

OPTIMASI PENJADWALAN UNIT PEMBANGKIT THERMAL DENGAN DINAMICS PROGRAMMING

Anizar Indriani

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

E-mail: anizar_te@yahoo.com

ABSTRAKSI

Makalah ini membahas operasi sistem tenaga dengan total biaya operasi pembangkit yang optimal dengan metode *dynamics programming*. Pembangunan yang sangat pesat pada saat ini menyebabkan dibutuhkannya pembangunan unit-unit pembangkit guna menunjang kebutuhan akan konsumsi energi listrik. Penyaluran daya listrik dari pusat pembangkit melalui saluran transmisi ke pusat beban harus berlangsung dengan baik, dapat menghindari dan mengatasi segala yang dapat menjadikan sistem tenaga beroperasi pada kondisi operasi abnormal. Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti pembebanan, petir, proses switching dan lainnya. Perubahan beban secara tiba-tiba dapat menyebabkan terjadinya penurunan frekuensi pada generator. Penelitian ini membahas tentang penjadwalan unit pembangkit thermal dengan metode *dynamics programming* pada sistem interkoneksi Sumbar dengan biaya yang optimal.

Kata kunci: optimal, pembangkit, *dynamics programming*

1. PENDAHULUAN

Dalam mengoperasikan sistem tenaga listrik ditemui berbagai persoalan yang dapat menimbulkan penurunan kualitas serta kelangsungan supply daya listrik ke beban. Hal ini muncul sebagai akibat dari pemakaian tenaga listrik ke konsumen yang selalu berubah sepanjang waktu, biaya bahan bakar untuk memproduksi listrik (khususnya untuk pembangkit thermal) dan kondisi alam dan lingkungan yang selalu mengganggu kelancaran operasi sistem.

Persoalan yang harus dihadapi dalam pengoperasian sistem tenaga listrik adalah:

a. Pengaturan frekuensi

Untuk memenuhi kebutuhan konsumen terhadap tenaga listrik maka daya yang dibangkitkan dalam sistem tenaga listrik harus selalu sama dengan beban sistem. Hal ini dapat diamati melalui frekuensi sistem, apabila daya yang dibangkitkan dalam sistem lebih kecil daripada beban sistem maka frekuensi turun dan sebaliknya frekuensi akan naik jika daya yang dibangkitkan lebih besar dari pada beban.

b. Biaya Operasi

Pembangkit thermal membutuhkan bahan bakar sehingga sumber pembangkitan, dimana biaya operasi pembangkit ini merupakan biaya terbesar dari suatu perusahaan listrik sehingga diperlukan teknik-teknik optimisasi untuk menekan biaya operasi.

Tenaga listrik yang dibangkitkan dalam pusat-pusat pembangkit seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTP dan PLTD kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan yang ada dipusat pembangkit.

2. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA THERMAL (PLTT)

Pembangkit listrik tenaga thermal (PLTT) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi panas menjadi energi listrik, dengan memanfaatkan energi dari pembakaran dari suatu zat, dimana zat tersebut menghasilkan energi dalam bentuk aliran tekanan untuk menggerakkan turbin generator untuk menghasilkan energi listrik. Energi panas dihasilkan dari proses pembakaran terhadap bahan bakar fosil (minyak, gas, batubara dll).

Berikut ini adalah beberapa jenis pembangkit listrik tenaga thermal yang dibagi berdasarkan bahan bakar digunakan:

- Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
- Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
- Pembangkit Listrik Tenaga Minyak (PLTD)
- Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)
- Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB).

Biaya produksi menggunakan bahan bakar panas bumi (PLTPB) ini mahal karena pengeluaran dana yang besar untuk memperoleh bahan fosil. Oleh karena itu, untuk mengoperasikan sebuah unit-unit pembangkit thermal perlu dilakukan penjadwalan terhadap operasi unit pembangkit dimana biaya operasinya ekonomis.

Hal yang mendasar dalam masalah operasi ekonomis adalah bagaimana mengatur karakteristik-karakteristik masukan dan keluaran dari pembangkit daya pada unit pembangkit thermal. Adapun karakteristik dari unit turbin uap sebagai berikut:

H = Masukan Panas pada unit uap dalam Mbtu perjam (Mbtu / jam)

F = Biaya bahan bakar unit uap saat H dalam rupiah per jam (Rp/ jam).

3. BEBAN

Beban adalah pemakaian tenaga listrik dari pelanggan listrik. Karakteristik juga mempengaruhi keputusan dalam operasi ekonomis. Pola beban tersebut ditentukan oleh:

- a. Kuva beban
- b. Kurva lama Beban.

