

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
INTISARI	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Konservasi Energi	5
2.2. Audit Energi	7
2.2.1. Pengertian audit energi	7
2.2.2. Tahapan audit energi	8
2.2.3. Jenis-jenis audit energi	10
2.2.4. Tinjauan audit energi	12
2.2.5. Pentingnya audit energi	12
2.2.6. Audit energi <i>flare gas</i>	13

BAB III DASAR TEORI	14
3.1. Faktor Volume Gas	14
3.2. Reaksi Kimia	15
3.3. Teori Pembakaran	16
3.3.1. Proses pembakaran sempurna dan tidak sempurna	19
3.3.2. Konsep udara pembakaran berlebih	20
3.3.3. Temperatur api adiabatik	22
3.4. Udara	22
3.5. Bahan Bakar (<i>fuel</i>)	22
3.5.1. Bahan bakar gas	23
3.5.2. Sifat-sifat bahan bakar gas	23
3.5.3. Komposisi campuran gas	24
3.5.4. Hubungan tekanan, volume, dan temperatur campuran gas	25
3.6. Nilai Kalor	25
3.7. Analisis Mol	30
3.8. Analisis Massa	32
3.9. Analisis Energi	33
BAB IV METODE PENELITIAN	36
4.1. Tempat dan Waktu Penelitian	36
4.2. Objek Penelitian	36
4.3. Peralatan yang Digunakan	36
4.4. Parameter Penelitian	37
4.5. Metode Pengumpulan Data	38
4.6. Diagram Alir	39
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	42
5.1. Proses Produksi	42
5.2. Analisis Data Perhitungan <i>Flare gas</i>	44
5.2.1. Analisis laju alir massa	47
5.2.1.1. Analisis total laju alir massa <i>flare gas</i>	4
5.2.1.2. Analisis mol komponen <i>flare gas</i>	52
5.2.1.3. Analisis massa komponen <i>flare gas</i>	56

5.2.2. Analisis laju energi kalor <i>flare gas</i>	59
5.3. Rekomendasi	66
5.3.1. <i>Micro Gas Turbine</i>	67
5.3.1.1 <i>Micro Gas Turbine C30 (MGT C30)</i>	69
5.3.1.1.1 Analisis kelayakan	71
5.3.1.1.2 Analisis penghematan energi	72
5.3.1.2 <i>Micro Gas Turbine C60 (MGT C60)</i>	74
5.3.1.2.1 Analisis kelayakan	77
5.3.1.2.2 Analisis penghematan energi	77
5.3.1.3 Analisis biaya untuk pemanfaatan MGT (C30 dan C60)	80
5.3.2. <i>Absorption Chiller</i>	84
5.3.2.1 <i>Absorption chiller BYZ 20</i>	88
5.3.2.1.1 Analisis kelayakan	88
5.3.2.1.2 Analisis penghematan energi	89
5.3.2.2 <i>Absorption chiller BYZ 50</i>	90
5.3.2.2.1 Analisis kelayakan	90
5.3.2.2.2 Analisis penghematan energi	91
5.3.2.3 Analisis biaya untuk pemanfaatan BYZ 20 BYZ 50	92
BAB VI PENUTUP	97
6.1. Kesimpulan	97
6.2. Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Konsumsi energi per kapita vs intensitas energi	6
Gambar 3.1. Hubungan antara CO ₂ & udara berlebih	21
Gambar 3.2. Hubungan antara oksigen sisa dan udara berlebih	21
Gambar 3.3. Skema reaksi pembakaran	28
Gambar 5.1. Diagram proses produksi	42
Gambar 5.2. <i>Flare</i>	43
Gambar 5.3. Grafik laju alir massa <i>flare gas</i> Bulan Maret 2010	50
Gambar 5.4. Grafik laju alir massa <i>flare gas</i> Bulan April 2010	50
Gambar 5.5. Grafik laju alir massa <i>flare gas</i> Bulan Mei 2010	51
Gambar 5.6. Grafik laju alir massa <i>flare gas</i> Bulan Juni 2010	51
Gambar 5.7. Grafik laju energi kalor <i>flare gas</i> Bulan Maret 2010	64
Gambar 5.8. Grafik laju energi kalor <i>flare gas</i> Bulan April 2010	65
Gambar 5.9. Grafik laju energi kalor <i>flare gas</i> Bulan Mei 2010	65
Gambar 5.10. Grafik laju energi kalor <i>flare gas</i> Bulan Juni 2010	66
Gambar 5.11. Siklus Brayton	67
Gambar 5.12. Pemanfaatan MGT C30 di industri minyak mentah	68
Gambar 5.13. MGT C30	70
Gambar 5.14. Pengaruh <i>ambient temperature</i> terhadap <i>net efficiency</i> MGT C30	71
Gambar 5.15. <i>Net Efficiency</i> MGT C30 (<i>ambient temperature</i> = 93,2°F)	73
Gambar 5.16. MGT C60	75
Gambar 5.17. Pengaruh <i>ambient temperature</i> terhadap <i>net efficiency</i> MGT C60	76
Gambar 5.18. <i>Net Efficiency</i> MGT C60 (<i>ambient temperature</i> = 93,2°F)	78
Gambar 5.19. Harga <i>Micro Gas Turbine</i>	81
Gambar 5.20. Gambaran skematis siklus refrigerasi kompresi uap	84
Gambar 5.21. Skema sistem pendinginan absorpsi	85
Gambar 5.21. Biaya perawatan dari mesin pendingin absorpsi	93

