

**PENGARUH TEMPERATUR LINGKUNGAN TERHADAP  
DAYA LUARAN GENERATOR PLTG 1.1 BLOK I TAMBAK  
LOROK SEMARANG POWER GENERATION UNIT**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**Laporan ini disusun untuk memenuhi  
salah satu syarat memperoleh gelar S1 pada  
Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Sultan Agung Semarang**



**OLEH:**

**BURHANUDDIN**

**30601401605**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2021**

**THE EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE ON THE  
GENERATOR POWER OUTPUT PLTG 1.1 BLOK I TAMBAK  
LOROK SEMARANG POWER GENERATION UNIT**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree  
(S1) at Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial  
Technology, Universitas Islam Sultan Agung*



**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2021**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**PENGARUH TEMPERATUR LINGKUNGAN TERHADAP DAYA LUARAN GENERATOR PLTG 1.1 BLOK I TAMBAK LOROK SEMARANG POWER GENERATION UNIT**”

ini disusun oleh:

Nama : BURHANUDDIN  
NIM : 30601401605  
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Selasa  
Tanggal : 19 Oktober 2021

Pembimbing I



Dr. Ir. Muhamad Haddin, M.T.  
NIDN : 0618066301

Pembimbing II



Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T.  
NIDN : 0628086501

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.  
NIDN : 0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

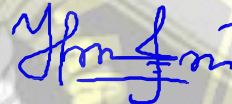
Laporan Tugas Akhir dengan judul “**PENGARUH TEMPERATUR LINGKUNGAN TERHADAP DAYA LUARAN GENERATOR PLTG 1.1 BLOK I TAMBAK LOROK SEMARANG POWER GENERATION UNIT**” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Selasa  
Tanggal : 19 Oktober 2021

**Tim Penguji**

**Tanda Tangan**

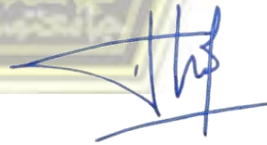
**Ir. Ida Widiastuti, M.T.**  
NIDN : 0005036501  
Ketua



**Ir. Sukarno Budi Utomo, M.T.**  
NIDN : 0619076401  
Penguji I



**Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.**  
NIDN : 0607018501  
Penguji II



## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : BURHANUDDIN

Nim : 30601401605

Judul Tugas Akhir : **PENGARUH TEMPERATUR  
LINGKUNGAN TERHADAP DAYA LUARAN GENERATOR  
PLTG 1.1 BLOK I TAMBAK LOROK SEMARANG POWER  
GENERATION UNIT**

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil analisa dan penelitian asli dari saya pribadi. Demikian surat pernyataan ini saya buat, apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Sultan Agung Semarang.

Semarang, 20 Oktober 2021



Burhanuddin



## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : BURHANUDDIN  
NIM : 30601401605  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri  
Alamat Asal : Jln. Saptamarga No.23 Desa Sidayu Kec. Gombang Kab.  
Kebumen

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul:

### **PENGARUH TEMPERATUR LINGKUNGAN TERHADAP DAYA LUARAN GENERATOR PLTG 1.1 BLOK I TAMBAK LOROK SEMARANG POWER GENERATION UNIT**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 20 Oktober 2021



Burhanuddin

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Alloh SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang. Sholawat serta serta salam saya haturkan kepada baginda Muhammad SAW serta kepada keluarganya dan para sahabatnya

Pertama-tama saya persembahkan Tugas Akhir ini untuk teman satu pekerjaan, teman satu angkatan dan teman satu kuliah yang baru semester awal masuk kuliah sudah pindah tugas ke kantor cabang didaerah asalnya. Sebenarnya awal mula motivasi kuliah adalah hanya ingin menemani beliau yang ingin kuliah, tapi pada kenyataannya malah saya pribadi yang melanjutkan kuliah sampai dengan tahap akhir ini.

Kedua dua saya persembahkan untuk bapak ibu dosen yang selalu membimbing dan memberi motivasi agar semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, terima kasih bapak ibu dosen, mungkin jika tidak ada pemberi semangat seperti bapak ibu sekalian Tugas Akhir ini belum terselasaikan.

Ketiga tiga saya persembahkan untuk saya pribadi sendiri karena sudah bersemangat sekali mengerjakan Tugas Akhir ini di tahap tahap terakhir sebelum terjadi adanya readmisi. Terima kasih untuk diriku sendiri untuk segala bentuk fisik, pikiran dan perasaan untuk terselasaikan Tugas Akhir ini.

## HALAMAN MOTTO

*Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. – (Al-Baqarah: 286)*

*dan katakanlah: “Ya Tuhanku, tambahkanlah kepadaku ilmu pengetahuan”. – (Q.S Thaha: 114)*

*Dan tidak ada kesuksesan bagiku melainkan atas (pertolongan) Allah. – (Q.S Huud: 88)*

*"Siapa yang keluar untuk menuntut ilmu, maka dia berjuang fi sabilillah hingga dia kembali." - HR. Tirmidzi*

*" Aku tinggalkan untuk kalian dua perkara. Kalian tidak akan sesat selama berpegangan dengannya, yaitu kitabullah (Al-Qur'an) dan sunnah Rasulullah SAW." - HR. Muslim*

*" Tidaklah ada dari manusia melainkan: diuji dengan keselamatan agar diketahui bagaimana syukurnya, atau diuji dengan sebuah bencana agar diketahui bagaimana sabarnya." - Ibnu Qayyim*

*"Jika kamu tidak tahan terhadap penatnya belajar, maka kamu akan menanggung bahayanya kebodohan." - Imam Syafii*

*"Ilmu itu seperti air. Jika ia tidak bergerak, maka ia akan menjadi keruh lalu membusuk." - Imam Syafii*

*"Siapa yang menghendaki kehidupan dunia, maka harus disertai dengan ilmu. Dan siapa yang menghendaki kehidupan akhirat, juga harus dengan ilmu." - Imam Syafii*



## KATA PENGANTAR

Segala puja syukur alhamdulillah saya haturkan atas kehadiran ALLOH SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga diberikan kesehatan dan kesempatan dalam proses penyusunan dan terselesainya Tugas Akhir saya.

Judul dari Tugas Akhir saya **“Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Daya Luaran Generator PLTG 1.1 Blok I Tambak Lorok Semarang Power Generation Unit”**, diajukan dalam rangka memenuhi persyaratan terakhir dalam penyelesaian pendidikan sarjana pada Studi Program Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri Unisulla (Universitas Islam Sultan Agung Semarang).

Dalam penulisan tugas akhir tersebut, banyak sekali rintangan dan hambatan dalam setiap gagasan, ide maupun perbahasaan, tetapi berkat adanya para pembimbing Tugas Akhir yang penulis buat dapat terselesaikan dengan baik. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. Muhamad Haddin, M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan Ir. Agus Adhi, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberi koreksi dan bimbingan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Keluarga kecilku yang selalu memberi motivasi dan dorongan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
5. Keluarga Pegawai PT Indonesia Power Semarang PGU, yang telah memberikan ilmu dan motivasi tentang dasar pembangkitan energi listrik.
6. Teman – teman Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
7. Dan semua kalangan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini masih kurang baik dan jauh dari sempurna. Semoga Laporan Tugas Akhir ini bisa memberi manfaat dan ilmu pengetahuan tentang pembangkit energi listrik.

Semarang, 20 Oktober 2021



Burhanuddin



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH</b> .....	v
<b>HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI ILMIAH</b> .....	vii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>ABSTRAK</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Obyek Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas .....	7
2.2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Tenaga Gas .....	8
2.2.3 Siklus Turbin Gas .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.4 Keuntungan dan Kerugian penggunaan Turbin Gas sebagai Pembangkit .....	10
2.3 Termodinamika pada PLTG.....	12
2.3.1 Konsep Gas Ideal.....	12
2.4 Siklus Brayton .....	23

2.4.1 Kompresor .....	24
2.4.2 Ruang bakar (Combustion).....	25
2.4.3 Turbin.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.4 Daya masuk generator.....	27
<b>2.5 Generator .....</b>	<b>27</b>
2.5.1 Pengertian Generator.....	27
2.5.2 Konstruksi Generator .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5.3 Prinsip Dasar Generator.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5.4 Aliran Daya dan Rugi Rugi pada Generator Sinkron .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>34</b>
3.1 Model Penelitian.....	34
3.1.1 Data Teknis Turbin Gas PLTG Unit 1.1 .....	35
3.1.2 Data Teknis Generator PLTG Unit 1.1 .....	35
3.2 Prosedur Alat dan Bahan.....	36
3.2.1 Prosedur Pengambilan data .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2.2 Alat yang digunakan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Metodologi .....	38
3.4 Flowchart Penelitian .....	40
<b>BAB IV DATA DAN ANALISA .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Data Pengukuran dan Data Perhitungan .....	41
4.1.1 Data Pengukuran Temperatur Lingkungan.....	41
4.1.2 Data Pengukuran Operasi dan Perhitungan Kompresor.....	41
4.1.3 Perhitungan Daya yang dihasilkan Turbin.....	44
4.1.4 Perhitungan daya yang masuk ke generator .....	47
4.1.5 Perhitungan Daya Luar Generator .....	48
4.2 Analisa hasil perhitungan.....	47
4.2.1 Analisa hasil perhitungan daya yang diserap kompresor, daya yang dihasilkan turbin, daya untuk memutar generator dan daya keluaran generator.....	50
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>53</b>

5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran.....	54

### DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Single Line Diagram Distribusi Sistem Tenaga Listrik	6
Gambar 2.2	Simple Cycle , Single Shaft Gas Turbin	8
Gambar 2.3	Siklus Brayton	9
Gambar 2.4	Skema sederhana sistem kompresor turbin gas	11
Gambar 2.5	Skema sederhana sebuah sistem turbin gas	12
Gambar 2.6	Skema keseimbangan energi dalam kompresor	15
Gambar 2.7	Skema sederhana keseimbangan energi pada turbin gas	19
Gambar 2.8	Sistem kompresor pada PLTG	23
Gambar 2.9	Sistem ruang bakar pada PLTG	24
Gambar 2.10	Sistem turbin pada PLTG	24
Gambar 2.11	Generator sinkron	26
Gambar 2.12	Konstruksi generator sinkron	28
Gambar 2.13	Induksi gaya gerak listrik generator	29
Gambar 2.14	Diagram aliran daya generator AC tiga phasa	30
Gambar 3.1	Model penelitian daya luaran generator	32
Gambar 4.1	Hubungan daya yang diserap kompresor dengan daya yang dihasilkan turbin berdasarkan perubahan temperatur lingkungan	51
Gambar 4.2	Hubungan daya masukan generator dan daya luaran generator terhadap perubahan temperatur lingkungan	52
Gambar 4.3	Hubungan daya luaran generator terhadap perubahan temperatur lingkungan	53



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Turbin Gas PLTG Blok I Unit 1.1	33
Tabel 3.2	Spesifikasi Generator PLTG Blok I Unit 1.1	32
Tabel 3.3	Daftar alat yang digunakan	35
Tabel 4.1	Data sample temperatur lingkungan	39
Tabel 4.2	Data monitoring parameter operasi kompresor	40
Tabel 4.3	Hasil perhitungan kerja kompresor aktual	40
Tabel 4.4	Hasil perhitungan daya untuk memutar kompresor	41
Tabel 4.5	Data monitoring parameter operasi turbin	42
Tabel 4.6	Hasil perhitungan temperatur ruang bakar	42
Tabel 4.7	Hasil perhitungan daya yang dihasilkan turbin	43
Tabel 4.8	Hasil perhitungan daya yang digunakan untuk memutar generator	44
Tabel 4.9	Hasil perhitungan daya luaran generator	45
Tabel 4.10	Hasil perhitungan daya yang diserap kompresor, daya yang dihasilkan turbin, daya untuk memutar generator dan daya keluaran generator	45

## **ABSTRAK**

*Temperatur lingkungan adalah sebuah fenomena alamiah yang tidak dapat diprediksi, perubahan temperatur ini banyak menimbulkan permasalahan yang terjadi didalam sebuah pembangkit listrik tenaga gas di Indonesia. Permasalahan yang terjadi disaat temperatur lingkungan naik menyebabkan beban dari PLTG akan diturunkan, hal ini sangat merugikan sistem PLTG karena berkurangnya daya output dari generator. Solusi dari permasalahan tersebut adalah dilakukannya pemasangan air spray cooling pada saat udara dihisap oleh kompresor. Alternatif solusinya dengan menurunkan beban secara perlahan sesuai batas normal dan aman.*

*Penelitian ini membahas tentang pengaruh perubahan temperatur lingkungan turbin gas terhadap daya output generator. Temperatur lingkungan yang lebih tinggi akan menurunkan kualitas oksigen pada udara tekan, sehingga mempengaruhi pembakaran yang terjadi pada ruang bakar. Perubahan pembakaran pada ruang bakar mempengaruhi daya turbin dan mempengaruhi daya input generator. Model ditetapkan sebagai kompresor yang merupakan bagian dari PLTG dengan parameter parameter antara lain: daya input kompresor, temperatur ruang bakar, daya turbin, daya input generator, daya output generator. Metode yang digunakan adalah dengan pengamatan secara langsung kenaikan temperatur. Udara yang masuk kompresor sampai dengan daya yang keluar dari proses didalam turbin dan generator.*

*Hasil menunjukkan bahwa untuk setiap kenaikan suhu sekitar 1°C, daya output rata-rata berkurang sebesar 1041,55 KW. Daya output generator tertinggi berada pada suhu lingkungan 26°C, daya output generator sebesar 93,29 MW, dan daya output terendah 85,34 MW pada suhu 35°C.*

**Kata Kunci: Temperatur, Daya Output Generator, PLTG**

## **ABSTRACT**

*The Environmental temperature is a natural phenomenon that cannot be predicted, this temperature change causes many problems that occur in a gas power plant in Indonesia. Problems that occur when the ambient temperature rises cause the load from the PLTG to be lowered, this is very detrimental to the PLTG system because of the reduced output power of the generator. The solution to this problem is to install air spray cooling when the air is sucked in by the compressor. The alternative solution is to lower the load slowly according to normal and safe limits.*

*This study discusses the effect of changes in the ambient temperature of the gas turbine on the generator output power. A higher ambient temperature will reduce the quality of oxygen in the compressed air, thus affecting the combustion that occurs in the combustion chamber. Changes in combustion in the combustion chamber affect turbine power and affect generator input power. The model is set as a compressor which is part of the PLTG with parameters including: compressor input power, combustion chamber temperature, turbine power, generator input power, generator output power. The method used is by direct observation of the temperature rise. The air that enters the compressor to the power that comes out of the process in the turbine and generator.*

*The results show that for every 1°C increase in temperature, the average output power decreases by 1,041.55kW. The highest generator output power is at an ambient temperature of 26°C, the generator output power is 93.29 MW, and the lowest output power is 85.34 MW at 35°C.*

**Keywords: Temperature, Generator Output Power, PLTG**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Kehidupan keseharian manusia kala ini tidak bisa terlepas dari adanya pemakaian energi listrik. Dikarenakan sangat pentingnya energi listrik maka, kestabilan dan elektabilitas penyaluran energi listrik harus terpenuhi untuk kebutuhan pelanggan berdaya listrik rendah maupun pelanggan berdaya listrik tinggi. Untuk menjaga kestabilan energi listrik tersebut maka perlu adanya sinergi antara PLN Distribusi dan PLN Pembangkit Energi Listrik. Energi energi listrik tersebut dihasilkan oleh pusat-pusat pembangkit listrik. Sebagai contoh adalah PLTG Tambak Lorok Semarang *Power Generation Unit*. PLTG adalah sebuah pembangkit listrik tenaga gas, dimana hasil dari pembakaran gas tersebut menghasilkan udara panas yang digunakan untuk memutar turbin. Panas udara tersebut berasal dari hasil pembakaran antara bahan bakar gas dan udara kompresor. Sehingga menjadi udara panas yang sesuai spesifikasi untuk memutar turbin generator. Permasalahan yang timbul pada pengoperasian turbin pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) khususnya pada waktu di siang hari, adalah tidak dapat optimalnya sesuai Daya Mampu Netto (DMN), hal ini disebabkan karena pengaruh temperatur lingkungan yang sangat panas yaitu di 30°C sd 35 °C.

Dampak yang timbul dari permasalahan tersebut adalah jika udara yang dihisap kompresor terlalu panas, maka menyebabkan berkurangnya kadar oksigen yang terkandung didalam udara tersebut. Syarat terjadinya pembakaran didalam *combustion chamber* ada tiga unsur pembakaran yaitu bahan bakar gas, oksigen dan api. Pembakaran yang tidak sempurna ini menyebabkan uap panas yang digunakan untuk memutar sudu turbin tidak maksimal, sehingga menyebabkan berkurangnya daya luaran generator yang seharusnya dapat maksimal, karena pengaruh temperatur lingkungan maka beban harus diturunkan, kenapa beban harus diturunkan, hal ini disebabkan karena apabila

beban tidak diturunkan maka akan berdampak *tripped* pada unit sebuah PLTG. Solusi dari permasalahan yang terjadi maka perlu diupayakan cara mengatasi penurunan kapasitas tersebut, yaitu dengan cara menurunkan temperatur lingkungan yang akan masuk kompresor turbin gas dengan metode pendinginan *air cooler spray fan*, yaitu udara pembakaran yang masuk akan didinginkan menggunakan air dingin yang disemprotkan disisi hisap kompresor, dengan prinsip kerja udara yang dihisap kompresor yang sebelumnya bersuhu tinggi dihembuskan dengan air yang bersuhu dingin dan dengan adanya hal tersebut udara yang masuk kedalam ruang pembakaran bersuhu rendah. Alternatif dari solusi yang lain adalah dengan menurunkan beban pada generator secara bertahap sehingga menyebabkan berkurangnya daya output generator. Hal ini dominan dilakukan karena lebih mengutamakan unit sebuah PLTG beroperasi dengan normal dan aman.

