



JUDUL .....	i
PENGESAHAN .....	ii
MOTTO .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
SOAL .....	v
INTISARI .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR GRAFIK .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xviii
DAFTAR NOTASI .....	xix

## BAB I. PENDAHULUAN

1.1. MESIN TURBIN SECARA UMUM .....	1
1.2. TURBIN GAS SECARA UMUM .....	3
1.3. SISTEM TURBIN GAS SECARA UMUM .....	3
1.4. Pemandangan Secara Umum .....	10
1.4.1. Sejarah Singkat Sistem Turbin Gas .....	10
1.4.2. Keuntungan-keuntungan pada Sistem Turbin Gas .....	11
1.4.3. Kendala-kendala pada Sistem Turbin Gas ...	12
1.5. LATAR BELAKANG PERMASALAHAN DAN ALTERNATIF PEMUTUSAN .....	12
1.6. PERUMUSAN MASALAH DAN SISTEMATIKA PEMBAHASAN .	14
1.6.1. Perumusan Masalah .....	14
1.6.2. Sistematika Pembahasan .....	15

## BAB II. TERMODINAMIKA

2.1. HAKIKAT TERMODINAMIKA .....	16
2.2. HUKUM NOL TERMODINAMIKA .....	17
2.3. HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA .....	18
2.3.1. Kekekalan Energi .....	18
2.3.2. Persamaan Energi .....	28
2.3.3. Persamaan Kontinuitas .....	31
2.3.4. Kapasitas Panas .....	32



2.4. HUKUM KEDUA TERMODINAMIKA	32
<b>Sistem Turbin Gas Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Berdaya 500 KVA</b>	
Pradito, Joko, Haroyo, Ir. Dharmawan, Tjipto Harijono	33
Universitas Gadjah Mada, 1995   Diunduh dari <a href="http://etd.repository.ugm.ac.id/">http://etd.repository.ugm.ac.id/</a>	35
2.4.2. Persamaan Kerja Ideal	35
2.5. HUKUM KETIGA TERMODINAMIKA	37
2.5.1. Entropi Mutlak	37
2.5.2. Kerja Maksimum, Efisiensi	38
2.6. PENGANTAR ALIRAN FLUIDA TERKOMPRESI	47
2.6.1. Segitiga Kecepatan	48
2.6.2. Prinsip Momentum	50
BAB III. SIKLUS KERJA	
3.1. SIKLUS-SIKLUS IDEAL UNTUK SISTEM TURBIN GAS	53
3.1.1. Siklus Brayton	54
3.1.2. Siklus Ericson	58
3.1.3. Siklus Brayton dengan regenerasi	60
3.2. SIKLUS BRAYTON SESUNGGUHNYA	63
3.3. PILIHAN SIKLUS	65
3.4. PERHITUNGAN SIKLUS	67
3.4.1. Kompresor, proses 1-2	72
3.4.2. Ruang Bakar, proses 2-3	72
3.4.3. Turbin, proses 3-4	73
3.4.4. Parameter-parameter pokok	74
3.5. ANALISA HASIL PERHITUNGAN	75
3.6. PERENCANAAN UMUM	78
BAB IV. KOMPRESOR	
4.1. PEMILIHAN JENIS KOMPRESOR	80
4.1.1. Kompresor Aksial	81
4.1.2. Kompresor Sentrifugal	81
4.1.3. Kompresor Lysholm	82
4.1.4. Penetapan jenis kompresor	82
4.2. PERENCANAAN UMUM	83
4.3. PERHITUNGAN	85
4.3.1. Tinjauan Umum Proses Termodinamika	85
4.3.2. Perencanaan Ukuran Utama	89
4.3.2.1. Kecepatan Spesifik dan Putaran Mesin	90
4.3.2.2. Diagram Cordier	90
4.3.2.3. Kondisi masuk Impeller, posisi 1	95