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. <i>Heating Value</i>	27
Tabel 3.2. <i>Enthalpy of formation</i>	29
Tabel 3.3. Contoh komposisi <i>flare gas</i>	30
Tabel 5.1. Data kapasitas <i>flare gas</i>	44
Tabel 5.2. Laju alir massa <i>flare gas</i>	49
Tabel 5.3. Komposisi <i>flare gas</i>	52
Tabel 5.4. Laju alir mol dan massa komponen <i>flare gas</i>	59
Tabel 5.5. Laju energi kalor komponen <i>flare gas</i>	62
Tabel 5.6. Laju energi kalor <i>flare gas</i>	63
Tabel 5.7. Analisis kelayakan <i>flare gas</i> sebagai bahan bakar MGT C30	71
Tabel 5.8. Analisis kelayakan <i>flare gas</i> sebagai bahan bakar MGT C60	77
Tabel 5.9. <i>Operation and maintenance costs</i> dari MGT	81
Tabel 5.10. Analisis biaya pemanfaatan MGT C30 dan MGT C60	83
Tabel 5.11. Data spesifikasi <i>absorption chiller</i> BYZ 20 dan BYZ 50	87
Tabel 5.12. Analisis biaya pemanfaatan mesin pendingin absorpsi BYZ 20 dan BYZ 50	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Lay Out</i> Sistem Perpipaan untuk <i>Flare gas</i> di Salah Satu Perusahaan Pengolahan Minyak Mentah di Sumatra Selatan	101
Lampiran 2. Bahan Bakar MGT C30 dan MGT C60	102
Lampiran 3. Tekanan dan Temperatur Bahan Bakar MGT C30 dan MGT C60	103
Lampiran 4. Data Spesifikasi MGT C30 dan MGT C60	104
Lampiran 5. Hubungan <i>Ambient Temperature</i> dengan <i>Net Efficiency</i> MGT C30	105
Lampiran 6. Hubungan <i>Ambient Temperature</i> dengan <i>Net Efficiency</i> MGT C60	106
Lampiran 7. <i>Gaseous Composition and Properties Requirements</i>	107
Lampiran 8. Dimensi dan Berat MGT C30 dan MGT C60	108
Lampiran 9. Data <i>Direc Fired Chiller Performance</i> dari <i>Broad Air Conditioning</i>	109
Lampiran 10. Data Spesifikasi <i>Air Cooled Screw</i> dari <i>Thermo Q</i>	110
Lampiran 11. Kurs Valas (Valuta Asing)	111
Lampiran 12. Properti Bahan Bakar	112
Lampiran 13. Berat Molekul	113

