

**ANALISIS EXERGY MESIN GAS**  
**PUSAT LISTRIK PLTMG BALAI PUNGUT 7 X 15 MW**

Kinkin Risnawati<sup>1</sup>, Romy<sup>2</sup>

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

<sup>1</sup>kinkin.risna@gmail.com, <sup>2</sup>romy\_pku@yahoo.com

**ABSTRACT**

*PLTMG have an efficiency increase of between 30-50%. This value is still not optimal because the utilization is less efficient. The engine is more often operated, the engine need maintenance for better performance. The decrease in engine performance produces wasted energy so that engine efficiency is not optimal. In addition, the maintenance process takes a long time until the engine can be operated again. This is a problem because the maintenance process is carried out on all cylinder engines. The purpose of this research are for calculating, analysing and testing of exergy destroyed in the cylinder unit of the Balai Pungut PLTMG gas fuel unit 4. From the analysis, the biggest efficiency of energy is before overhaul which is 46,3 %.*

**Keywords** : dual fuel, energy, exergy, engine, efisiensi energi

**1. Pendahuluan**

Pengefisiensian pemanfaatan energi pada mesin gas dapat dilakukan salah satunya dengan analisis *exergy*. Analisis *exergy* dilakukan untuk mengidentifikasi penurunan kualitas energi yang terjadi.

Mohammad Ameri, dkk tahun 2012 telah melakukan penelitian mengenai analisis energi dan *exergy* pada mesin *internal combustion dual fuel* bahan bakar gas dan bensin pada keadaan *steady state*. Eksperimen dilakukan pada kecepatan mesin yang berbeda-beda. Hasilnya menunjukkan bahwa sumber utama dari sistem yang tidak efisien adalah pada proses pembakaran karena terjadinya ireversibilitas.

Semakin sering mesin beroperasi, semakin turun *performance* mesinnya dan semakin meningkat kebutuhan akan pemeliharaannya. Turunnya *performance* mesin diakibatkan banyaknya energi yang terbuang sehingga efisiensi mesin tidak optimal. Selain itu proses pemeliharaan mesin membutuhkan waktu yang lama sampai mesin dapat beroperasi kembali. Hal tersebut menjadi masalah tersendiri karena proses pemeliharaan dilakukan pada semua silinder mesin.

Oleh sebab itu, penulis bermaksud untuk menganalisa besar kehilangan *exergy* dan lokasi sumber kehilangan *exergy* terbesar pada Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) Balai Pungut dengan *dual fuel* yaitu gas dan HSD pada periode sebelum dan sesudah OH. Diharapkan analisis ini dapat mempermudah dalam menganalisa gangguan. Sehingga dapat membantu proses pemeliharaan yang akan dilakukan.

**2. Metode**

Penelitian dilakukan pada mesin gas PLTMG Balai Pungut Unit 4 PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Pekanbaru. Mesin gas PLTMG Balai Pungut merupakan mesin gas *dual fuel* dengan bahan bakar gas alam dan HSD. PLTMG Balai Pungut memiliki kapasitas Daya 7 x 15 MW dengan spesifikasi *engine* wartsila 18V50DF yaitu memiliki 18 silinder dengan diameter 50 cm.

Pada tahap awal penelitian, dilakukan identifikasi masalah untuk mengetahui kondisi pembangkit yang akan dijadikan studi kasus pada tugas akhir ini. Permasalahan yang diangkat adalah mengenai identifikasi jenis, lokasi dan nilai kerugian termal pada pembangkit PLTMG.

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi ke lapangan dengan mengambil sampel data aktual operasi unit sebelum dan sesudah peneliharaan (*overhaul*). Data aktual diambil dari *logsheet* atau *daily report* pembangkit PLTMG Duri pada satu hari sebelum pemeliharaan dan setelah pemeliharaan dengan kondisi mesin gas beroperasi secara konstan.

Data aktual operasi yang diambil adalah temperatur udara masuk dan keluar kompresor, tekanan udara masuk dan keluar kompresor, temperatur gas masuk dan keluar silinder mesin, temperatur gas masuk dan keluar turbin, komposisi gas alam dan laju aliran gas yang masuk mesin, seperti ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2.