Besarnya beban sistem pada suatu unit hanya dapat diperkirakan dengan acuan beban sistem dimasa yang lalu yaitu kemampuan untuk melayani beban secara berkala.

4. OPTIMISASI UNIT PEMBANGKIT

Dalam sistem tenaga listrik yang terdiri dari sejumlah PLTA dan sejumlah Pusat Listrik Thermis, perlu dicari jalur pembagian beban antara subsistem Hidro (kelompok PLTA) dan subsistem Thermis (kelompok pusat-pusat Listrik Thermis) agar didapat operasi yang optimum bagi sistem tenaga listrik secara keseluruhan, dalam arti dicapai biaya bahan bakar yang minimum.

Untuk memecahkan persoalan ini, dalam penelitian ini ditinjau pemakaian metode *Dinamics Programming* yang tujuannya untuk mencari objective function dari suatu unit pembangkit. Objective Function disini adalah biaya bahan bakar atau biaya pembangkitan yang akan dicari minimumnya.

5. OPTIMISASI PEMBANGKIT THERMAL MENUNAKAN PROGRAMMING DINAMIS

Metode *Dinamics Programming* merupakan suatu metoda untuk mencari pilihan yang optimum diantara beberapa alternatif yang bisa ditempuh. Dalam bagian ini akan dibahas penggunaan metoda *dinamics programming* yang berupa kombinasi untuk pembangkit thermis yang terbaik untuk melayani beban tertentu agar didapat biaya bahan bakar yang minimal.

$$F_{\Delta t} = \sum_{j=1}^{j=n} F_j (P_{ij}) \cdot \Delta t$$

dimana:

$F_{\Delta t}$ = Biaya bahan bakar dalam sistem

n = jumlah unit termis

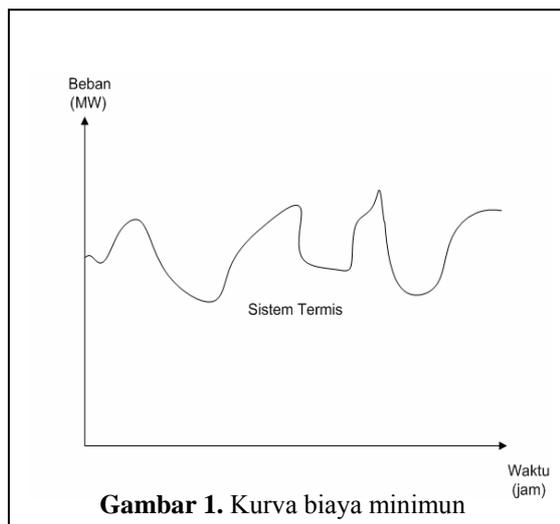
j = indeks nomor unit-unit pembangkit

$F_j (P_{ij})$ = Biaya bahan bakar unit termis ke j

P_{ij} = Beban unit termis ke j

Jika dalam sistem terdapat n unit pembangkit thermis yang siap operasi dan n unit ini akan dioperasikan menurut jalur subsistem thermis yang telah diatur sesuai uraian dalam persamaan (1), biaya start-stop unit pembangkit termis untuk sementara tidak diperhitungkan dulu, maka formulasi optimisasi biaya bahan bakar dengan

dinamics programming sebagai berikut: bila n = 1 maka beban sistem akan dibatasi oleh satu-satunya unit yang ada. Tetapi jika ada dua unit yang masing-masing kurva biayanya diketahui, untuk melayani beban sistem yang tertentu besarnya dapat dicari kombinasi dari dua unit yang ada agar biaya bahan bakar yang minimum. Dari sini bisa disusun kurva biaya minimum untuk dua unit dalam menghadapi berbagai nilai beban sistem.



Bila ada unit ke-3 dengan kurva biaya bahan bakar diketahui, maka cara seperti tersebut diatas, kurva biaya minimum dua unit yang sudah didapat digabungkan dengan biaya unit ke-3 untuk mendapatkan kurva biaya minimum dengan 3 unit dalam sistem untuk mendapatkan kurva biaya minimum dengan 3 unit dalam sistem untuk menghadapi nilai beban sistem. Begitu seterusnya dapat dilakukan hal yang serupa untuk unit ke 4 dan seterusnya dapat dilakukan hal yang serupa untuk unit ke-4 dan seterusnya sampai dengan unit ke n. Secara matematis hal ini dinyatakan sebagai berikut:

$$F_n(x) = \text{Min} \{ G_n(Y) + F_{n-1}(X - Y) \} \quad (1)$$

dimana:

$F_n(x)$ = biaya bahan bakar yang minimum dalam satuan biaya persatuan waktu (rupiah per jam) untuk n buah unit pembangkit dengan beban X MW.

