

PENGARUH FAKTOR INTERNAL TERHADAP KINERJA TURBIN GAS GT. 22 PLTGU BELAWAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan

Ujian Sarjana

Oleh :

ABDUL RAHMAN S P

NIM : 08.813.0032



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

2010

Document Accepted 13/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)13/9/23

ABSTRAK

Dalam penulisan ini dianalisa pengaruh faktor internal terhadap kinerja turbin gas pada GT 2.2 meliputi kompressor, ruang bakar, vibrasi, turbin gasnya itu sendiri beserta beberapa faktor lainnya. Dari hasil pengamatan dan pembahasan ada beberapa faktor internal yang dapat berpengaruh terhadap unjuk kerja tersebut anatara lain adalah sisi masuk kompressor, proses pembakaran, nilai vibrasi. Dimana hasil yang dilihat terhadap perbandingan tekanan, temperatur yang terjadi serta perubahan beban yang terjadi.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini penulis melakukan survey dengan tujuan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dalam menganalisa perubahan dan proses yang terjadi pada turbin gas itu sendiri.

Dari pengambilan data tersebut dihitung beberapa paramater unjuk kerja, laju aliran massa bahan bakar, laju aliran massa udara, power output, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi yang terjadi pada tiap komponen turbin gas.

Dari hasil penulisan ini dapat digunakan sebagai referensi awal untuk penelitian dan pengembangan instalasi turbin gas selanjutnya.

Kata Kunci : Faktor Internal, Turbin gas

ABSTRACT

In this paper analyzed the influence of internal factors on the performance of gas turbine in the GT 2.2 includes the compressor, combustion chamber, vibration, gas turbine itself, along with some other factor. From observation and discussion there are some internal factors that can influence the performance of the other between the compressor inlet, the combustion process, the value of vibration. Where results are viewed against the ratio of pressure, temperature and changes that occur the costs incurred.

In completing this thesis author conducted a survey in order to obtain the data necessary to analyze the changes and processes occurring in the gas turbine it self. From the collection of data were calculated some performance parameters, fuel mass flow rate, air mass flow rate, power output, specific fuel consumption, efficiency that occurred in each component of the gas turbine.

From the results of this paper can be used as an initial reference for research and further development of gas turbine installations.

Keywords: *Internal Factors, gas turbine*

DAFTAR ISI

KATA PENGHANTAR.....	i
ABSTRAK.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penulisan.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penulisan.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Kerja Sistem Turbin Gas.....	5
2.2. Siklus kerja Turbin Gas.....	8
A. Siklus Ideal.....	8
B. Siklus Actual.....	9
2.3. Analisa Thermodinamika.....	11
2.3.1 Kompresor.....	11
2.3.1.1 Kerja Kompresor Ideal.....	11
2.3.1.2 Kerja Kompresor Aktual.....	12

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

2.3.1.3 Efisiensi Kompresor.....

Document Accepted 13/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)13/9/23

2.3.2 Ruang Bakar.....	13
2.3.3 Turbin.....	14
2.3.3.1 Kerja turbin Ideal.....	14
2.3.3.1 Kerja turbin Aktual.....	15
2.3.3.1 Efisiensi Turbin.....	16
2.3.4 Analisa Pada Generator.....	16
2.4. Bagian Utama Turbin Gas.....	17
2.4.1 Kompresor.....	17
2.4.2 Ruang Bakar.....	19
2.4.3 Konstruksi ruang bakar	20
2.4.4 Turbin.....	21
2.5 KELENGKAPAN TURBIN GAS.....	24
2.5.1 Sistem pemutar poros	25
2.6 FAKTOR - FAKTOR YANG MEMPENGARUHI UMUR BAGIAN TURBIN GAS.....	31
2.7 FAKTOR FAKTOR YANG MEMPERNGARUHI UNJUK KERJA TURBIN GAS.....	33
2.7.1 Faktor suhu udara.....	33
2.7.2 Faktor ketinggian tempat.....	34
2.7.3 Faktor kelembaban udara.....	36
2.7.4 Faktor Injeksi air kedalam ruang bakar.....	37
2.7.5 Faktor hambatan pada saluran udara masuk kompresor.....	37
2.7.6 Faktor hambatan pada saluran gas keluar turbin.....	38
2.7.7 Faktor kekotoran kompresor.....	39

BAB III METODO PENELITIAN

3.1 Tempat dan Tanggal Penelitian.....	40
3.2 Konsep Dasar.....	40
3.3 Prosedur Penelitian.....	41

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)13/9/23

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Teknics Turbin Gas.....	43
4.2 Analisa Thermodynamika pada Kompresor.....	44
4.2.1 Kerja kompresor Ideal.....	44
4.2.2 Kerja Kompresor Aktual.....	46
4.2.3 Efisiensi Kompresor.....	47
4.3 Analisa Thermodynamika Pada Turbin.....	47
4.3.1 Kerja Turbin Ideal.....	47
4.3.2 Kerja Turbin Aktual.....	49
4.3.3 Efisiensi Turbin.....	50
4.4 Analisa Pada Generator.....	50
4.5 Analisa Thermodynamika Pada Ruang Bakar.....	51
4.5.1 Kerja Netto.....	52
4.5.2 Back Work Ratio.....	52
4.5.3 Efisiensi Thermal Siklus.....	53
4.5.4 Panas Masuk Turbin.....	53
4.5.5 Panas Keluar Turbin.....	53
4.6 Analisa Aliran Udara.....	54
4.6.1 Daya Kompresor.....	56
4.6.2 Efisiensi Ruang Bakar.....	56
4.6.3 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik.....	57
4.7 Faktor Internal Pada Turbin Gas.....	59
4.7.1 Faktor Kompresor.....	59
4.7.2 Faktor Ruang Bakar.....	61
4.7.3 Faktor Gas Panas Pada Turbin Gas.....	63
4.8 Vibrasi.....	70

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan.....	72
---------------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan waktu dan kebutuhan listrik saat ini mendorong kehandalan unit pembangkit listrik agar tetap dapat mensupply listrik kepada masyarakat. Dimana saat ini kebutuhan akan listrik umumnya diluar jawa bali masih minimnya pasokan dari jumlah pasokan yang tersedia khususnya di Sumatera Utara yang merupakan salah satu kota terbesar di Indonesia.

Penggunaan turbin gas sebagai penggerak mula pada instalasi pembangkit tenaga listrik mempunyai peranan yang signifikan. Seiring dengan kemajuan teknologi dan tuntutan permintaan masyarakat akan kebutuhan energi listrik maka kehandalan unit tersebut harus tetap terjaga. Oleh karena itu diperlukan langkah – langkah peninjauan maupun pengamatan tingkat perubahan maupun kinerja turbin gas tsb.

Prinsip kerja turbin gas sangat sederhana. Dimana udara luar masuk kedalam kompresor melalui saluran masuk udara (inlet). Kompresor ini berfungsi untuk menghisap dan menaikkan tekanan udara tersebut, akibatnya temperatur udara juga meningkat. Kemudian udara yang telah dikompresi ini masuk kedalam ruang bakar. Di dalam ruang bakar disemprotkan bahan bakar sehingga bercampur dengan udara tadi dan menyebabkan proses pembakaran. Proses pembakaran tersebut berlangsung dalam keadaan tekanan konstan sehingga dapat dikatakan ruang bakar hanya untuk menaikkan temperatur. Gas hasil pembakaran tersebut

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

diarahkan ke turbin gas melalui suatu nozel yang berfungsi untuk mengarahkan

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)13/9/23

aliran tersebut ke sudu-sudu turbin. Daya yang dihasilkan oleh turbin gas tersebut digunakan untuk memutar kompresornya sendiri dan memutar beban lainnya seperti generator listrik, dll. Setelah melewati turbin ini gas tersebut akan dibuang keluar melalui saluran buang (exhaust).

Pada instalasi pembangkit tenaga listrik, kemampuan turbin gas untuk memikul beban dari konsumen merupakan faktor utama yang harus dipenuhi. Hal ini dapat tercapai apabila daya mampu mesin pembangkit lebih besar dari beban, tetapi kenyataannya dilapangan sering terjadi daya mampu mesin pembangkit lebih kecil dari daya yang dibutuhkan oleh konsumen. Hal ini dapat disebabkan beberapa faktor seperti :

- a. Kebutuhan akan energi listrik relatif meningkat
- b. Mesin mengalami gangguan, sehingga daya mampu mesin pembangkit
- c. cenderung menurun dan diperlukan investasi besar untuk penambahan mesin pembangkit.
- d. Penurunan daya mampu mesin yang diakibatkan berbagai faktor internal (komponen tubin gas) maupun eksternal(gangguan luar)

Untuk menganalisa hal tersebut diatas penulis tertarik untuk menganalisa perubahan peningkatan dan penurunan daya mampu mesin pembangkit. Perubahan tingkat kinerja turbin gas didasarkan pada kemampuan turbin gas itu sendiri terhadap dampak yang terjadi disebabkan pengaruh faktor – faktor internal dalam gas turbin tsb. Faktor internal yang dicoba dibahas dan dianalisa pada

turbin gas GT2.2 seperti ruang bakar yang menjadi tempat berlangsungnya proses

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Document Accepted 13/9/23

pembakaran dalam menghasilkan gas panas untuk memutar turbin, kompresor

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)13/9/23

sebagai tempat proses pemampatan udara yang bergantung pada kelembapan udara serta pengaruh lainnya pada kompresor. Kemudian faktor Vibrasi terhadap kinerja turbin gas tapi tidak secara spesifik akan dibahas. Dan dimana dalam penelitian ini dianalisa juga pengaruh lain dari efek yang terjadi pada pengoperasian turbin gas.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini permasalahan yang dapat dirumuskan berdasarkan uraian masalah yang terjadi, maka dapat dirumuskan masalah – masalah yang mendorong dilakukannya pengambilan analisa yaitu sebagai berikut:

- a) Penurunan Beban yang terjadi akibat kemampuan Unit turbin Gas yang menurun dari Daya mampu turbin gas itu sendiri
- b) Unit turbin gas sering mengalami TRIP(kondisi unit diluar batas) yaitu unit turbin gas berhenti beroperasi
- c) Komponen unit turbin gas mengalami depormasi pada material peralatan yang mengakibatkan terjadinya kerusakan komponen baik signifikan maupun meyeluruh dipengaruhi baik bahan bakar maupun proses pemeliharaan yang tidak berkala.

Dengan alasan diatas maka dapat dipahami bahwa kinerja turbin gas dapat dipengaruhi faktor – faktor internal yang secara simultan berefek tidak langsung terhadap kinerja unit tsb. Dimana kehandalan Suatu Unit turbin gas sangatlah penting dikondisikan produksi daya yang dihasilkan merupakan aset masyarakat

yang dikonsumsi tiap harinya dalam terciptanya kelistrikan yang baik dan bersinergi.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan ini adalah untuk menganalisa kinerja performance turbin yang dipengaruhi faktor internal terhadap unjuk kerja turbin gas yang dituangkan kedalam bentuk atau karakteristik turbin gas. Dimana parameter yang diperbandingkan berupa kinerja, aliran, daya keluaran turbin, serta getaran pada turbin.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas sarjana ini merupakan pokok – pokok pembahasan yang meliputi bagian – bagian yang akan dibahas dalam karakteristik turbin gas :

1. Analisa Kinerja Turbin Gas
2. Analisa Termodinamika
3. Analisa Aliran Massa
4. Analisa Faktor – Faktor Internal

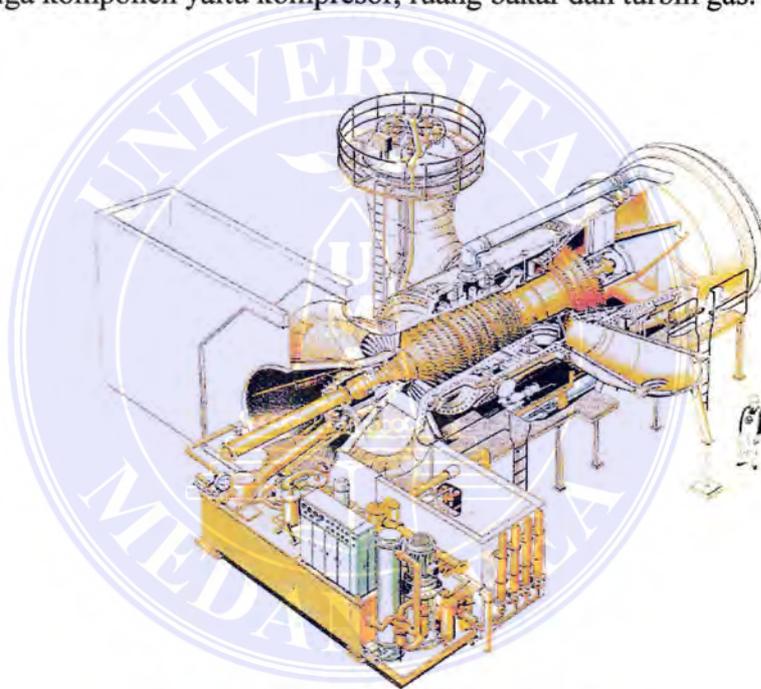
1.5 Manfaat Penulisan

1. Manfaat dari hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat sebagai pedoman dasar dalam bidang Turbin Gas
2. Dapat menambah referensi riset lanjutan dalam kajian peningkatan dan pemeliharaan kinerja turbin gas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Turbin gas adalah suatu alat yang memanfaatkan gas sebagai fluida untuk memutar turbin dengan pembakaran internal. Didalam turbin gas energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik melalui udara bertekanan yang memutar roda turbin sehingga menghasilkan daya. Sistem turbin gas yang paling sederhana terdiri dari tiga komponen yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin gas.