**Tabel 1 Komposisi Gas Alam**

Komposisi Gas	Volume (%)
CH <sub>4</sub>	88,878
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	4,022
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,815
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,429
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,357
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,069
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,110
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,017
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0,026
N <sub>2</sub>	0,421
CO <sub>2</sub>	3,852
H <sub>2</sub> O	0,003
TOTAL	100,000

Tabel 2 Data Aktual Operasi

Parameter	Nilai	Satuan
Temperatur Udara Masuk Kompresor	T6	304,45 K
Temperatur Udara Masuk Engine	Tudara	320,65 K
Tekanan Udara Masuk Engine	Pudara	2,24 bar
Temperatur Gas Inlet	Tgas	295,45 K
Tekanan Gas Inlet	Pgas	4,92 bar
Laju Aliran Gas	mgas	2528 kg/h
Laju Aliran HSD	mHSD	51,65 kg/h
Rasio Kompresi	r	12
	T4 A1	767,95 K
	T4 A2	774,75 K
	T4 A3	770,95 K
	T4 A4	758,35 K
	T4 A5	778,85 K
	T4 A6	763,25 K
	T4 A8	781,65 K
	T4 A9	757,35 K
Temperatur Gas Keluar Engine	T4 B1	748,15 K
	T4 B2	774,15 K
	T4 B3	763,15 K
	T4 B4	790,15 K
	T4 B5	777,15 K
	T4 B6	786,15 K
	T4 B7	771,15 K
	T4 B8	779,15 K
	T4 B9	757,15 K
Temperatur Gas Keluar Turbin	T5	694,25 K
Temperatur Ambient	T0	305,65 K

Pengolahan data dilakukan dengan melakukan perhitungan energi dan *exergy* pada tiap-tiap komponen pembangkit yaitu kompresor, mesin gas dan turbocharger. Setelah perhitungan energi pembangkit, dilanjutkan dengan melakukan perhitungan *exergy* pembangkit.

Bejan,dkk (1996) menyatakan bahwa *exergy* total suatu sistem dibagi menjadi 4 komponen, yaitu *exergy thermo mechanical* ( $\dot{X}^{TM}$ ), *exergy kimia* ( $\dot{X}^{CH}$ ), *exergy potensial* ( $\dot{X}^{PT}$ ), dan *exergy kinetik* ( $\dot{X}^{KN}$ ). Dengan catatan tidak adanya efek nuklir, magnetik, elektrikal dan tegangan permukaan. Sehingga nilai *exergy* total dinyatakan dalam persamaan berikut :

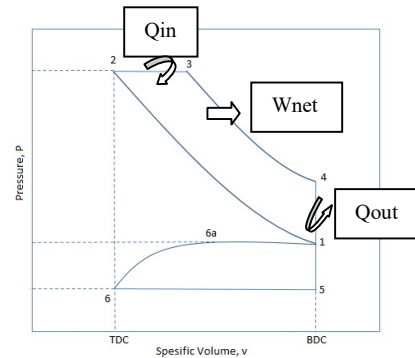
$$\dot{X} = \dot{X}^{TM} + \dot{X}^{CH} + \dot{X}^{PT} + \dot{X}^{KN} \quad (1)$$

Efisiensi energi dari tiap komponen merupakan perbandingan antara kerja yang dimanfaatkan dengan kalor masuk sistem, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

### 3. Hasil

Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) merupakan pembangkit yang mengubah energi termal menjadi energi mekanik yang digunakan untuk memutar rotor generator. Pada PLTMG udara dan gas masuk ke dalam silinder, dikompresi lalu diinjeksikan HSD sehingga terjadi pembakaran. Tekanan hasil pembakaran akan mendorong piston yang terhubung dengan poros engkol. Gerakan poros engkol digunakan untuk menggerakkan rotor generator yang merubah gerakan mekanis menjadi energi listrik.



Gambar 1 Siklus Ideal PLTMG

Berikut siklus pada PLTMG :

- ( 6 – 1 ) : Udara masuk kompresor untuk dinaikkan tekanannya.
- ( 1 – 2 ) : Udara dan gas dikompresi secara isentropik.
- ( 2 – 3 ) : Proses pembakaran secara isobar, dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada tekanan konstan.
- ( 3 – 4 ) : Langkah kerja/ekspansi secara isentropik
- ( 4 – 5 ) : Proses pembuangan dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan. Gas buang masuk ke turbocharger. Kerja turbin dimanfaatkan untuk menggerakkan kompresor.

Dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh kerja pada proses PLTMG pada periode sebelum OH, seperti ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Kerja pada Sistem PLTMG