Penelitian ini memfokuskan tentang pengaruh temperatur lingkungan terhadap daya luaran generator. Parameter yang ditentukan adalah sebuah PLTG dengan data temperatur lingkungan, daya kompresor, data temperatur ruang pembakaran, daya turbin, daya masukan generator dan daya luaran generator sebagai obyek penelitian ini adalah PLTG 1.1 Blok I Tambak Lorok Semarang Power Generation Unit.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh perubahan suhu pada kompresor terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin?
2. Bagaimana pengaruh daya turbin terhadap daya luaran generator?
3. Bagaimana pengaruh temperatur lingkungan terhadap daya luaran dari generator?

## **1.3 Batasan Masalah**

Dalam melakukan penelitian ini penulis membatasi permasalahan hanya sebatas dibawah ini:



1. Sebagai obyek penelitian adalah Pembangkit PLTG 1.1 Blok I PT. Indonesia Power Semarang Power Generation Unit dengan beban maksimal sesuai Daya Mampu Netto (DMN) 93 MegaWatt (MW).
2. Penelitian hanya dilakukan hanya saat pada beban maksimal.
3. Kerugian akibat gesekan dan kerugian akibat angin serta rugi daya mengacu pada analisis pada rugi rugi daya dan spesifikasi teknis PLTG Unit 1 Blok I Tambak Lorok Semarang Power Generation Unit.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh perubahan suhu pada kompresor terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin PLTG 1.1 Blok I PT. Indonesia Power Semarang Power Generation Unit.
2. Mengetahui perubahan daya pada turbin terhadap daya luaran generator PLTG 1.1 Blok I PT. Indonesia Power Semarang Power Generation Unit.
3. Mengetahui pengaruh temperatur lingkungan terhadap daya luaran dari generator PLTG 1.1 Blok I PT. Indonesia Power Semarang Power Generation Unit.

#### **1.5 Objek Penelitian Obyek Penelitian**

Objek penelitian diambil dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Unit 1.1 Blok I Semarang Power Generation Unit.

#### **1.6 Sistem Penulisan**

Penelitian yang berjudul “**Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Daya Luaran Generator PLTG 1.1 Blok I Tambak Lorok Semarang Power Generation Unit**” terbagi menjadi lima Bab:

##### **BAB I: PENDAHULUAN**

Berisi tentang penjelasan latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, serta sistematika penulisan.

## **BAB II: TINJAUAN PUSTAKA & LANDASAN TEORI**

Berisi tentang penelitian terdahulu yang berhubungan dengan topik permasalahan. Baik teori teori yang digunakan untuk mendukung dan berhubungan dengan penyelesaian masalah yang akan dilakukan.

## **BAB III: MOTODE PENELITIAN**

Berisi tentang model penelitian, data data parameter operasi, metode dan alur penelitian PLTG 1.1 Blok I PT. Indonesia Power Unit *Semarang Power Generation Unit*.

## **BAB IV: HASIL & ANALISA**

Berisi mengenai hasil dan analisa hitungan dari daya luaran generator yang dapat dihasilkan generator PLTG 1.1 Blok I PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan *Semarang Power Generation Unit* disetiap terjadi perbedaan suhu lingkungan.

## **BAB V: PENUTUP**

Berisi mengenai hasil-hasil simpulan analisa yang telah diteliti dan saran-saran program inovasi dalam mengatasi permasalahan pada temperature udara lingkungan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Berikut ini adalah beberapa referensi penelitian dengan tema yang sama yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan Tugas Akhir ini, antara lain:

a.) Analisis Pengaruh Temperatur Masuk Kompresor Terhadap Efisiensi PLTG Blok 1 Unit 2 PLTGU Muara Karang [2]. Hasil penelitian menunjukkan suhu udara yang tinggi ini dapat berpengaruh terhadap kinerja Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG). Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan semakin tinggi suhu udara yang masuk ke kompresor maka kerapatan udara menjadi rendah dan dapat mengurangi laju aliran massa udara yang masuk melalui kompresor pada instalasi turbin gas.

b.) Kajian Sistem Pendinginan Udara Masuk Turbin Gas Untuk Menaikkan Daya Luaran Pembangkit Listrik Tenaga Gas Yang Beroperasi Pada Beban Puncak [3]. Hasil kajian menunjukkan daya luaran generator yang tinggi dapat dicapai saat suhu lingkungan yang digunakan rendah. Temperatur udara standar masuk kompresor yang ditetapkan oleh perusahaan pembuat turbin berkisar di 15 °C dengan kelembapan udara 60% kondisi ISO3977). Namun pada kenyataannya banyak pembangkit listrik tenaga gas yang dibangun di lokasi yang tidak sesuai dengan standar ISO, sehingga temperatur lingkungan yang diharapkan masuk kedalam kompresor tidak dapat langsung tercapai.

c.) Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator [4]. Hasil menunjukkan tegangan generator sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus eksitasi yang diberikan. Semakin besar arus eksitasi yang diberikan maka tegangan keluaran generator akan semakin besar. Hal ini berbanding lurus antara tegangan keluaran generator dengan arus eksitasi yang diberikan.

d.) Pengaruh Variasi Beban Terhadap Perubahan Temperature Generator Winding Pada Generator Sinkron di PT Indonesia Power Suralaya PGU [5]. Hasil analisa menunjukkan arus beban akan mengalir akibat adanya kebutuhan

beban tersebut sehingga menimbulkan efek variasi terhadap temperatur generator winding baik stator winding ataupun rotor winding.

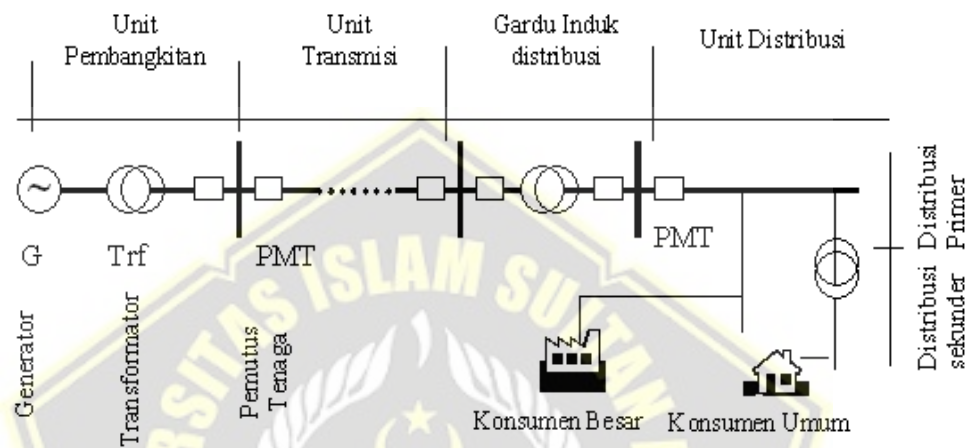
e.) Analisis Pengaruh Temperatur Udara Masukan Terhadap Kerja Turbin Gas di PT PLN Sektor PLTGU Cilegon [6]. Hasil menunjukkan bahwa pengaruh temperatur ambient, yaitu penurunan suhu menyebabkan kelembaban udara meningkat dan berpengaruh terhadap kerapatan udara yang semakin rapat, sehingga menyebabkan massa udara meningkat. Massa udara yang lebih tinggi akan membuat udara yang dimampatkan akan semakin besar dan membuat kerja kompressor akan lebih maksimal. Hal tersebut yang menyebabkan panas yang dihasilkan ruang bakar dan kerja turbin gas pada malam hari lebih tinggi, dibandingkan panas yang dihasilkan ruang bakar dan kerja turbin gas pada siang hari.

f.) Pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin gas centaur T - 4702 pada flatform off - shore North West Java [7]. Hasil analisa bahwa Temperatur inlet( $T_0$ ) yang lebih kecil menghasilkan Power output yang lebih besar sehingga kinerja operasional dipagi hari cenderung lebih besar daripada sore hari karena temperatur udara dipagi hari lebih rendah sehingga densitasnya tinggi.

## **2.2 Landasan Teori**

Manusia sangat membutuhkan energi listrik yang dibutuhkan dalam kehidupan, karena kebanyakan alat alat yang digunakan oleh manusia cenderung banyak mengkonsumsi daya listrik. Oleh sebab itu maka untuk menyediakan dan mendistribusikan daya kepada konsumen, diperlukan berbagai perangkat kelistrikan terhubung dengan perangkat yang lain dan terbentuk satu kesatuan seluruhnya menjadi sistem ketenagaan kelistrikan.

Sistem tenaga listrik merupakan rangkaian dari gardu induk dan pembangkit listrik dimana saling terhubung antara satu dengan yang lainnya dengan jaringan transmisi, sistem jaringan transmisi tersebut disebut sistem [9]. Sebuah sistem tenaga listrik terdiri dari sistem pembangkit tenaga listrik dan sistem distribusi tenaga. Berikut line diagram sistem distribusi diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram System Distribusi [10]

### 2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap merupakan sebuah pembangkitan energi listrik yang dibangkitkan dengan bahan bakar gas alam, pada prinsip kerjanya pembangkit ini mengubah energi gas yang dibakar di ruang bakar, lalu menghasilkan panas yang digunakan untuk memutar sebuah turbin generator [10]. Energi kinetik yang dihasilkan menghasilkan putaran yang seporos dengan generator yang menghasilkan listrik. Beberapa komponen yang utama dalam sebuah PLTGU adalah kompresor, ruang bakar, turbin dan generator.

#### a. Kompresor

Kompresor berfungsi untuk memadatkan udara luar yang berasal dari air inlet yang masuk ke dalam ruang pembakaran. Kebanyakan PLTG biasanya menggunakan kompresor jenis aksial. Kompresor aksial memiliki prinsip kerja terjadi jika aliran udara sejajar dengan poros turbin yang memiliki sudu sudu



[10]. Secara desain kompresor memiliki casing yang terdiri dari bagian atas maupun bagian bawah, hal ini dikarenakan untuk memudahkan saat proses *overhaul*. Udara masuk kompresor diatur oleh IGV (*Inlet Guide Vane*) yang berfungsi untuk mengatur jumlah masukan udara luar ke dalam ruang pembakaran. Udara yang diambil oleh kompresor berkisar 20 persen.

### b. Ruang Bakar

Didalam ruang bakar terjadinya suatu pembakaran gas, di ruang bakar terdapat *combustion chamber*, *flame detector*, dan *ignition*

### c. Turbin Gas

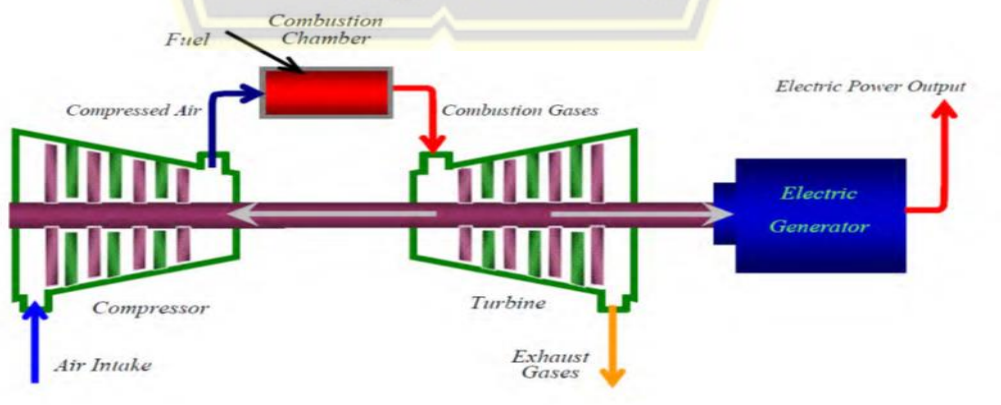
Fungsi dari turbin gas adalah untuk merubah energi panas menjadi energi kinetik yang dipergunakan untuk memutar sudu tetap dan sudu tidak tetap pada turbin yang seporos dengan generator.

### d. Generator

Generator adalah peralatan yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari energi kinetik yang dihasilkan oleh turbin gas yang seporos dengan generator.

## 2.2.2 Dasar Kinerja Pembangkit Tenaga Gas

Dasar kinerja PLTG yang diperlihatkan seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Open Cycle Gas Turbin Generator [10]

Pada awalnya disaat udara masuk kedalam kompresor melalui inlet kompresor, kompresor udara ini memiliki fungsi sebagai penghisap udara luar dan menaikkan tekanan udara luar tersebut.

Dari hal tersebut akibatnya suhu udara pun ikut naik. Kemudian, udara bertekanan masuk ke dalam ruang bakar. Bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar, sehingga bercampur dengan udara dan menyebabkan terjadinya proses pembakaran. Proses pembakaran dilakukan pada tekanan konstan, sehingga dapat dikatakan ruang bakar hanya digunakan untuk menaikkan suhu. Hasil pembakaran gas mengalir ke turbin melalui nozel, dan fungsi *nozle* adalah untuk mengarahkan aliran udara ke sudu turbin. Tenaga yang dihasilkan oleh turbin gas digunakan untuk memutar kompresor itu sendiri dan memutar beban lain, seperti generator. Setelah melewati turbin, gas tersebut akan dibuang melalui saluran pembuangan.

Secara umum proses yang terjadi pada sistem turbin gas adalah:

- 1) Pengkompresian (*compression*) udara yang dihisap dan dikompresi.
- 2) Pembakaran (*combustion*) bahan bakar dispraykan kedalam ruang bakar bersamaan dengan udara, maka terjadilah pembakaran.
- 3) Pemuaiian (*expansion*) gas hasil pembakaran memuai dan mengalir ke luar melalui pipa *nozle*.
- 4) Pembuangan gas (*exhaust*) gas hasil pembakaran berupa asap dibuang melalui saluran pembuangan.

### 2.2.3 Siklus Turbin Gas

Secara umum ada tiga siklus turbin gas yang dikenal, diantaranya yaitu:

#### a. Siklus Ericson

Siklus *Ericson* adalah siklus permesinan *thermal* yang bisa dibalik, dan terdiri dari dua perprosesan *isothermal* yang bisa dibalik [10]. Proses perpindahan kalor pada proses *isobaric* terjadi pada komponen sirkulasi internal, dimana efisiensi panasnya terdapat pada persamaan (2.1).

$$\eta_{th}: 1 - (T_4/T_3) \quad (2.1)$$

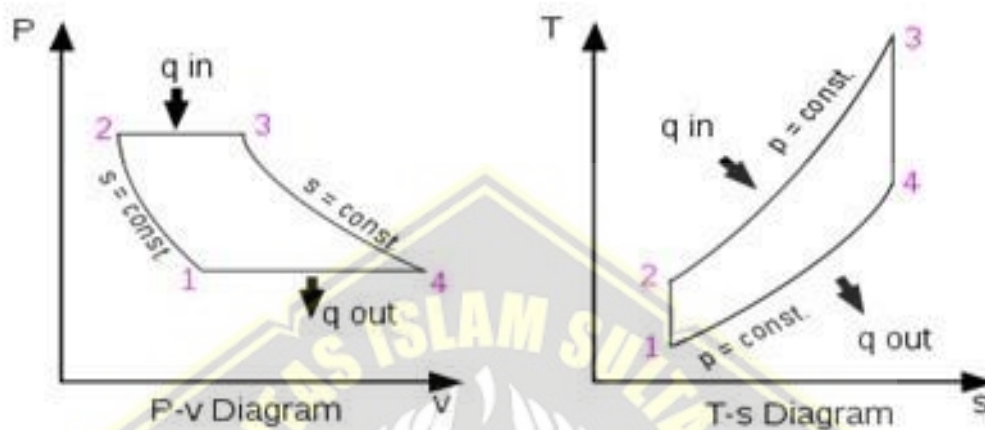
Persamaan:

$T_3$  : Temperatur gas panas (°K)

$T_4$  : Temperatur gas buang ( $^{\circ}\text{K}$ )

### b. Brayton Siklus

Brayton siklus adalah suatu peredaran yang merupakan terjadinya proses thermodinamika *ideal* untuk sebuah gas turbin dan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Brayton siklus [10]

Produsen mesin turbin biasanya sangat umum menggunakan siklus brayton tersebut. Siklus tersebut terdiri atas beberapa proses yaitu proses kompresi isentropik dan proses kompresi eksotermik, proses kedua kompresi tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.