Gbr 2.1 Turbin Gas Simens Tipe V94.2

2.1 Prinsip Kerja Sistem Turbin Gas (Gas-Turbine Engine)

Udara atmosfer dihisap masuk kedalam kompresor dan dikompresi didalamnya sehingga tekanannya naik. Selanjutnya udara tersebut 95% mengalir masuk kedalam ruang bakar (combustor) dan yang 5 % digunakan sebagai pendinginan sudu turbin. Udara yang masuk kedalam ruang bakar terbagi menjadi

UNIVERSITAS MEDAN AREA

dua bagian, sebagian 30% disebut sebagai udara primer digunakan untuk proses

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

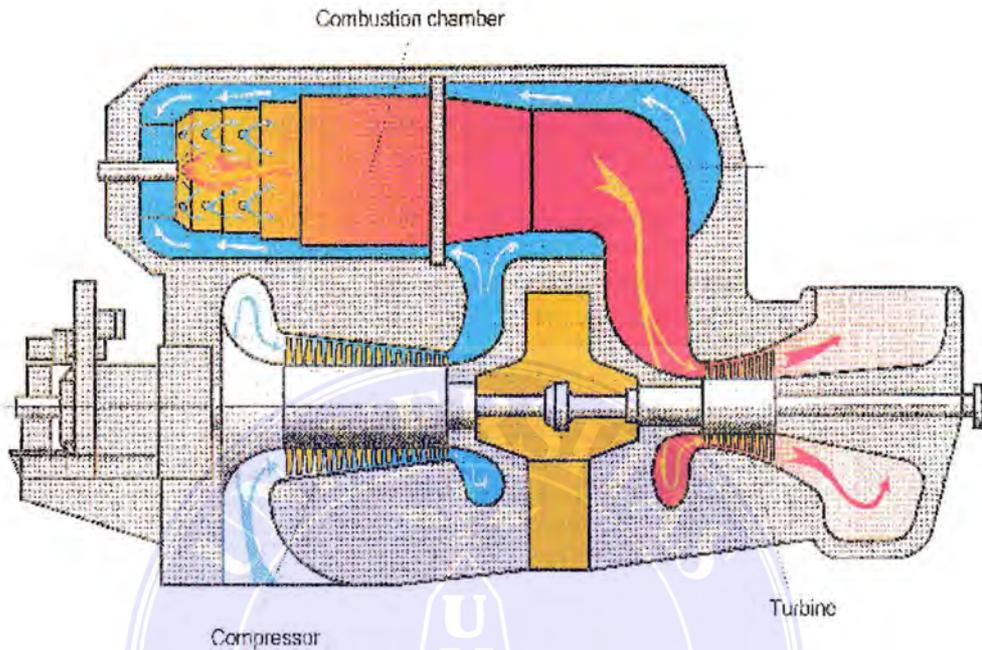
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)13/9/23

pembakaran bahan bakar yang dimasukkan kedalam ruang bakar, sebagian lagi

65% digunakan sebagai pencampur udara dan penurun suhu nyala api sehingga nyala api tidak akan membakar bagian turbin.



Gbr 2.1 Susunan Peralatan Sebuah Gas Turbin

Bahan bakar dimasukkan secara continue kedalam combustor sehingga penyalaan didalamnya juga terjadi secara continue dari mulai penyalaan pertama (yang dilakukan dengan busi) sampai bahan bakar berhenti mengalir (turbin gas distop). Disebabkan panas yang diberikan oleh penyalaan bahan bakar. Maka udara dari kompressor tadi memuai dan menghasilkan kecepatan yang tinggi dan mampu mendorong sudu sudu turbin. Tenaga mekanik yang diperoleh didalam turbin sebagian besar digunakan untuk memutar kompressornya, dan sisanya digunakan untuk memutar generator untuk menghasilkan listrik dan gas panas keluar turbin dikembalikan lagi ke atmosfer atau dimanfaatkan untuk HRSG.

Pada mesin turbo jet, tenaga mekanik yang dihasilkan hanya khusus
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

diperuntukkan untuk memutar kompressor, sedang sisa gas panas keluar turbin

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperjualbelikan sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apa pun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id) 13/9/23

terbang bergerak maju kedepan. Secara umum proses yang terjadi pada suatu sistem turbin gas adalah sebagai berikut:

1. Pemampatan (*compression*) udara di hisap dan dimampatkan
2. Pembakaran (*combustion*) bahan bakar dicampurkan ke dalam ruang bakar dengan udara kemudian di bakar.
3. Pemuaian (*expansion*) gas hasil pembakaran memuai dan mengalir ke luar melalui nozel (*nozzle*).
4. Pembuangan gas (*exhaust*) gas hasil pembakaran dikeluarkan lewat saluran pembuangan.

Pada kenyataannya, tidak ada proses yang selalu ideal, tetap terjadi kerugian kerugian yang dapat menyebabkan turunnya daya yang dihasilkan oleh turbin gas dan berakibat pada menurunnya performa turbin gas itu sendiri. Kerugian-kerugian tersebut dapat terjadi pada ketiga komponen sistem turbin gas. Sebab-sebab terjadinya kerugian antara lain:

- Adanya gesekan fluida yang menyebabkan terjadinya kerugian tekanan (*pressure losses*) di ruang bakar.
- Adanya kerja yang berlebih waktu proses kompresi yang menyebabkan terjadinya gesekan antara bantalan turbin dengan angin.
- Berubahnya nilai C_p dari fluida kerja akibat terjadinya perubahan temperatur dan perubahan komposisi kimia dari fluida kerja.
- Adanya *mechanical loss*, dsb.

2.2 Siklus Kerja Turbin Gas

Turbin Gas pada umumnya memiliki dua siklus kerja, yaitu :

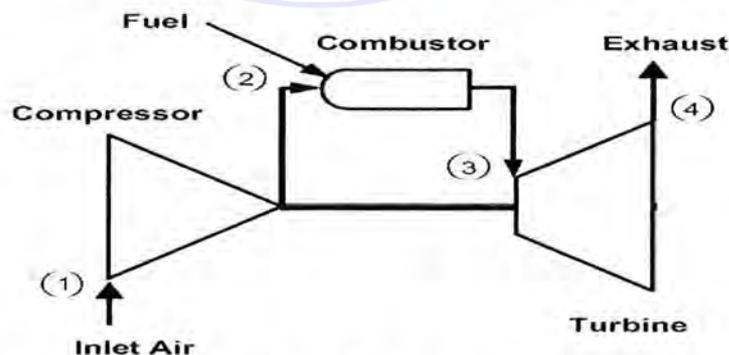
A. Siklus Ideal

Turbin Gas secara termodinamika bekerja dengan siklus brayton. Siklus ini merupakan siklus ideal untuk sistem turbin gas sederhana dengan siklus terbuka. Siklus ini terdiri dari dua proses isobar dan dua proses isentropik.

Siklus ideal adalah suatu siklus yang dibangun berdasarkan asumsi sebagai berikut : (arismunandar, 2002)

- Proses kompresi dan ekspansi berlangsung secara reversibel adiabatik (isentropis).
- Perubahan energi kinetik dari fluida kerja diantara sisi masuk dan sisi keluar setiap kompressor diabaikan.
- Tidak ada kerugian tekanan pada sisi masuk ruang bakar dan keluar gas.
- Fluida kerja dianggap gas ideal dengan panas jenis konstan.

Gambar dibawah ini menunjukkan Siklus Brayton sederhana:

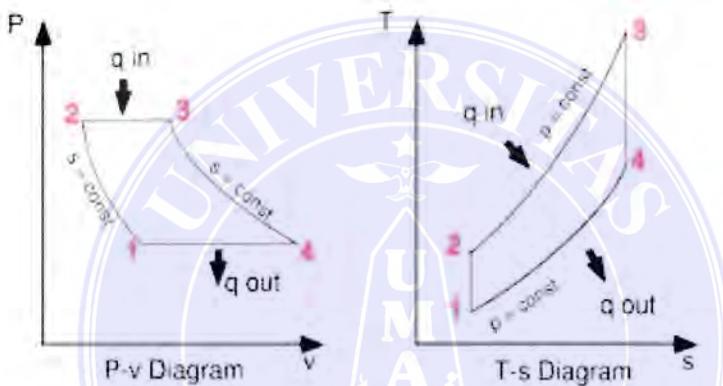


Gambar 2.2 Sistem Kerja Turbin Gas Siklus Terbuka

Prinsip kerja turbin gas dari diagram tersebut adalah sebagai berikut :

2 – 3 : Reaksi pembakaran udara dan bahan bakar pada ruang bakar untuk mengkonversikan energi kimia pada bahan bakar menjadi energi panas yang terdapat dari hasil pembakaran.

3 – 4 : Gas hasil pembakaran diekspansikan oleh sudu – sudu turbin untuk mengkonversikan energi panas gas hasil pembakaran menjadi energi mekanik. Berupa putaran poros.



Gambar 2.3 Diagram P-V dan diagram T-S (siklus ideal)

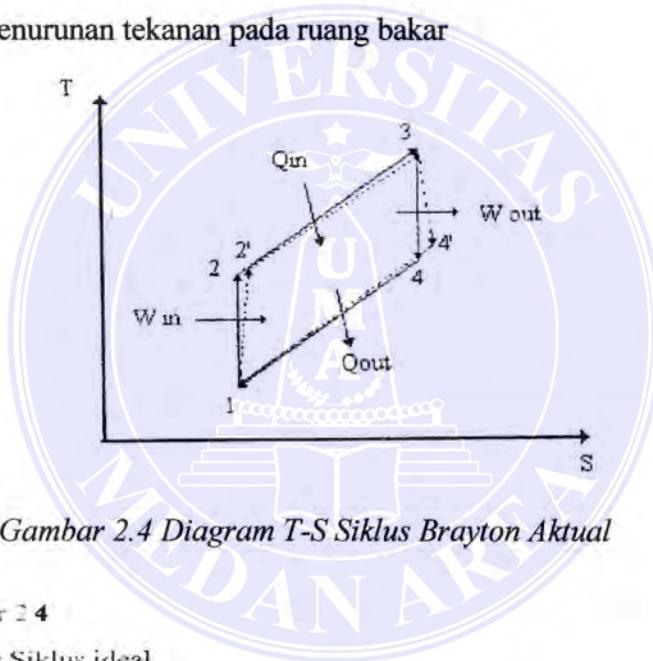
B. Siklus Aktual

Proses – proses yang terjadi diatas berlaku secara teoritis, tetapi kenyataanya (secara aktual) terjadi penyimpangan – penyimpangan dari proses yang ideal.

