

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
INTISARI	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1. <i>Combined Cycle Power Plant</i>	5
2.2. PLTGU Tambak Lorok PT. Indonesia Power UBP Semarang	11
 BAB III LANDASAN TEORI	 16
3.1. Klasifikasi <i>Combined Cycle</i>	16
3.1.1. <i>Combined Cycle Plant</i> tanpa penambahan pengapian (<i>without additional firing</i>)	16
3.1.2. <i>Combined Cycle Plant</i> dengan penambahan pengapian (<i>with additional firing</i>)	20

3.1.3. <i>Combined Cycle</i> dengan <i>heat recovery boiler</i> di antara turbin gas kompresor dengan turbin uap	21
3.2. Klasifikasi Turbin Gas	22
3.3. Siklus Brayton Ideal	25
3.4. Siklus Aktual Turbin Gas	27
3.4.1. Perhitungan Effisiensi Kompresor	28
3.4.2. Perhitungan Effisiensi Turbin Gas	29
3.4.3. Perhitungan di Ruang Pembakaran	31
3.5. Siklus Rankine Ideal	32
3.6. Siklus Aktual Turbin Uap	33
3.7. <i>Higher Heating Value</i> (HHV) dan <i>Lower Heating Value</i> (LHV)	35
3.8. Perhitungan Pada <i>Combined Cycle Power Plant</i>	36
 BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	 40
4.1. Objek dan Lokasi	40
4.2. Alat dan Bahan Penelitian	40
4.3. Sumber Data	40
4.4. Alur Penelitian	42
 BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	 43
5.1. Perhitungan Pada Sistem Turbin Gas (<i>Topping Cycle</i>)	43
5.1.1. Perhitungan Nilai LHV	43
5.1.2. Perhitungan Effisiensi Aktual Sistem Turbin Gas	44
5.1.3. Perhitungan Effisiensi Isentropik Kompresor	46
5.1.4. Perhitungan Daya Turbin Sebenarnya	51
5.1.5. Perhitungan Nilai Enthalpi Inlet Turbin Gas	53
5.1.6. Perhitungan Nilai Enthalpi Exhaust Gas	56
5.1.7. Perhitungan Energi Gas Buang dari Turbin Gas	57
5.1.8. Perhitungan Nilai Suhu Gas Maksimum Inlet Turbin Gas	59
5.1.9. Perhitungan Effisiensi Isentropik Turbin Gas	61
5.1.10. Perhitungan Effisiensi Thermal Siklus Riil Turbin Gas	62

5.2.	Perhitungan Pada Sistem Turbin Uap (<i>Bottoming Cycle</i>)	64
5.2.1.	Perhitungan Effisiensi Aktual Sistem Turbin Uap	64
5.2.2.	Perhitungan <i>Losses</i> Pada <i>Stack</i>	66
5.2.3.	Perhitungan Effisiensi HRSG	67
5.2.4.	Perhitungan Effisiensi Ideal Turbin Uap	71
5.2.5.	Perhitungan Effisiensi Aktual <i>Combined Cycle</i>	73
5.2.6.	Perhitungan Effisiensi Ideal <i>Combined Cycle</i>	74
5.2.7.	Perhitungan NHR (<i>Net Heat Rate</i>)	75
5.3.	Hasil Penelitian dan Pembahasan	78
 BAB VI PENUTUP		 88
6.1.	Kesimpulan	88
6.2.	Saran	88
 DAFTAR PUSTAKA		 89