### c. Siklus Stirling

Siklus stirling adalah siklus permesian panas yang dapat dibalik, memiliki dua proses dibalik isothermal dengan volume yang tetap [10]. Efisiensi panasnya sama seperti siklus pada siklus erikson.

#### 2.2.4 Kerugian dan keuntungan menggunakan gas turbin sebagai pembangkit listrik.

Ada beberapa keuntungan dan kerugian penggunaan gas turbin pada pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) yaitu:

**a. Gas turbin dan keuntungannya:**

- Biaya pasang, biayaelihara, biaya perbaikan tidak mahal dan dapat dikerjakan tidak memerlukan waktu yang lama.
- Memiliki proses start unit yang cepat dan Turbin Gas dapat menerima respon permintaan beban tertinggi dalam waktu tidak terlalu lama.
- Untuk mengoperasikannya tidak membutuhkan operator pembangkit terlalu banyak.
- Bisa dipasang dimana saja, dan memberi nilai ekonomis jika dipasang didekat pusat pembebanan untuk mengurangi dampak dari kegagalan transmisi.
- Nilai efisiensi dapat ditingkatkan dengan cara dikombinasikan dengan memasang turbin uap, yang bahan bakarnya menggunakan gas buang dari pembakaran.
  - Memiliki spesifikasi yang serasi dan ukuran yang terbaik.

**b. Turbin gas dan kerugiannya:**

- Turbin gas yang beroperasi dengan tingkat suhu tinggi (melebihi sekitar dari 1000 °C di ruang bakar) diperlukan suku cadang khusus dan mahal. Umur peralatan pada jalur gas panas lebih pendek dari pada pembangkit listrik tenaga uap.
- Memiliki nilai efisiensi yang kecil karena banyaknya kalor terbuang bersamaan gas buang saat proses pembakaran gas.
- Jika gas turbin menggunakan bahan bakar *High Speed Diesel* (HSD) disaat terjadi kelangkaan pasokan gas maupun gangguan, biaya pengoperasiannya sangat mahal. Hasil dari energi yang dihasilkan hanya sepertiga dari total daya yang dipasok ke luar, sementara dua pertiga dari total daya dipergunakan untuk pemakaian sendiri untuk menggerakkan mesin kompresor, mesin generator dan perangkat tambahan.
- Untuk pemakaian bahan bakar mesin turbin gas ini dinilai sangat banyak memakan konsumsi bahan bakar.

## 2.3 Termodinamika pada PLTG

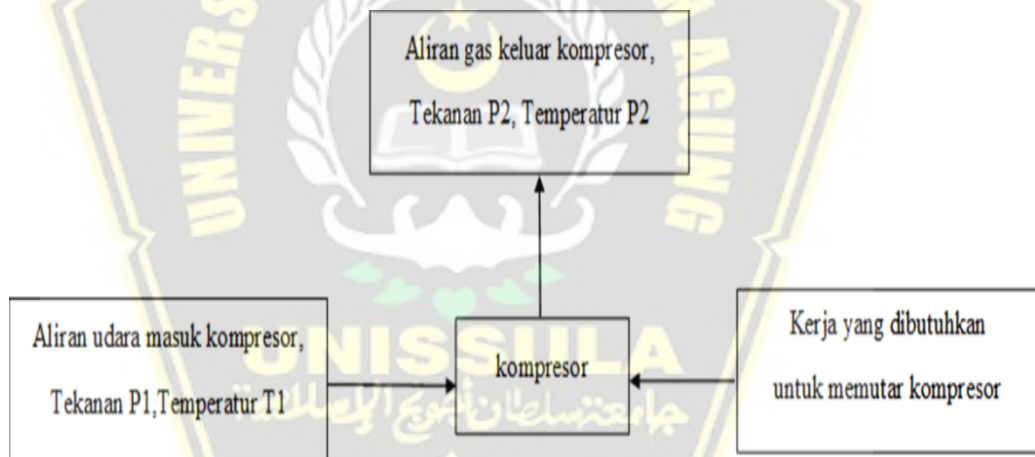
### 2.3.1 Konsep Gas Ideal

Sebuah pemesinan *thermal*, yang biasanya digunakan didalam sebuah peralatan pembangkitan maupun yang digunakan dalam sebuah mesin pendinginan, sebagian besar memiliki cara kerja dengan sebuah fluida gas.

Walaupun sebenarnya fluida kerja suatu gas tidak memiliki karakteristik yang sama persisi dengan sebuah gas ideal, sedangkan hasil analisa termodinamika yang menggunakan sebuah konsep gas ideal yang bisa memberikan hasil kepada keadaan sebenarnya.

#### a. Proses Kompresi Isentropik

Jika ada sebuah cairan gas yang mengalami pemrosesan kompresi dari level keadan (1) dengan tekanan P1 dan suhu T1 hingga level keadan (2s) (level 2s adalah level isentropik atau level teoritis 2).



Gambar 2.3 Skematik sederhana sistem kompresor turbin gas [10]

Kemudian hubungan antar rasio suhu dan tekanan dengan tingkat keadaan (1) dan (2s) ditunjukkan pada persamaan (2.2).

$$\left( \frac{T_{2s}}{T_1} \right) = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1/k} \quad (2.2)$$

Persamaan:

P2s : Tekanan gas disaat proses kompresi (Pa)

T2s : Temperatur gas isentropik pada proses akhir kompresi (°K)

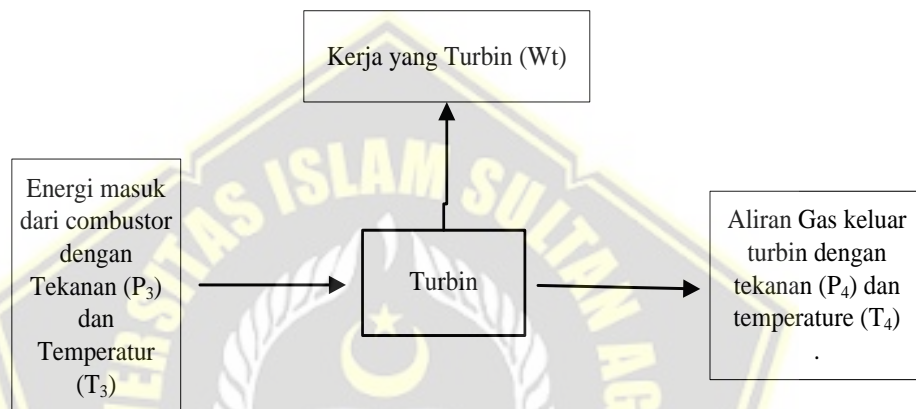
T1 : Temperatur kompresi awal (°K)



Jika yang mengalami pemampatan tekanan ialah udara, lalu memiliki nilai konstantanya  $k: 1,4$  [10]. Nilai konstanta gas tersebut biasanya didalam sebuah industri terdapat dalam sebuah tabel fisik suatu gas.

### b. Proses Ekspansi Isentropik

Selebihnya dalam suatu pembahasan terjadinya pemuaian suatu gas isentropik, dibawah ini ditampilkan sistem turbin gas pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Skema sederhana sebuah sistem turbin gas [10]

Terjadinya suatu pemuaian gas dimulai sejak proses dikondisi (3) dengan tekanaan  $P3$  dan suhu  $T3$ , menuju proses kondisi (4s) (yaitu proses kondisi gas setelah mengalaami pemuaian dalam proses *isentropic*) ialah sebab hubungannya antar rasio suhu dan tekanan adalah proses keadaan (3) dan (4s) dapat dinyatakan dalam persamaan (2.3).

$$\left( \frac{T_{4s}}{T_3} \right) = \left( \frac{P_{4s}}{P_3} \right)^{k-1/k} \quad (2.3)$$

Persamaan:

- $T_{4s}$  : Temperatur isentropik gas di akhir pemuaian (K)
- $T_3$  : Temperatur proses awal (K)
- $P_3$  : Tekanan gas awal proses pemuaian (Pa)
- $P_{4s}$  : Tekanan gas pada akhir proses pemuaian (Pa)

### c. Gas Enthalpi Ideal

Untuk suatu pengaliran cairan baik berupa gas dan cair, *enthalpi* adalah sebuah energi kombinasi dan sebuah bentuk aliran kerja, maka dapat memiliki persamaan (2.4).

$$h = u + pv \quad (2.4)$$

Persamaan:

- $h$  : Enthalpi fluida aliran (J/kg)
- $u$  : Energi kerja fluida (J/kg)
- $pv$  : Fluida aliran kerja (J/kg)

dan apabila jika terjadi suatu perubahan *enthalpi* [10], maka dapat dinyatakan dengan persamaan (2.5).

$$dh = du + d(pv) \quad (2.5)$$

Persamaan:

- $du$  : Energi fluida kerja perubahan (J/kg)
- $d(pv)$  : Kerja fluida perubahan (J/kg)
- $dh$  : Enthalpi fluida kerja perubahan (J/kg)

Dari persamaan 2.5 diatas ada beberapa asumsi-asumsi persamaan lain [10], maka dapat ditampilkan pada persamaan (2.6).

$$dh = C_v dT + R dT \quad (2.6)$$

Persamaan:

- $dh$  : Enthalpi kerja perubahan fluida (J/kg)
- $C_v$  : Ketetapan thermal dengan volume sama (J/kg)
- $dT$  : Perubahan suhu temperatur
- $R$  : Ketetapan gas nitrogen,  $R = 297 \text{ J/kg}$

Perumusan pada persamaan (2.6) menunjukkan jika *enthalpi gas ideal* adalah sebuah fungsi temperatur:  $h = h(T)$ . Maka sebab itu, perubahan *enthalpi* memiliki persamaan (2.7).

$$dh = \left( \frac{dh}{dT} \right)_v dT \quad (2.7)$$

Persamaan:

- $dT$  : Temperatur perubahan ( $^{\circ}\text{K}$ )  
 $\left(\frac{dh}{dT}\right)_v$  : Ketetapan dalam volum panas tetap ( $\text{J/kg}$ )  
 $dh$  : Enthalpi fluida kerja perubahan ( $\text{J/kg}$ )

Untuk mencari entalpi gas ideal maka dapat menggunakan dengan persamaan  
Maka dari itu, terjadinya entalpi gas ideal bisa didapatkan dengan persamaan  
(2.8).

$$dh = C_p dT \quad (2.8)$$

Persamaan:

- $dh$  : Perubahan entalpi fluida kerja ( $\text{J/kg}$ )  
 $C_p$  : Ketetapan panas dengan tekanan konstan ( $\text{J/kg}$ )  
 $dT$  : Perubahan suhu temperatur ( $^{\circ}\text{K}$ )

#### d. Keseimbangan energi dalam sistem kompresor

Suatu mesin kompresor pada turbin gas berfungsi sebagai alat untuk pemampatan udara yang setelah dimampatkan tersebut akan digunakan untuk udara suatu pembakaran dan sisa udara yang dimampatkan juga berfungsi sebagai pendinginan bagian tertentu. Penyeimbang tenaga terkoneksi satu sama lain di dalam kompresor yang diarahkan ke Gambar 2.6. Dari gambaran ini, skematik simpel dari bermacam tenaga yang ikut serta dalam proses kompresi gas dikompresor ditampilkan.



Gambar 2.6 Skema keseimbangan energi kompresor [10]

Bila diterapkan dengan hukum kekekalan energi maka :*(Jumlah energi yang masuk kesistem) = (Pergantian energi yang terjalin ke sisteem) + (Jumlah energi yang keluar dari sistem)* sehingga memiliki persamaan (2.9).

$$(E_1 + W_k) = \left(\frac{dE}{dT}\right) + (E_2 + dq + dE_f) \quad (2.9)$$

Persamaan:

- $W_k$  : Kerja kompresor
- $E_1$  : Fluida energi yang masuk (J/kg)
- $\left(\frac{dE}{dT}\right)$  : Sistem energi perubahan
- $E_2$  : Energi keluar dalam fluida (J/kg)
- $Dq$  : Rugi kalor kompresor (J/kg)
- $D E_f$  : Rugi gesek kompresor (J/kg)

Setelah itu supaya permasalahan tersebut bisa ditanggulangi lebih lanjut butuh diterapkan sebagian asumsi ataupun anggapan universal buat sistem kendali volume, ialah:

1. Analisa proses kompresi dicoba kala aliran pada kompresor sudah menggapai keadaan normal ataupun stasioner. Dalam keadaan demikiaan, tidak terjalin pergantian sifat- sifat gas, tercantum energinya. Oleh sebab itu, bila aliran diangaap stasioner, hingga dengan *persamaan*  $dE/ dT= 0$ . (2.10)

2. Hilangnya tenaga panas ke sekitar lewat bilik kompresor dikira kecil dibanding dengan pergantian tenaga aliran gas, sehingga bisa diabaikan ( $dq = 0$ ).
3. Hilangnya tenaga aliran akibat gesekan anantara aliran serta permukaan bagian dalam kompresor pula dikira kecil dibanding dengan pergantian tenaga pada aliran gas, sehingga bisa diabaikan ( $dEf = 0$ ).

Bila ketiga anggapan tersebut diatas diterapkan hingga besarnya tenaga mekanik berbentuk tenaga yang diperlukan buat proses kompresi bisa diperkirakan menggunakan persamaan (2.11).

$$W_k = E_2 - E_1 \quad (2.11)$$

Persamaan:

- $E_2$  : Fluida energi keluar (J/kg)
- $W_k$  : Kerja yang dilakukan kompresor
- $E_1$  : Fluida energi masuk (J/kg)

Besaran daya keseluruhan dimana terbawa sebab adanya fluida yang mengalir adalah penjumlahan dari entalpi dijumlahkan antara kinetik energi dan potensial energi. Jika besaran daya keseluruhan dapat dijabarkan dimana besaran daya dengan satuan berat fluida aliran, memiliki persamaan (2.12).

$$E = h_1 + v_1^2/2 + gZ_1 \quad (2.12)$$

Bila untuk aliran udara saat memasuki kompresor maka energi totalnya memiliki persamaan (2.13).

$$E_1 = h_2 + v_2^2/2 + gZ_1 \quad (2.13)$$

Energi total saat keluar kompresor memiliki persamaan (2.14).

$$E_2 = h_2 + v_2^2/2 + gZ_2 \quad (2.14)$$

Atau pada persamaan (2.15).

$$(E_2 - E_1) = (h_2 - h_1) + (v_2^2/2 - v_1^2/2) + (gZ_2 - gZ_1) \quad (2.15)$$

Persamaan lainya pada persamaan (2.16).

$$(E_2 - E_1) = (h_2 - h_1) + v_2^2/2 - v_1^2/2 + (gZ_2 - gZ_1) \quad (2.16)$$

Persamaan:

- $E_1$  : Fluida masukan energi (J/kg)
- $E_2$  : Fluida keluaran energi (J/kg)



- $h_2 - h_1$  : Entalpi (J/kg)
- $v_2^2/2 - v_1^2/2$  : Kinetik energi (J/kg)
- $gz_2 - gz_1$  : Potensial energi (J/kg)

Sistem kompresor pada suatu aliran gas, perbandingan kinetis energi yang terjadi pada aliran gas yang *in out* pada kompresor relatif tidak besar dibandingkan saat perbandingan entalpi mungkin bisa terabaikan. Begitu pula bila perbandingan tenaga potensial oleh karena itu keadaan seperti begitu bisa diasumsikan pada persamaan (2.17).

$$(E_2 - E_1) = (h_2 - h_1) \quad (2.17)$$

Persamaan :

- $h_1$  : Udara entalpi masuk (J/kg)
- $h_2$  : Udara entalpi keluar (J/kg)
- $E_1$  : Fluida energi yang masuk (J/kg)
- $E_2$  : Fluida energi yang keluar (J/kg)

Berikutnya untuk sebuah gas yang sempurna perbandingan entalpi sebanding tegak lurus dimana perbandingan temperatur, dapat dilihat di persamaan (2.18).

$$dh = C_p dT \quad (2.18)$$

Persamaan:

- $dh$  : Entalpi perubahan
- $C_p$  : Ketetapan tekanan konstan saat panas (J/kg)
- $dT$  : Temperatur perubahan ( $^{\circ}K$ )

Disini  $C_p$  merupakan energi kalor tetap gas saat tekanan tetap. Jika nilai ketetapan eneeji panasnya dengan  $C_p = 1005$  J/ kilogram. Maka sebab bila seluruh anggapan dfitas diterapkan pada proses kompresi gas pada komnpresor, bisa dilihat pada persamaan (2.19).

$$(E_2 - E_1) = (h_2 - h_1) = C_p (T_2 - T_1) \quad (2.19)$$

Persamaan:

- $h_1$  : Udara entalpi masuk (J/kg)

- h<sub>2</sub> : Udara entalpi keluar (J/kg)
- E<sub>1</sub> : Udara masuk energi (J)
- E<sub>2</sub> : Udara keluar energi (J)
- T<sub>1</sub> : Suhu udara masuk kompresor (°K)
- T<sub>2</sub> : Suhu udara keluar kompresor (°K)
- C<sub>p</sub> : Ketetapan tekanan konstan saat panas (°K)

