

PENJADWALAN OPERASI PEMBANGKIT PLTG GUNUNG MEGANG BERDASARKAN BIAYA BAHAN BAKAR

Yusro Hakimah*)

Abstrak: Biaya bahan bakar pada umumnya adalah biaya paling besar yaitu kira-kira 60 persen dari biaya operasi keseluruhan. Pengendalian biaya operasi ini merupakan hal yang pokok karena optimalisasi biaya bahan bakar dapat menghemat biaya operasi serta dapat menghasilkan keuntungan yang maksimal bagi perusahaan.

Konfigurasi pembebanan atau penjadwalan pembangkit yang berbeda dapat mengakibatkan biaya operasi pembangkit yang berbeda pula, tergantung dari karakteristik masing-masing unit pembangkit yang dioperasikan. Penjadwalan pembangkit sangat penting bagi pengoperasian suatu pembangkit, terutama pembangkit termal, karena berkaitan langsung dengan biaya bahan bakar.

Adapun kombinasi kerja unit pembangkit yang paling ekonomis adalah untuk keluaran daya dengan beban sebesar 40 MW, maka biaya bahan bakar paling ekonomis 801,76 dolar perjam. Untuk keluaran daya dengan beban sebesar 50 MW maka biaya bahan bakar paling ekonomis 1124,38 dolar perjam. Untuk keluaran daya sebesar 60 MW maka biaya bahan bakar paling ekonomis 1314,22 dolar perjam. Untuk keluaran daya sebesar 80 MW maka biaya bahan bakar paling ekonomis 1617,5 dolar perjam.

Kata kunci: konfigurasi pembebanan, biaya bahan bakar, efisiensi

Abstract: Fuel costs in general is the biggest cost that is roughly 60 percent of overall operating costs. Controlling the cost of this operation is essential for the optimization of the cost of fuel can save operating costs and can produce the maximum benefit for the company.

Loading configuration or scheduling of the different plants can result in plant operating costs are different, depending on the characteristics of each generating unit operated. Generating scheduling is very important for the operation of a plant, especially the thermal power plant, as it relates directly to the cost of fuel.

The combination of work generating units are the most economical to the output power with a load of 40 MW, the most economical fuel costs 801.76 dollars perjam. Untuk output power with a load of 50 MW, the most economical fuel costs 1124.38 dollars per hour. For a power output of 60 MW, the most economical fuel costs 1314.22 dollars per hour. For sebear power output of 80 MW, the most economical fuel costs 1617.5 dollars per hour.

Keywords: loading configuration, fuel costs, efficiency

*) Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tridianti Palembang

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan ekonomi di Sumatera Selatan demikian pesat, sehingga perlu penyediaan energi listrik yang cukup untuk mendukung pertumbuhan ekonomi tersebut. Apalagi wilayah Sumatera Selatan di kenal sebagai daerah lumbung energi terutama cadangan gas yang cukup besar, sehingga memungkinkan dibangun pembangkit listrik yang berbahan bakar gas.

Dalam pengoperasian suatu pembangkit tenaga listrik tujuan utamanya adalah menyediakan tenaga listrik yang

seekonomis mungkin dengan memperhatikan mutu dan keandalan. Biaya bahan bakar pada umumnya adalah biaya

paling besar yaitu kira-kira 60 persen dari biaya operasi keseluruhan. Pengendalian biaya operasi ini merupakan hal yang pokok karena optimalisasi biaya bahan bakar dapat menghemat biaya operasi serta dapat menghasilkan keuntungan yang maksimal bagi perusahaan.

Karena itulah, penulis tertarik untuk mengambil judul “ Optimalisasi Operasi Pembangkit PLTG Gunung Megang.

Berdasarkan Biaya Bahan Bakar” untuk memberikan solusi bagaimana melakukan konfigurasi pembebanan atau penjadwalan pembangkit sehingga diperoleh penghematan biaya bahan bakar dengan daya yang dihasilkan seoptimal mungkin.

Rumusan Masalah

Agar dapat menghasilkan produksi listrik yang lebih ekonomis dengan biaya bahan bakar yang minimum, maka permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Berapa besar biaya bahan bakar dalam setiap pengoperasian masing – masing – masing unit pembangkit
2. Menentukan unit mana yang paling ekonomis atau hemat

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai adalah menghitung besarnya biaya bahan bakar masing – masing unit pembangkit dalam setiap pengoperasiannya dan menentukan konfigurasi pembebanan atau kombinasi kerja diantara unit pembangkit yang ada agar didapat pembebanan yang optimal dengan biaya yang lebih ekonomis.