Penyimpangan – penyimpangan itu adalah :

1. Fluida kerja bukanlah gas ideal dengan panas spesifik konstan.
2. Laju aliran massa fluida kerja tidak konstan
3. Proses yang berlangsung disetiap komponen tidak adiabatik dan reversibel, karena ada kerugian energi akibat gesekan, perpindahan

4. Proses kompresi didalam kompressor tidak berlangsung secara isentropik
5. Proses ekspansi didalam turbin tidak berlangsung secara isentropik
6. Proses pembakaran tidak berlangsung secara adiabatik serta tidak dapat menjamin terjadinya pembakaran sempurna, sehingga untuk mencapai temperatur gas masuk turbin yang ditetapkan diperlukan jumlah bahan bakar yang lebih banyak
7. Terjadi penurunan tekanan pada ruang bakar



Gambar 2.4 Diagram T-S Siklus Brayton Aktual

Keterangan gambar 2 4

————— = Siklus ideal

————— = Siklus aktual

1 – 2 = Proses kompresi isentropik

1 – 2' = Proses kompresi aktual

2 – 3 = Proses pembakaran ideal pada tekanan konstan

2' – 3' = Proses pembakaran aktual

3 – 4 = Proses ekspansi isentropik

3' – 4' = Proses ekspansi aktual

4 – 1 = Proses pembuangan kalor

2.3 ANALISA THERMODINAMIKA

2.3.1 Kompresor

2.3.1.1 Kerja kompresor Ideal

Pada gambar kerja spesifik ideal kompresor. Titik 1-2 (W_{k1-2}), yaitu kalor spesifik yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor pada kondisi ideal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\begin{aligned} W_{k1-2} &= C_p \cdot (T_2 - T_1) \text{ [kJ/kg]} \\ &= h_2 - h_1 \text{ [kJ/kg]} \end{aligned}$$

Dimana :

W_{k1-2} = Kerja spesifik kompresor Ideal [kJ/kg]

C_p = Panas jenis udara pada tekanan konstan [kJ/(kg.K)]

T_1 = Temperatur udara masuk kompresor [K]

T_2 = temperature udara keluar kompresor ideal [K]

h_1 = Entalphi udara spesifik masuk kompresor [kJ/kg]

h_2 = Entalphi udara spesifik keluar kompresor [kJ/kg]

2.3.1.2 Kerja kompresor Aktual

Pada gambar kerja spesifik ideal kompresor. Titik 1-2' ($W_{k1-2'}$), yaitu kalor spesifik yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor pada kondisi ideal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\begin{aligned} W_{k1-2'} &= C_p \cdot (T_{2'} - T_1) \text{ [kJ/kg]} \\ &= h_{2'} - h_1 \text{ [kJ/kg]} \end{aligned}$$

Dimana :

$W_{k1-2'}$ = Kerja spesifik kompresor Ideal [kJ/kg]

C_p = Panas jenis udara pada tekanan konstan [kJ/(kg.K)]

T_1 = Temperatur udara masuk kompresor [K]

$T_{2'}$ = temperature udara keluar kompresor ideal [K]

h_1 = Entalphi udara spesifik masuk kompresor [kJ/kg]

$h_{2'}$ = Entalphi udara spesifik keluar kompresor [kJ/kg]

2.3.1.3 Efisiensi Kompresor

Efisiensi kompresor yaitu perbandingan kerja ideal dengan kerja aktual.

Efisiensi kompresor dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 $\eta_k = \left(\frac{h_2 - h_1}{h_{2'} - h_1} \right) 100\%$

Document Accepted 13/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
 Access From (repository.uma.ac.id)13/9/23

Dimana : η_k : Efisiensi Kompresor

2.3.2 Ruang Bakar

Energi yang dihasilkan bahan bakar merupakan perkalian Nilai Kalor Bawah (LHV) bahan bakar dengan massa aliran bahan bakar seperti pada persamaan dibawah ini :

$$Q_{bb} = LHV \cdot \dot{m}_{bb}$$

Dimana :

Q_{bb} : Energi yang dihasilkan bahan bakar [kJ/s]

LHV : Nilai kalor bawah bahan bakar [kJ/kg]

\dot{m}_{bb} : Massa aliran bahan bakar [kg/detik]

Walaupun telah dilakukan usaha agar terjadi pembakaran sempurna, tetapi kenyataannya hal ini tidak terjadi, karena itulah ruang bakar memiliki efisiensi dengan adanya faktor pengurangan tekanan. Karena adanya kerugian kalor dan tekanan sehingga titik 3 pada diagram siklus Brayton bergeser menjadi titik 3' dan kalor gas hasil pembakaran dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$Q_{rb} = C_p \cdot (T_{3'} - T_{2'})$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)13/9/23

Dimana :

Q_{rb} = Energi spesifik gas hasil pembakaran [kJ/kg]

C_p = Panas Jenis gas hasil pembakaran [kJ/(kg.K)]

$T_{3'}$ = Temperatur gas hasil pembakaran masuk turbin aktual [K]

$T_{2'}$ = Temperatur udara masuk ruang bakar aktual [K]

$h_{3'}$ = Entalpi aktual gas hasil pembakaran masuk turbin aktual [kJ/kg]

$h_{2'}$ = Entalpi udara masuk ruang bakar aktual [kJ/kg]

2.3.3 Turbin

2.3.3.1 Kerja turbin Ideal

Kerja ideal yang dihasilkan turbin pada proses ekspansi diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$W_{t_{3-4}} = C_p \cdot (T_3 - T_4)$$

$$= h_3 - h_4$$

Dimana :

$W_{t_{3-4}}$ = kerja spesifik turbin ideal [kJ/kg]

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

C_p = Kalor spesifik gas hasil pembakaran [kJ/(kg.K)]

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)13/9/23

T_3 = Temperatur gas hasil pembakaran masuk turbin ideal [K]

T_4 = Temperatur gas hasil pembakaran keluar turbin ideal [K]

h_3 = Entalpi gas hasil pembakaran masuk turbin ideal [kJ/kg]

h_4 = Entalpi gas hasil pembakaran masuk turbin ideal [kJ/kg]

2.3.3.2 Kerja Turbin Aktual

Kerja aktual yang dihasilkan turbin pada proses ekspansi diperoleh dengan persamaan dibawah ini.

$$W_{t_{3'-4'}} = C_p \cdot (T_{3'} - T_{4'})$$

$$= h_{3'} - h_{4'}$$

Dimana :

$W_{t_{3'-4'}}$ = kerja spesifik turbin ideal [kJ/kg]

C_p = Kalor spesifik gas hasil pembakaran [kJ/(kg.K)]

$T_{3'}$ = Temperatur gas hasil pembakaran masuk turbin ideal [K]

$T_{4'}$ = Temperatur gas hasil pembakaran keluar turbin ideal [K]

$h_{3'}$ = Entalpi gas hasil pembakaran masuk turbin ideal [kJ/kg]

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

$h_{4'}$ = Entalpi gas hasil pembakaran masuk turbin ideal [kJ/kg]

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)13/9/23

2.3.3.3 Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin yaitu perbandingan kerja turbin aktual dengan kerja turbin ideal.

Efisiensi turbin diperoleh dari persamaan dibawah ini.

$$\eta_t = \left(\frac{h_3 - h_4'}{h_3 - h_4} \right) \cdot 100\%$$

Dimana : η_t : Efisiensi Turbin

2.3.4 Analisa pada Generator

Generator berfungsi untuk merubah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin dalam bentuk putaran poros. Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan generator merupakan daya netto turbin. Daya netto haruslah lebih besar dari daya keluaran generator, karena terdapat kerugian – kerugian. Daya Netto turbin (P_T) diperoleh dari persamaan ini:

$$P_T = \frac{P_G}{\eta_g \cdot \eta_k \cdot \cos \phi} \cdot 100\%$$

Dimana : P_T : Daya Netto turbin [MW]

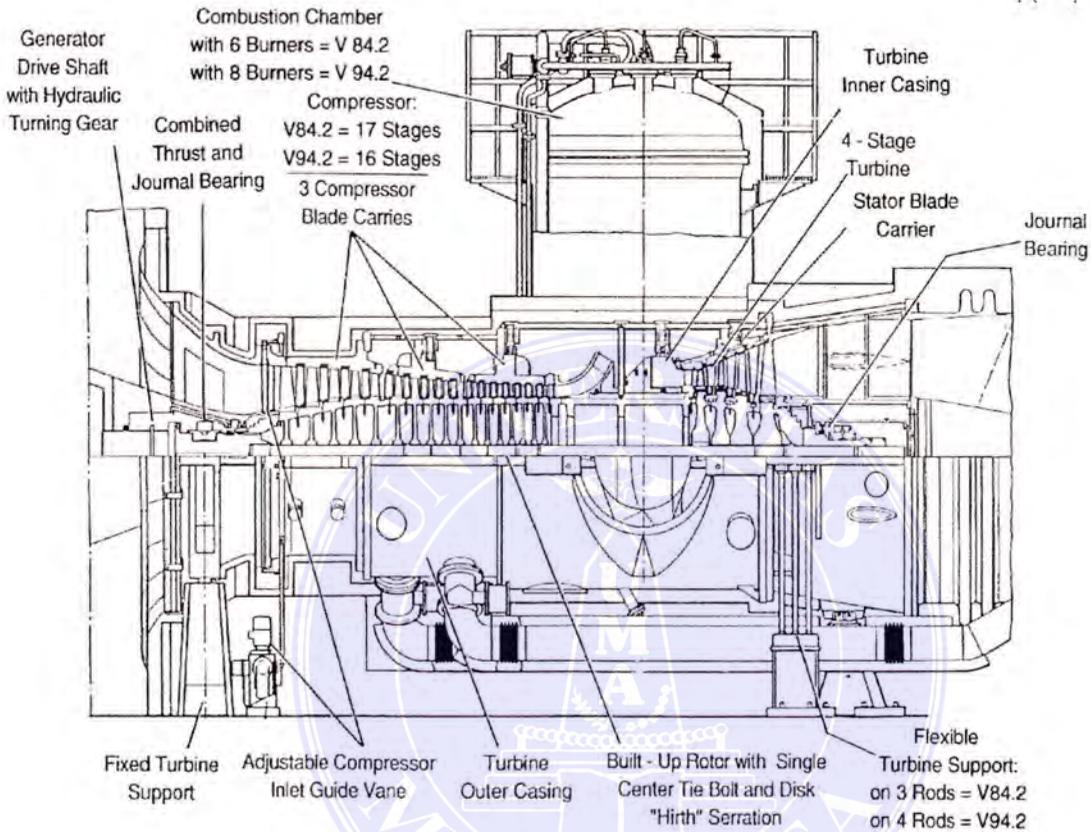
P_G : Daya Generator [MW]

η_g : Efisiensi generator

η_k : Efisiensi kopel

$\cos \phi$: Factor Daya

2.4 BAGIAN UTAMA TURBIN GAS



Gambar.2.5 Bagian – bagian Turbin Gas

2.4.1 Kompresor

Kompresor yang digunakan adalah single shaft dengan 16 tingkat sudu dan tipe kompresor adalah axial, udara mengalir sejajar poros. Dimana poros kompresor menjadi satu dengan poros turbin. Melalui alat penyaring, udara luar dihisap oleh kompresor dan dicompresikan sehingga temperatur udara menjadi naik sampai $\pm 300^{\circ}\text{C}$ dengan tekanan ± 10 bar.

Gerak sudu sudu rotor akibat berputarnya rotor menyebabkan kecepatan aliran

udara bertambah tinggi atau dengan kata lain mempunyai tekanan dinamis yang

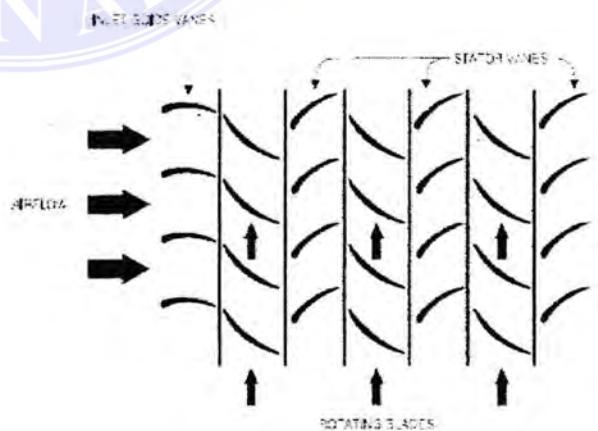
lebih tinggi. Tekanan dinamis ini kemudian diubah menjadi tekanan statis didalam

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

sudu tetap (stator vane). Tekanan yang diperoleh didalam kompresor axial tergantung dari jumlah tingkat dan kecepatan putar rotor. Jumlah udara yang masuk kedalam kompresor diatur dengan menggunakan Inlet Guide Vane.