Maka dari itu, secara teoritis jumlah pekerjaan yang diperlukan oleh kompresor ( $W_{ks}$ ) ialah apabila proses kompresi terkira jadi *isentropic* serta dengan anggapan yang sudah diterapkan diatas hingga bisa dihitung, memakai persamaan (2.20).

$$W_{ks} = (h_{2s} - h_1) = C_p (T_{2s} - T_1) \quad (2.20)$$

Persamaan:

- $W_{ks}$  : Besaran kinerja kompresor secara teori (J/kg)
- $C_p$  : Ketetapan tekanan konstan saat panas (J/kg)
- $T_{2s}$  : Suhu udara kompresor luar (°K)
- $T_1$  : Suhu udara kompresor masuk (°K)
- $h_{2s}$  : Udara entalpi kompresor luar (J/kg)
- $h_1$  : Udara entalpi kompresor luar (J/kg)

Sebaliknya pekerjaan aktual yang diperlukan kompresor ialah dengan mencermati rugi tenaga akibat gesekan serta kehabisan tenaga panas yang lewat bilik kompresor, bisa dijabarkan dengan persamaan (2.21).

$$W_k = C_p (T_2 - T_1) \quad (2.21)$$

Persamaan:

- $C_p$  : Ketetapan tekanan konstan saat panas (J/kg)
- $T_1$  : Temperatur udara masuk kompresor (°K)
- $T_2$  : Temperatur udara kompresor (°K)

Persamaan bila pekerjaan jika diperlukan untuk kompresor *isentropic* dimana pekerjaan bila diperlukan dengan kompresor sesungguhnya, melainkan dari efisiensi dari kompresor *isentropic*, bisa dibuat dengan persamaan (2.22).

$$\eta_k = W_{ks} / W_k \quad (2.22)$$

Persamaan:

- $\eta_k$  : Kompresor Effisiensi
- $W_{ks}$  : Kompresor kinerja (J/kg)
- $W_k$  : Aktual kompresor kerja (J/kg)

Energi bilamana diperlukan kompresor merupakan usaha yang dibutuhkan kompresor ditambahkan dimana laju aliran massa dima terdapat aliran didalamnya, serta besarnya bisa dihitung memakai persamaan (2.23).

$$\hat{W}_k = W_k \times \dot{m}_{udara} \quad (2.23)$$

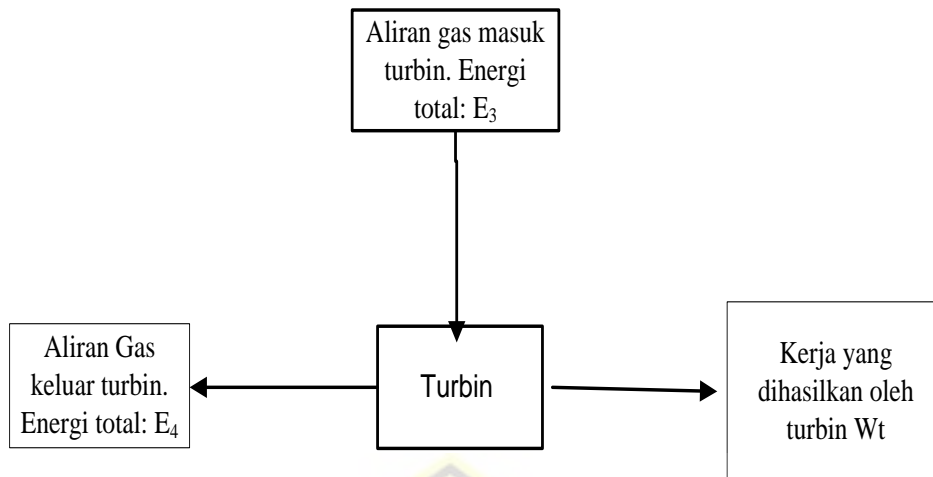
Persamaan:

- $\dot{m}_{udara}$  : Laju aliran massa udara kompresor (Kg/S)
- $\hat{W}_k$  : Daya yang dibutuhkan kompresor (J)
- $W_k$  : Kerja aktual kompresor (J/kg)

#### e. Kesetimbangan Energi Sistem Turbin

Dalam memperkirakan besaran sautu kerja maupun besaran energi yang turbin hasilkan serta efisiensi dari isentropiknya. Pola sederhana dalam bermacam tenaga bila mengikuti saat suatu proses perluasan bahan bakar gas didalam turbin. Dari gambaran tersebut, jika diterapkannya prinsip hukum kekekallan energi adalah:

(Besaran tenaga masuk ke sistem) = (Pergantian tenaga bilamana terjalin di dalam sistem) + (Besaran tenaga bilamana terbuang sistem). Dibawah ini disampaikan pola diagram alir sederhana sautu turbin gas Berikut skema diagram alir simpel gas turbin, maka dapat diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.5 Pola sederhana kesetimbangan energi turbin gas [10]

Besaran energi yang bisa masuk kedalam sistem dapat dijabarkan dengan persamaan (2.24).

$$(E_3) = \left(\frac{dE}{dT}\right) + (E_4 + W_t + dq + dE_f) \quad (2.24)$$

Persamaan:

- $\left(\frac{dE}{dT}\right)$  : Turbin dalam energi (J)
- $E_4$  : Turbin energi keluar (J)
- $E_3$  : Energi jumlah masuk ke turbin (J)
- $W_t$  : Energi dihasilkan turbin (J)
- $dq$  : Rugi energi panas turbin (J)
- $dE_f$  : Turbin mekanis energi (J)

Ketika gas pengaliran memasuki area turbin maka memiliki persamaan sehingga,  $dE$  atau  $dT = 0$ . Kehabisan tenaga panas ke sekitar lewat bilik gas turbin dengan ketetapan persamaan  $dq = 0$ , maka semua itu bisa dijabarkan dengan persamaan (2.25).

$$W_t = E_3 - E_4 \quad (2.25)$$

Persamaan:

- $W_t$  : Kinerja turbin yang dihasilkan (J/kg)
- $E_3$  : Energi turbin masuk (J/kg)

E4 : Turbin energi keluar (J/kg)

Berikutnya, jika terjadi perbedaan antara tenaga kinetik aliran *gas in* dan aliran *gas out* pada turbin gas bisa diabaikan, sehingga hubungan besaran kerja teoritisnya bila hasil dari keluran turbin, maka besaran tersebut dapat diperkirakan dengan persamaan (2.26).

$$W_{ts} = C_p (T_3 - T_{4s}) \quad (2.26)$$

Persamaan:

$T_3$  : Ruang bakar temperatur ( $^{\circ}\text{K}$ )  
 $T_{4s}$  : Gas buang temperratur ( $^{\circ}\text{K}$ )  
 $W_{ts}$  : Teori kerja turbin gas (J/kg)  
 $C_p$  : Ketetapan tekanan konstan saat panas (J/kg $^{\circ}\text{K}$ )

Untuk mencari nilai udara pembuangan maka, temperatur gas buang bisa diperoleh dengan persamaan (2.27).

$$T_3 = T_2 + \left( \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{LHV}_{\text{fuel}}}{\dot{m} \cdot C_p \text{ udara}} \right) \quad (2.27)$$

Persamaan:

$\dot{m}_{\text{fuel}}$  : Aliran bahan bakar massa (kg/s)  
LHV : Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)  
 $\dot{m}_{\text{udara}}$  : Aliran massa udara (kg/s)  
 $T_3$  : Ruang bakar temperatur ( $^{\circ}\text{K}$ )  
 $T_2$  : Kompresor temperature udara luar ( $^{\circ}\text{K}$ )  
 $C_p$  : Ketetapan tekanan konstan saat panas (J/kg $^{\circ}\text{K}$ )

Dimana mempertimbangkan perhitungan bila terdapat kerugian tenaga karena sebab hubungan gesek yang terjadi didalam kompresor, maka dapat dinyatakan dengan persamaan (2.28).

$$W_t = C_p (T_3 - T_4) \quad (2.28)$$

Persamaan:



- $W_t$  : Kinerja dihasilkan oleh turbin (J/kg)  
 $C_p$  : Ketetapan tekanan konstan saat panas (J/kg $^{\circ}$ K)  
 $T_3$  : Ruang bakar temperatur ( $^{\circ}$ K)  
 $T_2$  : Turbin gas temperatur luar ( $^{\circ}$ K)

Permasalahan didalam ruang gas turbin, dikarenakan sebab kinerja *isentropic* gas turbin memiliki besaran yang kelebihan besar dibandingkan dengan kinerja nyata yang dihasilkan oleh turbin, sehingga menyebabkan nilai efisiensi *isentropic* suatu turbin, yang dapat dinyatakan dengan persamaan (2.29).

$$\eta_t = \frac{W_t}{W_{ts}} \quad (2.29)$$

Persamaan:

- $\eta_t$  : Turbin efisiensi  
 $W_t$  : Kerja yang dihasilkan turbin (J/kg)  
 $W_{ts}$  : Kinerja yang dihasilkan turbin teori (J/kg)

Lalu besaran banyaknya energi bilaman bisa didapatkan, maka memiliki persamaan (2.30).

$$\hat{W}_t = W_t \cdot \dot{m}_{gas} \quad (2.30)$$

Persamaan:

- $\dot{m}_{gas}$  : Laju aliran massa udara yang mengalir (kg/s)  
 $\hat{W}_t$  : Daya dihasilkan turbin (J)  
 $W_t$  : Kinerja yang dihasilkan turbin (J)

## 2.4 Siklus Brayton

Siklus *Brayton* adalah sebuah penjabaran awal untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas ( PLTG ). Siklus *Brayton* memiliki komponen tiga yang penting turbin gas, kompresor, dan ruang bakar.

### 2.4.1 Kompresor

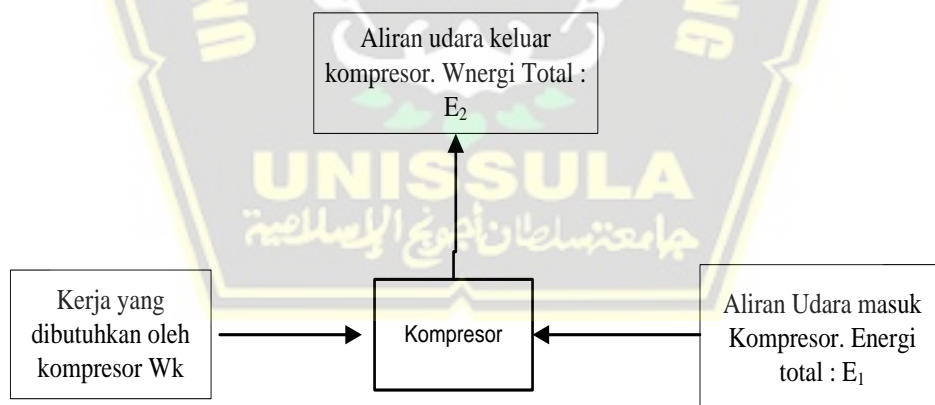
Kompresor ialah merupakan salah satu peralatan yang terdapat pada Turbin Gas Generator yang memiliki fungsi sebagai penyuplai udara pembakaran ke dalam *combustion chamber*, udara dihisap melalui sisi hisap *inlet* kompresor, selanjutnya udara dikompresikan didalam kompresor dan udara digunakan didalam ruang pembakaran.

Berdasarkan siklus brayton yang ada didalam sistem kompresor maka dapat disimpulkan dengan persamaan (2.31).

$$W_k = C_p (T_2 - T_1) \quad (2.31)$$

Persamaan:

- $T_2$  : Udara temperatur kompresor luar ( $^{\circ}\text{K}$ )
- $T_1$  : Udara temperatur kompresor masuk ( $^{\circ}\text{K}$ )
- $W_k$  : Kompresor kinerja aktual (J/kg)
- $C_p$  : Ketetapan tekanan konstan saat panas (J/kg $^{\circ}\text{K}$ )



Gambar 2.6 Sistem Kompresor pada PLTG [10]

Didalam kompresor memiliki kerja yang dibutuhkan oleh kompresor maka hal tersebut memiliki persamaan (2.32).

$$\hat{W}_k = W_k \cdot \dot{m}_{\text{udara}} \quad (2.32)$$

Persamaan:

$\dot{m}_{\text{udara}}$  : Laju aliran massa udara yang mengalir ke kompresor (kg/s)

$\dot{W}_k$  : Daya yang dibutuhkan kompresor (J)

$W_k$  : Kerja aktual kompresor (j/kg)

### 2.4.2 Ruang Pembakaran (*Combustion Chamber*)

Ruang pembakaran (*combustion chamber*) merupakan peralatan dimana terjadinya proses pembakaran di sistem gas turbin, didalam ruangan pembakaran ini aliran laju kalor masuk ke dalam turbin gas, lalu selanjutnya didalam ruang pembakaran terbentuklah kalor tinggi yang digunakan untuk memutar sudu sudu turbin. Laju aliran kalor pada siklus *brayton* didalam ruang pembakaran ini memiliki persamaan (2.33).

$$Q_{\text{in}} = E_3 - E_2$$
$$T_3 = T_2 + \left( \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{LHV}_{\text{fuel}}}{\dot{m} \cdot C_p \text{ udara}} \right) \quad (2.33)$$

Persamaan:

$Q_{\text{in}}$  : Turbin energi masukan (J/kg)

$E_2$  : Kompresor energi (J/kg)

$E_3$  : Ruang bakar energi (J/kg)

$T_3$  : Ruang bakar temperature ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_2$  : Kompresor temperatur udara luar ( $^{\circ}\text{K}$ )

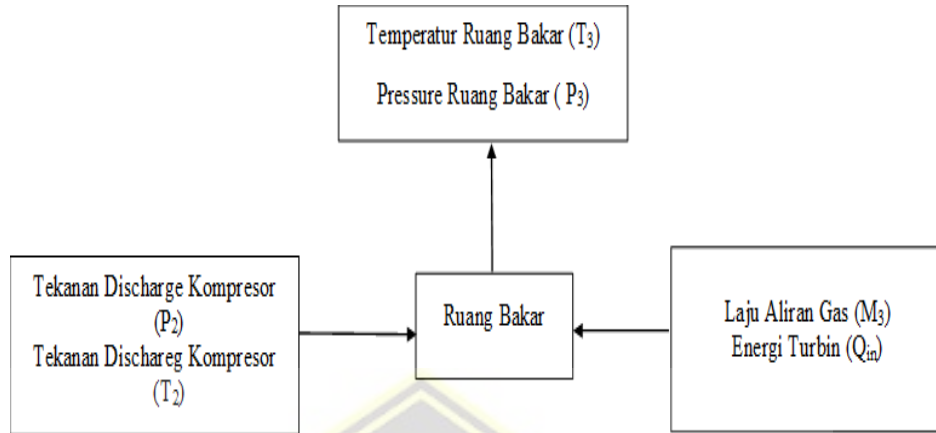
$\dot{m}_{\text{fuel}}$  : Aliran massa bahan bakar (kg/s)

LHV : Bahan bakar nilai karbon (kj/kg)

$\dot{m}_{\text{udara}}$  : Aliran massa udara (kg/s)

$C_p$  : Ketetapan tekanan konstan saat panas (J.kg $^{\circ}\text{K}$ )

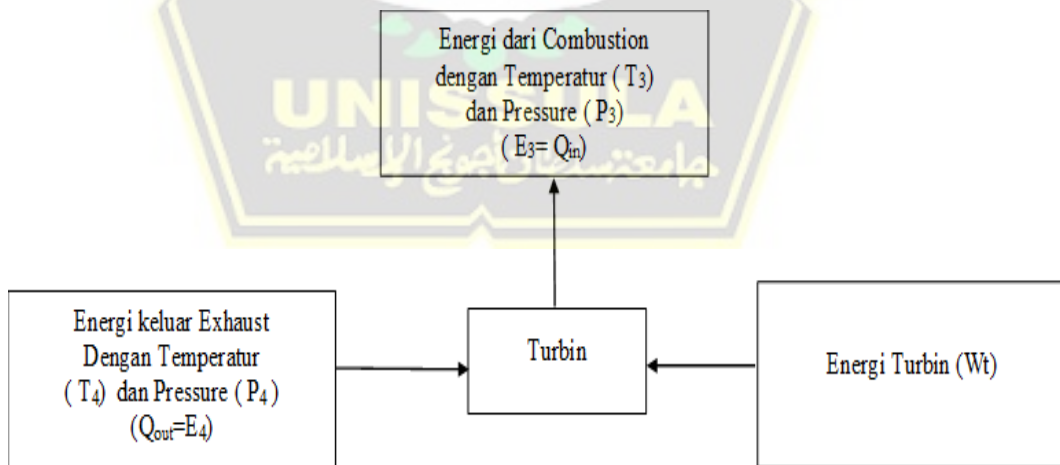
Berikut contoh aliran diagram didalam sistem ruang pembakaran, maka diperlihatkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Sistem Ruang Bakar pada PLTG [10]

### 2.4.3 Gas Turbin

Gas Turbin merupakan peralatan mesin panas yang digerakkan dengan pemanfaatan pembakaran gas yang berfungsi sebagai kerja fluidanya. Cara kinerja gas turbin, bilamana energi kinetik dirubah menjadi energi gerak diaman selanjutnya dipergunkan untuk menggerakkan sudu-sudu gas turbin yang seporos dengan generator sinkron.