LANDASAN TEORI

Karakteristik Ekonomi Pembangkit Tenaga Listrik

Berikut ini adalah karakteristik atau parameter ekonomi yang digunakan pada pembangkit tenaga listrik :

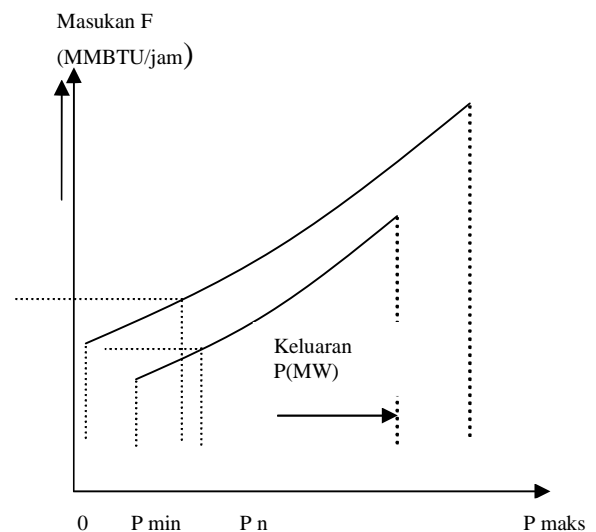
Biaya Produksi

Biaya produksi adalah semua biaya yang dikeluarkan untuk mengoperasikan pembangkit sehingga menghasilkan tenaga listrik. Biaya produksi berdasarkan hubungannya dengan besar daya keluaran pembangkit, dapat dibedakan atas biaya tetap (fixed cost) dan biaya tidak tetap (variable cost)

1. Biaya tetap (fixed cost) meliputi :
 - Upah karyawan
 - Biaya pemeliharaan dan perbaikan komponen
 - Biaya administrasi, dll.
2. Biaya tidak tetap (variable cost)

Karakteristik Masukan - Keluaran Pembangkit Thermal

Karakteristik masukan dan keluaran pembangkit menyatakan hubungan antara besar energi yang terkandung dalam bahan bakar (MMBTU/jam) dan besar energi listrik (MW/jam) yang dihasilkan oleh pembangkit. Bila harga ini dibagi terhadap satuan waktu akan didapat hubungan antara (MMBTU/jam) dan daya keluaran pembangkit (MW). Karakteristik ini digambarkan oleh suatu kurva masukan-keluaran pembangkit yang dapat dilihat pada gambar 1.1 yaitu suatu kurva masukan yang khas merupakan pemetaan terhadap keluaran daya dari unit pembangkit dalam MW. Untuk membangkitkan energi daya listrik sebesar P_n (MW) selama satu jam, dibutuhkan energi bahan bakar sebesar (MMBTU)



Gambar 1. Kurva masukan-keluaran suatu unit pembangkit

Kurva masukan-keluaran suatu pembangkit listrik tenaga thermal dapat diperoleh melalui beberapa cara sebagai berikut :

1. Pengetesan karakteristik (performance testing) Cara ini merupakan yang paling teliti dan baik akan tetapi sangat mahal
2. Berdasarkan data operasi (operating record)
3. Berdasarkan data pabrik (manufactures guarantee data)

Operasi Ekonomis Sistem Tenaga

Operasi ekonomis adalah proses pembagian atau penjatahan beban total kepada masing-masing unit pembangkit, seluruh unit pembangkit dikontrol terus-menerus dalam interval waktu tertentu sehingga dicapai pengoperasian yang optimal, dengan demikian pembangkitan tenaga listrik dapat dilakukan dengan cara yang paling ekonomis.

Ada beberapa metode dalam penjadwalan pembangkit dalam usaha menekan biaya operasi, yakni ;

1. Berdasarkan umur pembangkit
2. Berdasarkan rating (daya guna) pembangkit
3. Berdasarkan kriteria peningkatan biaya produksi yang sama (equal incremental cost)

Pembebanan Optimal Unit Pembangkit

Metode yang sering digunakan sekarang adalah metode peningkatan biaya produksi yang sama bagi setiap unit. Metode ini lebih baik karena solusinya berdasarkan kriteria ekonomis, yaitu biaya pembangkitan (pengoperasian) minimum. Permasalahan yang dihadapi pada jadwal kerja terdiri dari 2 masalah yang saling berkaitan, kedua masalah tersebut adalah :

1. Unit Commitment, yaitu penentuan kombinasi unit-unit pembangkit yang bekerja dan tidak perlu bekerja pada suatu periode untuk memenuhi kebutuhan beban sistem pada periode tersebut dengan biaya yang ekonomis.
2. Economic Dispatch, yaitu menentukan keluaran masing-masing unit yang bekerja dalam melayani beban, pada batas minimum dan maksimum keluarannya, untuk meminimasi rugi-rugi saluran dan biaya produksi.

