdot (T_3 - T_2)$$

$$W_T = 1,005 \text{ kJ/kg.K. } (1008,51 \text{ K} - 557,51 \text{ K})$$

$$W_T = 453,255 \text{ kJ/kg.}$$

$$\text{Sehingga } N_T = (121,63 \text{ kg/s} + 1,507 \text{ kg/s}) \cdot 453,255 \text{ kJ/kg}$$

$$N_T = 55812,46 \text{ kW.}$$

$$\text{Sehingga nilai daya efektif adalah } N_T = N_K + N_e$$

$$N_k = N_T - N_e$$

$$N_k = 55812,46 \text{ Kw} - 17200 \text{ Kw}$$

$$N_k = 38612,46 \text{ kW}$$

3.5.4 Torsi (T)

$$T = \frac{N_e \times 60 \times 1000}{2\pi \times n} \dots \text{pers. 2.10(hal 32)}$$

Dimana :

T = Momen torsi (N.m)

N_e = Daya efektif (kW)

n = Putaran poros (rpm)

$$T = \frac{17200 \times 60 \times 1000}{2\pi \times 5100}$$

$$T = 32205,47 \text{ N.m}$$

3.5.4 Pemakaian bahan bakar spesifik (SFC)

Pemakaian bahan bakar spesifik didefinisikan sebagai banyaknya bahan bakar yang terpakai per jam untuk menghasilkan setiap kW daya turbin. Pemakaian bahan bakar spesifik dipakai sebagai ukuran ekonomi pemakaian bahan bakar, semakin rendah harganya maka dapat dinyatakan sebagai efisiensi yang semakin tinggi. Berikut data hasil pemakaian bahan bakar spesifik.

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{N_e} \dots \text{pers. 2.14(hal 33)}$$

Dimana : SFC = Pemakaian bahan bakar spesifik (kg/kW.h)

$\dot{m}_f$ = Laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)

N_e = Daya poros efektif (kW)

$$SFC = \frac{5530 \text{ kg/jam}}{17200 \text{ kW}}$$

$$SFC = 0,3215 \text{ kg/kW.h}$$

3.5.5 Efisiensi Thermal (η_{th})

Efisiensi *thermal* menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu.

Efisiensi *thermal* dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{Q_m - Q_k}{Q_m} \times 100\% \dots \text{pers. 2.15 (hal 33)}$$

Dimana : η_{th} = Efisiensi *thermal* (%)

Q_m = Panas yang masuk ke ruang pembakaran (kJ/jam)

Q_k = Panas yang keluar dari gas buang (kJ/jam)

$$Q_k = m_{gb} \times (h_4 - h_1)$$

Dimana, Q_k = Panas yang keluar dari gas buang (kJ/jam)

m_{gb} = Laju aliran massa gas buang (kg/s)

h_4 = nilai *enthalpy* pada temperatur gas buang (T_4)

h_1 = nilai *enthalpy* pada temperatur inlet kompresor (T_1)

$$Q_k = m_{gb} \times (h_4 - h_1) \dots \text{pers 2.16 (lit 4 hal 34)}$$

$$Q_k = 85,82 \text{ kg/s} \times (713,27 \text{ kJ/kg} - 293 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_k = 36067,57 \text{ kg/s} \times 3600$$

$$Q_k = 129843252 \text{ kg/jam}$$

$$\eta_{th} = \frac{Q_m - Q_k}{Q_m} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{248940000 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}} - 129843252 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}}}{248940000 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 47,84 \%$$

3.5.6 Kerja Yang Berguna

Kerja yang berguna adalah kerja efektif yang dihasilkan oleh instalasi turbin gas. Dapat dicari dengan perbandingan antara panas yang masuk ke ruang pembakaran di kurangi dengan panas yang keluar dari ruang pembakaran. Dapat dinyatakan dalam satuan kJ/jam

$$W_n = Q_m - Q_k \dots \text{pers.2.16 (Lit.2 hal.34)}$$

$$W_n = 248940000 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}} - 129843252 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}}$$

$$W_n = 119096748 \text{ kJ/jam}$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