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AFR	: <i>Air-fuel ratio</i>
B_g	: Faktor volume gas (ft ³ /SCF)
COP	: <i>Coeficien Of Performance</i>
ΔE_{sistem}	: Perubahan energi sistem ((kJ)
$\Delta E_{keadaan}$	: Perubahan energi keadaan (kJ)
ΔE_{kimia}	: Perubahan energi kimia (kJ)
$\bar{h}$	: Enthalpi (kJ/kmol)
$\bar{h}^o$	: Enthapi pada kondisi standart, 25°C dan 1atm (kJ/kmol)
$\bar{h}_f^o$	: Enthapli standart pembentukan, 25°C dan 1atm (kJ/kmol)
h_{fg}	: Enthalpi penguapan air pada temperatur tertentu (kJ/kmol)
H_{produk}	: Enthapli produk (kJ/kmol)
$H_{reaktan}$	: Enthapli reaktan (kJ/kmol)
HV	: <i>Heating Value</i> (kJ/kg)
HHV	: <i>Higher Heating Value</i> (kJ/kg)
LHV	: <i>Lower Heating Value</i> (kJ/kg)
$LHV_{flare\ gas}$	: <i>Lower Heating Value of flare gas</i> (kJ/kg)
LHV_{CH_4}	: <i>Lower Heating Value CH₄</i> (kJ/kg)
$LHV_{C_2H_6}$	: <i>Lower Heating Value C₂H₆</i> (kJ/kg)
$LHV_{C_3H_8}$	: <i>Lower Heating Value C₃H₈</i> (kJ/kg)
$LHV_{C_4H_{10}}$	: <i>Lower Heating Value C₄H₁₀</i> (kJ/kg)
$LHV_{C_5H_{12}}$	: <i>Lower Heating Value C₅H₁₂</i> (kJ/kg)
$LHV_{C_6H_{14}}$	: <i>Lower Heating Value C₆H₁₄</i> (kJ/kg)
$LHV_{C_7H_{16}}$	: <i>Lower Heating Value C₇H₁₆</i> (kJ/kg)
$LHV_{C_8H_{18}}$	: <i>Lower Heating Value C₈H₁₈</i> (kJ/kg)
$LHV_{C_9H_{20}}$	: <i>Lower Heating Value C₉H₂₀</i> (kJ/kg)

$LHV_{C_{10}H_{22}}$	: Lower Heating Value $C_{10}H_{22}$ (kJ/kg)
$LHV_{C_{11}H_{24}}$	: Lower Heating Value $C_{11}H_{24}$ (kJ/kg)
LHV_{fuel}	: Lower Heating Value bahan bakar (kJ/kg)
m	: Massa (kg)
m_{udara}	: Massa udara pembakaran (kg)
$m_{bahan\ bakar}$	: Massa bahan bakar (kg)
$\dot{m}_{fuel}$	: Laju alir massa bahan bakar (kg/jam)
$m_{udara,a}$	: Massa aktual udara pembakaran (kg)
$m_{udara,s}$	: Massa teoritis udara pembakaran (kg)
m_m	: Massa total campuran gas (kg)
m_i	: Massa komponen i (kg)
M	: Berat molekul zat (kg/mol)
M_m	: Berat molekul campuran gas
M_i	: Berat molekul molekul gas komponen i (kg/mol)
$\dot{m}_{flare\ gas}$	: Laju alir massa <i>flare gas</i> (kg/jam)
$\dot{m}_{CH_4}$	: Laju alir massa CH_4 (kg/jam)
$\dot{m}_{C_2H_6}$	: Laju alir massa C_2H_6 (kg/jam)
$\dot{m}_{C_3H_8}$	: Laju alir massa C_3H_8 (kg/jam)
$\dot{m}_{C_4H_{10}}$	: Laju alir massa C_4H_{10} (kg/jam)
$\dot{m}_{C_5H_{12}}$	: Laju alir massa C_5H_{12} (kg/jam)
$\dot{m}_{C_6H_{14}}$	: Laju alir massa C_6H_{14} (kg/jam)
$\dot{m}_{C_7H_{16}}$	: Laju alir massa C_7H_{16} (kg/jam)
$\dot{m}_{C_8H_{18}}$	: Laju alir massa C_8H_{18} (kg/jam)
$\dot{m}_{C_9H_{20}}$	: Laju alir massa C_9H_{20} (kg/jam)
$\dot{m}_{C_{10}H_{22}}$	: Laju alir massa $C_{10}H_{22}$ (kg/jam)
$\dot{m}_{C_{11}H_{24}}$	: Laju alir massa $C_{11}H_{24}$ (kg/jam)
$\dot{m}_{N_2}$	: Laju alir massa N_2 (kg/jam)