4.3.2.4. Kondisi di belokan Impeller, posisi 2a	99
<b>Sistem Turbin Gas Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Berdaya 500 KVA</b>	
Pribadi: Joko Wardoyo, Dharma Wardana, Tjandjaja, dan Hariyanto	
Universitas Gadjah Mada, 1995   Diunduh dari <a href="http://eud.repository.ugm.ac.id/">http://eud.repository.ugm.ac.id/</a>	
4.3.2.5. Kondisi masuk Diffuser, posisi 2 ...	100
4.3.2.6. Kondisi masuk Diffuser, posisi 3a ...	102
4.3.2.7. Kondisi keluar Diffuser, posisi 3 ...	104
4.3.3. Tinjauan kekuatan Impeller .....	115
4.3.3.1. Gaya Aksial .....	115
4.3.3.2. Gaya Sentrifugal .....	118
4.3.4. Rancangan poros .....	123
4.4. RANGKUMAN .....	128
<b>BAB V. RUANG BAKAR</b>	
5.1. RUANG BAKAR SECARA UMUM .....	129
5.2. BAHAN BAKAR .....	130
5.3. REAKSI PEMBAKARAN .....	132
5.3.1. Sifat-sifat Udara .....	132
5.3.2. Persamaan Pembakaran .....	132
5.3.2.1. Analisa Pembakaran Stoikiometri .....	133
5.3.2.2. Excess Air .....	134
5.3.2.3. Panas Pembakaran .....	135
5.4. KONSTRUKSI RUANG BAKAR .....	141
5.4.1. Jenis-jenis Ruang Bakar .....	142
5.4.2. Ukuran-ukuran Utama .....	144
5.4.3. Material Ruang Bakar .....	149
5.5. INJEKTOR BAHAN BAKAR .....	150
5.6. POMPA BAHAN BAKAR .....	152
5.7. PENGATURAN LAJU BAHAN BAKAR .....	153
<b>BAB VI. TURBIN</b>	
6.1. TURBIN GAS DAN FUNGSINYA .....	156
6.2. TURBIN GAS DAN JENISNYA .....	157
6.2.1. Turbin Radial/Sentripetal .....	157
6.2.2. Turbin Aksial .....	158
6.2.2.1. Turbin Impuls .....	161
6.2.2.2. Turbin Reaksi .....	162
6.3. PEMILIHAN JENIS TURBIN GAS .....	164
6.4. TEORI DASAR .....	165
6.4.1. Kerja Spesifik satu tingkat .....	166
6.4.2. Parameter-parameter tak berdimensi .....	167



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

6.4.3. Sudut-sudut Aliran Fluida Kerja .....	169
<b>Sistem Turbin Gas Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Berdaya 500 KVA</b>	
Pribadi KECEPATAN DAN SUKSES DAN SUKSES Harijono .....	171
Universitas Gadjah Mada, 1995. Diunduh dari <a href="http://eprints.repository.ugm.ac.id/">http://eprints.repository.ugm.ac.id/</a>	171
6.6. RUCI RUCI PADA BANTUAN SUDU .....	171
6.7. PERHITUNGAN DAN PERANCANGAN .....	172
6.7.1. Jumlah Tingkat .....	174
6.7.2. Ukuran-ukuran Utama dan Kondisi Termodinamis .....	175
6.7.3. Konstruksi Sudu Turbin .....	189
6.7.4. Analisa Tegangan pada Sudu Rotor .....	197
6.7.5. Material Sudu Rotor .....	200
6.7.6. Tinjauan Kekuatan Disk .....	202
6.7.7. Firtree .....	208
6.7.8. Poros .....	209
6.8. RANGKUMAN .....	209
<b>BAB VII. PEMBEBANAN SEBAGIAN</b>	
7.1. MACAM-MACAM PENGATURAN SECARA UMUM .....	211
7.1.1. Pengaturan pada $m$ konstan .....	213
7.1.2. Pengaturan pada $m$ bervariasi .....	213
7.1.3. Karakteristik Kompresor pada Pembebanan Sebagian .....	214
7.1.4. Karakteristik Turbin pada Pembebanan Sebagian .....	215
7.2. PENGATURAN PUTARAN KONSTAN .....	216
7.2.1. Twin Shaft Turbine Gas .....	216
7.2.2. Single Shaft Turbine Gas .....	216
7.3. PILIHAN SISTEM PENGATURAN .....	217
7.4. KARAKTERISTIK KOMPRESOR .....	218
7.4.1. Head Kompresor .....	218
7.4.2. Surging .....	219
7.5. PERHITUNGAN DAN RANCANGAN .....	221
7.5.1. Segitiga Kecepatan masuk Impeller .....	221
7.5.2. Segitiga Kecepatan masuk Diffuser .....	224
7.5.3. Matching dengan Turbin .....	229
7.6. PASANGAN SUDUT IGV 1 DAN IGV 2 .....	232
7.7. KARAKTERISTIK KOMPRESOR DENGAN IGV .....	238
7.8. START AWAL DAN SHUT DOWN .....	246
7.9. PEMBEBANAN TURBIN DAN PENGONTROLAN BUKAAN IGV	248