Gambar 2.7 Sistem Turbin pada PLTG [10]

Dari Gambar 2.9, maka dapat dijabarkan kesimpulan kinerja turbin gas dengan rumus persamaan (2.34).

$$\hat{W}_t = W_t \cdot \dot{m}_{\text{gas}} \quad (2.34)$$

Persamaan:

$\dot{m}_{\text{gas}}$  : Laju aliran massa gas (kg/s)

$\hat{W}_t$  : Turbin keluaran daya (J)

$W_t$  : Turbin hasil kinerja (J/kg)

#### 2.4.4 Daya masuk generator

Daya yang memasuki generator ialah merupakan selisih energi dari energi yang dihasil Turbin Gas ( $\hat{W}_t$ ) dikurangi dengan energi yang dibuat untuk memutar kompresor ( $\hat{W}_k$ ), sehingga dapat memiliki persamaan (2.35).

$$P_{inGen} = \hat{W}_t - \hat{W}_k \quad (2.35)$$

Persamaan:

$P_{inGen}$  : Daya masuk ke generator (J/kg)

$\hat{W}_t$  : Daya yang dihasilkan turbin (J/kg)

$\hat{W}_k$  : Daya yang dihasilkan kompresor (J/kg)

## 2.5 Generator

### 2.5.1 Pengertian Generator

Generator adalah sebuah peralatan bilamana memiliki fungsi mengubah besaran daya manual yang memiliki asal dari perputaran sejajar dengan poros lalu terjadilah proses energi listrik terjadi. Jenis generator yang umumnya sering digunakan dalam sistem pembangkitan adalah generator sinkron yang berfungsi untuk membangkitkan tegangan arus bolak balik, yang memiliki prinsip dasarnya dari dasar sistem elektromagnetik. Disebut generator sinkron itu disebabkan oleh jumlah putar rotornya memiliki kesamaan dengan banyaknya medan putaran magnet di stator. Sinkronisasi yang cepat itu disebabkan oleh kecepatan rotor putaran yang berbanding dengan medan putar stator. Medan



kumparan pada rotor [10], kumparan jangkar dan generator bilamana terjadi proses pembangkitan tegangan disisi generator maupun stator.



Gambar 2.8 Generator Sinkron [10]

### 1.1.1 Generator Konstruksi

Struktur desain arus bolak balik dari suatu generator umumnya memiliki dua buah peralatan keutamaan, ialah:

a. Stator

Stator merupakan susunan dari sebuah generator yang memiliki fungsi untuk penempatan penerimaan proses induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui armatur, komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak. Armatur selalu diam (tidak bergerak). Stator dari mesin sinkron terbuat dari bahan ferromagnetik yang berbentuk laminasi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Dengan inti ferromagnetik yang bagus berarti permeabilitas dan resistivitas dari bahan tinggi. Umumnya stator generator memiliki tiga bagian utama, adalah:

Susunan alat yang diam (stator) memiliki bagian utama, ialah:

1. Stator inti.

Memiliki pembentukan seperti cincin laminasi laminasi dengan ketentuan terikat dengan sangat rapat, hal ini dilakukan guna menjauhkan dari rugi-rugi *arus eddy (eddy current losses)*. Pada inti ini memiliki tempat tempat yang dipergunakan sebagai penempatan konduktor dan sebagai pengaturan dari sisi arah magnet. Bila mana jika ingin menghindarkan arus pusar dan timbulnya panas, maka pembuatan desain dari stator terbuat dari lempengan lempengan tipis dari baja dan saling mengisolasi satu sama lain.

## 2. Stator Belitan

Merupakan susunan dari stator yang tersusun dari beberapa konduktor yang berasal dari slot slot didalam ujung belitan. Susunan slot slot tersebut dikoneksikan satu sama lain, dengan tujuan untuk mendapatkan tegangan induksi.

## 3. Stator Rumah

Bagian dari stator yang umumnya terbuat dari besi tuang yang berbentuk silinder. Bagian belakang dari rumah stator ini biasanya memiliki sirip-sirip sebagai alat bantu dalam proses pendinginan.

## 4. Stator Alur

Merupakan bagian stator yang berperan sebagai tempat belitan stator ditempatkan.

### b. Rotor

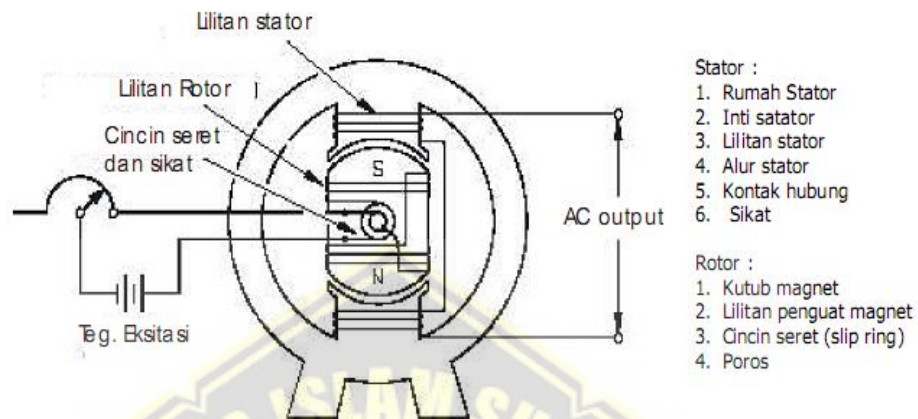
Rotor merupakan peralatan generator sinkron bilamana berputar dan bergerak. Diantara stator dan rotor terpisahkan antara *air gap (udara celah)*. Sebuah rotor mempunyai fungsi sebagai pembangkit medan magnet, bilaman selanjutnya tegangan yang dihasilkan kemudian akan diinduksikan ke dalam stator. Rotor memiliki dua bagian, ialah:

- Inti Kutub

Pada susunan kutub kumparan medan magnet memiliki rotor dan poros yang berfungsi sebagai fluks magnet yang terbangkitkan oleh medan kumparan. Dimedan kumparan memiliki dua bagian yaitu sebuah penghantar yang memiliki fungsi sebagai jalur arus pemacu dan sebuah isolasi.

- Kutub Medan Magnet Rotor

Medan kutub magnet dari rotor terdiri dari *salient pole* (kutubnya menonjol) lalu non *salient pole* (kutubnya silinder).



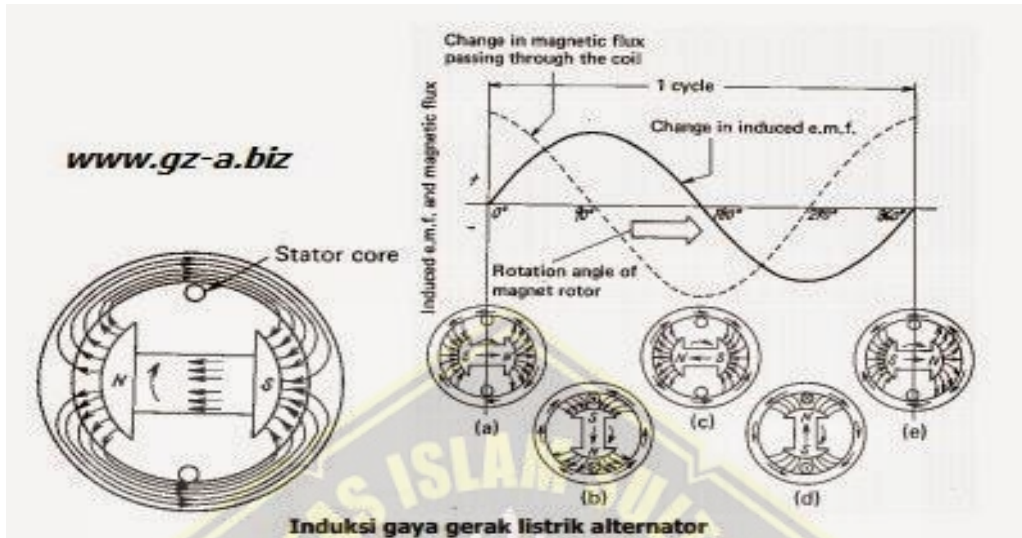
Gambar 2.9 Konstruksi generator sinkron [10]

### 1.1.2 Cara Kinerja Generator

Cara kerja dari sebuah generator adalah bersumber pada proses terjadinya induksi elektro magnetik, seperti yang terjadi pada transformator, tetapi didalam generator memiliki peralatan yang bergerak. Percobaan dari *Faraday* adalah salah satu yang memiliki koneksi kuat dengan cara kinerja dari sebuah generator. Menurut Hukum *Faraday* yang sudah dijabarkan, apabila jika sebuah konduktor dialirkan memotong garis medan magnet, sesampai dengan konduktor yang telah dialiri arus listrik. Lalu jika medan magnet didalam sebuah lilitan yang akan berganti, menyebabkan medan gerak listrik akan mengalir. Hal ini dijabarkan dengan prinsip medan elektromagnetik. Didalam generator sinkron, rotor medan magnet yang berbalik akan menginduksi belitan stator yang menyebabkan terjadinya gaya gerak listrik arus bolak balik pada stator kumparan, dan terdapat kumparan stator telah terpasang 3 buah belitan stator yang bersudut seratus dua puluh derajat yang menciptakan gaya gerak listrik dengan 3 *phasa*. Pada rotor medan magnet disebabkan dengan cara mengalirkan arus satu arah (DC) dan belitan rotor yang memiliki fungsi sebagai



kutub medan magnet yang besar sehingga medan magnet tersebut bisa diatur besar kecilnya dengan mengatur tegangan sisi DC nya [10].



Gambar 2.10 Induksi gaya gerak listrik generator [10]

### 1.1.3 Rugi Aliran Daya pada Generator

Pada generator sinkron tiga fasa energi mekanik dikonversikan mejadi energi listrik, hal ini untuk mengetahui dan pemahaman terhadap proses generator sinkron, dan memudahkan terjadinya urutan aliran tenaga yang memasuki mesin tersebut[10]. Dimana aliran daya masukan  $P_{inGen}$  dijabarkan menjadi sebuah tenaga Pout yang dalam bentuk tenaga listrik. Disini banyak mengalami kerugian pada sisi generator, karena sebab proses pengurangan besar tenaga masukan yang hendak dijabarkan menjadi tenaga listrik. Kerugian pada rotor dan stator generator tersebut  $P_{elecloss}$  memiliki persamaan yang dapat dijabarkan yaitu persamaan (2.36) dan persamaan (2.37).

$$P_{.scl} = 3 I_A^2 \cdot R_A \quad (2.36)$$

$$P_{.rcl} = I_F^2 \cdot R_F \quad (2.37)$$

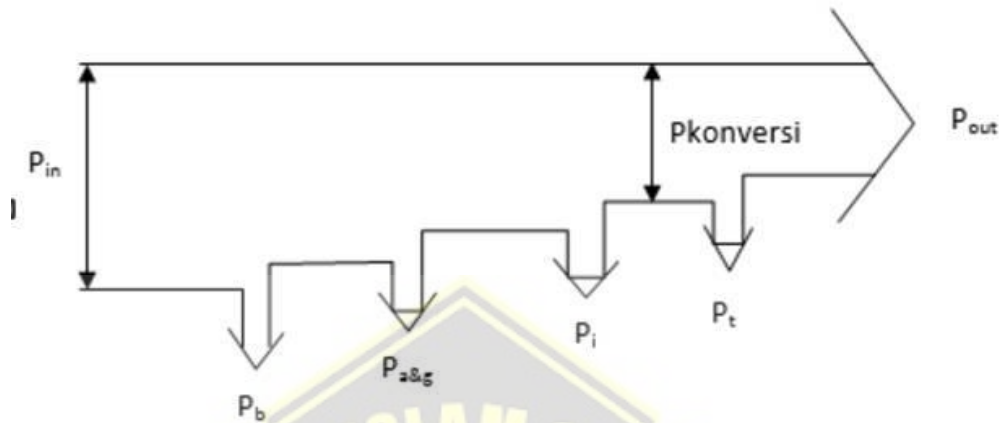
Persamaan:

$I_A$  : Generator arus stator (A)

$R_A$  : Generator tahanan stator ( $\Omega$ )

$I_F$  : Medan arus rotor (A)

- RF : Generator rotor tahan ( $\Omega$ )
- P.scl : Rugi daya tembaga stator (kw)
- P.rcl : Rugi daya tembaga rotor (kw)



Gambar 2.11 Aliran diagram generator daya 3 phasa

Kerugian buta-butanya generator (*generator stray loss*) kurang lebih memiliki nilai 0,5% dari maksimal beban suatu generator. Kerugian buta generator pada saat beban tertentu memiliki persamaan (2.38).

$$P_{\text{stray}} = \frac{(IA)^2}{(\text{Arus Stator beban maksimum})^2} \times \text{rugi buta beban maksimum} \quad (2.38)$$

Energi *outputan* kelistrikan bilamana memiliki hasil dari generator dihasilkan hitungan generator, maka bisa dihitung dengan memakai persamaan (2.39).

$$P_{\text{out}} = \sqrt{3} \cdot V_r \cdot I_L \cdot \text{Cos } \Theta \quad (2.39)$$

Persamaan:

- $P_{\text{out}}$  : Generator daya luaran (Kg/s)
- $V_r$  : Generator tegangan keluaran (Kg/s)
- $I_L$  : Generator arus keluaran (Kg/s)
- $\text{Cos } \Theta$  : Generator power factor (Kg/s)



Oleh sebab itu bilamana, jika nilai  $P_{inGen}$  serta  $P_{out}$  sudah diketahui hingga total nilai kerugian energi, maka hal tersebut memiliki persamaan (2.40) dan persamaan (2.41).

$$P_{loss} = P_{inGen} - P_{out} \quad (2.40)$$

dan

$$P_{loss} = P_{F\&W} + P_{core} + P_{scl} + P_{rel} + P_{stary} \quad (2.41)$$

Persamaan:

- $P_{core}$  : Generator rugi inti (kw)
- $P_{scl}$  : Stator rugi rugi (kw)
- $P_{rel}$  : Rotor rugi-rugi (kw)
- $P_{stray}$  : Generator rugi buta (kw)
- $P_{loss}$  : Rugi total generator (kw)
- $P_{inGen}$  : Daya masuk generator (kw)
- $P_{out}$  : Daya keluaran generator (kw)
- $P_{F\&W}$  : Rugi gesekan dan angin generator (kw)

Kerugian akibat gesekan dan hembusan angin generator dapat dicari dengan persamaan (2.42).

$$P_{F\&W} = P_{loss} - (P_{core} + P_{scl} + P_{rel} + P_{stray}) \quad (2.42)$$

Nilai efisiensi pada generator adalah perhitungan antara keluaran energi listrik berbanding dengan masukan energi, yang memiliki persamaan (2.43) dan persamaan (2.44).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2.43)$$

dan

$$\eta = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2.44)$$

Persamaan:

- $P_{loss}$  : Generator rugi total (kw)
- $P_{inGen}$  : Generator daya masuk (kw)
- $P_{out}$  : Generator daya keluar (kw)

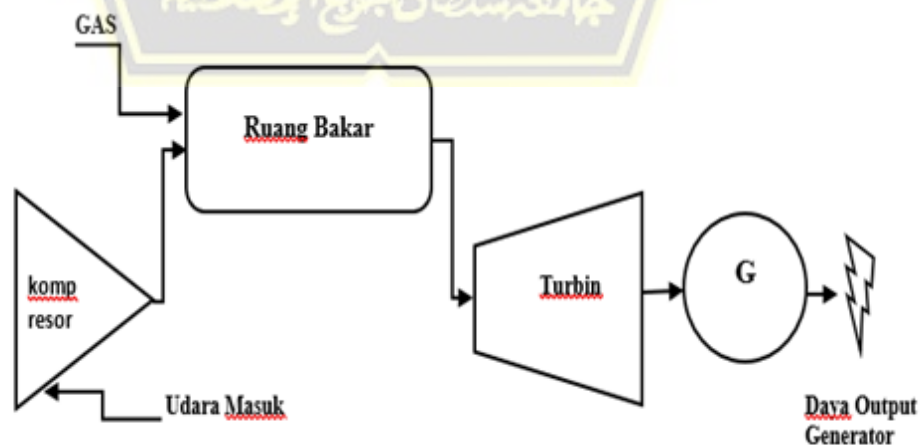
## BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab tiga menjelaskan mengenai data-data teknis spesifik kelengkapan meliputi *Turbin Gas* dan *Generator*, serta cerminan *universal* penjabaran proses pembangkit energi listrik pada PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) Unit 1.1 Blok 1 Tambak Lorok *Semarang Power Generation Unit*.

### 3.1 Model Penelitian

Mengawali penelitian yang sudah dilakukan, penelitian diawali dari pengumpulan berupa data data teknis dan data data spesifikasi mesin PLTG Unit 1.1 Tambak Lorok *Semarang Power Generation Unit*. Data data yang sudah terkumpul tersebut diperunakan sebagai landasan atau pijakan dalam memperhitungkan daya luaran dari generator

Berdasarkan hasil dari landasan teori yang telah tertulis didalam Bab II, maka apa yang tertulis tersebut dipergunakan untuk menghitung energi daya luran dari generator serta dengan jabaran sistemnya yang dibuat dengan sistem aliran dari energi, serta perhitungan dikombinasikan dengan teori termodinamika. Hal ini dilakukan karena agar memperoleh besaran energi yang diserap sebuah kompresor, besaran energi turbin dan serta energi yang dipergunakan untuk proses pemutaran generator.