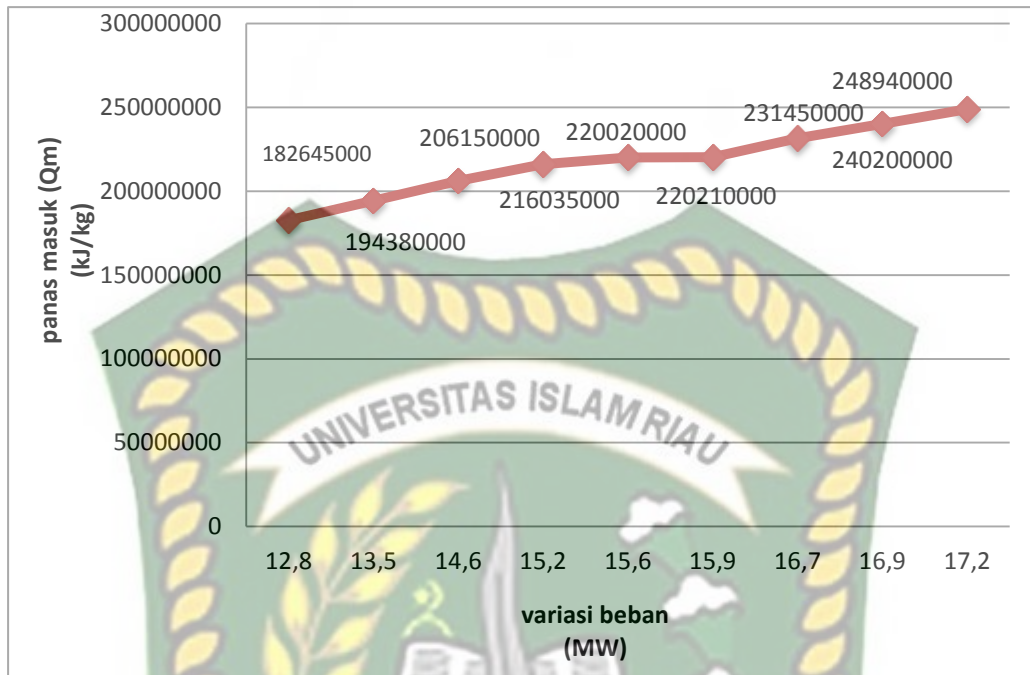
4.1 Hubungan variasi beban (N_e) terhadap panas masuk (Q_m)

Dari hasil penelitian yang dilakukan variasi daya dipengaruhi oleh panas masuk ke turbin, seperti terlihat pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.1 Hubungan variasi beban (N_e) terhadap panas masuk (Q_m)

NO	Variasi beban (MW)	Q_m (kJ/jam)
1	12,8	182645000
2	13,5	194380000
3	14,6	206150000
4	15,2	216035000
5	15,6	220020000
6	15,9	220210000
7	16,7	231450000
8	16,9	240200000
9	17,2	248940000

Dari table 4.1 dapat dilihat hubungan variasi beban terhadap panas hasil pembakaran, dapat digrafikan seperti grafik 4.1 berikut.



Dari grafik tersebut bisa dilihat bahwa semakin besar variasi beban maka semakin besar panas hasil pembakaran. Ini dikarenakan variasi beban yang besar akan menjadikan laju aliran massa bahan bakar semakin besar. Akibat semakin besar laju aliran massa bahan bakar maka panas yang dihasilkan akan besar. Hubungan variasi beban terhadap panas hasil pembakaran, diperoleh nilai panas yang tertinggi masuk ke turbin adalah 248940000 kJ/jam pada beban 17,2 MW, sedangkan nilai panas yang terendah masuk ke turbin 182645000 kJ/jam pada beban 12,8 MW.