Suatu sistem yang kebutuhan bebannya disuplai oleh lebih dari satu pembangkit thermal, maka biaya bahan bakar sistem merupakan penjumlahan dari masing-masing unitnya. Persamaan yang berlaku dinyatakan sebagai berikut :

$$F = \sum_{i=1}^m a_i + b_i.P_i + c_i.P_i^2 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

sedangkan total daya beban sistem adalah :

$$P_t = \sum_{i=1}^m P_i \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk mencari efisiensi biaya bahan bakar dari persamaan diatas, maka turunan pertama dari persamaan 1 adalah nilai optimalnya (exstrem minimum).

Sehingga :

$$dF_i / dP_i = 0 \quad (i=1, \dots, m)$$

Oleh karena persamaan (2) harus bernilai tetap yakni jumlah pembebanan unit-unit pembangkit sama dengan beban sistem, dan bila incremental fuel consumption dari lagrange multiplier dinyatakan sebagai, maka kondisi optimal pembangkit dicapai :

$$dF_i / dP_i - \lambda = 0 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk mencapai nilai efisiensi sistem, maka unit-unit pembangkit harus dioperasikan dengan pertambahan pemakaian bahan bakar (λ) yang sama atau dikenal dengan equal incremental cost loading principle, sehingga berlaku persamaan berikut :

$$\lambda = dF_1 / dP_1 = dF_2 / dP_2 = \dots\dots\dots (2.4)$$

Penyelesaian lain dapat juga dilakukan dengan :

$$F_i(P_i) = a_i + b_i.P_i + c_i.P_i^2$$

Dengan persamaan (2.6) , didapat :

$$b_i + 2.c_i.P_i - \lambda = 0$$

sehingga λ adalah :

$$\lambda = 2 P_t + \sum_{i=1}^m (b_i/c_i) \quad \dots\dots\dots (2.5) \quad \frac{\dots\dots\dots}{c_i^{-1}}$$

Sedangkan pembebanan untuk masing-masing unit pembangkit diperoleh dengan persamaan berikut :

$$P_i = \frac{\lambda - b_i}{2c_i} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

- F_T = biaya bahan bakar total
- $F_i(P_i)$ = biaya bahan bakar untuk pembangkit ke - i
- P_i = beban unit pembangkit ke - i
- n = jumlah unit - unit pembangkit

- i = indeks nomor unit - unit pembangkit
- λ = biaya bahan bakar tambahan (MMBTU/jam)
- a_i = konstanta a untuk pembangkit ke - i
- b_i = konstanta b untuk pembangkit ke - i
- c_i = konstanta c untuk pembangkit ke - i

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi dan Waktu

Pengambilan data dilakukan di PT. Meppo-Gen UP. Gunung Megang Muara Enim. Pengambilan data berupa data masukan bahan bakar terhadap keluaran daya serta harga bahan bakar pada saat data tersebut diperoleh.

Operasi Pembangkit PLTG Gunung Megang

PLTG Gunung Megang pada saat ini mempunyai dua unit pembangkit yang menyuplai energi listrik ke PT. PLN dengan kapasitas kontrak sebesar 80 MW. Dimana

pengaturan beban pada pusat pembangkit disesuaikan dengan permintaan beban dari dispatcher dalam hal ini adalah PT. PLN P3B Sumatera yang berpusat di Padang, sesuai dengan rencana operasi harian (ROH) yang dikirimkan secara kontinyu kepada PLTG Gunung Megang. Adapun variasi permintaan beban yang sering dilakukan oleh PT. PLN P3B Sumatera pada PLTG Gunung Megang adalah 40 MW, 50 MW, 60 MW, dan 80 MW. Sedangkan PLTG Gunung Megang setiap minggu mengirimkan Rencana Daya Mampu Netto (RDM) kepada PT. PLN P3B Sumatera yang menyatakan kesiapan operasi pembangkit.

Tabel 3.1 Data pembangkit PLTG Gunung Megang

UNIT 1 & 2	
GAS TURBIN	
MERK	GENERAL ELECTRIC
TYPE/MODEL	LM 6000 PC NDEG 10 GT (UNIT 1) & 25 GT (unit 2)
NO.SERIE	191-537 (Unit 1) & 191-572 (Unit 2)
POWER (KW)	43.000
MADE IN	USA / 2004 (Unit 1) & 2006 (Unit 2)
GENERATOR	
MERK	MEIDENSHA
TYPE/MODEL	FRAME 800 LL EK-AFT
NO.SERIE	1 N 7849 R1 (Unit 1) & 1N 7848 R1 (Unit 2)
POWER (KVA)	64.500
MADE IN	JAPAN

Data Masukan dan Keluaran PLTG 1 Gunung Megang

Data masukan dan keluaran PLTG Gunung Megang dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut :

Tabel 3.2 Data Beban dan Masukan Bahan Bakar PLTG 1 Gunung Megang

N	Jam	Beban (MW / jam)	Masukan Bahan Bakar (MMBTU/jam)
1	0,00	25,5	261,29
2	1,00	25,5	261,29
3	2,00	15,5	181,76
4	3,00	15,5	181,76
5	4,00	15,6	193,13
6	5,00	25,5	261,29
7	6,00	20,4	249,93
8	7,00	20,1	238,57
9	8,00	20,4	249,93
10	9,00	30,3	306,73
11	10,00	30,9	306,73
12	11,00	35,3	318,09
13	12,00	35,3	318,09
14	13,00	28,5	295,37
15	14,00	28,5	295,37
16	15,00	29,1	295,37
17	16,00	40,7	352,17
18	17,00	40,8	363,53
19	18,00	40,8	363,53
20	19,00	40,9	363,53
21	20,00	41	363,53
22	21,00	41	363,53
23	22,00	41,7	363,53
24	23,00	36,1	329,45
25	24,00	36,1	329,45
		761	7406,92

Dari data masukan dan keluaran tersebut diatas didapat persamaan kuadrat :

$$F(P_1) = a + b P_1 + c P_1^2$$

Dimana :

F (P1) = Biaya pembangkitan (Rupiah/jam)

P = Daya (MW

Data Masukan dan Keluaran PLTG 2 Gunung Megang

Data masukan dan keluaran PLTG 2 Gunung Megang dapat dilihat pada tabel 3.3 sebagai berikut :

Tabel 3.3 Data Beban dan Masukan Bahan Bakar PLTG 2 Gunung Megang

N	Jam	Beban (MW / jam)	Masukan Bahan Bakar (MMBTU/jam)
1	0.00	25.5	249.93
2	1.00	25.5	249.93
3	2.00	15.4	170.40
4	3.00	15.4	170.40
5	4.00	15.5	193.13

6	5.00	25.5	249.93
7	6.00	20.4	227.21
8	7.00	20.4	227.21
9	8.00	20.4	227.21
10	9.00	30.3	284.01
11	10.00	31	306.73
12	11.00	35.3	318.09
13	12.00	35.3	318.09
14	13.00	30.3	284.01
15	14.00	30.5	295.37
16	15.00	31.4	306.73
17	16.00	40.9	340.81
18	17.00	41.3	352.17
19	18.00	41.3	352.17
20	19.00	41.7	363.53
21	20.00	42	363.53
22	21.00	42	363.53
23	22.00	42.3	363.53
24	23.00	36.2	329.45
25	24.00	36.2	329.45
		772	7236.51

Harga Bahan Bakar

Pada pembangkit PLTG Gunung Megang, pasokan bahan bakar gas alam di suplai oleh PT. Medco E & P yang berasal dari Stasiun Medco Rambutan beserta Stasiun Lagan. Sesuai perjanjian jual beli gas antara pihak PT. Meppo-gen sebagai pemilik dan pengelola PLTG Gunung Megang dan PT. Medco E & P selaku pemasok gas sebagai bahan bakar pembangkit maka harga gas alam yang dibeli oleh PT. Meppo-gen dari pihak PT. Medco E & P adalah sebesar 2.3 dolar per MMBTU.

PERHITUNGAN DAN ANALISA

Pembentukan persamaan biaya bahan bakar (MMBTU/jam) pada PLTG 1 Gunung Megang

Hasil perhitungan data masukan – keluaran PLTG 1 Gunung Megang yang ada pada table 3.2, dengan menggunakan metode kuadrat terkecil polinom ordo 2 dapat dilihat pada table 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Perhitungan dengan metode kuadrat terkecil PLTG 1 Gunung Megang

n	(X1)	Y1	(X1) ²	(X1) ³	(X1) ⁴	(X1)Y1	(X1) ² .Y1
1	15,5	181,76	240,25	3723,875	57720,0625	2817,3544	43668,9932
2	15,5	181,76	240,25	3723,875	57720,0625	2817,3544	43668,9932
3	15,6	193,13	243,36	3796,416	59224,0896	3012,7516	46998,92434
4	20,1	238,57	404,01	8120,601	163224,0801	4795,1826	96383,1709
5	20,4	249,93	416,16	8489,664	173189,1456	5098,5026	104009,4539
6	20,4	249,93	416,16	8489,664	173189,1456	5098,5026	104009,4539
7	25,5	261,29	650,25	16581,375	422825,0625	6662,8160	169901,8067
8	25,5	261,29	650,25	16581,375	422825,0625	6662,8160	169901,8067
9	25,5	261,29	650,25	16581,375	422825,0625	6662,8160	169901,8067
10	28,5	295,37	812,25	23149,125	659750,0625	8417,9823	239912,4956