$G_n(Y)$ = Biaya bahan bakar rupiah perjam untuk unit ke-n beban Y MW.

$F_{n-1}(X - Y)$ = Biaya bahan bakar yang minimum dari (n-1) unit pembangkit lainnya dengan beban (X-Y) MW.

n = 2,3,4,.....n

dengan batasan-batasan:

$$Y_{n \min} \leq Y \leq Y_{n \max}$$

$$X_{n-1 \min} \leq X \leq X_{n-1 \max}$$

dimana:

$Y_{n \min}$ dan $Y_{n \max}$ masing-masing adalah batas minimum batas maksimum dari beban (n-1) unit pembangkit yang lain.

Untuk bisa menyelesaikan persamaan (2) perlu diketahui kurva biaya bahan bakar masing-masing unit pembangkit. Kurva biaya bahan bakar setiap unit pembangkit dinyatakan oleh persamaan:

$$G_n(Y) = aP^2 + bP + c$$

dimana a, b dan c merupakan konstanta-konstanta.

Dengan menggunakan persamaan (3) maka biaya bahan bakar unit pembangkit untuk beban tertentu Y MW dapat dihitung. Dengan menggunakan data kurva biaya tersebut diatas dilakukan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Dimulai dengan n=1, yaitu apabila unit pembangkit berjumlah satu buah, tidak ada pilihan lain maka beban sistem hanya dapat dilayani oleh satu-satunya unit pembangkit yang ada, sehingga biaya minimum dapat ditulis sebagai:

$$F_1(X) = G_1(X)$$

$$\text{Dengan } X_{n-1 \min} \leq X \leq X_{n-1 \max}$$

Dimana $X_{1 \min}$ dan $X_{1 \max}$ masing-masing adalah batas beban minimum dan batas beban maksimum dari satu-satunya unit pembangkit yang ada.

2. Kemudian diteruskan dengan n=2.
 $F_2(X) = \text{Min } G_2(X) + (X - Y)$

Persamaan (5) dipecahkan dengan urutan sebagai berikut:

- a. Dipilih beban sistem X mulai dari nilai yang kecil mungkin.
Bagilah beban X untuk unit pembangkit ke 1 sebesar (X-Y) MW dan untuk unit-unit pembangkit ke 2 sebesar Y MW. Rubahlah nilai Y sehingga didapat nilai $F_2(X)$ persamaan (5) yang minimum. Setelah nilai minimum ini ditemukan catatlah nilai (X-Y) dan Y masing-masing sebagai beban unit ke-1 dan unit ke-2 untuk menghadapi beban sistem sebesar X MW yang memberikan bahan bakar minimum.
- b. Pilihlah beban sistem X yang lebih besar dan ulangilah proses perhitungan tersebut dalam butir 2a.
- c. Dengan melakukan proses perhitungan seperti tersebut dalam butir 2a. dan 2b. akhirnya pers. (5) dapat dipecahkan, artinya komposisi beban unit 1 dan unit 2 yang menghasilkan biaya bahan bakar minimum untuk berbagai nilai beban sistem dapat ditemukan sebagai $F_2(X)$.

3. Untuk n = 3.

$$F_3(X) = \text{Min} \{ G_3(Y) + F_2(X - Y) \}$$

4. Untuk n = 4,5 dan seterusnya perhitungan dilakukan dengan cara berupa seperti tersebut dalam butir (2) dan butir (3), sehingga akhirnya perhitungan dapat diperluas untuk sistem yang terdiri dari n unit pembangkit.

Langkah-langkah dalam melakukan perhitungan dengan *dynamic programming*:

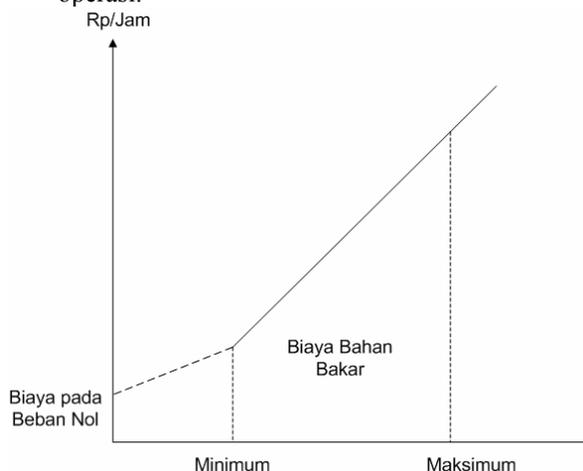
1. Batasan pembebanan minimum dan maksimum untuk setiap jumlah unit pembangkit.
2. Mulai perhitungan dengan unit pembangkit yang kecil terlebih dahulu dan kemudian tentukan besarnya langkah kenaikan nilai X seperti pada butir 2.b, dengan memperhatikan kemampuan minimum dan kemampuan maksimum dari unit pembangkit terkecil ini.
3. Biaya start-stop unit thermis seperti telah disebutkan dalam pers. dibawah ini:

$$F_{168 \text{ jam}} = \sum_{i=1}^{j=168} \sum_{j=1}^{j=n} F_j(P_{ij}) \cdot \Delta t_i$$

dimana:

$$\Delta t_i = \text{satu jam} \quad (4)$$

i = indeks nomor selang waktu ditambahkan setelah perhitungan biaya bahan bakar yang minimum ditemukan berdasarkan program jadwal operasi unit pembangkit. Biaya start-stop ini relatif kecil jika dibandingkan dengan biaya bahan bakarnya sehingga penambahan biaya start-stop umumnya tidak memberi pengaruh terhadap jumlah biaya operasi. (5)



Gambar 2. Kurva Biaya bahan bakar dari unit Pembangkit sebagai fungsi beban

Langkah-langkah Optimasi Penjadwalan unit pembangkit Hydro-Thermal menggunakan *Dynamics Programming* adalah sebagai berikut:

1. Tentukan besarnya Δt , misalnya 1 jam sehingga mulai dari i = 0 sampai i = 168 jam.

2. Sebagai masukan data perkiraan beban untuk setiap jam sebanyak 168 jam, data jadwal pemeliharaan untuk jangka waktu 168 jam.
3. Cari Nilai tertentu dari $\frac{\partial F(P_T)}{\partial P_T}$
4. Pilih nilai $\frac{\partial F(P_T)}{\partial P_T}$ terkecil dari unit pembangkit termal.

6. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

Data yang digunakan untuk melakukan perhitungan adalah sebagai berikut:

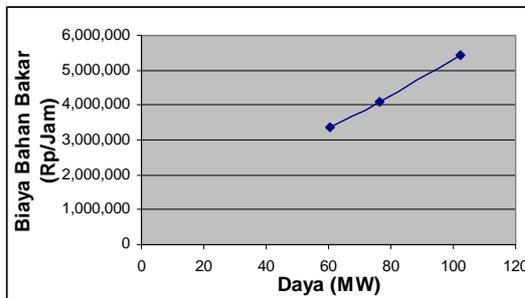
Karakteristik Unit Pembangkit (PLTU)

Tabel 1. Data test performance unit 2 PLTU Ombilin

Daya (kW)	Konsumsi batu bara (kg/h)	SCC (kg/kWH)
60,622	22,320	0,3681649
76,267	27,360	0,3587397
102,155	36,166	0,3540306

Tabel 2. Data pemakaian batu bara unit 2 PLTU Ombilin

Daya (kW)	Konsumsi batu bara (ton/jam)	Harga batu bara (Rp/ton)	Biaya (Rp/Jam)
60,622	22,320	150.000,00	3.348.000,00
76,267	27,360	150.000,00	4.104.000,00
102,155	36,166	150.000,00	5.424.900,00



Gambar 3. Kurva karakteristik Unit Pembangkit (PLTU)

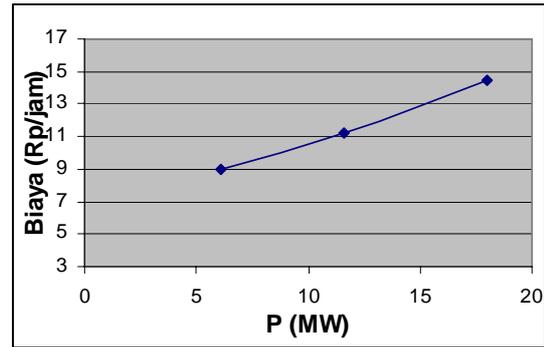
Karakteristik Unit Pembangkit (PLTG)

Tabel 3. Data test performance unit pembangkit PLTG

Daya (kW)	Konsumsi BBM (L/Jam)	SCC (L/kWH)
5.600	4.984	0.89
11.000	6.303	0.573
16.000	7.600	0.475

Tabel 4. Data pemakaian BBM unit pembangkit PLTG

Daya (kW)	Konsumsi BBM (L/jam)	Harga BBM (Rp/L)	Biaya (Rp/Jam)
5.600	4.984	1.780,00	8.871.520,00
11.000	6.303	1.780,00	11.219.340,00
16.000	7.600	1.780,00	13.520.000,00