Didalam compressor terdapat 16 tingkat sudu jalan dan 16 tingkat sudu tetap dimana fungsi masing – masing sudu adalah sebagai berikut :

- Sudu jalan berfungsi untuk merubah energi mekanik menjadi energi kinetik dan energi potensial dari udara dan bersama dengan sudu tetap memberi tekanan udara.
- Sudu tetap berfungsi untuk membelokkan arah aliran udara, yang mana pada bagian terakhir sudu jalan searah dipercepat dengan arah melawan putaran dari sudu jalan. Akibatnya terjadi perlambatan aliran dan tekanan akan naik.



Cara kerja compressor axial

Gambar 2.6 Gambar Blade Kompresor

2.4.2 Ruang Bakar

Ruang bakar (combustion chamber) adalah untuk pembakaran udara yang dihasilkan oleh compressor dengan bahan bakar gas dan bahan bakar solar atau campuran dari keduanya. Udara dari compressor memasuki ruang bakar melalui sisi luar ruang bakar atau ruangan antara pressure jacket dan inner liner. Udara dari compressor atau yang disebut udara primer (primary air) itu akan mengalir ke burner pengumpul, yang mana akan lebih baik apabila udara berpusar untuk bercampur dengan bahan bakar.

Dimana terdapat 2 ruang bakar yang letaknya diantara compressor dan turbin atau dikanan – kiri serta tegak lurus. Setiap ruang bakar dilengkapi dengan 8 buah pelita pembakar (burner) dan didalam ruang bakar diberi isolasi ceramic tiles atau sejenis batu tahan api.

Temperatur udara dari compressor yang masuk keruang bakar adalah $\pm 300^{\circ}\text{C}$ dan tekanannya

± 10 bar, kemudian flue gas yang keluar dari ruang bakar temperaturnya mencapai $\pm 1100^{\circ}\text{C}$ dan tekanannya ± 10 bar.

Ruang bakar berguna untuk menaikkan temperatur campuran antara bahan bakar dan udara dengan tekanan yang konstan, dimana penambahan panas adalah terbatas dengan temperatur yang dapat dipertahankan ($\pm 1100^{\circ}\text{C}$). Campuran antara bahan bakar dan udara sering disebut gas panas/flue gas, selanjutnya gas panas akan menuju ke turbin untuk memutar poros. Untuk menggambarkan

bagaimana proses pembakaran didalam ruang bakar berikut adalah uraian prosesnya

UNIVERSITAS MEDAN AREA
 yaitu dimana suhu nyala api yang ditengah berkisar $\pm 1300^{\circ}\text{C}$. Jika unit beroperasi

dengan beban penuh. Logam yang digunakan untuk ruang bakar tidak mampu menahan suhu setinggi itu, karena itu konstruksi ruang bakar dibuat dengan menghadirkan aliran udara yang menyelimuti permukaan dinding bagian luar dan bagian dalam. Udara mengalir kedalam linier dengan melalui lubang lubang kecil guna membentuk nyala api selalu ditengah dan tidak menyentuh dinding liner.

2.4.3 Konstruksi ruang bakar

Udara yang telah dimampatkan dimasukkan kedalam ruang bakar. Luas penampang yang dibutuhkan didapat dari satu persamaan kontinuitas, yaitu $A = V/c$.

Yang paling penting adalah memilih dan menentukan kecepatan udara di beberapa sektor yang berlainan, Kecepatan udara didaerah pembakaran harus mulai dari $c = 25$ m/detik sampai dengan 30 m/detik. Bila c terlalu kecil, nyala api akan menyebar kearah kompressor, dan sebaliknya bila kecepatan udara c terlalu besar, nyala api akan membesar kearah saluran keluar ruang bakar. Hal ini akan mengakibatkan temperatur di bagian masuk turbin semakin tinggi, dan juga akan memadamkan api diruang bakar yang menyebabkan timbulnya tegangan akibat adanya panas (thermal stress).

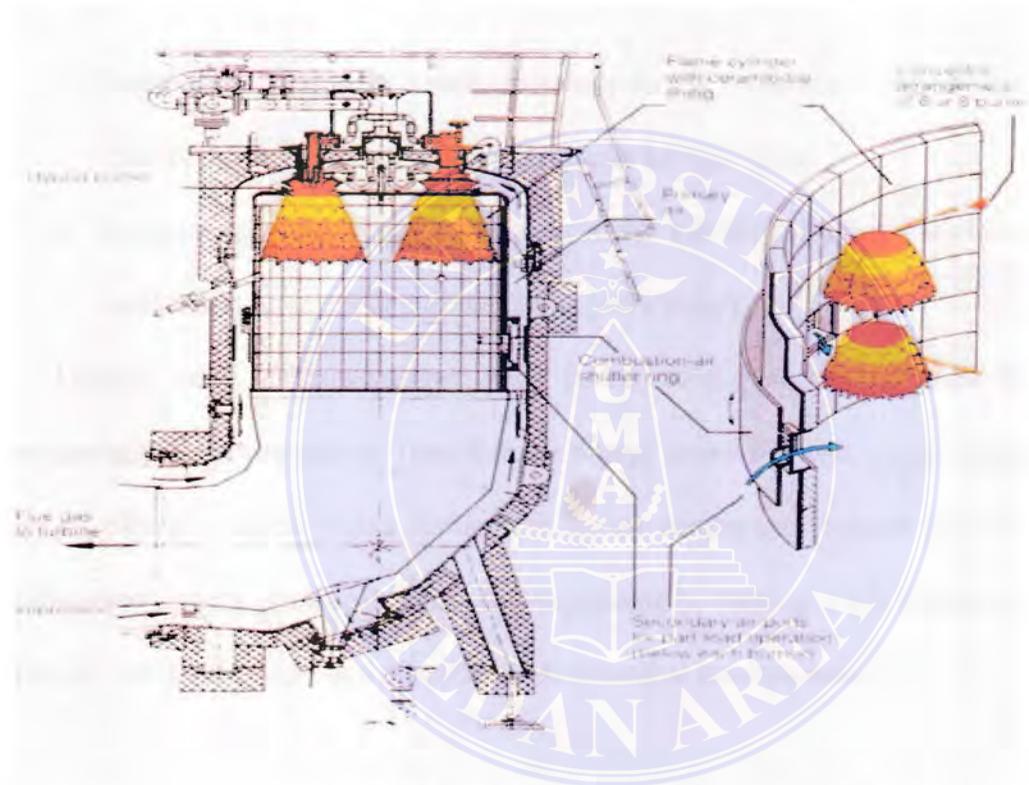
Dimana tegangan tersebut disebabkan karena adanya pembagian temperatur sebelum turbin yang tidak merata.

Gambar memperlihatkan susunan didalam ruang bakar, yang terdiri dari selubung luar dan suatu tabung silindris yang dibagian dalamnya dilengkapi dengan

UNIVERSITAS MEDAN AREA
 pembakar dan pengabut bahan bakar yang sebagian dari udara dialirkan diluar

pembakar agar berfungsi sebagai udara pendingin ruang bakar. Udara ini kemudian mengalir masuk kedalam, melalui tempat-tempat yang terbuka.

Ruang bakar ini dipasang tegak, dan dibagian atasnya terdapat salah satu pembakar, dari delapan pembakar yang ada. Sedangkan tabung api/pipa api dari ruang bakar tersebut dilapisi oleh tembok dari ke ramik, seperti pada Gambar.



Gambar 2.7 Combustion Chamber

2.4.4 Turbin

Tipe turbin gas yang digunakan adalah tipe open cycle, single shaft, single casing. Energi panas berupa temperatur dan tekanan gas yang dihasilkan oleh ruang bakar, dialirkan ke turbin yang selanjutnya mendorong atau memutar poros turbin. Sedangkan gas panas yang keluar dari sudu terakhir turbin akan mengalir ke

cerobong dan dibuang ke atmosfer. Pada dasarnya gas hasil produksi dari ruang

bakar adalah merupakan energi potensial. Kemudian gas panas ini dialirkan

melalui sebuah laluan penyempitan, maka tekanan gas menurun dan kecepatan naik. Kecepatan gas panas ini adalah energi kinetik.

Pada turbin gas terdapat 4 tingkat sudu yaitu untuk sudu tetap 4 tingkat dan untuk sudu jalan 4 tingkat.

Fungsi masing – masing sudu jalan adalah sebagai berikut :

- Sudu tetap berfungsi untuk merubah energi potensial menjadi energi kinetik dan untuk mengarahkan gas panas ke sudu jalan.
- Sudu jalan berfungsi untuk merubah energi kinetik gas panas (setelah dari sudu tetap), menjadi energi mekanik (gerak putar).

Dimana sudu tetap terpasang pada badan turbin, sedangkan sudu jalan terpasang pada poros turbin. Transformasi energi panas menjadi energi mekanik terjadi didalam turbin. Poros turbin merupakan sambungan terusan dari poros kompressor. Pada gambar terlihat bahwa masing – masing sudu turbin dapat dilepas, untuk tujuan penggantian jika telah mencapai umur operasinya.



Rotor turbin gas.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Gambar 2.8 Rotor Turbin Gas

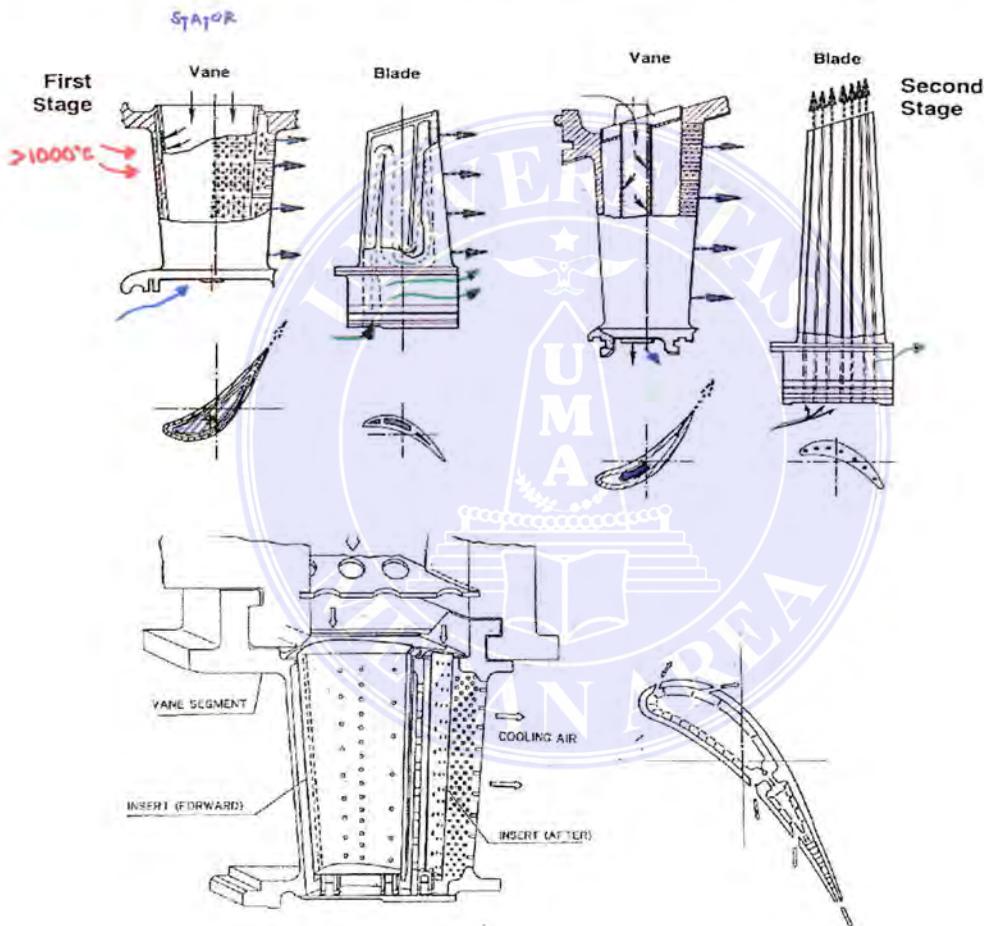
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 13/9/23

Access From (repository.uma.ac.id)13/9/23

Sesuai prinsip carnot dimana efisiensi akan semakin baik jika suhu pada waktu pemberian kalor dapat dibuat setingginya, dan suhu pada saat pembuangan kalor dibuat serendah – rendahnya , maka pada turbin gas juga berlaku hal yang sama.