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	=	aktual
C	=	kompresor
c_p	=	<i>constant pressure specific heat</i> (kJ/kg °K)
c_v	=	<i>constant volume specific heat</i> (kJ/kg °K)
$\dot{E}$	=	energi (kW atau MW)
h	=	enthalpi (kJ/kg)
$\bar{h}$	=	enthalpi rata-rata (kJ/kg)
GT	=	<i>Gas Turbine</i>
HHV	=	<i>Higher Heating Value</i> (Btu/lb atau kJ/kg)
LHV	=	<i>Lower Heating Value</i> (Btu/lb atau kJ/kg)
$\dot{m}_f$	=	laju aliran massa <i>fuel</i> (kg/s)
$\dot{m}_g$	=	laju aliran massa gas (kg/s)
$\dot{m}_{ud}$	=	laju aliran massa udara (kg/s)
η_C	=	effisiensi isentropik kompresor (%)
η_{CC}	=	effisiensi <i>combined cycle</i> (%)
η_{th}	=	effisiensi (%)
η_T	=	effisiensi isentropik turbin gas (%)
P	=	beban atau daya generator (kW atau MW)
P	=	<i>pressure</i> (Bar)
PT	=	<i>Power Turbine</i>
$\dot{Q}$	=	kalor (kJ/s atau MJ/s)
r_p	=	ratio tekanan (<i>Pressure ratio</i>)
T	=	<i>temperature</i> (°C atau °K)
s	=	isentropis
s	=	entropi (kJ/kg °K)
ST	=	<i>Steam Turbine</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skema sistem <i>combined cycle power plant</i>	5
Gambar 2.2.	Perbedaan sistem <i>simple cycle</i> dengan <i>combined cycle</i>	7
Gambar 2.3.	Effisiensi thermal PLTGU dan PLTG sebagai fungsi suhu gas masuk	8
Gambar 2.4.	Perkembangan efisiensi <i>Combined Cycle</i> dan <i>Conventional Thermal Power Plant</i>	9
Gambar 2.5.	Pengaruh pembebanan terhadap efisiensi	10
Gambar 2.6.	Diagram aliran energi pada <i>combined cycle single pressure</i>	10
Gambar 2.7.	Proses Produksi Listrik pada PLTGU Tambak Lorok Semarang	15
Gambar 3.1.	Combined cycle plant tanpa penambahan pengapian (<i>without additional firing</i>)	17
Gambar 3.2.	Sistem <i>single pressure</i> tanpa penambahan peralatan (<i>without special equipment added</i>)	18
Gambar 3.3.	Sistem <i>Single Pressure</i> dengan <i>Flash System</i> sebagai <i>Preheating Loop</i>	19
Gambar 3.4.	Sistem <i>Single Pressure</i> dengan <i>Low Pressure Evaporator</i> sebagai <i>Preheating Loop</i>	20
Gambar 3.5.	Combined cycle dengan penambahan pengapian (<i>with supplementary firing</i>)	21
Gambar 3.6.	Combined cycle dengan <i>heat recovery boiler</i> di antara turbin gas kompresor dengan turbin uap	22
Gambar 3.7.	Skema sebuah <i>direct open cycle</i> : (a) <i>single shaft</i> dan (b) <i>two shaft</i>	23
Gambar 3.8.	Skema <i>indirect open cycle</i>	24
Gambar 3.9.	Skema <i>direct closed cycle</i>	24
Gambar 3.10.	Skema <i>indirect closed cycle</i>	25

Gambar 3.11. (a) T - s diagram dan (b) P - v diagram	26
Gambar 3.12. Aliran massa pada Siklus Brayton	27
Gambar 3.13. Deviasi Siklus Aktual Turbin Gas	29
Gambar 3.14. Grafik Perbandingan Effisiensi Aktual terhadap <i>Pressure Ratio</i> Kompresor	30
Gambar 3.15. Grafik Perbandingan Power Spesifik terhadap <i>Pressure Ratio</i> Kompresor	31
Gambar 3.16. Siklus Rankine Ideal	32
Gambar 3.17. Deviasi Siklus Aktual Turbin Uap	34
Gambar 3.18. Pengaruh Irreversibilitas Pompa dan Turbin	34
Gambar 3.19. Skema <i>Combined Cycle Power Plant</i>	36
Gambar 3.20. T - s diagram untuk gas dan uap	36
Gambar 3.21. Effisiensi thermal turbin gas di dalam <i>combined cycle plant</i> sebagai fungsi inlet turbin (t_1) dan suhu exhaust gas (t_2), (a) Sistem turbin gas dan (b) Sistem combined cycle	38
Gambar 3.22. Aliran Energi Di Dalam HRSG	39
Gambar 3.23. Diagram Temperature / Heat Pada HRSG	39
Gambar 4.1. Sistem Turbin Gas	41
Gambar 4.2. Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 5.1. Pengaruh <i>Pressure Ratio</i> terhadap Effisiensi Thermal Siklus Riil GTG 1.2 dengan variasi nilai effisiensi isentropik kompresor dan turbin gas	79
Gambar 5.2. Pengaruh <i>Pressure Ratio</i> terhadap Effisiensi Thermal Siklus Riil GTG 1.3 dengan variasi nilai effisiensi isentropik kompresor dan turbin gas	80
Gambar 5.3. Pengaruh <i>Pressure Ratio</i> terhadap Effisiensi Thermal GTG 1.2 dengan variasi nilai suhu inlet turbin (T_3)	81
Gambar 5.4. Pengaruh <i>Pressure Ratio</i> terhadap Effisiensi Thermal GTG 1.3 dengan variasi nilai suhu inlet turbin (T_3)	81
Gambar 5.5. Pengaruh <i>Pressure Ratio</i> terhadap Effisiensi Pada GTG 1.2	82
Gambar 5.6. Pengaruh <i>Pressure Ratio</i> terhadap Effisiensi Pada GTG 1.3	83

