

## PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK PEMBEBANAN OPTIMAL DAN BIAYA BAHAN BAKAR STASIUN PEMBANGKIT

**Yulisman**

*prodi teknik elektro ft - umsb*  
*email: [fte.umsb12@gmail.com](mailto:fte.umsb12@gmail.com)*

### **ABSTRAK**

Pada sistem pengoperasian tenaga listrik komponen biaya operasi terbesar adalah biaya bahan bakar, oleh karenanya efisien pemakaian bahan bakar sangat besar pengaruhnya terhadap penghematan biaya operasi. Pengalokasian pembebanan pembangkit yang optimal merupakan suatu usaha untuk meminimumkan biaya operasi pada sistem tenaga listrik, tanpa melanggar persyaratan operasi.

Untuk mengurangi biaya bahan bakar maka penjadwalan optimal unit pembangkit termal pada sistem perlu dilakukan. Permasalahan yang menyangkut penjadwalan terdiri dari economic dispatch yaitu pembagian pembebanan pada setiap unit pembangkit sehingga diperoleh kombinasi unit pembangkit yang dapat memenuhi kebutuhan beban dengan biaya yang optimum.

Pembagian beban untuk masing-masing unit pembangkit termal dapat diperoleh dengan menggunakan metoda iterasi lambda. Pembagian beban dengan menggunakan iterasi lambda akan memberikan hasil yang lebih optimal.

### **I. PENDAHULUAN**

Energi listrik merupakan bentuk energi yang mudah dikonversikan, dibangkitkan dan disalurkan/didistribusikan walaupun jaraknya jauh. Proses ini lebih efisien, efektif dan ekonomis dibandingkan bentuk energi lain. Sedangkan permasalahan yang dihadapi pada tenaga listrik yang murah, aman, dan baik untuk pelayanan dalam sistem ataupun di luar sistem tenaga itu sendiri, dengan tidak menimbulkan dampak pada lingkungan adalah pada sisi pengoperasiannya. Kemajuan peradaban manusia di bumi ini dapat diukur dengan teknologi yang dihasilkannya untuk memanipulasi alam ini yang digunakan untuk kebutuhan manusia itu sendiri. Teknologi yang digunakan bagi memanipulasi alam ini membutuhkan energi yang cukup banyak yang umumnya dalam bentuk tenaga listrik. Tanpa tenaga listrik, teknologi yang dihasilkan hampir tidak berdaya-guna bagi kehidupan ini. Begitu besarnya peranannya maka konsekuensinya dituntut ketersediaan, kesinambungan, dampak lingkungan yang bersih, kuantitas, dan kualitas yang tinggi, serta harga yang wajar.

Dalam perencanaan, pengoperasian, dan pengendalian sistem tenaga listrik muncul berbagai persoalan teknis maupun ekonomis, salah satunya diakibatkan oleh beban sistem yang dinamis. Di sisi lain energi listrik tidak dapat disimpan dalam jumlah banyak sehingga harus disediakan pada saat dibutuhkan oleh konsumen, akibatnya timbul persoalan dalam menghadapi kebutuhan daya listrik yang berubah dari waktu ke waktu.

Apabila daya yang dikirim dari bus-bus pembangkit lebih besar dari kebutuhan daya pada bus-bus beban, maka akan timbul pemborosan daya. Sedangkan apabila daya yang dibangkitkan lebih rendah dari kebutuhan maka akan timbul pemadaman lokal pada bus-bus beban, yang akan mengakibatkan kerugian pada konsumen.

Pada sistem pengoperasian tenaga listrik, komponen biaya operasi terbesar adalah biaya bahan bakar. Penghematan biaya bahan bakar dalam prosentase yang kecil akan memberi dampak yang besar dalam jumlah rupiah, mengingat besarnya jumlah biaya bahan bakar tersebut di atas. Oleh karenanya efisien pemakaian bahan bakar sangat besar pengaruhnya terhadap penghematan biaya operasi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### a. Permasalahan dan solusi penyelesaian.