Silinder	Wk 6-1 (kW)	Wk 1-2 (kW)	Wk 3-4 (kW)	Wk 5-6 (kW)	Wnet (kW)
1	15,91	(574,16)	1.328,80	(16,41)	754,14
2	15,91	(574,16)	1.351,13	(16,41)	776,47
3	15,91	(574,16)	1.346,06	(16,41)	771,40
4	15,91	(574,16)	1.297,10	(16,41)	722,44
5	15,91	(574,16)	1.364,54	(16,41)	789,88
6	15,91	(574,16)	1.313,31	(16,41)	738,64
7	15,91	(574,16)	1.386,36	(16,41)	811,70
8	15,91	(574,16)	1.373,68	(16,41)	799,01
9	15,91	(574,16)	1.293,79	(16,41)	719,12
10	15,91	(574,16)	1.263,21	(16,41)	688,54
11	15,91	(574,16)	1.349,17	(16,41)	774,50
12	15,91	(574,16)	1.312,98	(16,41)	738,31
13	15,91	(574,16)	1.401,28	(16,41)	826,61
14	15,91	(574,16)	1.358,99	(16,41)	784,32
15	15,91	(574,16)	1.388,31	(16,41)	813,65
16	15,91	(574,16)	1.339,32	(16,41)	764,66
17	15,91	(574,16)	1.365,52	(16,41)	790,86
18	15,91	(574,16)	1.293,12	(16,41)	718,46
Total	286,29	(10.334,93)	24.126,67	(295,31)	13.782,73

Adapun nilai kalor masuk dan kalor keluar pada sistem diperoleh pada table 4.

Tabel 4 Kalor Masuk dan Kalor Keluar Sistem

Silinder	Qin (kW)	Qout (kW)
1	1.638,10	564,20
2	1.665,92	573,65
3	1.657,78	568,37
4	1.598,65	550,91
5	1.682,63	579,37
6	1.618,81	557,69
7	1.709,86	588,73
8	1.694,03	583,27
9	1.594,53	549,53
10	1.556,53	541,67
11	1.663,47	572,97
12	1.618,40	559,49
13	1.728,49	586,99
14	1.675,71	577,43
15	1.712,29	583,71
16	1.651,20	572,26
17	1.683,86	580,42
18	1.593,71	549,30
Total	29.743,97	10.239,95

Total nilai kalor masuk sistem diperoleh sebesar 29.743,97 kW. Sehingga diperoleh efisiensi sistem sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{13.702,73 \text{ kW}}{29743,97 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 46,3\%$$

Maka diperoleh nilai efisiensi energi pada masing-masing silinder sebagai berikut :

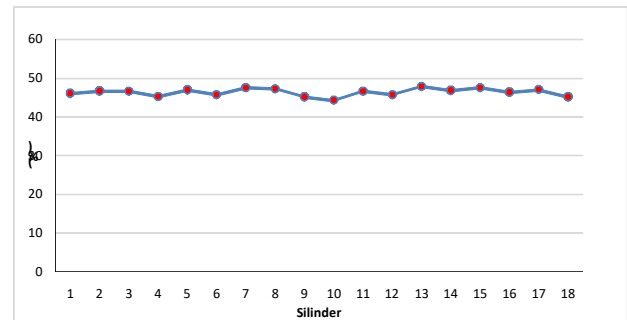
Tabel 5 Efisiensi Energi Masing-masing Silinder

Silinder	Qin (kW)	Wnet (kW)	Efisiensi Termal %
1	1.638,10	754,14	46,04
2	1.665,92	776,47	46,61
3	1.657,78	771,40	46,53
4	1.598,65	722,44	45,19
5	1.682,63	789,88	46,94
6	1.618,81	738,64	45,63
7	1.709,86	811,70	47,47
8	1.694,03	799,01	47,17
9	1.594,53	719,12	45,10
10	1.556,53	688,54	44,24
11	1.663,47	774,50	46,56
12	1.618,40	738,31	45,62
13	1.728,49	826,61	47,82
14	1.675,71	784,32	46,81
15	1.712,29	813,65	47,52
16	1.651,20	764,66	46,31
17	1.683,86	790,86	46,97
18	1.593,71	718,46	45,08
Total	29.743,97	13.782,73	46,34

#### 4. Pembahasan

Moran dan Shapiro (2006) menyatakan *exergy* merupakan ukuran kuantitas dan kualitas suatu energi. Analisis *exergy* merupakan analisis yang didasarkan pada hukum kedua termodinamika dimana proses termodinamika selalu tidak ideal sehingga terjadi penurunan kualitas energi. Sehingga perlu dilakukan perhitungan energi sebelum dilakukan analisis *exergy*. Dari analisis yang dilakukan dapat ditentukan lokasi

sumber masalah terbesar dalam sistem, dan kemudian dapat diteliti lebih lanjut sebagai upaya pengoptimalan sistem. Berikut efisiensi energi yang diperoleh pada masing-masing silinder mesin gas dapat dilihat pada Gambar 1.