Gambar 4. Karakteristik Unit pembangkit PLTG

Adapun kombinasi unit pembangkit yang mungkin dari 4 unit pembangkit yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Kombinasi dari 4 unit pembangkit thermal

State	PLTU Unit 1 85 MW	PLTU Unit 2 85 MW	PLTG Unit 2 16 MW	PLTG Unit 3 18 MW	Daya (MW)
16	on	on	On	on	204
15	on	on	on	off	186
14	on	on	off	on	188
13	on	on	off	off	170
12	on	off	on	on	119
11	on	off	on	off	101
10	on	off	off	on	103
9	on	off	off	off	85
8	off	on	on	on	119
7	off	on	on	off	101
6	off	on	off	on	103
5	off	on	off	off	85
4	off	off	on	on	34
3	off	off	on	off	16
2	off	off	off	on	18
1	off	off	off	off	0

Jika ditinjau batas maksimum beban unit pembangkit adalah sebesar 85% dari kapasitas pembangkit, maka yang paling ekonomis adalah mengoperasikan unit 1 dan 2 PLTU masing-masing 85 MW dari jam 00.00 sampai jam 19.00, dengan biaya pembangkitan total 9.344.900.000,- apabila beban melebihi 170 MW maka lakukan penambahan kapasitas dengan mengoperasikan PLTG unit 3 karena biayanya lebih murah dari unit 2.

7. KESIMPULAN

Dari hasil analisa unit pembangkit Hydro-thermal menggunakan *Dinamics Programming* dapat ditarik beberapa kesimpulan:

- a. Pada perhitungan optimisasi unit pembangkit thermal didapat biaya yang ekonomis berdasarkan analisa pada kondisi 12 yaitu PLTU 1 dan PLTU 2 dengan biaya bahan bakar sebesar Rp 7.813.796,8617 dibandingkan

- dengan PLTG 2 dengan biaya bahan bakar Rp 9.783.873
- b. Pada unit thermal yang paling berperan dalam menentukan biaya pembangkitan energi listrik adalah biaya bahan bakar, hampir 60 % biaya pembangkitan adalah biaya bahan bakar.
 - c. Dari hasil analisa optimisasi unit pembangkit menggunakan programming dinamis didapat bahwa biaya yang paling minimal dengan pembangkitan yang maksimal adalah pada kondisi 12 dengan biaya Rp 7.813.796 dengan mengoperasikan unit 1 dan unit 2 PLTU.

6. William D.S, *Power System Analysis*. Mc Graw Hill. Inc. Singapore. 1994.
7. Zuhail. *Dasar Tenaga Listrik*. ITB Bandung. 1977.

Tabel 6. Data Beban Harian Unit Thermal

Jam	PLTU		PLTG		Total
	Unit 1	Unit 2	Unit 2	Unit 3	Beban
1.00	85.00	60.00			145.00
2.00	85.00	60.00			145.00
3.00	85.00	60.00			145.00
4.00	85.00	60.00			145.00
5.00	85.00	60.00			145.00
6.00	85.00	60.00			145.00
7.00	85.00	60.00			145.00
8.00	70.00	60.00	10.00		140.00
9.00	70.00	60.00	10.00		140.00
10.00	70.00	60.00	10.00		140.00
11.00	70.00	60.00	10.00		140.00
12.00	70.00	60.00	10.00		140.00
13.00	70.00	60.00	10.00		140.00
14.00	70.00	60.00	10.00		140.00
15.00	70.00	60.00	8.00		138.00
16.00	75.00	60.00	8.00		143.00
17.00	80.00	60.00	10.00		150.00
18.00	80.00	60.00	10.00	10.00	160.00
19.00	85.00	60.00	13.00	13.00	165.00
20.00	85.00	60.00	15.00	15.00	173.00
21.00	85.00	60.00	15.00	15.00	173.00
22.00	85.00	60.00	15.00	10.00	165.00
23.00	85.00	60.00	15.00		155.00
24.00	85.00	60.00	13.00		155.00
	1900,0	1440,0	177,0	63,0	3579,0

DAFTAR PUSTAKA

1. Gupta, BR, *Generation of Electrical Energy*, Ram Nagar New Delhi, India. 1996.
2. Marsudi Djiteng, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, ISTN. Jakarta. 1999.
3. P. M. Anderson, *Power System Control and Stability*. Iowa State University. USA.
4. Pabla. AS. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 1995.
5. Turan Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, Mc Graw Hill. 1976.