Kebutuhan akan listrik yang sangat besar tidak dapat dipenuhi oleh satu atau dua unit pembangkit saja tapi harus dipenuhi oleh beberapa unit pembangkit. Sistem tenaga listrik dengan banyak jenis pembangkit yang ada merupakan suatu kelebihan, tapi hal tersebut menyebabkan semakin kompleks permasalahan yang ada. Dengan karakteristik yang berbeda-beda maka pengoperasian suatu generator pada pembangkit harus optimal untuk melayani kebutuhan beban yang ada sehingga biaya operasi dapat ditekan.

Pengoptimalan generator *scheduling* dalam sistem tenaga listrik sangat diperlukan, karena proses pembangkitan dan penyaluran dalam sistem tenaga listrik memerlukan biaya yang sangat besar. Koordinasi antar pembangkitan diperlukan dalam upaya melakukan optimal generator *scheduling* untuk memperoleh biaya yang minimum, karena besar beban pada suatu sistem tenaga selalu berubah setiap periode waktu tertentu.

Salah satu teknik solusi masalah optimasi yang dapat dimanfaatkan adalah dengan menggunakan *metoda iterasi Lambda*. Dalam tulisan ini, metoda iterasi Lambda digunakan untuk menyelesaikan pembagian pembebanan pada pembangkit-pembangkit yang ada di dalam suatu sistem secara optimal ekonomi, pada harga beban sistem tertentu. Metoda ini diaplikasikan pada suatu persamaan karakteristik *input-output* suatu sistem pembangkit dan diselesaikan dengan menggunakan *program Matlab*.

### b. Optimasi unit pembangkit termal.

Yang dimaksud dengan operasi ekonomis pembangkit termal ialah proses pembagian atau penjadwalan beban total dari suatu sistem pembangkitan kepada masing-masing pusat pembangkitnya, sedemikian rupa sehingga jumlah biaya pengoperasian adalah seminimal mungkin. Seluruh pusat-pusat pembangkit dalam suatu sistem dikontrol terus menerus sehingga pembangkitan tenaga dilakukan dengan cara yang paling ekonomis.

### c. Karakteristik input-output pembangkit.

Untuk menganalisis permasalahan mengenai operasi dalam sistem tenaga, khususnya masalah operasi ekonomis diperlukan dasar tentang karakteristik *input-output* dari suatu unit pembangkit termal. Karakteristik *input-output* pembangkit termal adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara input bahan bakar (liter/jam) dan output yang dihasilkan oleh pembangkit (MW). Untuk menggambarkan karakteristik *input-output* dapat dilihat pada gambar-1 berikut :

Gambar-1. Kurva karakteristik *input-output* pembangkit termal

Gambar-1 di atas, menunjukkan karakteristik *input-output* suatu unit pembangkit tenaga uap yang ideal. *Input* unit yang ditunjukkan pada sumbu ordinat adalah kebutuhan energi panas (MBtu/jam) atau biaya total per jam (R/jam). *Output*nya adalah *output* daya listrik dari unit tersebut.

### d. Kemampuan pembebanan unit pembangkit termal.

Setiap mesin pembangkit listrik (*generator*) mempunyai kemampuan pembebanan yang dibatasi oleh kapasitas maksimum dan minimum. Adanya batas-batas ini selain karena keterbatasan kemampuan komponen-komponen mesin (*thermal rating*), juga disebabkan oleh alasan ekonomis yaitu efisiensi kerja dari mesin tersebut.

Bila suatu unit pembangkit dioperasikan atau dibebani diluar batas maksimum dan minimumnya selain efisiensinya rendah, umur (*lifetime*) dari mesin tersebut akan menurun terutama bila sering mengalami pembebanan lebih (*overloading*). Oleh karena itu agar pembangkit tersebut selalu dapat bekerja dengan efisiensi yang cukup baik (*ekonomis*) serta stabil, maka pembangkit tersebut harus dioperasikan dalam daerah pembebanannya.