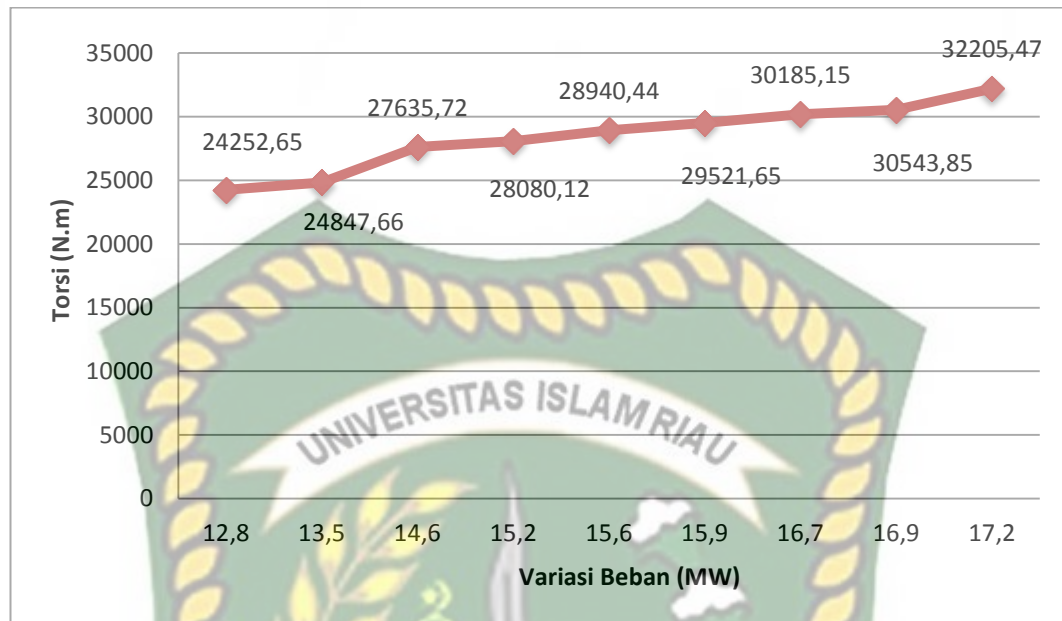
4.2 Hubungan variasi beban terhadap (MW) Torsi (N.m)

Torsi merupakan momen puntir atau energi mekanik yang digunakan untuk dapat menggerakkan beban generator. Dari hasil penelitian yang dilakukan, torsi dipengaruhi oleh variasi beban . Seperti terlihat dalam tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Hubungan variasi beban (Ne) terhadap Torsi (N.m)

NO	Variasi beban (MW)	Torsi (N.m)
1	12,8	24252,65
2	13,5	24847,66
3	14,6	27635,72
4	15,2	28080,12
5	15,6	28940,44
6	15,9	29521,65
7	16,7	30185,15
8	16,9	30543,85
9	17,2	32205,47

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa hasil dari penelitian hubungan antara variasi beban terhadap torsi, dapat dilihat pada grafik 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Hubungan variasi beban (MW) terhadap Torsi (N.m)

Dari grafik dapat dilihat bahwa variasi beban pada turbin mempengaruhi terhadap torsi yaitu dimana semakin besar beban yang dihasilkan oleh turbin maka torsi akan semakin besar karena disebabkan daya efektif dibagi dengan putaran dimana semakin besar daya efektif yang dihasilkan oleh turbin maka torsi yang dihasilkan akan semakin besar. Dapat dilihat bahwa hasil dari penelitian hubungan antara variasi beban terhadap torsi, diperoleh nilai torsi tertinggi 32205.47 N.m dengan variasi beban 17,2 MW, sedangkan nilai torsi terendah 24252,65 N.m dengan variasi beban 12,8 MW.