Gambar Model Penelitian 3.1. Daya Luran Generator

**3.1.1 Data Spesifikasi Teknis Turbin Gas PLTG Unit 1.1 Tambak Lorok Semarang Power Generation Unit.**

Spesifikasi teknis gas turbin yang diamati di Bab III, mempunyai data pabrikan yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi Teknik Turbin Gas PLTG 1.1 Blok I Semarang PGU [9]

No	Jenis Peralatan	
1	Pabrikan	: General Electric
2	Generator Rotor	
	Total Poros	: Satu
	Total Bearing	: Tiga
	Tipe	: Aksial Rotor
	Kecepatan Putar	: 3000 rpm
3	Kompresor	
	Tipe	: Aksial Flow
	Sudu Kompresi	: 17
4	Turbin	
	Tipe	: Aksial Flow
	Sudu Kompresi	: 3
5	Combustion Chamber	
	Sistem	: Reserve Flow
	Jumlah Combustor	: 14
	Jumlah CrossFire	: 14
6	Transition Piece	
	Jumlah	: 14
7	Ignitor	
	Tipe	: Elektrode Sparkplug
	Jumlah	: 2
8	Flamee Nozzle	
	Type	: Dual Fuel
	Jumlah	: 14

**3.1.2 Data spesifikasi teknik generator PLTG unit 1.1 Tambak Lorok Semarang Power Generation Unit.**

Spesifikasi teknis generator yang diamati di Bab III, mempunyai data data pabrikan yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Data Spesifikasi Teknik Generator PLTG unit 1.1 Blok I Semarang PGU [9]

No	Spesifikasi Peralatan
1	Pabrikan : GE
2	Model : ATB-2
3	Serial Number : 335X946
4	Cust.No : 98812
5	KVA Rating : 143.400 KVA
6	Armature Ampere : 7.199 A
7	Armature Volt : 11.500 V
8	Power Factor : 0.8
9	No Of Phase : Tiga
10	Connection : Wye Onnected
11	Frekuensi : 50 Hz
12	Normal Speed : 3000 rpm
13	H2 Pressure : 30 Psi
14	Field Ampere : 1283 A
15	Exciter Volt : 500 V
16	Core Loss : 156 kw
17	Stray Load Loss : 469 kw
18	Rotor Short Time Thermal Capacity : 8
19	Turbine Generator Combyne Inertia Constant : 6.43 kw
20	Three Past Armature Winding Capacitance : 0.985 mF
21	Armature Winding dc Resistance (per-Phase) : 0.00178 ohm
22	Field Winding DC Resistence : 0.348 ohm
23	Date : February, 1993

### 3.2 Peralatan, bahan dan prosedur

#### 3.2.1 Data Prosedur Pegambilan

Pengambilan data prosedur diantaranya meliputi:

- 1) Dibidang Divisi Humas melakukan permohonan ijin penelitian
- 2) Dibidang operasi melakukan permohonan ijin pengambilan data data operasi yang diperlukan.
- 3) Menyiapkan data data logsheet digital, maupun logsheet manual.
- 4) Standby di ruangan *control room* PLTG 1.1 Blok I Tambak Lorok Semarang Power Generation Unit.

- 5) Menulis rekam medis data pengamatan udara temperatur dikomputer DCS PLTG Unit 1.1 Blok I Tambak Lorok *Semarang Power Generation Unit*
- 6) Mengulangi prosesi pengamatan dari tata cara No. 05 sesamapi pada temperatur lingkungan di 26 °Celcius sd 35 °Celcius.
- 7) Memferivikasi dan validasi akurasi data ke bagian operasi dan bagian Humas PT. Indonesia Power *Semarang Power Generation Unit*.
- 8) Selesai.

### 3.2.2 Alat-alat Penelitian

Alat-alat didalam pengamatan merupakan seluruh perlengkapan didalam pengukuran yang dipakai telah terpasang secara otomasi pada PLTG Unit 1 Blok I Tambak Lorok. Peralatan tersebut digunakan oleh operator alat pembangkit pada PLTG Unit 1 Blok I Tambak Lorok. Fungsi dari alat alat tersebut adalah untuk pencatatan data data teknik maupun non teknik didalam mesin generator, turbin, kompresor. Dibawah ini merupakan peralatan dimana peralatan tersebut semuanya sudah otomasi terkoneksi pada unit PLTG Unit 1 Blok I Tambak Lorok *Semarang Power Generation Unit* dapat dilihat di Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Daftar Peralatan yang digunakan

No	Alat	Fungsi	Status
1	Resistance Temperatur Digital	- Pengukuran temperatur inlet kompresor	Sudah terpasang pada unit PLTG
		- Pengukuran temperatur Discharge Kompresor	
		- Pengukuran Temperatur Gas Buang	
2	Volt meter	- Pengukuran tegangan eksitasi	Sudah terpasang pada unit PLTG
		- Pengukuran tegangan keluaran Generator	
3	Ampere meter	- Pengukuran arus eksitasi	



No	Alat	Fungsi	Status
		- Pengukuran arus keluaran Generator	Sudah terpasang pada unit PLTG
4	Watt meter	- Pengukuran daya keluaran Generator	Sudah terpasang pada unit PLTG

### 3.3 Metodologi

Metodologi penelitian ini dilakukan untuk menentukan langkah langkah dari penelitian yaitu:

#### 1. *Study Literature*

Study Literature dibutuhkan dalam pengupayaan pemecahan sebuah masalah yang terjadi, memulai dari tahapan awal sesampai tahapan analisa dan penarikan suatu kesimpulan. Untuk rujukan didalam proses pelaksanaan penelitian, sumber informasi bisa didapatkan melalui buku buku manual pembangkit, catatan catatan gangguan operasi dan sumber dari bapak bapak pegawai yang memiliki pengalaman banyak.

#### 2. *Identifikasi Masalah dan Survey Lapangan*

Survey diawali menuju bidang *operating system* yang berhubungan langsung dengan objek pengamatan. Survey disini bertujuan sebagai pengenalan dan pemahaman cara kinerja dari *system* pembangkitan sebuah PLTG dan lebih mengenali tempat tempat saat prosesi pengambilan sampel data dilapangan.

#### 3. *Pengambilan Data Operasi*

Pengambilan data operasi ini diperlukan guna sebagai data utama sesuai materi yang telah diambil untuk mengetahui nilai akhiran dari daya luaran sebuah generator. Data operasi PLTG 1.1 Blok I Tambak Lorok Semarang *Power Generation Unit* yang diambil diantaranya adalah:

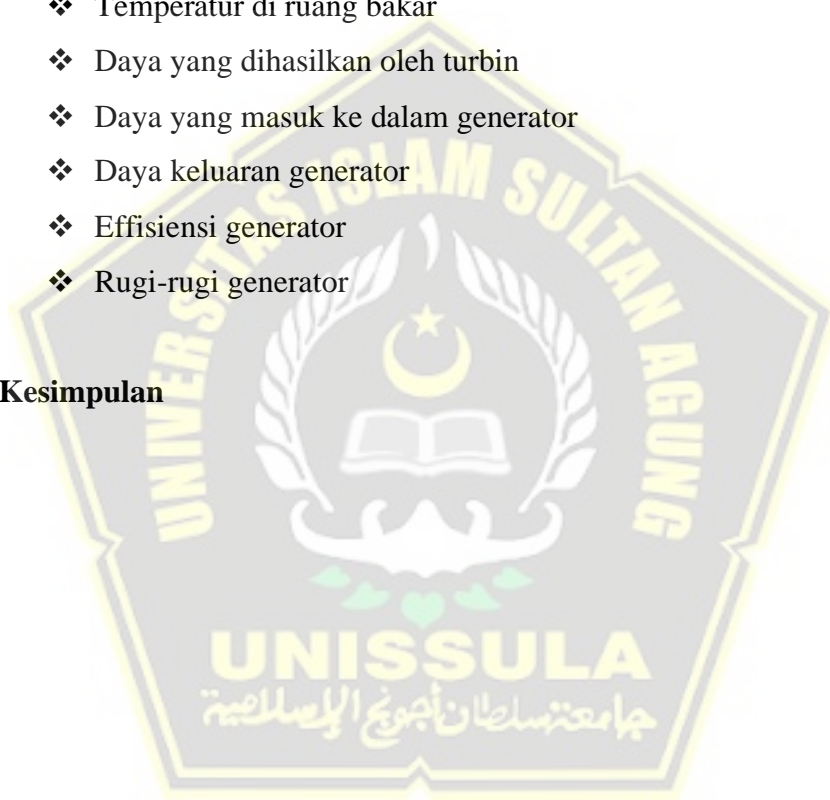
- ❖ Arus exitasi
- ❖ Tegangan exitasi
- ❖ Aliran bahan bakar
- ❖ Daya luaran generator
- ❖ Gas Buang Temperatur

- ❖ Udara inlet kompresor temperatur
- ❖ Udara keluaran generator temperatur
- ❖ Arus keluaran generator
- ❖ Daya luaran generator
- ❖ Tegangan keluaran generator

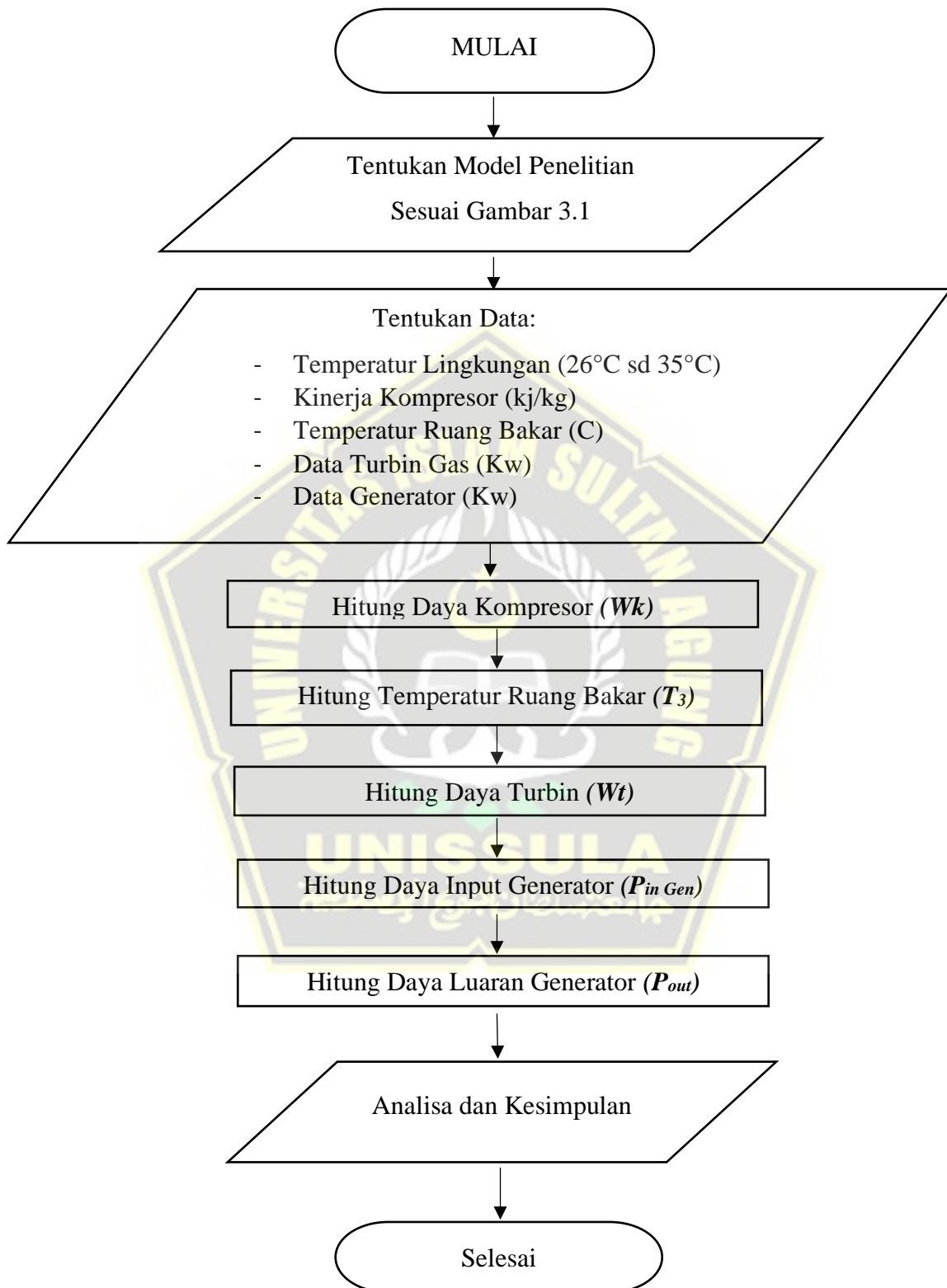
**4. Analisa data data dan perhitungan penelitian meliputi:**

- ❖ Daya terserap oleh kompresor
- ❖ Temperatur di ruang bakar
- ❖ Daya yang dihasilkan oleh turbin
- ❖ Daya yang masuk ke dalam generator
- ❖ Daya keluaran generator
- ❖ Effisiensi generator
- ❖ Rugi-rugi generator

**5. Kesimpulan**



### 3.4 Flow Chart Penelitian



## BAB IV DATA DAN ANALISA

Data temperatur lingkungan diambil pada saat siang hari selama kurang lebih satu bulan, pada bulan Februari 2020. Saat siang hari data diambil kurang lebih 30 menit, menggunakan alat thermometer digital, pressure indikator di unit PLTG, dan melakukan pengamatan melalui komputer DCS (*Digital Control System*). Pengujian terhadap daya luaran generator pada saat cuaca cerah maupun hujan dengan temperatur udara lingkungan saat beban maksimal.

### 4.1 Data Pengukuran dan Data Perhitungan

#### 4.1.1 Data Pengukuran Temperatur Lingkungan

Data temperatur lingkungan saat siang hari PLTG 1.1 Blok I Tambak Lorok Semarang Power Generation Unit, dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data pengukuran temperatur lingkungan

Data-Data Operasi Temperatur Lingkungan					
Tanggal & Jam	03/02/20 20 Pukul 13.00	05/02/20 20 Pukul 14.00	8/02/20 20 Pukul 15.00	11/02/20 20 Pukul 16.00	15/02/20 20 Pukul 12.00
Cuaca	Cerah	Cerah	Cerah	Cerah	Hujan
Temperatur Lingkungan (°C)	35	34	34	32	26
Press Disch Kompresor (Bar)	9,31	9,32	9,32	9,39	9,58
Temperatur Udara Keluar (°C)	356	352	352	347	336
Beban (MW)	85	86	86	90	93

#### 4.1.2 Data Parameter Operasi dan Perhitungan Kompresor

Proses hitung ini memiliki tujuan untuk menemukan seberapa besaran energi yang terserap oleh sebuah kompresor, yang memiliki fungsi untuk memampatkan fluida udara yang akan digunakan disaat proses pembakaran, serta udara kompresor ini berfungsi untuk pendinginan temperatur udara luar kompresor yang tidak sama. Bersumber pada informasi dari data pengamatan pada beban maksimal dan dengan

pengamatan temperatur udara di area PLTG Tambak Lorok *Semarang Power Generation Unit* maupun DCS, maka parameter operasi kompresor bisa diketahui pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data pengukuran pengamatan operasi kompresor

No.	Kompresor		
	Temperatur Lingkungan (°C)	Press. Discharge (Bar)	Temperatur udara keluar (°C)
1	26	9,58	336
2	27	9,52	338
3	28	9,48	339
4	29	9,45	340
5	30	9,43	342
6	31	9,40	345
7	32	9,39	347
8	33	9,37	349
9	34	9,32	352
10	35	9,31	356

Berdasarkan hasil pengamatan operasi pada Tabel 4.2. maka perhitungan dari kinerja aktual kompresor ( $W_k$ ) memakai rumus dari persamaan (2.21) dimana nilai Maka hasil dari hitungan kinerja aktual kompresor ( $W_k$ ) bisa diketahui pada Tabel 4.3.

Perhitungan  $W_k = C_p (T_2 - T_1)$  dengan  $C_p = 1,005 \text{ kJ/kg}$

$W_k = C_p (T_2 - T_1)$  (Persamaan 2.21)

$W_k = 1,005 \times (336 - 26)$

$W_k = 1,005 \times 280$

$W_k = 281,40 \text{ kJ/kg}$



Tabel 4.3 Hasil perhitungan kerja kompresor ( $W_k$ )

No.	KOMPRESSOR			
	Temperatur lingkungan (°C)	Pressure Discharge (Bar)	Temperatur luar udara (°C)	Kinerja kompresor (kJ/kg)
1	26	9,58	336	281,40
2	27	9,52	338	282,41
3	28	9,48	339	282,41
4	29	9,45	340	283,41
5	30	9,43	342	284,42
6	31	9,40	345	284,42
7	32	9,39	347	286,43
8	33	9,37	349	286,43
9	34	9,32	352	286,43
10	35	9,31	356	286,43

Dari Tabel 4.3. energi yang diperlukan buat memutar kompresor ( $\hat{W}_k$ ) pada masing- masing temperatur area bisa dihitung memakai persamaan (2.23) dimana  $\dot{m}_{udara}$  : 383 kg/s. Hasil dari perhitunagn energi yang diperlukan guna menyalakan kompresor bisa diketahui pada Tabel 4.4.