**BAB VIII. PUTARAN KRITIS**

8.1. METODA PERHITUNGAN .....	254
8.2. PERHITUNGAN .....	256

**BAB IX. PERLENGKAPAN**

9.1. BANTALAN DAN PELUMASANNYA .....	259
9.1.1. Gaya-gaya pada Bantalan .....	259
9.1.1.1. Gaya Radial .....	260
9.1.1.2. Gaya Aksial .....	263
9.1.2. Perencanaan Bantalan .....	267
9.1.2.1. Bantalan Depan dan Belakang .....	267
9.1.2.2. Bantalan Tengah .....	271
9.2. TRANSMISI .....	276
9.2.1. Spline memanjang .....	276
9.2.2. Rodagigi Reduksi .....	277
9.2.3. Pelumasan Rodagigi .....	279
9.3. POMPA OLI PELUMAS .....	282
9.4. PENDINGIN PELUMAS .....	284
9.5. STARTER .....	284
9.6. IGNITER .....	286
9.7. SILENCER .....	287

<b>BAB X. PERAWATAN .....</b>	<b>291</b>
-------------------------------	------------

<b>BAB XI. ANALISA EKONOMI .....</b>	<b>293</b>
--------------------------------------	------------

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>296</b>
-----------------------------	------------

**LAMPIRAN**

- A. EKSEKUSI PERHITUNGAN PROGRAM KOMPUTER
- B. LISTING PROGRAM UTAMA
- C. LISTING SUBPROGRAM
- D. DATA-DATA PERHITUNGAN DARI LITERATUR



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

LAMPIRAN  
**Sistem Turbin Gas Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Berdaya 500 KVA**  
Pribadi Joko Wardoyo, Ir. Dharmawan Tjipto Harijono

Universitas Gadjah Mada, 1995 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

A. EKSEKUSI PERHITUNGAN PROGRAM KOMPUTER

1. Siklus Kerja Turbin Gas
2. Siklus Kerja Turbin Gas dengan variasi ambient Temperatur
3. Design Unit Kompresor
4. Design Unit Turbin
5. Penampilan Kompresor akibat IGV I dan IGV II
6. Penampilan Sistem Turbin Gas akibat IGV I dan IGV II
7. Penampilan Sistem Turbin Gas pada berbagai ambient temperature

B. LISTING PROGRAM UTAMA

1. Siklus Kerja Turbin Gas
3. Design Unit Kompresor
4. Design Unit Turbin
5. Penampilan Kompresor akibat IGV I dan IGV II
6. Penampilan Sistem Turbin Gas akibat IGV I dan IGV II
8. Tegangan Tangensial dan Radial Disk berputar
9. Menghitung putaran kritis

C. LISTING SUBPROGRAM

1.  $h = f(T)$
  2.  $T = f(h)$
  3.  $Pr = f(T)$
  4.  $T = f(Pr)$
  5.  $Pr = f(h)$
  6.  $h = f(Pr)$
  7.  $C_p = f(T)$
  8.  $P_{vap} = f(T)$
  9.  $Mach = f(T, \text{kec. fluida})$
  10.  $k = f(T)$
  11.  $\Delta h_{is} = f(\Delta p)$
  12. Pressure Ratio dalam sebuah baris sudu
  13. Penurunan entalpi dalam sebuah baris sudu
-



17. Koreksi luas anulus akibat tinggi blade,  $K_a$
18. Perbandingan space-chord (s/c) optimum
19. Hitungan Sudu Turbin tahap pertama
20. Hitungan Sudu Turbin tahap kedua
21.  $CD = f(i_o/\epsilon)$
22.  $\eta_c = f(IGV)$
23.  $\mu = f(T)$
24.  $B, n = f(\Omega)$ , Parameter khusus
25. Parameter Larson-Miller untuk IN 738
26. Design anulus Impeller masuk
27. Design anulus Impeller belokan
28. Design anulus Impeller keluar
29. Design anulus Diffuser masuk
30. Design anulus Diffuser keluar