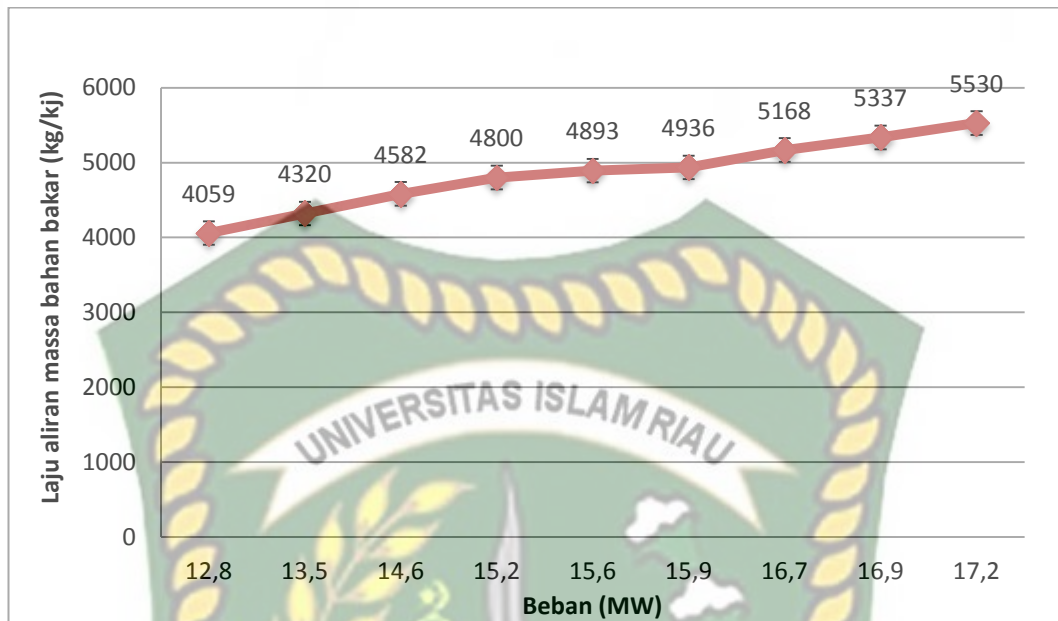
4.3 Hubungan variasi beban (MW) Terhadap laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)

Laju aliran massa bahan bakar adalah banyaknya bahan bakar yang dipakai pada proses pembakaran di ruang bakar. Dari hasil penelitian yang dilakukan, laju aliran massa bahan bakar di pengaruhi oleh variasi beban. seperti dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Hubungan Variasi Beban (MW) Terhadap Laju Aliran Massa Bahan Bakar (kg/jam)

No.	Variasi Beban (MW)	mf (kg/jam)
1	12,8	4059
2	13,5	4320
3	14,6	4582
4	15,2	4800
5	15,6	4893
6	15,9	4936
7	16,7	5168
8	16,9	5337
9	17,2	5530

Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa hasil dari penelitian hubungan antara variasi beban terhadap laju aliran massa bahan bakar. Untuk lebih jelasnya perubahan variasi penggunaan bahan bakar spesifik dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Hubungan variasi beban (MW) Terhadap laju aliran massa bahan bakar (kg/kj)

Dari grafik bisa dilihat bahwa semakin besar beban maka semakin besar laju aliran massa bahan bakar karena pengaruh variasi beban. Hal ini dikarenakan beban yaitu dimana jika beban bertambah otomatis kerja pada setiap komponen pada turbin gas semakin meningkat begitu juga laju aliran massa bahan bakar juga akan semakin meningkat. Dapat dilihat bahwa hasil penelitian yaitu nilai laju aliran massa bahan bakar yang tertinggi adalah 5530kg/jam dengan nilai beban 17,2 MW, sedangkan nilai laju aliran massa bahan bakar terendah adalah 4059 kg/jam dengan dengan beban 12,8 MW.