Perhitungan Daya  $\hat{W}_k = W_k \times \dot{M}_{udara}$  dengan  $M_{udara} = 383 \text{ kg/s}$

$$\hat{W}_k = W_k \times \dot{M}_{udara} \text{ (Persamaan 2.23)}$$

$$\hat{W}_k = 281,40 \times 383$$

$$\hat{W}_k = 107.776,2 \text{ KW}$$

Tabel 4.4 Hasil perhitungan daya yang dibutuhkan untuk memutar kompresor ( $\hat{W}_k$ )

No.	KOMPRESSOR				Daya (KW)
	Temperatur Lingkungan (°C)	Pressure Dischrage (Bar)	Temperatur Luar udara (°C)	Kinerja kompresor (kJ/kg)	
1	26	9,58	336	281,40	107776,20
2	27	9,52	338	282,41	108161,12
3	28	9,48	339	282,41	108161,12

No.	KOMPRESSOR				Daya (KW)
	Temperatur Lingkungan (°C)	Pressure Discharge (Bar)	Temperatur Luar udara (°C)	Kinerja kompresor (kJ/kg)	
4	29	9.45	340	283,41	108546,03
5	30	9.43	342	284,42	108930,95
6	31	9.40	345	284,42	108930,95
7	32	9.39	347	286,43	109700,78
8	33	9.37	349	286,43	109700,78
9	34	9.32	352	286,43	109700,78
10	35	9.31	356	286,43	109700,78

Bersumber pada Tabel 4.4. bisa disimpulkan bahwa, semakin besar temperatur udara lingkungan kompresor maka energi yang dipergunakan untuk memutar kompresor akan semakin membesar. Berdasarkan Tabel 4.3. maka energi yang terserap kompresor terkecil dengan temperatur 26 °C memiliki daya sebesar: 107.776,20 kw, sedangkan energi terbesar yang terserap kompresor dengan temperatur 35 °C memiliki daya sebesar: 109.700,78 kw.

#### 4.1.3 Perhitungan Daya yang dihasilkan Turbin

Proses hitung ini memiliki tujuan untuk menemukan seberapa besaran energi yang diperoleh turbin pada temperatur lingkungan yang tidak sama. Berdasarkan hasil dari pengamatan operasi pada saat beban maksimal dengan temperatur udara yang tidak sama. Tujuan dari hitungan adalah untuk melihat besaran energi yang bisa dikeluarkan oleh turbin bilamana pada suhu temperatur lingkungan yang tidak sama. Bersumber pada informasi dari data pengamatan pada beban maksimal dan dengan pengamatan temperatur udara di area PLTG Tambak Lorok *Semarang Power Generation Unit* maupun DCS, maka parameter operasi turbin dapat dilihat di Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data-data monitoring parameter operasi turbin

No	KOMPRESSOR			TURBIN	
	Temperatur lingkungan (°C)	Press. Discharge (Bar)	Temp discharge (°C)	Flow BBG (Kg/s)	Temp. Exhaust (°C)
1	26	9.58	336	6,25	560
2	27	9.52	338	6,22	560
3	28	9.48	339	6,20	560
4	29	9.45	340	6,18	560
5	30	9.43	342	6,18	560
6	31	9.40	345	6,15	560
7	32	9.39	347	6,10	560
8	33	9.37	349	6,05	560
9	34	9.32	352	6,00	560
10	35	9.31	356	5,95	560

Data diatas diambilkan dari data logsheet pencatatan parameter operasi *DCS (Distributed Control System)* selama bulan februari 2020.

Berdasar Tabel 4.5. maka dapat dihitung nilai dari temperatur ruang bakar ( $T_3$ ) yang terdapat di dalam ruang bakar dengan persamaan (2.27), dimana LHV : 19,910.62 (BTU/Lbm) yang setara dengan 46,312.1 (kj/kg). Hasil dari perhitungan temperature ruang bakar ( $T_3$ ) pada *combustion chamber* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

$$\text{Contoh Perhitungan Temperatur Ruang Bakar } T_3 = T_2 + \left( \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{LHV}_{\text{fuel}}}{\dot{m} \cdot C_p \text{ udara}} \right)$$

dimana LHV:19,910.62 (BTU/Lbm) atau setara 46,312.1 (kj/kg)

$$T_3 = T_2 + \left( \frac{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{LHV}_{\text{fuel}}}{\dot{m} \cdot C_p \text{ udara}} \right) \quad (\text{Persamaan 2.27})$$

$$T_3 = 366 + (46312,1 \times 6,25) / (383 \times 1,005)$$

$$T_3 = 366 + (289450,625 / 384,915)$$

$$T_3 = 366 + (751,985)$$

$$T_3 = 1087,985 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 4.6 Hasil hitungan temperatur ruang bakar

No	KOMPRESSOR			TURBIN		
	Temp. Udara ambien ( $^\circ\text{C}$ )	Press. Discharge (Bar)	Temp discharge ( $^\circ\text{C}$ )	Flow BBG (Kg/s)	Temp. Exhaust ( $^\circ\text{C}$ )	Temp. Ruang bakar ( $^\circ\text{C}$ )
1	26	9.58	336	6,25	560	1087,99
2	27	9.52	338	6,22	560	1086,38
3	28	9.48	339	6,20	560	1084,97
4	29	9.45	340	6,18	560	1083,56
5	30	9.43	342	6,18	560	1085,56
6	31	9.40	345	6,15	560	1084,95
7	32	9.39	347	6,10	560	1080,94
8	33	9.37	349	6,05	560	1076,92
9	34	9.32	352	6,00	560	1073,91
10	35	9.31	356	5,95	560	1071,89

Data diatas diambilkan dari data logsheet pencatatan parameter operasi *DCS* ( *Distributed Control System* ) selama bulan februari 2020 kecuali perhitungan temperatur ruang bakar.

Berdasar Tabel 4.6. besaran daya didapatkan dari sisi turbin dan dapat terhitung dengan menggunakan persamaan (2.30). Dimana  $\dot{m}_{\text{gas}}$ : 383 (kg/s). Maka hasil dari besaran hitungan daya dihasilkan oleh turbin bisa dilihat pada Tabel 4.7.

Contoh Perhitungan Daya Turbin  $\hat{W}_t = W_t \cdot \dot{m}_{\text{gas}}$  dengan  $W_t = C_p ( T_3 - T_2 )$

$$W_t = C_p ( T_3 - T_2 ) \text{ (Persamaan 2.30)}$$

$$W_t = 1,005 ( 1087,99 - 560 )$$

$$W_t = 1,005 ( 527,99 )$$

$$W_t = 530,63$$

$$\hat{W}_t = W_t \times \dot{M}_{\text{gas}}$$

$$\dot{W}_t = 530,63 \times 383$$

$$\dot{W}_t = 203,231.24 \text{ KW}$$

Tabel 4.7 Hasil hitungan daya yang dihasilkan turbin

No	Temp. Udara (°C)	TURBIN			
		Flow BBG (Kg/s)	Temp. Exhaust (°C)	Temp. Ruang Bakar (°C)	Daya turbin $\dot{W}_t$ (KW)
1	26	6,25	560	1087,99	203231,24
2	27	6,22	560	1086,38	202611,70
3	28	6,20	560	1084,97	202070,37
4	29	6,18	560	1083,56	201529,04
5	30	6,18	560	1085,56	202298,88
6	31	6,15	560	1084,95	202064,26
7	32	6,10	560	1080,94	202064,26
8	33	6,05	560	1076,92	198972,68
9	34	6,00	560	1073,91	197811,82
10	35	5,95	560	1071,89	197035,86

Dari Tabel 4.7. dapat disimpulkan, jika temperature lingkungan kecil maka energi yang dihasilkan turbin akan semakin membesar, dan apabila temperatur lingkungan semakin besar maka daya yang dihasilkan turbin akan semakin mengecil. Berdasarkan dari Tabel 4.7. maka energi daya sebuah turbin yang dihasilkan paling tinggi pada temperatur 26 °C dengan nilai sebesar 203,231.24 kw. Sedangkan energi daya sebuah turbin yang dihasilkan paling rendah pada temperatur 35 °C dengan nilai sebesar 197.035,86 KW.

#### 4.1.4 Perhitungan daya yang masuk ke generator

Proses hitung ini memiliki tujuan untuk menemukan seberapa besaran energi yang terserap oleh sebuah generator. Dimana telah diketahui nilai nilai dari energi yang terserap oleh kompresor yang dapat dilihat pada Tabel 4.4. dan dimana telah



diketahui nilai dari besaran energi daya yang dihasilkan turbin yang dapat dilihat pada Tabel 4.7. Maka nilai besaran energi yang digunakan untuk mengetahui energi daya yang digunakan untuk memutar generator ( $P_{inGen}$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.34). Hasil perhitungan bisa diketahui pada Tabel 4.8.

Contoh Perhitungan Daya Generator  $P_{inGen} = \hat{W}_t - \hat{W}_k$

$$P_{inGen} = \hat{W}_t - \hat{W}_k \text{ (Persamaan 2.34.)}$$

$$P_{inGen} = 203231,24 - 107776,200$$

$$P_{inGen} = 95.455,04 \text{ KW}$$

Tabel 4.8 Hasil hitungan daya yang digunakan untuk memutar generator

No	Temp. Inlet (°C)	Daya turbin $\hat{W}_t$ (Kw)	Daya kompressor (Kw)	Daya Generator (Kw)
1	26	203231,24	107776,200	95455,042
2	27	202611,70	108161,115	94450,589
3	28	202070,37	108161,115	93909,258
4	29	201529,04	108546,03	92983,012
5	30	202298,88	108930,945	93367,933
6	31	202064,26	108930,945	93133,313
7	32	202064,26	109700,775	92363,483
8	33	198972,68	109700,775	89271,909
9	34	197811,82	109700,775	88111,040
10	35	197035,86	109700,775	87335,089

#### 4.1.5 Perhitungan Daya Luaran Generator

Proses hitung ini memiliki tujuan untuk mengetahui besaran jumlah energi dari daya keluaran generator. Hal ini disebabkan karena perpindahan energi dari sisi generator yang disebabkan oleh temperatur lingkungan kompresor. Berdasarkan dari daya energi yang masuk ke generator pada Tabel 4.8. Maka energi daya luaran generator bisa terhitung menggunakan persamaan (2.44). Hasil dari hitungan energi daya luaran generator bisa diketahui pada Tabel 4.9.

Contoh Perhitungan Daya Luaran Generator  $P_{out} = P_{cnov} - P_{elec\ loss}$

$$P_{out} = P_{cnov} - P_{elecloss}$$

$$P_{out} = 95455,04 - P_{elecloss}$$

rugi daya generator ( $P_{elec loss}$ )

$$P_{elec loss} = P_{F\&W} + P_{core} + P_{scl} + P_{rel} + P_{stary}$$

$$P_{elec loss} = ???$$

$$P_{F\&W} = 1081,12 \text{ kw (rugi gesekan dan angin)}$$

$$P_{core} = 156 \text{ kw (rugi inti)}$$

$$P_{scl} = 3 IA^2.RA \text{ (rugi stator)}$$

$$P_{scl} = 3 \times 208,772^2 \times 0,001782$$

$$P_{scl} = 232,75 \text{ kw}$$

$$P_{rel} = IF^2.RF \text{ (rugi rotor)}$$

$$P_{rel} = 925^2 \times 0,000348$$

$$P_{rel} = 297,7575 \text{ kw}$$

$$P_{stray} = \frac{(IA)^2}{(Arus Stator \text{ beban maksimum})^2} \times \text{rugi buta beban maksimum}$$

$$P_{stray} = 208,72^2 / 24,07426^2$$

$$= 75,20 \times 5,245$$

$$= 394,44286$$

$$\text{Jadi untuk } P_{elec loss} = P_{F\&W} + P_{core} + P_{scl} + P_{rel} + P_{stary}$$

$$P_{elec loss} = P_{F\&W} + P_{core} + P_{scl} + P_{rel} + P_{stary}$$

$$P_{elec loss} = 1081,12 + 156 + 232,75 + 297,76 + 394,44$$

$$P_{elec loss} = 2162,07 \text{ kw}$$

$$P_{out} = P_{cnov} - P_{elec loss}$$

$$P_{out} = 95455,04 - 2162,07$$

$$P_{out} = 93.292,97 \text{ KW}$$

Jadi Daya Luaran Generator berdasarkan perubahan temperatur lingkungan sebesar 93.292,97 KW.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan daya luaran generator

No.	Inlet Temperatur (°C)	Daya menuju Generator	Daya luaran Generator
		P in (kw)	P out (kw)
1	26	95455,04	93292,97
2	27	94450,59	92329,85
3	28	93909,26	91792,97
4	29	92983,01	90897,41
5	30	93367,93	91286,78
6	31	93133,31	91093,49
7	32	92363,48	90364,98
8	33	89271,91	87277,86
9	34	88111,04	86121,44
10	35	87335,09	85349,94

#### 4.2 Analisis Hasil Perhitungan.

##### 4.2.1 Analisis hasil perhitungan daya yang terserap kompresor, daya yang dihasilkan turbin, daya untuk memutar generator dan daya keluaran generator.

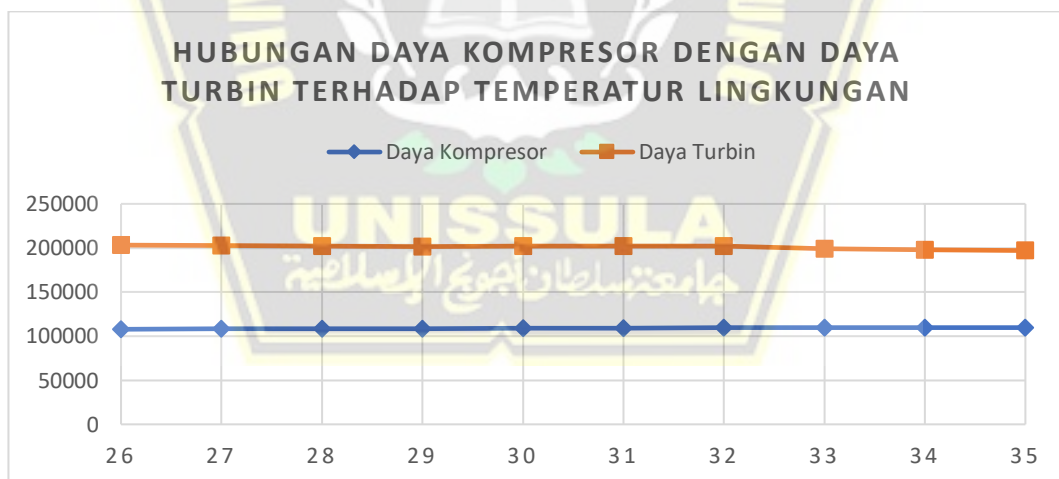
Hasil dari Analisis perhitungan kali ini dipergunakan untuk melihat pengaruh terhadap perbedaan temperatur lingkungan terhadap daya yang mampu dibangkitkan oleh pembangkit PLTG Unit 1.1 Tambak Lorok *Semarang Power Generation Unit*.

Berdasarkan dari hasil hitungan didalam Sub Bab 4.1. maka dapat sedikit dapat tersimpulkan informasi hasil perhitungan dari energi yang terserap oleh kompresor, energi yang dihasilkan turbin, energi yang digunakan untuk memutar generator serta hasil energi luaran dari generator yang berpusat dari temperatur lingkungan yang keseluruhan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil hitungan daya yang diserap kompresor, daya hasil turbin, daya memutar generator dan daya luaran generator.

No.	Temperatur udara (C)	Daya Kompresor Wk (KW)	Daya Turbin $\hat{W}_t$ (kW)	Daya ke Generator (KW)	Daya Keluaran Generator (kW)
1	26	107776,20	203231,24	95455,04	93292,97
2	27	108161,12	202611,70	94450,59	92329,85
3	28	108161,12	202070,37	93909,26	91792,97
4	29	108546,03	201529,04	92983,01	90897,41
5	30	108930,95	202298,88	93367,93	91286,78
6	31	108930,95	202064,26	93133,31	91093,49
7	32	109700,78	202064,26	92363,48	90364,98
8	33	109700,78	198972,68	89271,91	87277,86
9	34	109700,78	197811,82	88111,04	86121,44
10	35	109700,78	197035,86	87335,09	85349,94

Berdasarkan hasil dari Tabel 4.10 Perbandingan perhubungan diantara daya yang terserap oleh kompresor dan daya yang dihasilkan oleh turbin gas bisa diketahui pada Gambar 4.1.