#### e. Biaya operasi pembangkit termal.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengiriman daya nyata yang optimal pada suatu pembangkit adalah beroperasinya generator yang efisien, biaya bahan bakar, dan rugi-rugi daya pada saluran transmisi. Banyak juga generator yang beroperasi secara efisien di dalam suatu sistem tenaga namun hal itu tidak menjamin bahwa biaya operasinya minimum. Hal ini disebabkan oleh biaya bahan bakar yang tinggi.

Jika stasiun pembangkit berada pada tempat yang jauh dari pusat beban maka rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat menjadi besar. Oleh sebab itu stasiun pembangkit tersebut menjadi sangat tidak ekonomis. Karakteristik *input-output* pembangkit termal adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara *input* bahan bakar (liter/jam) dan *output* yang dihasilkan oleh pembangkit (MW).

Pada umumnya karakteristik *input-output* pembangkit termal didekati dengan fungsi polinomial orde dua seperti sebuah fungsi kuadrat dari daya nyata pada pembangkit, yaitu :

$$C_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2$$

Turunan biaya bahan bakar terhadap daya nyata berupa kurva biaya tambahan bahan bakar, dengan turunan sebagai berikut :

$$\frac{dC_i}{dP_i} = 2\gamma_i P_i + \beta_i$$

dengan :

$C_i$  adalah biaya produksi dari pembangkit ke  $i$ ,

$P_i$  adalah daya nyata dari pembangkit ke  $i$ ,

$\gamma_i, \beta_i$  adalah konstanta input-output pembangkit ke  $i$ .

Meminimumkan biaya operasi pembangkitan adalah merupakan optimasi, sehingga optimasi pembangkitan dapat didefinisikan sebagai suatu proses pembangkitan yang bertujuan untuk mengoptimalkan daya dan meminimumkan biaya pembangkitan.

#### f. Alokasi pembebanan ekonomis.

Dalam suatu sistem tenaga listrik, biasanya ada beberapa macam pembangkit tenaga (*power plant*), seperti pembangkit tenaga termal, pembangkit hidro, pembangkit tenaga nuklir dan sebagainya. Pembangkit termal sendiri juga mempunyai beberapa perbedaan, sebagai contoh perbedaan bahan bakar, harga maksimum dan minimum keluaran pembangkit dan sebagainya yang biasa disebut dengan alokasi pembebanan ekonomis (*economic load dispatch*).

Salah satu karakteristik terpenting adalah biaya operasi. Biaya operasi masing-masing pembangkit berbeda, tidak hanya antar pembangkit, melainkan juga tergantung pada besarnya daya yang dibangkitkan. Dilain pihak, sistem tenaga listrik mempunyai beberapa pembangkit dengan karakteristik berbeda-beda.

Masalah alokasi pembebanan ekonomis dirumuskan untuk memperoleh kondisi optimal pembangkit dengan meminimalkan total biaya bahan bakar. Untuk menentukan total biaya produksi pada pembangkit di masing-masing stasiun digunakan persamaan berikut :

$$C_t = \sum_{i=1}^{n_g} C_i = \sum_{i=1}^{n_g} \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2$$

dan

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_i = P_D$$

dimana :

$C_t$  adalah total biaya produksi,

$C_i$  adalah biaya produksi dari pembangkit ke  $i$ ,

$P_i$  adalah biaya nyata dari pembangkit ke  $i$ ,

$P_D$  adalah total daya nyata pada permintaan beban,

$n_g$  adalah total angka stasiun.