Karena itu orang berusaha agar suhu masuk turbin dibuat setinggi – tingginya, namun semuanya itu dibatasi pada kekuatan material sudu turbin yang digunakan.



Gambar 2.9 Lubang saluran pendingin pada sudu gerak dan sudu diam

Untuk dapat mempertahankan material sudu turbin dari tingginya suhu gas panas yang melaluinya maka baik pada suhu tetap maupun sudu jalan turbin mempunyai konstruksi berongga dan kepadanya dilewatkan udara dingin yang diambilkan dari tingkat tertentu kompresor. Gambar menunjukkan bagaimana konstruksi sebuah sudu tetap dan udara pendingin mengalir didalamnya. Sedangkan gambar

13/9/23
© Has Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber.
2. Dilarang menggunakan ulang atau diperjual belikan dan lain sebagainya jika tidak diizinkan.
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)13/9/23

menunjukkan konstruksi sudu jalan dan aliran udara pendingin didalam maupun diluarnya.

Rotor kompresor dan rotor turbin tersambung menjadi satu dan membentuk satu kesatuan. Rotor ini akan mengalami pemeriksaan dan pergantian sudu turbin setelah mencapai umur operasi yang ditentukan yaitu pada saat dilakukan inspeksi



Gambar 2.10 Turbin dan Compressor spindle

turbin, dimulai dengan pergantian sudu turbin tingkat I pada inspection turbin pertama dilanjutkan dengan pergantian sudu turbin tingkat I dan II pada inspection berikutnya. Demikian pula terjadi pada bagian sudu tetap juga dilakukan dengan kurun waktu yang sama.

2.5 KELENGKAPAN TURBIN GAS

Disamping bagian utama yang sudah disebutkan diatas, turbin gas dilengkapi dengan bagian – bagian lain untuk memungkinkan turbin gas dapat beroperasi

dengan lancar, aman dan otomatis.

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Bagian bagian tersebut dapat dikelompokkan kedalam sistem sistem yaitu :

- Sistem pemutar poros
- Sistem pelumasan
- Sistem udara pendingin
- Sistem bahan bakar
- Sistem kontrol
- Sistem pencucian kompresor
- Sitem pengaman
- Bangunan pelindung (enclosure/compartment)

2.5.1 Sistem pemutar poros

Sistem pemutar poros turbin gas terdiri dari alat pemutar poros diwaktu turbin gas standby, pemutar poros untuk start dan pemindah torsi. Pemutar poros waktu turbin gas standby memutar poros secara periodik atau continue dengan putaran sangat lambat. Pemutar ini digunakan terutama untuk menghindari terjadinya lendutan poros diwaktu habis beroperasi karena panas. Namun demikian pemutaran poros juga dilakukan menjelang beroperasi jika dikhawatirkan akan terjadi lendutan sewaktu rotor tidak berputar, karena itu untuk unit yang stanby dianjurkan untuk selalu dioperasikan. Pemutar poros untuk start bisa berupa motor listrik, motor hidrolik atau mesin diesel, tergantung dari besar kecilnya kapasitas turbin gas yang bersangkutan. Untuk turbin gas besar dan digunakan untuk pembangkit listrik, generator listriknya bisa berfungsi pula sebagai motor stater seperti GT 2.2

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Untuk turbin gas yang menggunakan mesin diesel atau motor listrik sebagai alat

Document Accepted 13/9/23

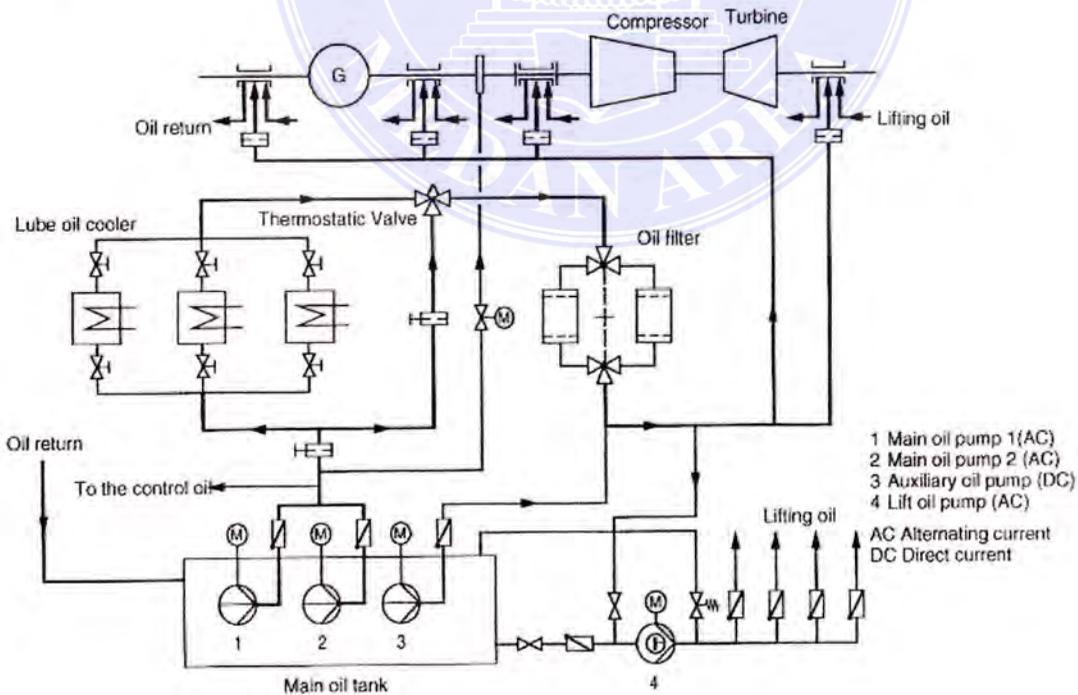
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

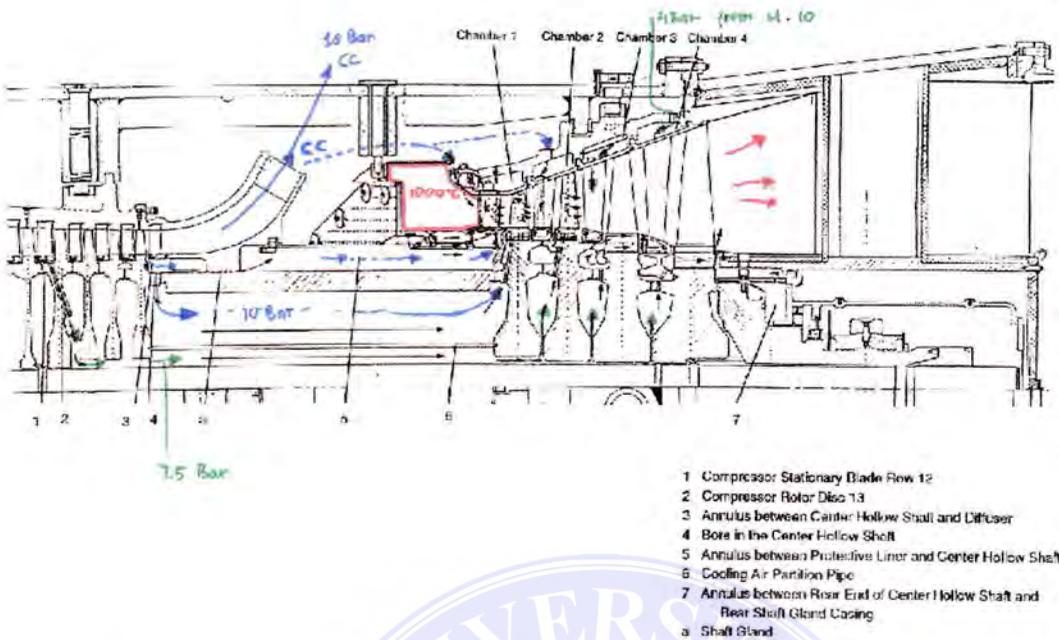
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)13/9/23

dengan putaran yang tinggi akan memindahkan torsinya keporos turbin gas dari putaran nol sampai putaran tertentu dimana nyala api didalam ruang bakar telah terjadi dan turbin gas telah mampu untuk berputar sendiri.

Sistim pelumasan turbin gas berfungsi untuk melumasi dan mendinginkan bantalan karena panas yang timbul akibat gesekan yang telah terjadi dengan poros. Pelumas yang sama juga digunakan sebagai sarana penggerak hidrolik untuk menggerakkan Inlet Guide Vane. Sistim pelumasan harus bisa mengalirkan pelumas dengan continue, bersih dengan suhu yang relative rendah. Untuk itu sistim pelumas terdiri dari. Pompa Utama, Pompa pembantu, Pompa Darurat, Pendingin dan Saringan pelumas. Pendinginan pelumas dilakukan dengan menggunakan air pendingin yang didinginkan dengan radiator atau langsung dengan radiator yang didinginkan dengan kipas udara.



UNIVERSITAS MEDAN AREA **Gambar 2.11 Sistem Pelumasan dan Pemutar Poros**



Gambar 2.12 Sistem Pendingin/ Perapat Udara pada Gas Turbin

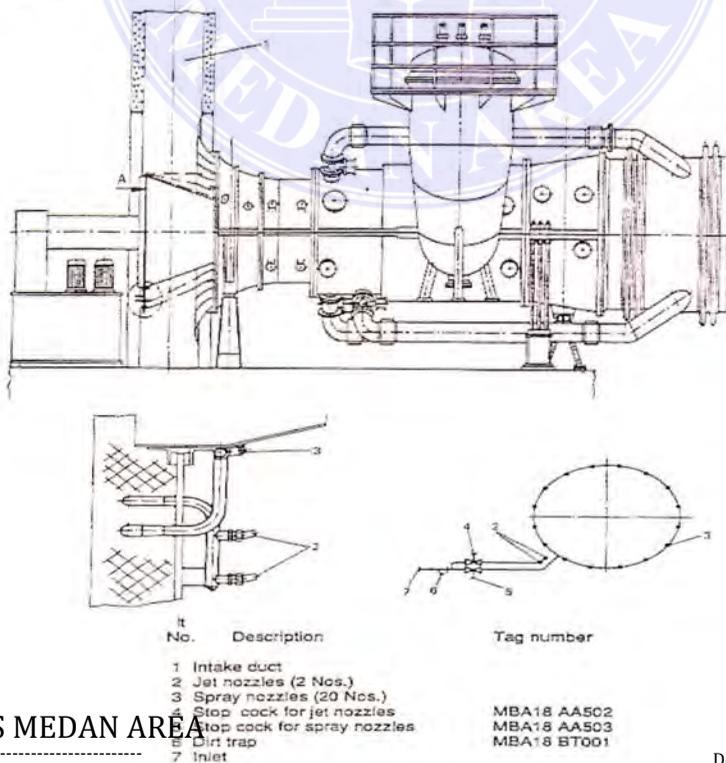
Sistem udara pendingin digunakan untuk mengalirkan udara dari kompresor untuk ditujukan ke lubang pendingin suhu turbin. Pengambilan udara dari kompresor disesuaikan dengan tekanan yang ada pada masing-masing tingkat suhu turbin. Oleh karena lubang pendingin pada sudu turbin ukurannya relatif kecil, maka udara pendingin tersebut harus dilewatkan melalui saringan terlebih dahulu sebelum masuk ke lubang pendingin masing-masing sudu turbin.

Sistem kontrol turbin gas meliputi kontrol untuk start (yang mengatur terjadinya penyalaan didalam ruang bakar, mengatur aliran bahan bakar untuk start, mengatur pembukaan Inlet Guide Vane, mengatur pemberhentian alat start dan mengukur penutupan katup extraction kompresor), kontrol putaran, kontrol suhu dan kontrol beban. Kontrol putaran adalah untuk mengatur putaran turbin tetap berada pada putaran nominalnya. Kontrol suhu adalah untuk mengatur besarnya

beban turbin gas berdasarkan suhu maximum pembakaran yang ditetapkan, dan

oleh karena tidak ada alat ukur yang langsung dapat mendeteksi suhu langsung pembakaran, sinyal kontrol suhu diambil dari suhu keluar turbin yang mewakili suhu pembakaran tersebut. Kontrol beban digunakan untuk member beban dasar atau beban puncak pada turbin gas. Dengan beban dasar dimaksudkan bahwa turbin gas dapat dioperasikan secara continue tanpa mengakibatkan pemendekan umur bagian bagian panasnya, sedang dengan beban puncak dimaksudkan bahwa turbin gas dibebani lebih tinggi dengan resiko akan terjadi pemendekan umur pada bagian bagian panasnya.