D. DATA-DATA YANG DIPERLUKAN UNTUK PERHITUNGAN

1. Rekalkulasi Biaya Pembangkitan oleh PLN
2. Poros dan Spline
3. Pilihan modul rodagigi
4.  $a, b, c$ , Menentukan diameter poros
5. Koreksi lingkaran kontak rodagigi
6. Bahan-bahan bantalan luncur
7. Parameter  $ZN/p_{min}$  pada berbagai bahan bantalan
8. Tebal lapisan minyak minimum yang dibolehkan
9. Tekanan bantalan aksial pada berbagai bahan
10. Karakteristik bantalan pada berbagai mesin
11. Kurva parameter Sommerfeld
12. Kurva angka gesekan minyak pelumas
13. Kurva karakteristik minyak pelumas
14. Angka diameter poros yang dianjurkan
15. Tabel Baja Paduan untuk poros
16. Tabel Standar Baja
17. Tabel penurunan Head akibat hambatan khas
18. Konstanta penyusutan dan pembesaran saluran



1.1.	Berbagai macam Mesin Turbin .....	1
1.2.	Stator dan Rotor di dalam sebuah unit Turbin ..	2
1.3.	Perbandingan antara sebuah Sistem Turbin Gas se- derhana dengan sebuah Siklus Motor Bakar Torak dalam hal penyediaan energi .....	4
1.4.	Berbagai macam konfigurasi Sistem Turbin Gas ..	7
1.5.	Heavy Frame Turbine Gas .....	8
1.6.	Aeroderivative Turbine Gas .....	9
2.1.	Diagram Proses Isochoric .....	20
2.2.	Diagram Proses Isobaric .....	22
2.3.	Diagram Proses Isothermic .....	24
2.4.	Diagram Proses Adiabatic .....	26
2.5.	Diagram Proses Polytropic .....	27
2.6.	Sistem Aliran beserta Lingkungan .....	29
2.7.	Proses-proses khusus yang digambar dalam koordinat T - s .....	35
2.8.	Diagram proses kompresi .....	40
2.9.	Efisiensi kompresi adiabatik terhadap berbagai pressure ratio untuk berbagai efisiensi poli- tropis .....	42
2.10.	Diagram proses ekspansi .....	43
2.11.	Efisiensi ekspansi adiabatik terhadap berbagai pressure ratio untuk berbagai efisiensi poli- tropis .....	44
2.12a.	Aliran Nosel .....	45
2.12b.	Aliran Diffusi .....	46
2.13.	Segitiga Kecepatan sebuah Sudu .....	49
2.14.	Volume kontrol untuk mesin turbo umum .....	51
3.1.	Siklus Brayton .....	54
3.2.	Variasi luasan kerja akibat variasi perban- dingan tekanan ( $\pi$ ) pada temperatur $T_3$ konstan	57
3.3.	Siklus Ericson .....	58
3.4.	Diagram Siklus Brayton dengan regenerasi ....	61

---



3.5.	Kurva efisiensi siklus Bravton	63
<b>Sistem Turbin Gas Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Berdaya 500 KVA</b>		
3.6.	Skema Ruang Bakar dan Sistem Turbin Gas	64
Universitas Gadjah Mada, 1995   Diunduh dari <a href="http://etd.repository.ugm.ac.id/">http://etd.repository.ugm.ac.id/</a>		
3.7.	Siklus Brayton sesungguhnya	64
3.8.	Kompresi Adiabatik	72
3.9.	Ekspansi Adiabatik	74
3.10.	Perkiraan susunan instalasi komponen-komponen utama dengan data TKU yang berasal dari tabel	78
4.1.	Karakteristik bermacam-macam kompresor	82
4.2.	Karakteristik dasar dari 3 macam konfigurasi profil bilah impeller	83
4.3.	Diagram karakteristik bermacam-macam Impeller	91
4.4.	Diagram Cordier	92
4.5.	Segitiga kecepatan masuk dan keluar	94
4.6.	Diagram Mollier kompresor sentrifugal	95
4.7.	Derajat Reaksi dalam diagram Mollier	100
4.8.	Divergensi pada Diffuser garis normal lurus	105
4.9.	Nomenklatur bagian-bagian sebuah Diffuser	107
4.10.	Segitiga kecepatan kompresor tingkat satu	109
4.11.	Segitiga kecepatan kompresor tingkat dua	109
4.12.	Gaya-gaya aksial pada impeller	115
4.13.	Tegangan-tegangan pada sebuah elemen Disk yang berputar	118
4.14.	Pembagian Disk menjadi elemen-elemen untuk metoda Jumlah dan Perbedaan	120
5.1.	Skema Ruang Bakar	142
5.2.	Bermacam jenis Ruang Bakar	143
5.3.	Ruang Bakar dengan Selubung bersirip	148
5.4.	Injektor Bahan Bakar jenis Duplex	150
5.5.	Sistem Servo pengaturan Bahan Bakar	154
6.1.	Beberapa Parameter Fisik sebuah baris sudu	156
6.2.	Pasangan Kompresor Radial dan Turbin Radial	157
6.3.	Segitiga Kecepatan masuk dan keluar Rotor	159
6.4.	Turbin Curtis dan Turbin Rateau	162
6.5.	Turbin Parsons	163
6.6.	Skema aliran gas melalui sudu turbin serta	