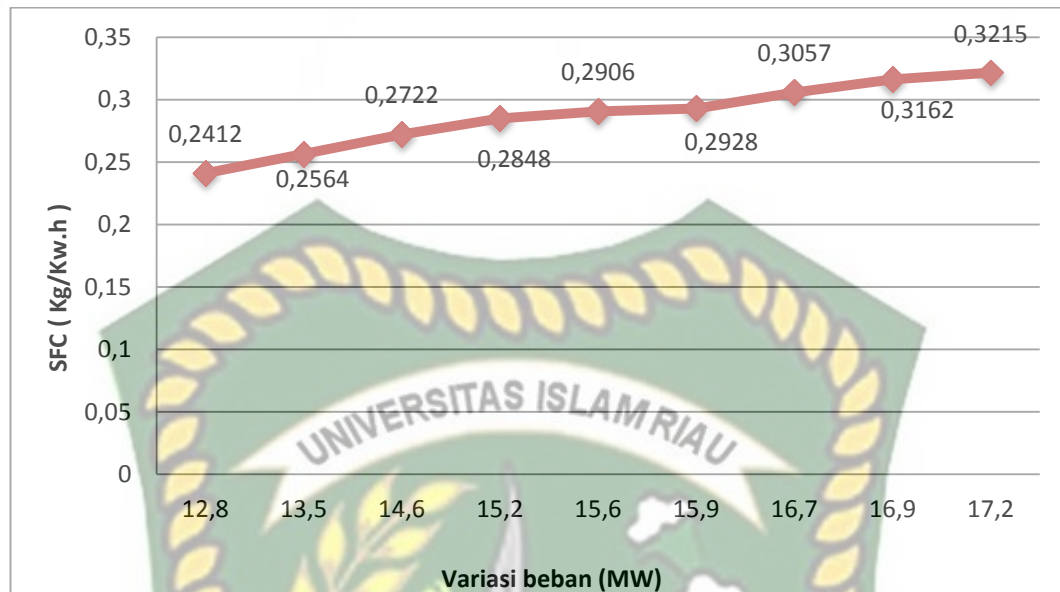
4.4 Hubungan variasi beban (MW) terhadap pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) (Kg/Kw.h)

Laju aliran massa bahan bakar adalah banyaknya gas alam yang digunakan dalam terjadinya pembakaran di ruang bakar. Dari hasil penelitian yang dilakukan, laju aliran massa bahan bakar dipengaruhi oleh variasi beban . Seperti terlihat dalam tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 hubungan variasi beban terhadap pemakaian bahan bakar spesifik SFC(Kg/Kw.h)

No.	Variasi beban (MW)	SFC (Kg/Kw.h)
1	12,8	0,2412
2	13,5	0,2564
3	14,6	0,2722
4	15,2	0,2848
5	15,6	0,2906
6	15,9	0,2928
7	16,7	0,3057
8	16,9	0,3162
9	17,2	0,3215

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa hasil dari penelitian hubungan antara variasi beban terhadap penggunaan bahan bakar spesifik, dapat dilihat pada grafik 4.4 berikut.



Gambar 4.4 hubungan antara variasi beban dengan pemakaian bahan bakar spesifik SFC

Dari grafik dapat dilihat dimana penggunaan bahan bakar spesifik semakin meningkat karena pengaruh variasi beban. hal ini dikarenakan beban yang bervariasi yaitu dimana jika beban bertambah otomatis kerja pada setiap komponen pada turbin gas semakin meningkat begitu juga pemakaian bahan bakar spesifik juga akan semakin meningkat karena. Dapat dilihat bahwa hasil dari penelitian hubungan antara variasi beban terhadap penggunaan bahan bakar spesifik, diperoleh nilai penggunaan bahan bakar spesifik (SFC) yang tertinggi 0,3215 kg/kW.jam dengan variasi beban 17,2 MW sedangkan nilai penggunaan bahan bakar spesifik (SFC) terendah 0,2412 kg/kW.jam dengan variasi beban 12,8 MW.