11	28,5	295,37	812,25	23149,125	659750,0625	8417,9823	239912,4956
12	29,1	295,37	846,81	24642,171	717087,1761	8595,2030	250120,4067
13	30,3	306,73	918,09	27818,127	842889,2481	9293,8614	281604,0013
14	30,9	306,73	954,81	29503,629	911662,1361	9477,8983	292867,0572
15	35,3	318,09	1246,09	43986,977	1552740,288	11228,5205	396366,7744
16	35,3	318,09	1246,09	43986,977	1552740,288	11228,5205	396366,7744
17	36,1	329,45	1303,21	47045,881	1698356,304	11893,0981	429340,8403
18	36,1	329,45	1303,21	47045,881	1698356,304	11893,0981	429340,8403
19	40,7	352,17	1656,49	67419,143	2743959,12	14333,2905	583364,9238
20	40,8	363,53	1664,64	67917,312	2771026,3296	14832,00768	605145,9133
21	40,8	363,53	1664,64	67917,312	2771026,3296	14832,0077	605145,9133
22	40,9	363,53	1672,81	68417,929	2798293,2961	14868,3606	608115,9502
23	41	363,53	1681	68921	2825761,0000	14904,7136	611093,2576
24	41	363,53	1681	68921	2825761,0000	14904,7136	611093,2576
25	41,7	363,53	1738,89	72511,713	3023738,432	15159,1843	632137,9861
n=25	761	7406,92	25113,22	878441,52	32005639,15	237908,54	8160373,30

Sehingga didapat :

$$\begin{aligned}
 n &= 25 & \sum Xi^2 &= 25113,22 & \sum Xi.Yi &= 237908,54 \\
 \sum Xi &= 761 & \sum Xi^3 &= 878441,52 & \sum Xi^2 .Yi &= 8160373,30 \\
 \sum Yi &= 7406,92 & \sum Xi^4 &= 32005639,15 & &
 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} 25 & 761 & 25113,22 \\ 761 & 25113,22 & 878441,52 \\ 25113,22 & 878441,52 & 32005639,15 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7406,92 \\ 237908,54 \\ 8160373,30 \end{bmatrix}$$

Setelah dilanjutkan dengan metode Gauss-Jordan, didapat :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 44,99978852 \\ 10,6741061 \\ -0,07330877732 \end{bmatrix} \quad (\text{Perhitungan dapat dilihat pada lampiran A})$$

Sehingga :

$$F (P_1) = a + b P_1 + c P_1^2$$

$$F_1 = 44,999788852 + 10,6741061 P_1 - 0,07330877732 P_1^2$$

$$\frac{dF_1}{dP_1} = 10,6741061 - 0,1466175546 P_1$$

Tabel 4.2 Perhitungan dengan metode kuadrat I PLTG 2 Gunung Megang

n	(X2)	Y1	(X2) ²	(X2) ³	(X2) ⁴	(X2)Y1	(X2) ² Y1
1	15.4	170.40	237.16	3652.264	56244.8656	2624.2293	40413.1312
2	15.4	170.40	237.16	3652.264	56244.8656	2624.2293	40413.13122
3	15.5	193.13	240.25	3723.875	57720.0625	2993.4391	46398.30528
4	20.4	227.21	416.16	8489.664	173189.1456	4635.0024	94554.0490
5	20.4	227.21	416.16	8489.664	173189.1456	4635.0024	94554.04896
6	20.4	227.21	416.16	8489.664	173189.1456	4635.0024	94554.04896
7	25.5	249.93	650.25	16581.375	422825.0625	6373.1283	162514.7717
8	25.5	249.93	650.25	16581.375	422825.0625	6373.1283	162514.7717
9	25.5	249.93	650.25	16581.375	422825.0625	6373.1283	162514.7717

10	30.3	284.01	918.09	27818.127	842889.2481	8605.4273	260744.4457
11	30.3	284.01	918.09	27818.127	842889.2481	8605.4273	260744.4457
12	30.5	295.37	930.25	28372.625	865365.0625	9008.7179	274765.8960
13	31	306.73	961	29791	923521	9508.5711	294765.7041
14	31.4	306.73	985.96	30959.144	972117.1216	9631.2623	302421.6375
15	35.3	318.09	1246.09	43986.977	1552740.288	11228.5205	396366.7744
16	35.3	318.09	1246.09	43986.977	1552740.288	11228.5205	396366.7744
17	36.2	329.45	1310.44	47437.928	1717252.994	11926.0429	431722.7544
18	36.2	329.45	1310.44	47437.928	1717252.994	11926.0429	431722.7544
19	40.9	340.81	1672.81	68417.929	2798293.296	13939.0881	570108.7033
20	41.3	352.17	1705.69	70444.997	2909378.3761	14544.5921	600691.6533
21	41.3	352.17	1705.69	70444.997	2909378.3761	14544.5921	600691.6533
22	41.7	363.53	1738.89	72511.713	3023738.4321	15159.1843	632137.9861
23	42	363.53	1764	74088	3111696.0000	15268.2432	641266.2144
24	42	363.53	1764	74088	3111696.0000	15268.2432	641266.2144
25	42.3	363.53	1789.29	75686.967	3201558.704	15377.3021	650459.8780
	772	7236.51	25880.62	919532.96	34010759.85	237036.07	8284674.52