Sebuah tipikal pendekatan untuk menambah batasan ke dalam fungsi objektif dengan menggunakan bilangan pengali **Langrange** seperti persamaan berikut :

$$L = C_t + \lambda \left( P_D - \sum_{i=1}^{n_g} P_i \right)$$

Minimum dari fungsi tanpa batas untuk menentukan titik dimana sebagian dari fungsi untuk variabel-variabel sama dengan nol adalah seperti persamaan berikut :

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = 0 \qquad \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0$$

diberikan  $\frac{\partial C_t}{\partial P_i} + \lambda(0-1) = 0$

karena  $C_t = C_1 + C_2 + \dots + C_{n_g}$

maka  $\frac{\partial C_t}{\partial P_i} = \frac{dC_i}{dP_i} = \lambda$

Sehingga kondisi untuk pengiriman biaya produksi dari pembangkit ke  $i$  yang optimum adalah :

$$\frac{dC_i}{dP_i} = \lambda \qquad i = 1, \dots, n_g$$

atau  $\beta_i + 2\gamma_i P_i = \lambda$

untuk menentukan harga  $P_i$  adalah :  $P_i = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i}$

Hubungan-hubungan yang diberikan dari persamaan-persamaan di atas diketahui sebagai persamaan-persamaan koordinat sebagai fungsi dari Lambda, yang dapat diselesaikan secara iterasi dengan harga Lambda diperoleh sebagai berikut :

$$\sum_{i=1}^{n_g} \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} = P_D \qquad \text{atau} \qquad \lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{n_g} \frac{\beta_i}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{n_g} \frac{1}{2\gamma_i}}$$

Penyelesaian pengiriman daya nyata yang optimal dari pembangkit dapat diselesaikan secara iterasi, yaitu dengan penyelesaian metoda iterasi Lambda dimana pada metode ini lambda ditentukan terlebih dahulu, kemudian dengan menggunakan syarat optimum dihitung  $P_i$  (output setiap pembangkit). Dengan menggunakan constraint (€), diperiksa apakah jumlah total dari output sama dengan beban sistem, bila belum harga lambda ditentukan kembali.

dimana 
$$\Delta \lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\left( \frac{df(\lambda)}{d\lambda} \right)^{(k)}} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum \left( \frac{dP_i}{d\lambda} \right)^{(k)}}$$

$$\text{atau} \quad \Delta\lambda^k = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum \frac{1}{2\gamma_i}}$$

$$\text{sehingga} \quad \lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta\lambda^{(k)}$$

$$\text{dan} \quad \Delta P^{(k)} = P_D - \sum_{i=1}^{n_g} P_i^{(k)}$$

#### g. Iterasi Lambda.

Iterasi Lambda merupakan salah satu metode yang digunakan dalam *economic dispatch*. Pada metode ini Lambda ( $\lambda$ ) diasumsikan terlebih dahulu, kemudian dengan menggunakan syarat optimum, dihitung  $P_1$  (output setiap pembangkit). Dengan menggunakan konstrain diperiksa apakah jumlah total dari output sama dengan kebutuhan beban sistem, bila belum harga Lambda ditentukan kembali.

#### h. Hal-hal yang mempengaruhi borosnya konsumsi bahan bakar pembangkit.

- Usia mesin, semakin tua usia mesin maka performa kerja mesin semakin menurun.
- Kondisi oli pelumasan, jika oli pada bagian yang berputar pada mesin telah kotor maka gesekan akan bertambah sehingga menyebabkan konsumsi bahan bakar bertambah pula karena mesin membutuhkan gaya putar yang lebih tinggi.
- Sistem pendinginan mesin mengalami gangguan, sehingga mesin menjadi panas akibatnya udara segar yang terhisap oleh sistem pemasukan udara adalah udara panas. Udara yang masuk kedalam ruang bakar terlalu panas ( $>600^\circ\text{C}$ ) sehingga perbandingan kompresi udara dan bahan bakar meningkat yang menyebabkan debit bahan bakar yang dibutuhkan meningkat.
- Sistem pemasukan udara dan bahan bakar, terlalu banyak udara atau terlalu sedikit udara akan menyebabkan pemakaian bahan bakar menjadi boros.
- Besar kecil beban yang akan dipikul, semakin besar beban maka semakin banyak membutuhkan bahan bakar. Karena ketika beban naik maka frekuensi menurun, putaran rotor generator harus dinaikkan sehingga kopel mesin diesel harus dinaikkan. Gaya putar mesin diesel dinaikkan dengan membuka lebih katup bahan bakar sehingga bahan bakar yang masuk ke ruang bakar bertambah kemudian menghasilkan tekanan (yang dihasilkan dari ledakan hasil pembakaran) yang semakin tinggi sehingga menghasilkan gaya putar yang semakin besar dan frekuensi kembali pada nilai normalnya, dan sebaliknya.