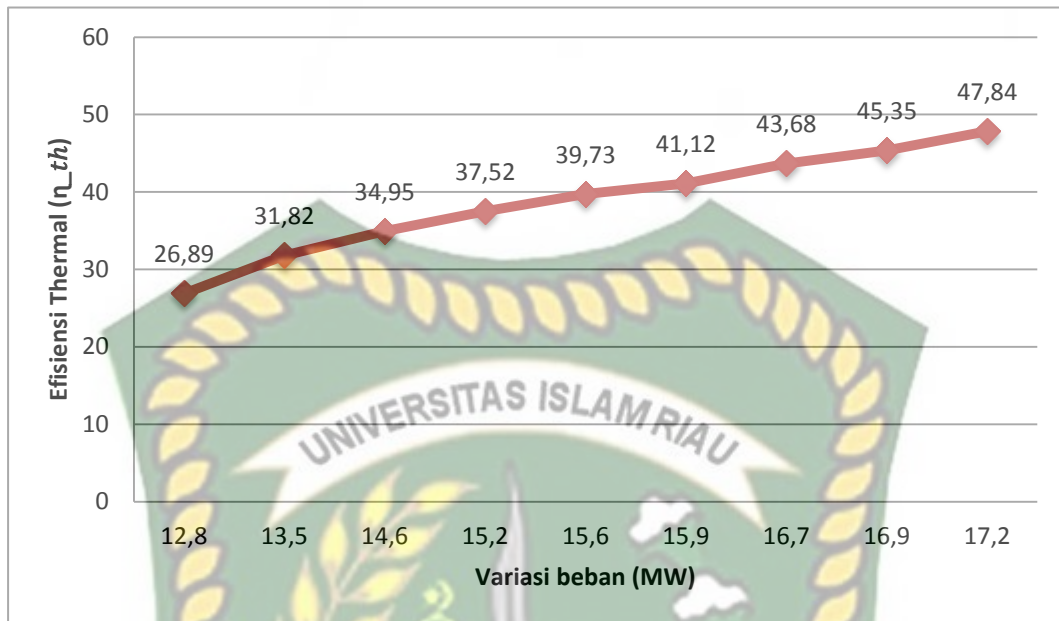
4.5 Hubungan variasi beban terhadap efisiensi termal (η_{th})

Efisiensi thermal merupakan kemampuan suatu mesin dalam memanfaatkan energi panas untuk dijadikan kerja mekanis. Dari hasil penelitian yang dilakukan, efisiensi thermal dipengaruhi oleh variasi beban . Seperti terlihat dalam tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 Hubungan variasi beban (MW) Terhadap Efisiensi Thermal (η_{th})

No.	Variasi beban (MW)	η_{th} (%)
1	12,8	26,89
2	13,5	31,82
3	14,6	34,95
4	15,2	37,52
5	15,6	39,73
6	15,9	41,12
7	16,7	43,68
8	16,9	45,35
9	17,2	47,84

Dari table 4.5 dapat dilihat hubungan variasi beban terhadap efisiensi thermal, dapat dilihat pada grafik 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Hubungan variasi beban (MW) Terhadap Efisiensi Thermal (η_{th})

Dilihat dari gambar 4.5 semakin tinggi beban yang terjadi di turbin gas maka akan semakin besar efisiensi *thermal*. Hal ini terjadi dikarenakan beban pada turbin akan mengakibatkan pada proses pembakaran di ruang bakar menjadi besar dan panas hasil pembakaran tersebut juga akan besar sehingga panas yang diserap untuk menghasilkan kerja semakin bagus sehingga menaikkan efisiensi *thermal* pada turbin gas. Dapat dilihat hubungan variasi beban terhadap efisiensi thermal, diperoleh η_{th} tertinggi 47,84% dengan beban 17,2 MW sedangkan η_{th} terendah 26,89% dengan beban 12,8 MW.