Sehingga didapat :

$$\begin{aligned}
 n = 25 & \quad \sum Xi^2 = 25880,62 & \quad \sum Xi.Yi = 237036,07 \\
 \sum Xi = 772 & \quad \sum Xi^3 = 919532,96 & \quad \sum Xi^2 .Yi = 8284674,52 \\
 \sum Yi = 7236,51 & \quad \sum Xi^4 = 34010759,85
 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} 25 & 772 & 25880,62 \\ 772 & 25880,62 & 919532,96 \\ 25880,62 & 919532,96 & 34010759,85 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7236,51 \\ 237036,07 \\ 8284674,52 \end{bmatrix}$$

Setelah dilanjutkan dengan metode Gauss-Jordan, didapat :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 40,4970014 \\ 9,925257199 \\ -0,05557106409 \end{bmatrix} \quad (\text{Perhitungan dapat dilihat pada lampiran A})$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 F (P_2) &= a + b P_2 + c P_2^2 \\
 F_2 &= 40,4970014 + 9,925257199 P_2 - 0,05557106409 P_2^2
 \end{aligned}$$

$$\frac{dF_2}{dP_2} = 9,925257199 - 0,1111421282 P_2$$

Perhitungan laju biaya bahan bakar tambahan (MMBTU/jam) pada PLTG Gunung Megang

$$\begin{aligned}
 P_1 + P_2 &= 30 \Rightarrow P_2 = 30 - P_1 \\
 10,6741061 - 0,1466175546 P_1 &= 9,925257199 - 0,1111421282 P_2 \\
 10,6741061 - 0,1466175546 P_1 &= 9,925257199 - 0,1111421282 (30 - P_1) \\
 4,883112746 &= 0,2577596828 P_1 \\
 P_1 &= 15,84077347 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 44,99978852 + 10,6741061 P_1 - 0,07330877732 P_1^2 \\
 &= 44,99978852 + 10,6741061(15,84077347) - 0,07330877732 \\
 &\quad (15,84077347)^2 \\
 &= 195,6905061 \text{ MMBTU/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 450,69 \text{ \$/jam} \\
 F_2 &= 40,4970014 + 9,925257199 P_1 - 0,05557106409 P_2^2 \\
 &= 40,4970014 + 9,925257199(14,15922653) - 0,05557106409(14,15922653)^2 \\
 &= 169,8898741 \text{ MMBTU/jam} \\
 &= 390,75 \text{ \$/jam} \\
 F_T &= F_1 + F_2 = 841,44 \text{ \$/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Perhitungan laju biaya bahan bakar tambahan

P _{TOTAL} (MW)	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	Biaya bahan bakar (\\$/jam)		Biaya bahan bakar F ₁ + F ₂ (\\$/jam)
			F ₁	F ₂	
30	15.84077347	14.15922653	450.09	390.75	841.44
40	20.15262423	19.84737577	529.78	495.87	1025.65
50	24.46447498	25.53552502	603.2	566.13	1169.33
60	28.77632573	31.22367427	670.35	681.31	1351.66
70	33.08817648	36.91182352	731.23	761.63	1492.86
80	37.40002724	42.59997276	785.84	833.67	1619.51

Perhitungan pemakaian bahan bakar (MMBTU/jam) terhadap keluaran Daya pada PLTG 1 Gunung Megang

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 5 \text{ MW} \\
 F_1 &= 44,99978852 + 10,6741061P_1 \\
 &- 0,07330877732P_2^2 \\
 &= 44,99978852 + 10,6741061(5) - 0,07330877732(5)^2 \\
 &= 96,53759959 \text{ MMBTU/jam} \\
 &= 222,04 \text{ \$/jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan pemakaian bahan bakar (MMBTU/jam) terhadap keluaran Daya pada PLTG 2 Gunung Megang P₂ = 5 MW

$$\begin{aligned}
 F_2 &= 40,4970014 + 9,925257199P_2 \\
 &- 0,05557106409P_2^2 \\
 F_2 &= 40,4970014 + 9,925257199(5) \\
 &- 0,05557106409(5)^2 \\
 &= 88,7340108 \text{ MMBTU/jam} \\
 &= 204,09 \text{ \$/jam}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui biaya bahan bakar masing-masing unit pembangkit dan biaya bahan bakar pembangkit pada distribusi beban secara merata untuk suatu keluaran daya tertentu seperti terlihat pada tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.4 Biaya bahan bakar dengan distribusi beban merata