Sistim pencucian kompresor digunakan untuk membersihkan suhu sudu kompresor dari kotoran yang tidak bisa tersaring oleh filter udara masuk. Berupa kotoran debu, uang minyak atau kotoran dari asap industry. Pembersihan dilakukan dengan air ditambah zat kimia pembersih yang disemprotkan dimulut kompresor ketika turbin gas sedang beroperasi.



Hisapan kompressor akan membawa butir-butir air masuk ke dalamnya dan membasuh sudu-sudu kompressor. Kecepatan putaran sudu dan adanya bahan kimia pembersih menyebabkan kotoran yang menempel terlepas.

Sistem pengamanan turbin gas berguna untuk mengamankan turbin gas dari kerusakan berat akibat tidak berfungsinya kelengkapan turbin. Sistem pengamanan turbin terdiri dari:

- Pengaman tekanan pelumas rendah, untuk menghindari rusaknya bantalan akibat gesekan kering oleh karena tidak adanya pelumasan.
- Pengaman suhu bantalan tinggi. Gesekan yang terjadi pada bantalan akan mengakibatkan suhu yang tinggi, dan suhu yang tinggi akan melumerkan metal bantalan, karena itu kenaikan suhu harus dicegah sebelum metal bantalan menjadi rusak.
- Pengaman gaya axial tinggi. Penghisapan udara oleh kompressor dan dorongan gas panas pada sudu turbin akan menyebabkan gaya axial walaupun kedua gaya ini berlawanan dan dibuat relative seimbang, kerusakan pada sudu turbin atau pengotoran pada sudu kompressor dapat mengakibatkan gaya yang timbul berlebihan ke arah tertentu dan menjadikan sudu kompressor bergesekan.
- Pengaman getaran tinggi. Walaupun pembuatan rotor telah dilakukan secara teliti, namun pada tahap akhirnya tetap ditemukan adanya ketidakseimbangan berat antara satu sisi dengan sisi yang lain (arah radial) pada rotor. Ketidakseimbangan berat ini disebut unbalans (tidak seimbang). Pada

UNIVERSITAS MEDAN AREA.

rotor baru unbalans ini telah dibuat menjadi balans (seimbang), yang

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

menghasilkan getaran yang kecil. Seiring dengan perjalanan waktu getaran

1. Dilarang Menyalin, Menyalin, atau Menyalin untuk tujuan komersial atau industri.

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah.

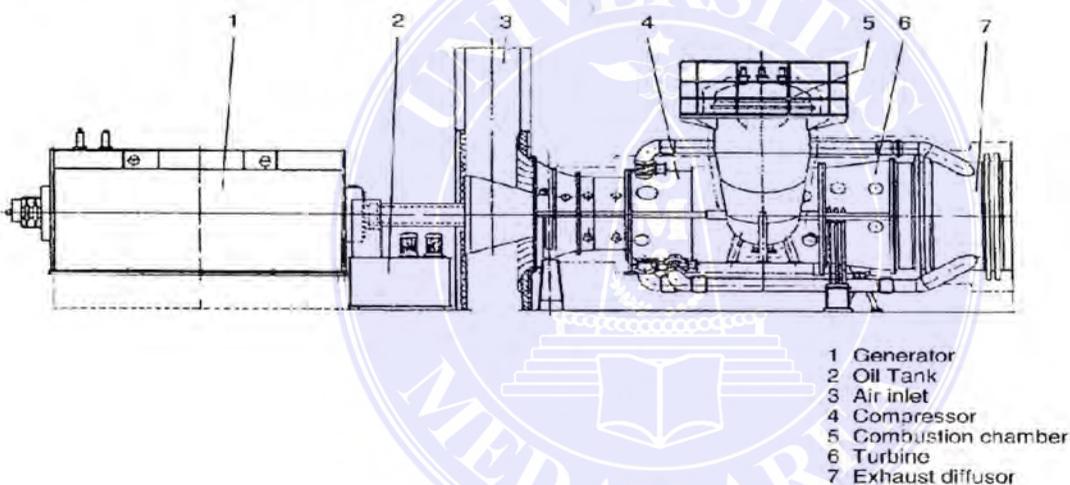
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area.

Access From (repository.uma.ac.id)13/9/23

turbin bisa menjadi besar dan melampaui batas yang ditentukan, karena itu turbin harus diberhentikan untuk menghindari kerusakan lebih lanjut.

- Pengaman suhu lebih digunakan untuk mengamankan bagian bagian panas turbin gas dari kemungkinan kerusakan akibat terjadinya suhu gas panas yang melampaui batas.

Disamping itu turbin gas juga dilengkapi dengan tombol darurat untuk memberhentikan turbin gas dengan seketika jika diketahui terdapat hal hal yang membahayakan bagi berlangsungnya operasi.



Gambar 2.14 Layout Turbin Gas V94

Bangunan pelindung meliputi bangunan untuk melindungi mesin turbin gas, generator listrik, panel dan lain lain dari hujan dan pengaruh lingkungan lainnya, serta untuk mempermudah pemadaman api jika terjadi nyala api. Umumnya bangunan ini menempel bersama sama dengan turbin gas pada pada base plate yang sama, sehingga jika turbin gas ingin dipindahkan ketempat lain bangunan tersebut otomatis tidak perlu dilepas tersendiri. Tetapi bagi turbin gas yang

digunakan untuk PLTGU bisa dibuat satu bangunan saja untuk beberapa turbin

gas. **Gb 2.12** menunjukkan susunan sebuah PLTG tipe Siemens V84/V94 dengan

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

bangunan bangunan terkait (turbine enclosure, generator enclosure, electrical package, mechanical package, starting package dan lain lain).

2.6 FAKTOR - FAKTOR YANG MEMPENGARUHI UMUR

BAGIAN TURBIN GAS

Bagian turbin gas terutama bagian yang terkena panas umurnya sangat dipengaruhi oleh intensitas suhu nyala api yang terjadi didalam ruang bakar, dan intensitas suhu nyala api dipengaruhi oleh jenis bahan bakar yang digunakan dan tingginya pembebanan. Disamping itu umur peralatan turbin gas juga dipengaruhi oleh beban siklik yang terjadi dan beban siklik ditentukan oleh jumlah start yang dilakukan dan jumlah trip (stop diluar stop normal) yang terjadi.

Turbin Gas buatan Siemens type MS6B dan MS7EA menentukan interval pemeriksaan bagian ruang bakar sebesar 8000 jam atau 400 kali start mana yang dicapai lebih dulu, bagian turbin sebesar 24000 jam operasi atau lebih 1200 kali start, dan pemeriksaan seluruh bagian turbin pada jam operasi 48000 jam atau 2400 kali start. Hal tersebut jika turbin gas dioperasikan dengan bahan bakar gas. Jika dioperasikan dengan bahan bakar minyak distillate, maka interval pemeriksaan dan menjadi lebih sering, sebagai mana dapat dilihat pada Table 2.1.

Jenis Faktor yang mempengaruhi	Nilai Faktor
Faktor jam operasi <ul style="list-style-type: none"> • Bahan bakar gas • Bahan bakar distillate • Bahan bakar crude oil 	1 1,5

• Bahan bakar residu	1 atau 3
• Beban puncak	2 atau 4
• Injeksi uap	6
• Injeksi air	1
• Jumlah kali start	1,9
Faktor start	20
• Trip dari beban penuh	8
• Start cepat	2
• Start sangat cepat (emergency)	20

Dari table diatas dapat dihitung pada jam operasi berapa turbin gas harus dilakukan overhaul (inspection). Untuk jelasnya ikuti contoh soal berikut.

Contoh soal

Sebuah turbin gas dioperasikan dengan minyak distillate, mempunyai jumlah start 100, jam operasi 12000 jam dan trip dari beban penuh 3 kali. Pada jam operasi berapa lagi turbin gas tersebut harus dilakukan overhaul bagian turbinnnya?

Jawaban: Jam operasi equivalent: $1,5 \times 12000 + 100 \times 20 + 3 \times 20 = 20460$ jam.

Sisa jam operasi menjelang overhaul turbin = $24000 - 20480 = 3520$ jam atau kurang lebih = 5 bulan lagi.

2.7 FAKTOR FAKTOR YANG MEMPERNGARUHI UNJUK KERJA TURBIN GAS

Turbin gas menggunakan udara atmosfer sebagai media kerjanya, karena itu segala sesuatu yang mempengaruhi kondisi dan sifat sifat udara atmosfer seperti suhu, tekanan, dan kelembaban akan berpengaruh terhadap unjuk kerja turbin gas. Yang dimaksud dengan unjuk kerja atau performance adalah besarnya daya mampu maksimum dan konsumsi penggunaan panas yang dapat ditunjukkan oleh turbin gas yang bersangkutan.

Oleh karena unjuk kerja turbin gas sangat dipengaruhi oleh kondisi udara atmosfer tersebut, maka unjuk kerja turbin gas harus ditunjukkan dalam kondisi standard yaitu yang disebut sebagai kondisi ISO (International Standard Organisation). Kondisi ISO adalah kondisi udara pada suhu 15°C (59°F) dan permukaan air laut atau sesuai dengan tekanan barometer 760 mmHg ($=14,969\text{ psia} = 1,033\text{ kg/cm}^2$ dan kelembaban relative = 60%).

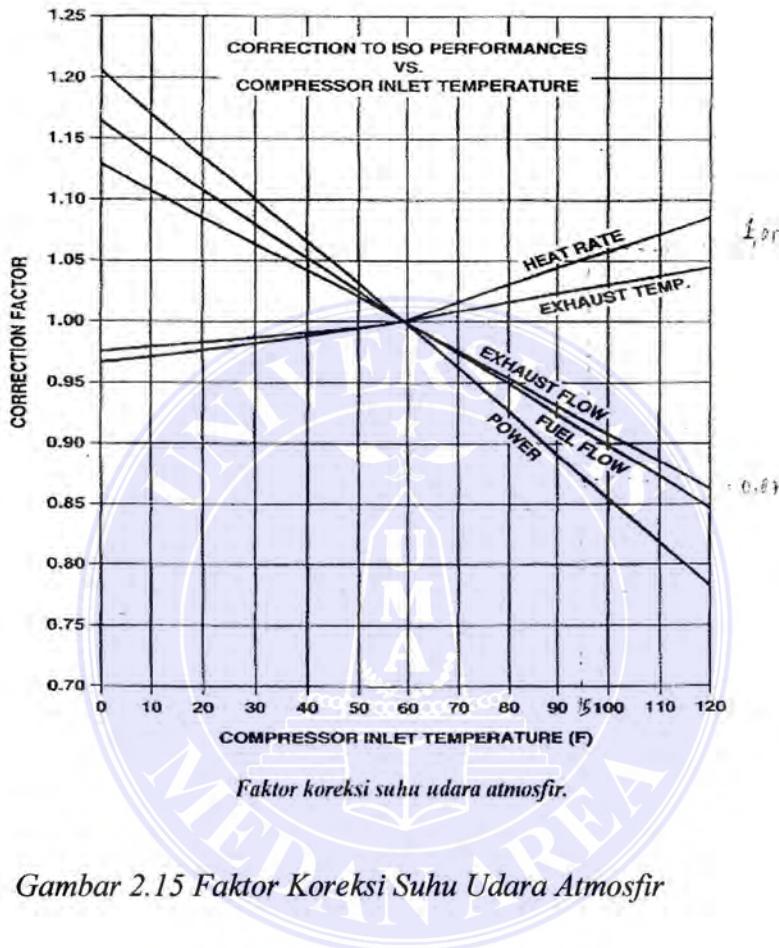
Untuk mengetahui berapa besar unjuk kerja turbin gas tsb pada kondisi setempat diperlukan faktor faktor koreksi yang digambarkan dalam bentuk grafik sebagaimana yang akan dijelaskan berikut ini.

2.7.1 Faktor suhu udara:

Suhu udara mempengaruhi kerapatan udara, makin tinggi suhunya semakin rendah kerapatannya. Kerapatan udara akan mempengaruhi jumlah massa udara yang

UNIVERSITAS MEDAN AREA
UNIVERSITAS MEDAN AREA professor, sehingga jumlah gas panas yang mendorong

turbin juga berkurang. Akibatnya daya mampu turbin gas tersebut menjadi menurun.