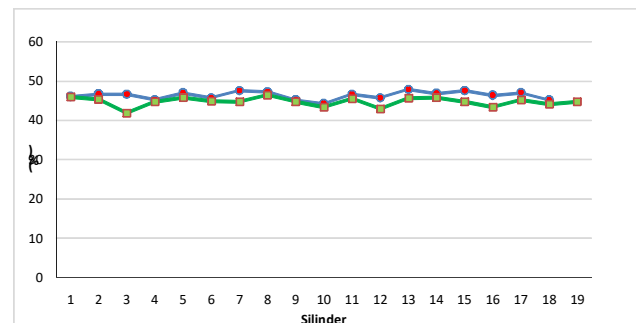
Gambar 1 *Exergy Destroyed Unit 4*

Efisiensi energi terbesar terjadi pada silinder 13, dengan efisiensi energi sebesar 47,82% dan efisiensi terendah terjadi pada silinder 10 dengan efisiensi energi sebesar 44,24%. Efisiensi yang diperoleh merupakan efisiensi energi sebelum dilakukannya *overhaul*. Berikut nilai efisiensi energi sebelum dan sesudah *overhaul* dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Efisiensi Energi Sebelum dan Sesudah OH

Silinder	Sebelum OH			Setelah OH		
	Qin (kW)	Wnet (kW)	Efisiensi Termal (%)	Qin (kW)	Wnet (kW)	Efisiensi Termal (%)
1	1638,10	754,140	46,04	1818,77	835,51	45,94
2	1665,92	776,469	46,61	1782,73	806,61	45,25
3	1657,78	771,396	46,53	1656,75	693,45	41,86
4	1598,65	722,438	45,19	1751,92	781,87	44,63
5	1682,63	789,879	46,94	1808,02	826,89	45,73
6	1618,81	738,644	45,63	1764,01	791,58	44,87
7	1709,86	811,700	47,47	1756,50	785,56	44,72
8	1694,03	799,012	47,17	1844,75	856,31	46,42
9	1594,53	719,124	45,10	1752,75	782,54	44,65
10	1556,53	688,545	44,24	1687,40	730,01	43,26
11	1663,47	774,503	46,56	1797,25	818,26	45,53
12	1618,40	738,314	45,62	1670,98	716,79	42,90
13	1728,49	826,612	47,82	1799,32	819,92	45,57
14	1675,71	784,324	46,81	1807,19	826,23	45,72
15	1712,29	813,648	47,52	1754,84	784,22	44,69
16	1651,20	764,661	46,31	1691,60	733,39	43,35
17	1683,86	790,858	46,97	1777,32	802,27	45,14
18	1593,71	718,461	45,08	1728,52	763,07	44,15
TOTAL	29743,97	13782,728	46,338	31650,62	14154,485	44,721

Efisiensi energi setelah *overhaul* diperoleh sebesar 44,72%. Nilai efisiensiya turun dibandingkan sebelum *overhaul* dengan efisiensi sebesar 46,34%.



Gambar 2 Efisiensi Energi dan *Exergy*

Dari grafik di atas (Gambar 2), efisiensi energi terbesar terjadi sebelum *overhaul* yaitu pada silinder 13 (47,82%), namun rata-rata efisiensi energi pada setiap silinder mengalami penurunan setelah dilakukannya *overhaul*.

Penurunan terjadi karena perbedaan kualitas input produk yang masuk ke sistem. Setelah dilakukannya perhitungan energi, maka perhitungan dan analisis *exergy* dapat dilakukan.

Analisis *exergy* dapat dilakukan sebelum dilaksanakannya *overhaul* agar dapat menganalisa kondisi komponen mesin, sehingga pemeliharaan hanya dilakukan pada komponen yang mengalami penurunan efisiensi.

## 5. Simpulan

Simpulan dari perhitungan yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Pada periode sebelum *overhaul*, efisiensi energi diperoleh sebesar 35,6% dan setelah *overhaul* sebesar 35,7%.
2. Efisiensi energi terbesar terjadi pada silinder 13 dengan efisiensi 47,82%.

## Daftar Pustaka

- Cengel, Y. A, dkk. 2015. *Thermodinamic An Engineering Approach* (8th ed). New York : Mc Graw-Hill Education.
- Bejan, Adrian, dkk. 1996. *Thermal Design and Optimization*. New York. John Wiley & Sons, inc.
- Pulkrabek, Willard W. 2004. *Engineering Fundamental of The Internal Combustion Engine* (2nd ed). New Jersey: Prentice Hall.
- Moran, M.J., Shapiro, H. N. 2006. *Fundamental of Engineering Thermodinamics* (5th ed). Southern Gate : John Wiley & Sons, Inc.
- K. Rezapour. Dkk. 2012. "Exergy Analysis of A Bi Fuel SI Engine". *9th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamic.*
- Chaundhary, Sagar. 2015. "Review of energy and exergy analysis on internal combustion engine". IJMEFT.
- \_\_\_\_\_. 2009. *Wartsila 50DF Engine Technology*. Wartsila Corporation.
- Ameri, Mohammad. Dkk. 2012. "Comparative Analysis of the Performance of a dual fuel internal combustion engine for CNG and Gasoline Fuels". Department of Mechanical Engineering.