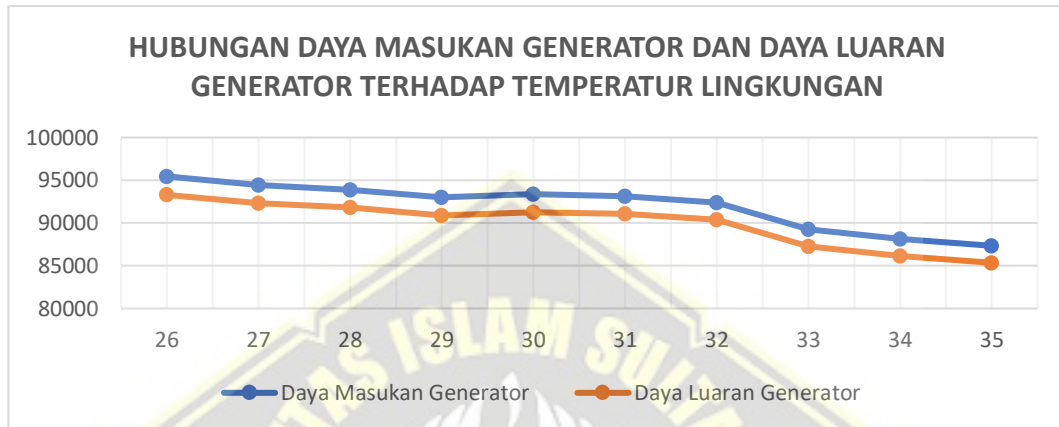


Gambar 4.1 Hubungan daya turbin dan daya kompresor terhadap temperatur lingkungan

Berdasarkan hasil grafik hubungan daya turbin dengan daya kompresor terhadap temperatur lingkungan, maka analisa yang dapat disimpulkan adalah semakin tinggi temperatur udara lingkungan yang terjadi maka daya turbin yang dihasilkan menjadi rendah. Dan apabila temperatur udara lingkungan rendah maka daya yang

dihasilkan turbin akan tinggi, dengan kondisi daya dari kompresor memiliki nilai grafik yang sama.

Berdasarkan hasil dari Tabel 4.10 maka perbandingan antara daya yang digunakan untuk memutar generator dan hasil dari daya luaran generator bisa diketahui pada Gambar 4.2.

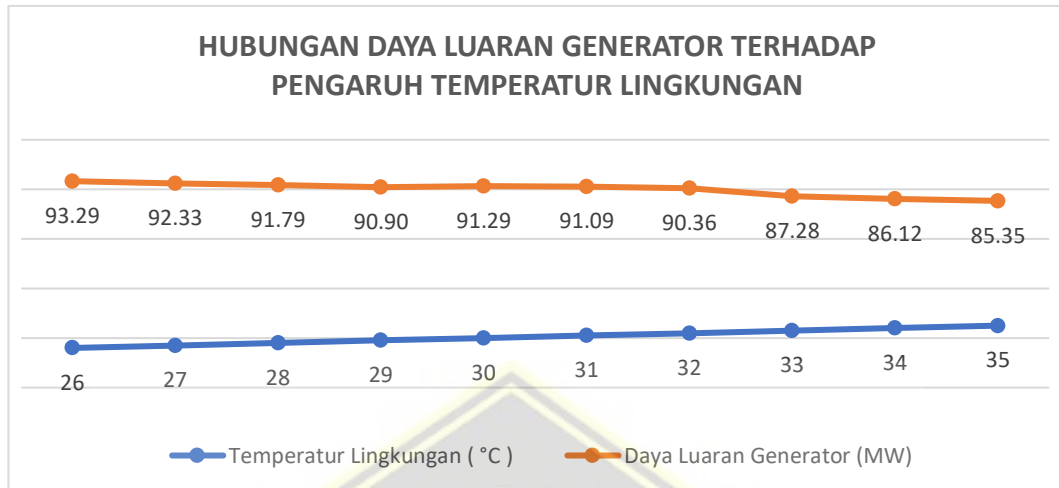


Gambar 4. 2 Hubungan daya masukan generator dan daya luaran generator terhadap perubahan temperatur lingkungan

Hasil analisa grafik diatas menunjukkan bahwa hubungan temperatur lingkungan antara daya masukan generator dan daya luaran generator, semakin rendah temperatur suhu udara masukan kompresor maka daya yang dihasilkan generator menunjukkan bahwa daya generator akan mengalami kenaikan secara performance dengan 95,455.04 kw (95.45 MW), dan hal tersebut menyebabkan daya luaran generator ikut menjadi naik menjadi 93,292.97 kw (93.29 MW). Dan apabila temperatur suhu udara masukan kompresor tinggi maka daya yang dihasilkan generator menunjukkan bahwa daya generator mengalami penurunan secara performance dengan 87,335.09 kw (87.33 MW), dan hal tersebut menyebabkan daya luaran generator ikut menjadi turun menjadi 85,349.94 kw (85.34 MW). Berdasar dari Tabel 4.10 maka saat terjadi kenaikan 1 °C temperatur lingkungan, maka terjadi penurunan daya keluaran generator rata-rata sebesar 882.56 kw yang setara dengan 0.9 MW, hal ini sangat merugikan dalam suatu sistem pembangkitan energi listrik.



Berdasarkan hasil dari Tabel 4.10 maka hubungan daya luaran generator terhadap perubahan temperatur lingkungan bisa diketahui pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Hubungan daya luaran generator dengan perubahan temperatur lingkungan

Hasil analisa grafik diatas menunjukkan bahwa hubungan temperatur lingkungan dengan daya luaran generator, semakin rendah temperatur udara maka daya keluaran generator akan tinggi bebannya, dan apabila temperatur udara tinggi maka daya hasil dari keluaran generator akan menjadi rendah, hal ini disebabkan karena kenaikan temperatur suhu lingkungan yang tidak bisa diprediksi dan merupakan suatu fenomena alamiah.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Bersumber pada hasil hitungan serta pengamatan data analisa yang sudah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin rendah suhu temperatur lingkungan maka daya yang dihasilkan kompresor semakin rendah, sebaliknya jika temperatur lingkungan suhunya tinggi maka daya yang dihasilkan kompresor tinggi. Dan apabila suhu temperatur rendah maka daya turbin akan tinggi, sebaliknya apabila suhu temperatur tinggi daya turbin akan rendah.
2. Apabila daya yang dihasilkan oleh turbin tinggi maka daya yang dihasilkan oleh daya luaran generator akan naik, sebaliknya apabila daya yang dihasilkan turbin rendah maka hasil dari daya luaran generator akan turun.
3. Setiap peningkatan suhu 1°C temperatur lingkungan daya yang dihasilkan Generator PLTGU Unit 1.1 Tambak Lorok *Semarang Power Generation Unit* mengalami penurunan rata-rata sebesar 1,041.55 KW (diambilkan dari nilai rerata selisih penurunan daya keluaran generator yang disebabkan karena kenaikan temperatur suhu lingkungan). Daya Luaran Generator tertinggi pada temperatur lingkungan 26 °C dengan daya keluaran generator sebesar 93.29 MW dan daya keluaran terendah dengan temperatur 35 °C sebesar 85.34 MW.

#### **5.2 Saran**

Temperatur udara lingkungan yang tinggi sangat mempengaruhi daya output dari generator, hal ini disebabkan karena temperatur lingkungan merupakan suatu fenomena alami yang sangat sulit dikendalikan penurunan suhunya. Mitigasi yang bisa dilakukan agar daya yang dihasilkan dari generator agar bisa maksimal adalah maka perlu dibuatkan sebuah inovasi inovasi lanjutan untuk mengatasi temperatur lingkungan tersebut, dengan metode pendinginan air cooler spray fan , yaitu udara pembakaran yang masuk akan didinginkan menggunakan air dingin yang dispraykan disisi hisap kompresor,

dengan prinsip kerja udara yang dihisap kompresor yang sebelumnya bersuhu tinggi dihembuskan dengan air yang bersuhu dingin dan dengan adanya hal tersebut udara yang masuk kedalam ruang pembakaran bersuhu rendah. Alternatif dari solusi yang lain adalah dengan menurunkan beban pada generator secara bertahap sehingga menyebabkan berkurangnya daya output generator. Hal ini dominan dilakukan karena lebih mengutamakan unit sebuah PLTG beroperasi dengan normal dan aman.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aldrian, E., Karmini, M., & Budiman, B. (2011). *Adaptasi dan mitigasi perubahan iklim di Indonesia*. Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, Kedepatian Bidang Klimatologi, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- [2] Imelda Putri, Y., & Sudirmanto, S. (2020). ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR MASUK KOMPRESOR TERHADAP EFISIENSI PLTG PADA BLOK 1 UNIT 2 PLTGU MUARA KARANG (Doctoral dissertation, INSTITUT TEKNOLOGI PLN).
- [3] Budihardjo, B., Subagio, A., & Hizbullah, M. (2015). Kajian Sistem Pendinginan Udara Masuk Turbin Gas Untuk Meningkatkan Daya Luaran Pembangkit Listrik Tenaga Gas Yang Beroperasi Pada Beban Puncak.
- [4] Rimbawati, R., Harahap, P., & Putra, K. U. (2019). Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator (Aplikasi Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Fakultas Teknik-Umsu). *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, 2(1), 37-44.
- [5] Ulan Sari, Ni Made Putri, Isvhandono Yunaini Adnyana, and Tri Wahyu Oktaviana Putri. *Pengaruh Variasi Beban Terhadap Perubahan Temperature Generator Winding Pada Generator Sinkron di PT Indonesia Power Suralaya PGU Unit 5*. Diss. INSTITUT TEKNOLOGI PLN, 2020.
- [6] Rohmani, M. F., & Satria, I. (2017). ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR UDARA MASUKAN TERHADAP KERJA TURBIN GAS DI PT PLN (PERSERO) SEKTOR PEMBANGKITAN PLTGU CILEGON. *ABSTRACT OF UNDERGRADUATE RESEARCH, FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY, BUNG HATTA UNIVERSITY*, 8(2).
- [7] Kusnandar, H. (2010). Pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin gascentaur T-4702 pada flatlorm off-shore North West Java= The effect of environment's condition to performance of Gas Turbine Centaur T-4702 on platform off-shore North West Java.
- [8] Soekardi, C. (2015). *Termodinamka Dasar Mesin Konversi Energi*. Penerbit Andi.
- [9] PLN/Sumitomo, 1983. Tambak Lorok Service Manual Turbine Accerories And Generator. In: *Tambak Lorok Service Manual Turbine Accerories And Generator Volume 1A*. Semarang: PT. PLN Persero, p. Volume 1A.
- [10] Marsudi, Djiteng. "Ir, Operasi Sistem Tenaga Listrik." *Balai Penerbit & Humas ISTN, Jakarta Selatan* (1990).



## LAMPIRAN LAMPIRAN



Lampiran 1. Model Penelitian PLTG ( bagian sisi hisap kompresor )



Lampiran 2. Model Penelitian PLTG ( Bagian dalam Kompresor GTG )

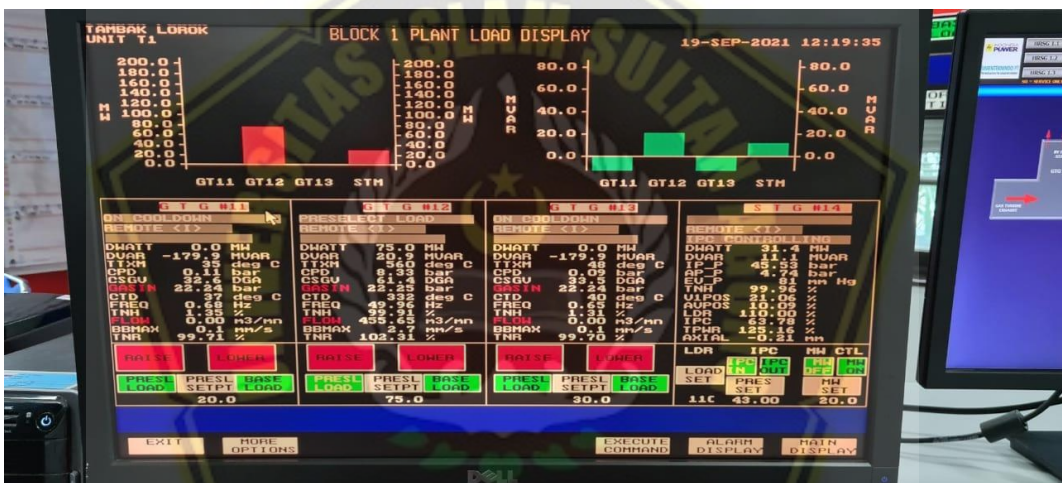




Lampiran 3. Model Penelitian PLTG ( Bagian Ruang Bakar / *Combustion Chamber* GTG )



Lampiran 4. Model Penelitian PLTG ( Bagian Turbin dan Generator GTG )

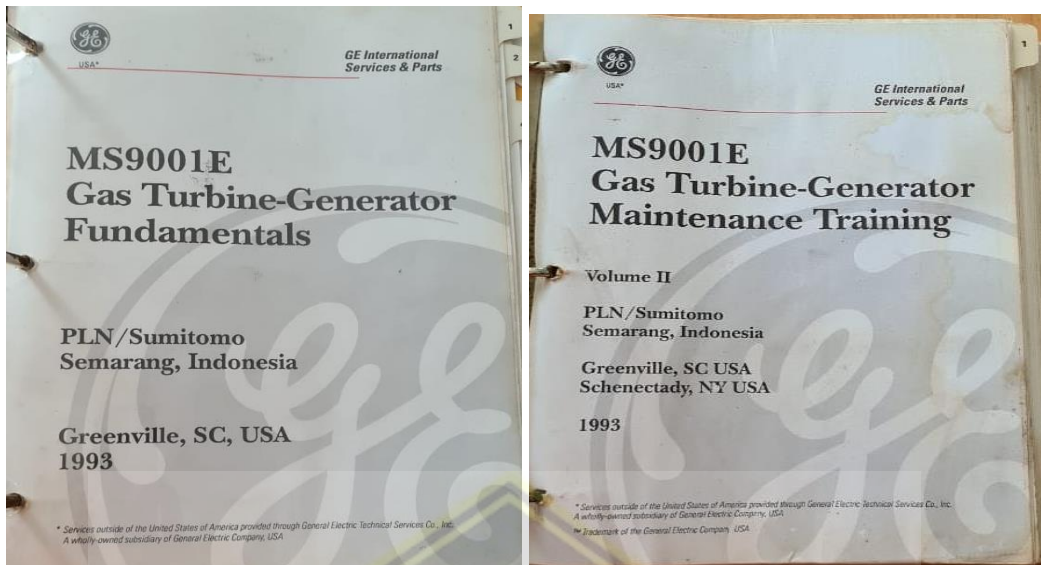


Lampiran 5. Komputer DCS Mark V



Lampiran 6. Komputer DCS Mark V ( Tampilan Layar Kompresor )





Lampiran 7. Manual Book MS 9001E Gas Turbine Generator

Indonesia Power  
Logsheet Digital

Home | Logsheet Operasi | Laporan Produksi | Monitoring | Download Rekap Data | Login History | Logout | Welcome, GUEST

<b>INDONESIA POWER</b> UIBP SEMARANG	<b>PT. INDONESIA POWER</b> UNIT BISNIS PEMBANGKITAN SEMARANG <b>SISTEM MANAJEMEN TERINTEGRASI</b> LOGSHEET OPERASI CONTROL PANEL PLTGU	No. Dok : FORM/07/SMI/20.12 Rev : 00 Halaman: 4 hal.
---	---	--

Blok : Blok 1  
Hari / Tanggal : Thursday / 06-02-2020

Approval	Regu	Periode	Operator
Sudah Diapprove	B	07-15	MUHAMMAD ABDULLAH
Sudah Diapprove	A	15-22	MUJIONO

Array

No	Uraian	Satuan	JAM									
			00.00	03.00	06.00	09.00	10.30	13.00	16.00	18.30	21.00	
<b>GTG1.1</b>												
1	GT Gen Load	MW	RS	RS	RS	RS ON CD	RS ON CD	RS ON CD	-	60	-	-
2	GT Gen Var	MVAR	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-
3	Turbine speed	rpm	-	-	-	-	-	-	-	2998	-	-
4	Air Inlet Temp	oC	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-
5	Comp Disch Press	Bar	-	-	-	-	-	-	-	8.8	-	-
6	Comp Disch Temp	oC	-	-	-	-	-	-	-	336	-	-
7	Fuel Flow	kg/s	-	-	-	-	-	-	-	4.3	-	-
8	Exhaust Temp	oC	-	-	-	-	-	-	-	415	-	-
9	Bearing Drain Temp	P# / oC	-	-	-	-	-	-	-	D/86	-	-
10	Vibration level	P#/(mm/s)	-	-	-	-	-	-	-	E/3	-	-
11	Inner / Load Comp. Temp	oC / oC	-	-	-	-	-	-	-	154/71	-	-
12	Pressure Gas Inlet	barg	-	-	-	-	-	-	-	20.7	-	-
13	Prosentase SRV/GCV	%/%	-	-	-	-	-	-	-	32/40	-	-

Data Bahan :

Lampiran 8. Logsheet Data Operasi