P _{TOTAL} (MW)	Distribusi beban merata				
	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	Biaya bahan bakar (\\$/jam)		Biaya bahan bakar F ₁ + F ₂ (\\$/jam)
			F ₁	F ₂	
30	15	15	433.89	406.81	840.7
40	20	20	527.06	498.58	1025.64
50	25	25	611.88	583.96	1195.84
60	30	30	688.26	662.98	1351.24
70	35	35	756.22	735.55	1491.77
80	40	40	815.74	801.76	1617.5

Analisis Biaya Bahan Bakar

Dari hasil perhitungan biaya bahan bakar unit 1 dan 2 pada PLTG Gunung Megang, maka dapat dibentuk kombinasi kerja yang

dari unit pembangkit yang mengeluarkan biaya operasi unit yang paling ekonomis untuk keluaran daya tertentu seperti tabel 4.5 berikut :

Tabel 4.5 biaya bahan bakar dengan kombinasi kerja

P_{TOTAL} (MW)	P_1 (MW)	P_2 (MW)	F_1 (\$/jam)	F_2 (\$/jam)	F_T (\$/jam)
30	0	30	0	662,95	662,95
	5	25	222,04	583,96	806
	10	20	332,14	498,58	830,72
	15	15	433,89	406,81	840,7
	20	10	527,06	308,64	835,7
	25	5	611,88	204,09	815,97
	30	0	688,26	0	688,26
40	0	40	0	801,76	801,76
	5	35	222,04	735,55	957,59
	10	30	332,14	662,95	995,09
	15	25	433,89	583,96	1017,85
	20	20	527,06	498,58	1025,64
	25	15	611,88	406,81	1018,69
	30	10	688,26	308,64	996,9
	40	0	815,74	0	815,74
50	10	40	332,14	801,76	1133,9
	15	35	433,89	735,55	1169,44
	20	30	527,06	662,95	1190,01
	25	25	611,88	583,96	1195,84
	30	20	688,26	498,58	1186,84
	35	15	756,22	406,81	1163,03
	40	10	815,74	308,64	1124,38
60	20	40	527,06	801,76	1328,82
	25	35	611,88	735,55	1347,43
	30	30	688,26	662,95	1351,21
	35	25	756,22	583,96	1340,18
	40	20	815,74	498,58	1314,32
70	30	40	688,26	801,76	1490,02
	35	35	756,22	735,55	1491,77
	40	30	815,74	662,95	1478,69
80	40	40	815,74	801,76	1617,5

Dari berbagai kombinasi kerja pembangkit dengan berbagai variasi pembebanan pada keluaran daya tertentu maka akan didapat kombinasi kerja atau pembagian pembebanan untuk masing-masing keluaran

daya tertentu yang paling rendah biaya bahan bakarnya atau kombinasi kerja yang paling ekonomis seperti yang terlihat pada table 4.6 berikut ini :

Tabel 4.6 Biaya bahan bakar kombinasi kerja paling ekonomis

Kombinasi kerja paling ekonomis					
P_{TOTAL} L (MW)	P_1 (MW)	P_2 (MW)	Biaya bahan bakar (\$/jam)		Biaya bahan bakar $F_1 + F_2$ (\$/jam)
			F_1	F_2	
30	0	30	0	662,98	662,95

40	0	40	0	801,76	801,76
50	40	10	815,74	308,64	1124,38
60	40	20	815,74	498,58	1314,32
70	40	30	815,74	662,98	1478,69
80	40	40	815,74	801,76	1617,5

Dari analisa biaya bahan bakar tersebut diatas dapat dibandingkan diantara laju biaya bahan bakar tambahan yang sama, dengan biaya bahan bakar distribusi beban secara merata serta biaya bahan

bakar dengan kombinasi kerja pembangkit dapat diketahui operasi pembangkit yang paling ekonomis seperti terlihat pada tabel 4.7 dibawah ini :

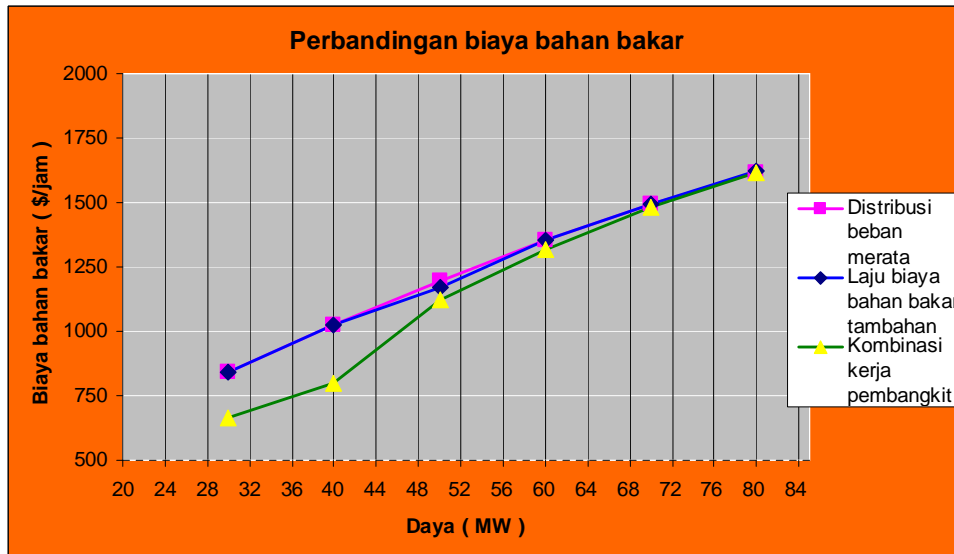
Tabel 4.7 Perbandingan Biaya Bahan Bakar