Gambar 2.15 Faktor Koreksi Suhu Udara Atmosfir

2.7.2 Faktor ketinggian tempat

Altitude atau ketinggian tempat akan berpengaruh terhadap tekanan udara atmosfer. Berkurangnya tekanan udara masuk kompresor juga akan menurunkan kerapatan udara tersebut sehingga jumlah berat udara yang masuk kedalam kompresor akan berkurang. Turunnya tekanan masuk kompresor juga akan menurunkan tekanan keluar kompresor, sehingga daya mampu turbin gas juga

UNIVERSITAS MEDAN AREA
mengalami penurunan.

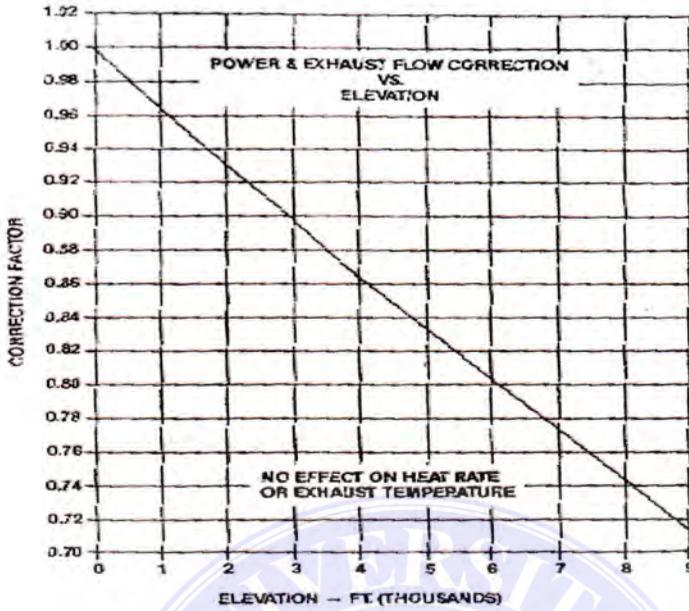
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

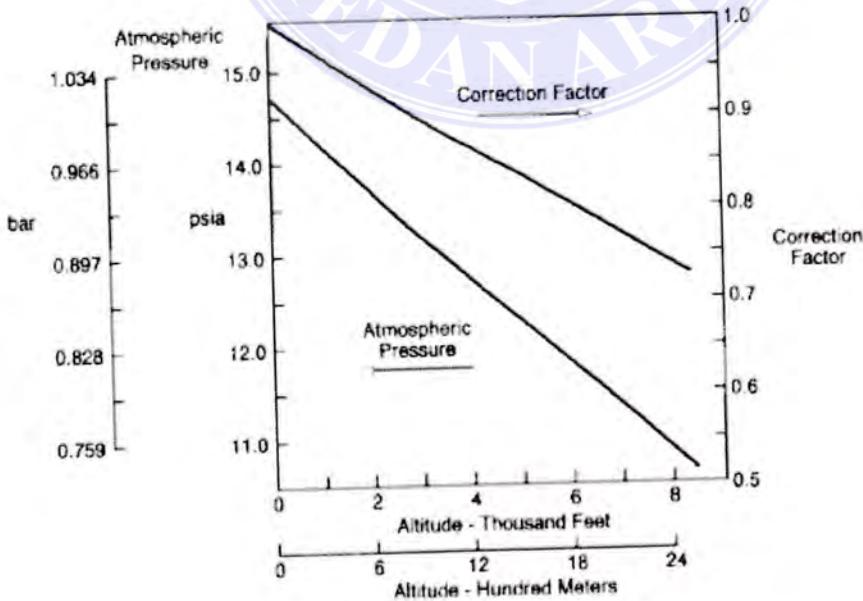
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



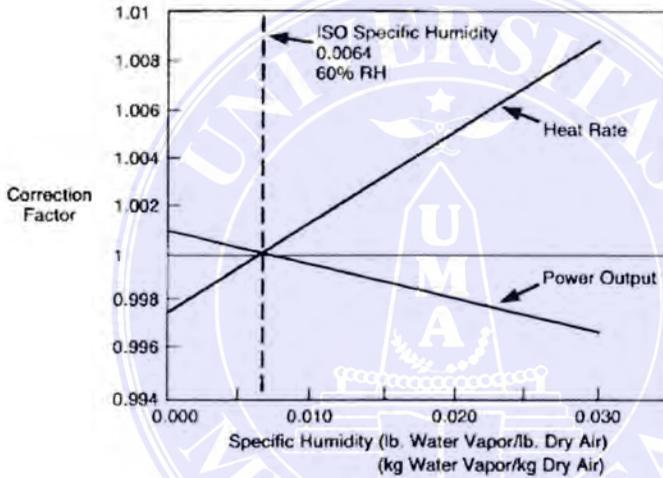
Gambar 2.16 Faktor Ketinggian Tempat

Ketinggian tempat biasanya ditunjukkan dengan penurunan tekanan barometer sebahagaimana ditunjukkan dalam gbr 2.15, yaitu untuk setiap kenaikan altitude 1000 feet, tekan barometer turun $\pm 0,05$ psia.

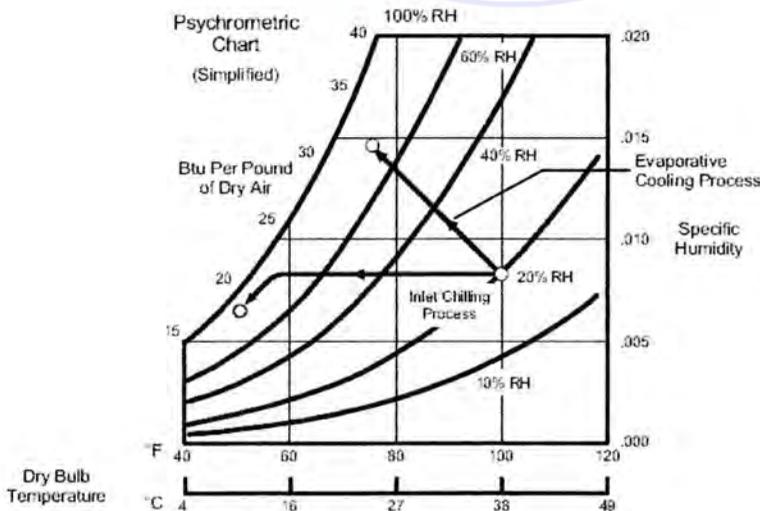


2.7.3 Faktor kelembaban udara.

Udara lembab adalah udara yang mengandung uap air. Semakin tinggi kelembaban berarti semakin tinggi kandungan uap air didalam udara. Kelembaban ini mempunyai pengaruh buruk terhadap heat rate maupun power output walaupun dalam prosentase yang kecil. Sebaliknya pada kondisi udara dengan kelembaban yang rendah pemberian kabut air kedalamnya dapat menurunkan suhu udara tersebut dan karenanya daya mampu turbin gas dapat ditingkatkan.



Gambar 2.18 Faktor Kelembaban Udara



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

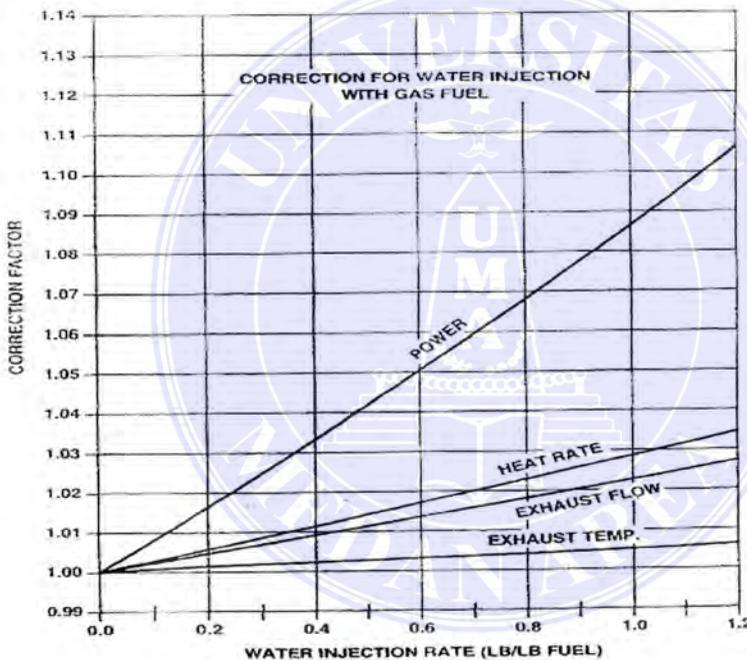
Document Accepted 13/9/23

Gambar 2.19. Pendinginan aliran udara masuk kompressor dengan chilling dan evaporative (injeksi kabut air)

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

2.7.4 Faktor Injeksi air kedalam ruang bakar

Injeksi air kedalam combustor diperlukan untuk menurunkan suhu pembakaran sehingga dapat mengurangi besarnya gas NO_x. Injeksi air akan menambah besarnya fluida yang menggerakkan turbin. Karena itu power output turbin menjadi semakin tinggi dengan bertambah besarnya injeksi air. Sedang heat ratenya mengalami peningkatan atau bertambah buruknya karena sebagian panas dari bahan bakar digunakan untuk menguapkan air tsb.

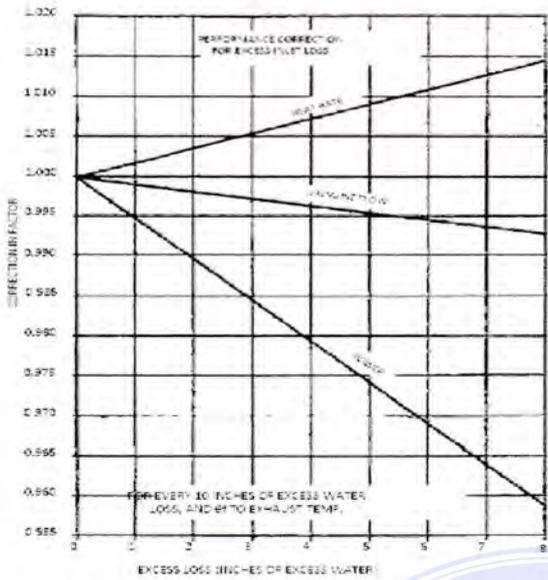


Gambar 2.20 Faktor koreksi terhadap injeksi air kedalam ruang bakar

2.7.5 Faktor hambatan pada saluran udara masuk kompresor

Hambatan yang terjadi pada saluran udara masuk kompresor akan menurunkan tekanan udara disisi masuk kompresor, turunnye jumlah udara yang dihisap dan turunnye tekanan keluar kompresor. Akibat selanjutnya adalah turunnye

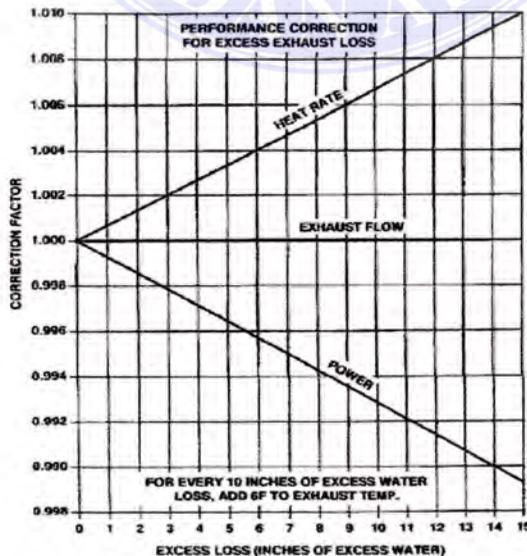
output power, dan bertambahnya heat rate.



Gambar 2.21 Excess Loss

2.7.6 Faktor hambatan pada saluran gas keluar turbin

Hambatan yang terjadi pada laluan gas turbin akan meningkatkan tekanan gas disisi keluar turbin dan menurunkan besarnya selisih entalpi tsb atau sering disebut sebagai turunnya heat drop akan menurunkan daya mampu turbin gas. Hal semacam ini biasa terjadi pada turbin gas yang digunakan pada PLTGU dimana kotoran hasil pembakaran menempel pada pipa pipa HRSG (Heat Recovery Steam Generator) dan mempersempit saluran gas panas keluar turbin.