Segitiga kecepatan masuk dan keluar	165
<b>Sistem Turbin Gas Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Berdaya 500 KVA</b>	
Pada sebuah segitiga Diarnawa Pijar Turbin Reaksi	166
Universitas Gadjah Mada, 1995   Diunduh dari <a href="http://etd.repository.ugm.ac.id/">http://etd.repository.ugm.ac.id/</a>	168
6.8. hubungan antara $\phi$ , $\phi$ , dan $\eta$	168
6.9. Ekspansi satu tingkat Turbin Reaksi	171
6.10. Faktor Koreksi Luasan Stator akibat pengaruh kecepatan aliran	173
6.11. Faktor Koreksi Luasan Stator akibat pengaruh tinggi sudu	173
6.12. Profil Sudu Turbin T6	189
6.13. Hubungan antara sudut gas dan sudut sudu pada ujung keluar Stator maupun Rotor	190
6.14. s/c optimum, sebagai fungsi dari sudut masuk dan sudut keluar sebuah baris sudu	191
6.15. Momen Aksial dan Momen Tangensial pada sudu-sudu Turbin	198
6.16. Aturan pendekatan untuk mencari modulus penampang (z)	199
6.17. Grafik Parameter Larson-Miller ( $P_{LM}$ )	201
6.18. Ultimate Tensile Strength, UTS untuk material Disk Turbin	207
6.19. Firtree Root	208
7.1. Dua macam Instalasi Stationary Power Plant	210
7.2. Berbagai elemen pengaturan Sistem Turbin Gas	212
7.3. Karakteristik kompresor	215
7.4. Karakteristik turbin	215
7.5. Gambaran sebuah karakteristik dari kompresor yang ditunjukkan oleh Head sebagai fungsi dari debitnya	219
7.6. Berbagai karakteristik sebuah kompresor dengan berbagai bukaan sudut IGV	220
7.7. Segitiga Kecepatan masuk Impeller I	221
7.8. Penampilan Cascade Kompresor (Howell)	223
7.9. Siklus satu tingkat kompresi	226
7.10. Segitiga Kecepatan masuk Impeller II	227
7.11. Diagram matching kompresor dan turbin	229
7.12. Diagram Starting Turbin Gas	247
7.13. Sistem Servo untuk pengaturan IGV	248



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

8.1. Amplitudo getaran kritis poros oleh sebuah Sistem Turbin Gas Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Berdaya 500 KVA	
Pribadi Joko Wardo, A. D. Darmawan, Tjipto Harijono .....	254
Universitas Gadjah Mada 1995   Diunduh dari <a href="http://etd.repository.ugm.ac.id/">http://etd.repository.ugm.ac.id/</a>	
8.2. Sebuah Beban putar pada sebuah ruas poros ..	256
9.1. Gaya-gaya radial pada bantalan .....	260
9.2. Hubungan prosentase panas yang terserap oleh oli pelumas dengan angka Sommerfeld dan design bantalan .....	270
9.3. Skema Sistem Pelumasan .....	282
9.4. Skema Sistem Penyalaan sederhana dengan bantuan kapasitor .....	286
9.5. Kriteria kebisingan dari ISO .....	288
9.6. Contoh Konfigurasi sebuah Exhaust Silencer .	290