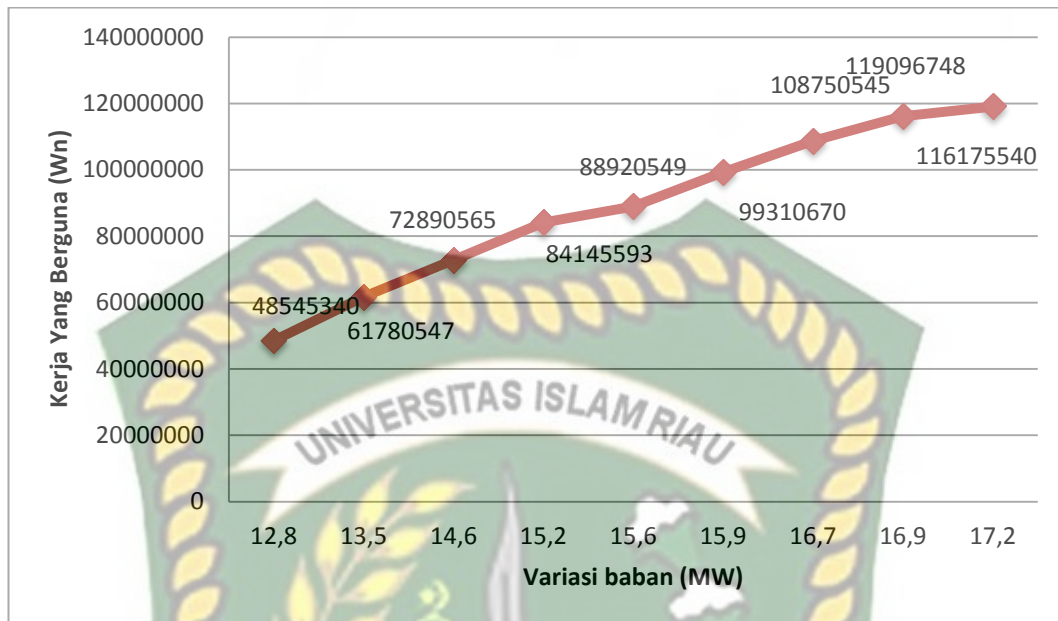
4.6 Hubungan variasi beban (MW) Terhadap Kerja Yang Berguna (W_n)

Kerja yang berguna adalah kerja yang digunakan untuk menggerakkan beban (generator). Dari hasil penelitian yang dilakukan, kerja yang berguna dipengaruhi oleh beban . Seperti terlihat dalam tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Hubungan variasi beban (MW) Terhadap Kerja Yang Berguna (Wn)

No.	Variasi beban (MW)	Wn (kJ/jam)
1	12,8	48545340
2	13,5	61780547
3	14,6	72890565
4	15,2	84145593
5	15,6	88920549
6	15,9	99310670
7	16,7	108750545
8	16,9	116175540
9	17,2	119096748

Dari table 4.6 dapat dilihat hubungan variasi beban terhadap kerja yang berguna, dapat dilihat pada grafik 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4.6 Hubungan variasi beban (MW) terhadap kerja yang berguna (Wn)

Dilihat pada gambar 4.6 dapat dilihat dimana semakin besar beban yang terjadi akan semakin besar kerja yang berguna. Hal ini disebabkan karena temperatur dan tekanan semakin meningkat maka temperatur yang pada ruang bakar akan semakin meningkat sehingga energi panas yang dihasilkan akan semakin bertambah, semakin meningkatnya energi panas menyebabkan energi mekanik akan semakin meningkat pula yaitu berupa putaran poros turbin sehingga kerja yang berguna untuk **menggerakkan beban** (generator) meningkat. Dapat dilihat hubungan variasi beban terhadap kerja yang berguna, diperoleh kerja yang berguna tertinggi 119096748 kJ/jam dengan beban 17,2 MW, sedangkan kerja yang berguna terendah 48545340 kJ/jam dengan beban sebesar 12,8 MW.