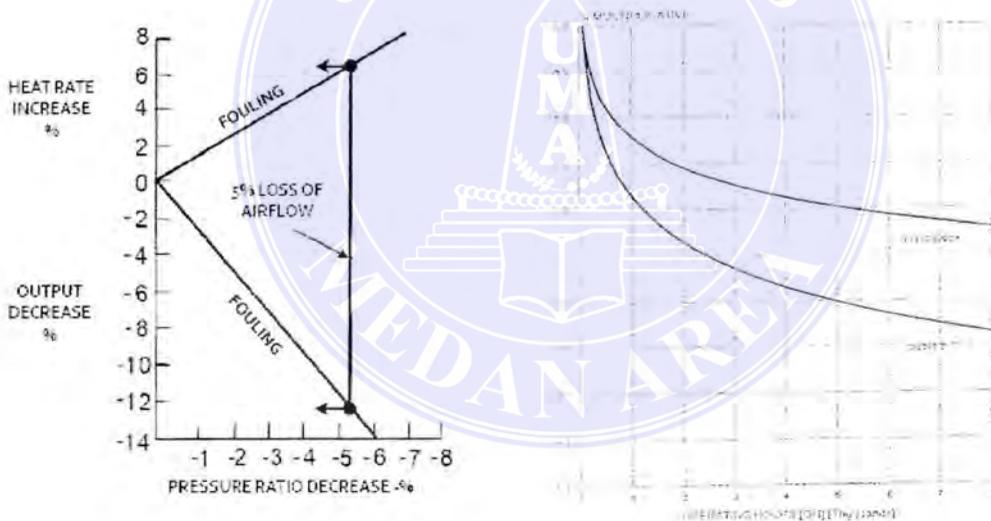
UNIVERSITAS MEDAN AREA

Gambar 2.22 Koreksi terhadap kelebihan kerugian didalam gas panas keluar turbin inch kolom air

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

2.7.7 Faktor kekotoran kompresor

Udara atmosfer tidak bisa diharapkan bersih 100%. Udara akan selalu mengandung kotoran kotoran padat dalam ukuran yang sangat kecil. Kotoran kotoran limbah industry, asap kendaraan bermotor yang mengandung minyak dan debu akan selalu ikut didalam udara. Kotoran kotoran dengan ukuran diatas 5 mikron akan dapat disaring didalam saringan yang ditempatkan didepan kompresor, tetapi kotoran kotoran yang lebih kecil akan lolos dan terbawa masuk kedalam kompresor. Kotoran kotoran ini akan menempel pada suhu sudu kompresor dan menghambat jalannya udara untuk melewatinya.



Gambar 2.23 Menunjukkan turunnya daya mampu dan efisiensi Turbin Gas Sebelum dilakukan pencucian kompresor.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 TEMPAT DAN TANGGAL PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT. PLN (Persero) sektor Pembangkitan Belawan yang berjarak 20 km dari kota medan atau terletak pada koordinat :

- 98°40' - 98°41' BT
- 3°45'30" - 3°46' LU

Sedangkan jadwal pengambilan data adalah tanggal 2 November 2009 sampai dengan 5 Desember 2009

3.2 KONSEP DASAR

Perubahan peningkatan dan penurunan suatu kinerja mesin gas turbin sangat dipengaruhi berbagai faktor – faktor yang tidak langsung mengubah kondisi kinerja gas turbin. Salah satu pengaruh yang dapat terjadi adalah pengaruh faktor internal terhadap kinerja turbin gas seperti komponen – komponen dalam gas turbin yang secara tak langsung mempengaruhi kualitas operasi dimana diakibatkan perubahan maupun masa operasi. Hasil yang diperlihatkan karakteristik gas turbin merupakan bentuk maupun gambaran fluktuasi perubahan yang terjadi pada kinerja gas turbin.

Pengambilan dan penganalisaan data dalam memperoleh nilai unjuk kerja mesin tersebut haruslah didorong dengan data akurat dengan melakukan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

perbandingan data aktual yang didasari dengan referensi buku yang memperkuat

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

analisa yang didapat. Dimana hasil analisa dapat dituangkan dalam bentuk gambaran umum kinerja turbin gas.

3.3 PROSEDUR PENELITIAN

Dalam pelaksanaan tugas peneletian ini, penulis membuat suatu prosedur penelitian dengan mengikuti langkah – langkah sebagai berikut :

❖ **Start :**

Pembuatan proposal (outline) tugas akhir dengan judul “**Pengaruh Faktor Internal Terhadap Kinerja Turbin Gas GT.22 PLTGU Belawan**” diangkat sebagai bahan analisa untuk tugas akhir.

❖ **Survey Lapangan :**

Pengambilan data di Turbin Gas 22 PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan untuk dapat dihitung atau dibandingkan dengan buku – buku referensi dan dapat mengetahui proses kerja turbin gas

❖ **Analisa Thermodinamika :**

Menganalisa Proses Thermal yang terjadi di Gas Turbin meliputi Kompresor , ruang bakar dan Turbin gas. Hasil analisa Ini untuk mengetahui kondisi gas turbin

❖ **Spesifikasi Turbin gas :**

Untuk Mendapatkan data Akurat sebagai pembanding maka dapat dicantumkan

data spesifikasi Turbin Gas Terpasang.

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)13/9/23

❖ **Analisa Turbin Gas GT.22 :**

Menganalisa kondisi kinerja Turbin Gas aktual atau kondisi kini dengan mempelajari dan membuat ringkasan data performance Turbin Gas GT.22.

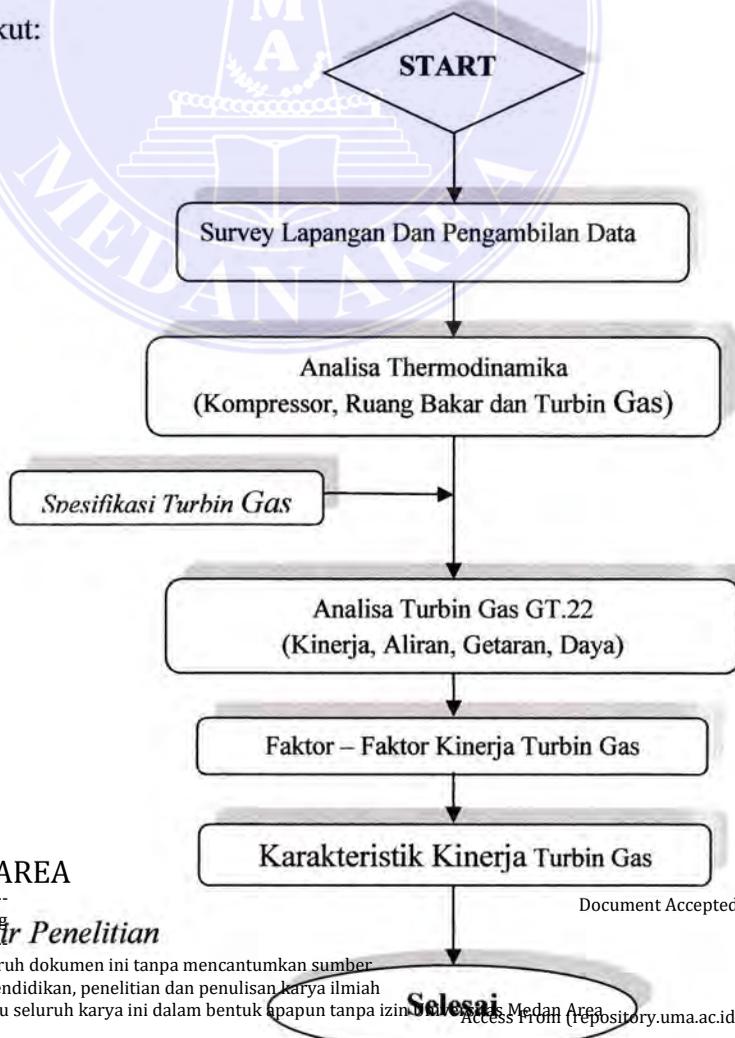
❖ **Karakteristik Kinerja Gas Turbin**

Membuat dan memberikan gambaran kondisi kinerja Gas Turbin GT.22 yang dituangkan dalam bentuk karakteristik umum perubahan dan performance mesin.

❖ **Selesai :**

Pembuatan laporan hasil laporan Tugas Akhir

Langkah – langkah prosedur penelitian tersebut diatas dapat digambarkan dengan diagram alir seperti berikut:



BAB V

KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari data yang didapat selama tahun 2009 terjadinya penurunan daya kerja operasi Turbin Gas GT.22 dilihat berdasarkan kurva beban terhadap beban puncak yang terjadi. Ada beberapa Faktor yang dapat mempengaruhi Unjuk kerja Turbin Gas :

- 1) Suhu dan tekanan gas: Jika kondisi suhu dan tekanan gas pada saluran masuk ke turbin gas bervariasi dari kondisi optimum rancangannya, turbin mungkin tidak akan mampu beroperasi pada efisiensi maksimum. Variasi dalam kondisi gas dapat disebabkan oleh kesalahan-kesalahan perancangan pabrik (termasuk pengukuran) atau operasi pabrik yang tidak benar.
- 2) Operasi beban sebagian dan nyala & mati: Efisiensi unit pembangkit pada beban sebagian dapat dicapai mendekati nilai rancangan dengan memberikan perhatian terhadap suhu dan tekanan. Walau demikian, keputusan pasar untuk mengoperasikan unit pembangkit pada beban tertentu akan memiliki pengaruh besar pada efisiensi termis rata-rata. Hal serupa, keputusan pasar pada kapan pabrik akan *on* atau *off-line* juga memiliki sikap pada efisiensi termis rata-rata sebab kehilangan energi sewaktu sistem menyala atau berhenti.
- 3) Suhu gas panas yang meninggalkan pembakar. Meningkatnya suhu

Sistem ini akan menaikkan kenaikan output energi;

- 4) Suhu gas buang. Penurunan suhu biasanya mengakibatkan kenaikan keluaran energi;
- 5) Aliran massa melalui turbin gas. Umumnya, aliran massa yang lebih tinggi menghasilkan keluaran energi yang lebih tinggi pula;
- 6) Penunjukan Parameter Vibrasi semakin Tinggi diatas Range Normalnya

Efisiensi turbin gas merupakan fungsi ratio tekanan dan work dan Untuk meningkatkan Efisiensi, maka :

- o Temperatur udara masuk kompressor dibuat serendah mungkin
- o Temperatur gas masuk Turbine dibuat setinggi mungkin

Dalam kondisi Real :

- o Temperatur udara masuk kompressor terendah adalah temperatur atmosfer ditambah ambient temperatur udara yang makin meningkat akibat perubahan iklim yang tak menentu
- o Temperatur gas masuk turbin tertinggi dibatasi oleh kekuatan material serta teknologi pendinginan material tersebut.

Didalam pengoperasian turbin gas, ada kemungkinan terjadi gangguan unjuk kerja turbin gas yang antara lain disebabkan oleh :

1. Temperatur ambient dan Pengotoran pada blades kompressor
2. Ketinggian diatas Mean Sea Level(MSL)
3. Kelembaban (relative Humidity)
4. Inlet Pressure Loss, Exhaust Pressure Loss
5. Type of fuel

UNIVERSITAS MEDAN AREA

6. Vibrasi dan Gangguan Luar (Frekuensi, Black Out dsb)

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

DAFTAR PUSTAKA

1. Siemens AG- PT Boma Bisma Indra- Sobelco SA, Power Plan Training Book, 1994.
2. Manual Book Turbine Gas, BY SIEMEN AG,1993
3. Arismunandar. W, Pengantar Turbin Gas Dan Motor Propulsi, Dirjen Dikti Depdiknas, 2002.
4. General Electric Company, Schenectady, NY. USA, Gas Turbine Maintenance Seminar, Jakarta Indonesia, 1997.
5. Wiliam C. Reynolds, Henry C. Perkins, “Thermodinamika Teknik”, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta 1982
6. Maherwan P. Boyce, Gas Turbine Engineering Hand Book, Gulf Professional Publishing, 2002.
7. Robert F. Hoeft, Schenectady, NY. USA, Heavy Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Consideration.
8. <http://www.turbomachinerymag.com>
9. <http://www.energyefficiencyasia.org>
10. <http://www.ptindoturbine.com>
11. [http:// www.energy.siemens.com](http://www.energy.siemens.com)