Gambar 5.7. Pengaruh <i>Pressure Ratio</i> terhadap Perubahan Beban	84
Gambar 5.8. Pengaruh Perubahan Beban terhadap Effisiensi Pada GTG 1.2	84
Gambar 5.9. Pengaruh Perubahan Beban terhadap Effisiensi Pada GTG 1.3	85
Gambar 5.10. Pengaruh Perubahan Beban terhadap Effisiensi STG	85
Gambar 5.11. Pengaruh Perubahan Beban terhadap Effisiensi Pada <i>Combined Cycle</i>	86
Gambar 5.12. Pengaruh <i>Exhaust Temperature</i> terhadap Effisiensi Thermal GTG 1.2 dengan variasi nilai suhu inlet turbin (T_3)	86
Gambar 5.13. Pengaruh <i>Exhaust Temperature</i> terhadap Effisiensi Thermal GTG 1.3 dengan variasi nilai suhu inlet turbin (T_3)	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbedaan PLTU dan PLTGU	11
Tabel 2.2. Kapasitas Terpasang per Unit Bisnis Pembangkit	12
Tabel 2.3. Kapasitas Terpasang di PT Indonesia Power UBP Semarang	13
Tabel 5.1. Hasil Perhitungan Effisiensi Aktual Sistem Turbin Gas	45
Tabel 5.2. Hasil Perhitungan Effisiensi Isentropik Kompresor	50
Tabel 5.3. Hasil Perhitungan Daya Aktual Turbin Gas	52
Tabel 5.4. Hasil Perhitungan Nilai h_3	55
Tabel 5.5. Hasil Perhitungan Nilai h_{4a}	57
Tabel 5.6. Hasil Perhitungan Energi Gas Buang dari Turbin Gas	58
Tabel 5.7. Hasil Perhitungan Nilai T_3	60
Tabel 5.8. Hasil Perhitungan Effisiensi Isentropik Turbin	62
Tabel 5.9. Hasil Perhitungan Effisiensi Thermal Siklus Riil	64
Tabel 5.10. Hasil Perhitungan Effisiensi Aktual Sistem Turbin Uap	65
Tabel 5.11. Hasil Perhitungan Kalor Gas Buang Pada Stack	67
Tabel 5.12. Hasil Perhitungan Effisiensi Pada HRSG	70
Tabel 5.13. Hasil Perhitungan Effisiensi Ideal Sistem Turbin Uap	72
Tabel 5.14. Hasil Perhitungan Effisiensi Aktual <i>Combined Cycle</i>	73
Tabel 5.15. Hasil Perhitungan Effisiensi Ideal <i>Combined Cycle</i>	74
Tabel 5.16. Hasil Perhitungan NHR (<i>Net Heat Rate</i>) Effisiensi Ideal	75
Tabel 5.17. Hasil Perhitungan NHR (<i>Net Heat Rate</i>) Effisiensi Aktual	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data Operasi Blok I PLTGU Tambak Lorok Semarang	91
Lampiran 2.	Hasil Perhitungan GTG 1.2	103
Lampiran 3	Hasil Perhitungan GTG 1.3	107
Lampiran 4	Hasil Perhitungan HRSG 1.2	111
Lampiran 5	Hasil Perhitungan HRSG 1.3	113
Lampiran 6	Hasil Perhitungan STG dan Kondenser	115
Lampiran 7	Hasil Perhitungan <i>Combined Cycle</i>	119
Lampiran 8	Skema PLTGU Tambak Lorok Semarang	121