BAB V

PENUTUP

4.7 Kesimpulan

Dari penelitian hubungan pengaruh variasi beban terhadap unjuk kerja sistem turbin gas, dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi beban generator memiliki pengaruh terhadap unjuk kerja sistem turbin gas. Dimana semakin besar beban maka unjuk kerja sistem turbin gas meningkat. Hal ini dapat dilihat dari nilai-nilai parameter unjuk kerja sistem turbin gas yang nilainya bervariasi tergantung dengan kenaikan beban pada generator.
2. Dari hasil penelitian diperoleh perbedaan setiap variasi beban yaitu dimana pada setiap beban mengalami peningkatan unjuk kerja. Variasi beban terhadap unjuk kerja tersebut diperoleh nilai beban tertinggi yaitu pada 17,2 MW, di peroleh unjuk kerja panas masuk 248940000 Kj/kg, Torsi 32205.47N.m, laju aliran massa bahan bakar 5530 kg/jam, Efisiensi Termal 47,84%, pemakaian bahan bakar spesifik SFC 0,3215 Kg/Kw.h dan kerja yang berguna 119096748 Kj/jam.

4.8 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis untuk memaksimalkan unjuk kerja sistem turbin gas (*performance*) yang berada di PT. Riau Power-Pekanbaru perlunya dilakukan pengecekan pada monitor (*display*) dimana kondisi beban tersebut harus dijaga, agar listrik tersebut yang digunakan untuk kebutuhan masyarakat dan perkantoran tidak mengalami gangguan. Serta juga adanya perawatan (*preventive maintenance*) terhadap komponen turbin yang tidak beroperasi secara maksimal yang dapat mengganggu jalannya proses pengoperasian sistem turbin gas.

DAFTAR PUSTAKA

1. PT. Dalle Operation Service, 2010 *Handbook Gas Turbine Operation Manual*. Pekanbaru.
2. Aris munandar, wiranto, 2001, " *Pengantar turbin gas dan motor propulsi* ", mesin turbin gas dan motor propulsi.
3. Changel, Yunus A. 2009. " *Thermodynamic An Enginerring Approach 5* ". New York Megraw Hill Education.
4. Service manual; turbine, accessories and generator volume 1, PT. Riau Power-Pekanbaru.
5. Cengel, yunus A, 1998. *Heat Transfer A Practical Approach*. University of Nevada, Reno, Mc, Graw-Hill.
6. Ezurufatrin (L2f 008 032) 2010, jurnal *Jurnal vibration measurement and protection gas turbin generator (Gtg) pada speedronic mark V*.
7. Maherwan P. Boyce, 2012 " *Gas Turbine Engineering Handbook Fourth Edition* " Butterworth-Heinemann.
8. Buku panduan mata kuliah motor bakar dan turbin gas.
9. Lukman budiono 2013 " *analisa efisiesi turbin gas terhadap beban oprasi* " skripsi program studi teknik mesin Universitas Muhammadiyah Jakarta.
10. Buku *Gas Turbine and Accessories MS5001 Manual*, General Electric PT. Riau Power, PLTG Teluk Lembu
11. Lukman budiono 2013 jurnal *Analisa Turbin Gas Terhadap Beban Oprasi PLTGU Muara Tawar Blok 1*.

12. Gambar komponen PLTG , <https://www.google.com/gas-turbine/> diakses
2 November 2018

13. Parno Raharjo, prasetyo 2014, "*karakteristik getaran pada kompresor
lobe karena variasi pembebanan*"

14. Heywood, jhon B 1998. Internal Combustion Engine Fundamentals. New
York; McGraw-HILL, Inc.