$\dot{m}_{CO_2}$	: Laju alir massa CO ₂ (kg/jam)
N	: Jumlah mol (mol)
N_m	: Jumlah mol total campuran gas (mol)
N_i	: jumlah mol komponen i (mol)
n	: komponen campuran gas
N_{produk}	: Mol produk (mol)
$N_{reaktan}$	: Mol reaktan (mol)
$\dot{N}_{CH_4}$	: Laju alir mol CH ₄ (kmol/jam)
$\dot{N}_{C_2H_6}$	: Laju alir mol C ₂ H ₆ (kmol/jam)
$\dot{N}_{C_3H_8}$	: Laju alir mol C ₃ H ₈ (kmol/jam)
$\dot{N}_{C_4H_{10}}$	: Laju alir mol C ₄ H ₁₀ (kmol/jam)
$\dot{N}_{C_5H_{12}}$	: Laju alir mol C ₅ H ₁₂ (kmol/jam)
$\dot{N}_{C_6H_{14}}$	: Laju alir mol C ₆ H ₁₄ (kmol/jam)
$\dot{N}_{C_7H_{16}}$	: Laju alir mol C ₇ H ₁₆ (kmol/jam)
$\dot{N}_{C_8H_{18}}$	: Laju alir mol C ₈ H ₁₈ (kmol/jam)
$\dot{N}_{C_9H_{20}}$	: Laju alir mol C ₉ H ₂₀ (kmol/jam)
$\dot{N}_{C_{10}H_{22}}$	: Laju alir mol C ₁₀ H ₂₂ (kmol/jam)
$\dot{N}_{C_{11}H_{24}}$	: Laju alir mol C ₁₁ H ₂₄ (kmol/jam)
$\dot{N}_{N_2}$	: Laju alir mol N ₂ (kmol/jam)
$\dot{N}_{CO_2}$	: Laju alir mol CO ₂ (kmol/jam)
p	: Tekanan (psia)
$P_{MGT\ C30}$	: Daya <i>Micro Gas Turbine</i> C30 (kW)
$P_{MGT\ C60}$	: Daya <i>Micro Gas Turbine</i> C60 (kW)
PP	: <i>Payback period</i> (th atau bulan)
p_{pcm}	: Tekanan <i>pseudocritical</i> (psia)
P_{pr}	: Tekanan <i>pseudoreduced</i>
$\dot{Q}_{CH_4}$	: Laju energi kalor CH ₄ (kJ/jam)

$\dot{Q}_{C_2H_6}$	: Laju energi kalor C_2H_6 (kJ/jam)
$\dot{Q}_{C_3H_8}$	: Laju energi kalor C_3H_8 (kJ/jam)
$\dot{Q}_{C_4H_{10}}$	: Laju energi kalor C_4H_{10} (kJ/jam)
$\dot{Q}_{C_5H_{12}}$	: Laju energi kalor C_5H_{12} (kJ/jam)
$\dot{Q}_{C_6H_{14}}$	: Laju energi kalor C_6H_{14} (kJ/jam)
$\dot{Q}_{C_7H_{16}}$	: Laju energi kalor C_7H_{16} (kJ/jam)
$\dot{Q}_{C_8H_{18}}$	: Laju energi kalor C_8H_{18} (kJ/jam)
$\dot{Q}_{C_9H_{20}}$	: Laju energi kalor C_9H_{20} (kJ/jam)
$\dot{Q}_{C_{10}H_{22}}$	: Laju energi kalor $C_{10}H_{22}$ (kJ/jam)
$\dot{Q}_{C_{11}H_{24}}$	: Laju energi kalor $C_{11}H_{24}$ (kJ/jam)
$\dot{Q}_{flare\ gas}$	: Laju energi kalor <i>flare gas</i> (kJ/jam)
R_m	: konstanta campuran gas
R_u	: Konstanta gas universal (1545 ft lb/ mol °R)
SFC	: <i>Specific Fuel Consumption</i> (kg/kW)
T	: Temperatur (K)
T_{pcm}	: Temperatur <i>pseudocritical</i> (°R)
T_{pr}	: Temperatur <i>pseudoreduced</i>
$\dot{V}$	: Kapasitas <i>flare gas</i> (m ³ /jam)
ν_M	: Volume (ft ³ /mol)
$\dot{V}_s$	: Kapasitas <i>flare gas</i> pada kondisi standar, 14,4 psia dan 520°R (MMSCFD)
$W_{kompresor}$	: Kerja kompresor (kW)
W_{net}	: <i>Net work</i> MGT (kW)
Z	: Faktor kompresibilitas gas
γ_g	: <i>Specific gravity</i> (berat spesifik gas)
ρ	: Densitas (kg/m ³)
ρ_{udara}	: Densitas udara (kg/m ³)

$\rho_{flare\ gas}$: Densitas *flare gas* (kg/m³)

ρ_s : Densitas *flare gas* pada kondisi standar, 14,4 psia dan 520°R
(kg/MMSCF)

η_{net} : *Net efficiency* MGT