P _{TOTAL} (MW)	Distribusi beban merata				laju kenaikan biaya bahan bakar tambahan sama						Kombinasi kerja secara ekonomis					
	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	Biaya bahan bakar (\$/jam)		P _{TOTAL} (MW)	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	Biaya bahan bakar (\$/jam)		Biaya bahan bakar F ₁ + F ₂ (\$/jam)	P _{TOTAL} (MW)	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	Biaya bahan bakar (\$/jam)		Biaya bahan bakar F ₁ + F ₂ (\$/jam)
			F ₁	F ₂				F ₁	F ₂					F ₁	F ₂	
30	15	15	433,89	406,81	30	15,84077347	14,15922653	450,09	390,75	840,84	30	0	30	0	662,95	662,95
40	20	20	527,06	498,58	40	20,15262423	19,84737577	529,78	495,87	1025,65	40	0	40	0	801,76	801,76
50	25	25	611,88	583,96	50	24,46447498	25,53552502	603,2	566,13	1169,33	50	40	10	815,74	308,64	1124,38
60	30	30	688,26	662,98	60	28,77632573	31,22367427	670,35	681,31	1351,66	60	40	20	815,74	498,58	1314,32
70	35	35	756,22	735,55	70	33,08817648	36,91182352	731,23	761,63	1492,86	70	40	30	815,74	662,98	1478,69

80	40	40	81,574	801,76	1617,5	80	37,400	42,599	785,84	833,67	1619,51	80	40	40	81,574	801,76	1617,5
----	----	----	--------	--------	--------	----	--------	--------	--------	--------	---------	----	----	----	--------	--------	--------

Dari tabel 4.7 telah dapat diketahui bahwa biaya bahan bakar paling ekonomis adalah pembebanan unit pembangkit yang merupakan kombinasi kerja diantara kedua pembangkit tersebut bila dibandingkan

distribusi beban secara merata maupun dengan laju biaya bahan bakar tambahan yang sama, seperti yang terlihat pada gambar 4.1 berikut ini :



Gambar 4.1 Kurva perbandingan biaya bahan bakar

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pada beban total 40 MW maka dengan hanya mengoperasikan pembangkit unit 2 dapat menghasilkan biaya bahan bakar paling rendah yaitu sebesar 801,76 dolar per jam.
2. Pada beban 50 MW maka kombinasi kerja dengan beban unit 1 sebesar 40 MW dan unit 2 dibebani 10 MW dapat menghasilkan biaya bahan bakar yang paling rendah yaitu sebesar 1124,38 dolar per jam.
3. Pada beban 60 MW maka kombinasi kerja dengan beban unit 1 sebesar 40 MW dan unit 2 dibebani 20 MW dapat menghasilkan biaya bahan bakar yang paling rendah yaitu sebesar 1314,32 dolar per jam.
4. Pada beban 80 MW maka kombinasi kerja dengan beban unit 1 sebesar 40

MW dan unit 2 dibebani 40 MW dapat menghasilkan biaya bahan bakar yang paling rendah yaitu sebesar 1617,5 dolar per jam.

Saran

1. Pada beban plant kurang 40 MW sebaiknya hanya dioperasikan unit 2 saja.
2. Pada beban plant 50 MW, dan variasi beban plant sampai dengan 80 MW, sebaiknya unit 1 dioperasikan dengan beban sebesar 40 MW dan unit 2 memikul beban sisanya.

DAFTAR PUSTAKA

Djiteng Marsudi, "Pembangkitan Energi Listrik", Penerbit Erlangga, 2005.

Laila Kartika Sari,” Studi Operasi Ekonomis Pembangkitan PLTU dan PLTG di PT. PLN Sektor Pembangkitan Keramasan Palembang” Skripsi, Universitas Tridinanti Palembang, 2008.

William W. Bathie, “ Fundamentals of Gas Turbin “, 1984

William D. Stevenson, “Analisa Sistem Tenaga Listrik”, Edisi ke-4 Terjemahan Ir. Kamal Idris, Penerbit Erlangga, 1990.

Zulkifli. Ch, “Buku Panduan Praktikum Analisa Sistem Tenaga Listrik”, Universitas Tridinanti Palembang, 1992.