#### i. Keandalan operasi.

Tujuan utama dari sistem operasi pembangkitan tenaga listrik adalah memastikan keandalan, yang berarti pasokan listrik terus menerus dalam rentang (*range*) variasi tegangan dan frekwensi yang dipersyaratkan. Biasanya dalam nominal kecil atau rendah.

Pada dasarnya ini memerlukan adanya kecocokan *output* dari sistem pembangkitan dengan beban, suatu proses yang mempertimbangkan variasi beban dan daya yang dibangkitkan dalam periode kurang dari satu detik hingga beberapa tahun.

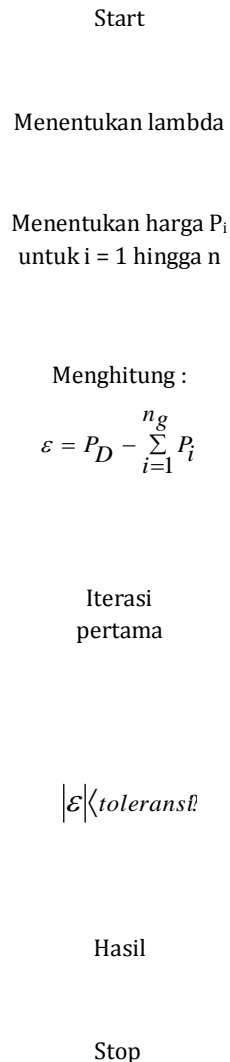
Untuk jangka pendek ini rentang yang terjadi terkait dengan mengenai perubahan beban normal dan perubahan daya pembangkitan akibat adanya kegagalan tiba-tiba dari sistem pembangkit. Untuk jangka panjang rentang yang terjadi terkait dengan pertumbuhan beban normal dan waktu atau periode pembangunan pembangkit-pembangkit besar yang baru.

Untuk pertimbangan keandalan dengan adanya variasi beban musiman perlu ditentukan margin cadangan (*reserve margin*) sepanjang tahun yang meliputi beban puncak musiman pada setiap musim dalam setahun. Variasi ini penting untuk menjadwalkan pemeliharaan unit pembangkitan.

### III. PEMBAHASAN DAN HASIL

#### a. Rancangan perangkat lunak dan program.

Penyelesaian metoda iterasi Lambda di atas akan menggunakan program Matlab, dengan flowchart sebagai berikut :



Gambar-2. Blok diagram dari economic dispatch dengan iterasi Lambda

Dari flowchart di atas kemudian disusun kedalam bahasa program Matlab seperti bentuk di bawah ini :

```

alpha = [510; 310; 78];
beta = [7.92; 7.85; 7.97];
gamma = [0.001562; 0.00194; 0.00482];
PD = 850;
delta_P = 0.001;
lambda = input(' Harga Estimasi Awal Lambda = ');
disp(' ')
disp(' Iterasi Lambda (Rp./MW-jam) P1 (MW) P2 (MW) P3 (MW) ')
iterasi = 0;
while abs(delta_P) >= 0.001
  
```

```

iterasi = iterasi + 1;
% Daya dari masing-masing stasiun pembangkit dalam bentuk matriks kolom :
P = (lambda - beta)/(2*gamma);
% Transpose daya dari stasiun pembangkit :
Pt = P';
delta_P = PD - sum(P);
J = sum(1./(2*gamma));
delta_lambda = (delta_P)/J;
fprintf(' %2.0f %8.4f %9.4f %9.4f %10.4f \n',iterasi, lambda, P(1), P(2),
P(3))
lambda = lambda + delta_lambda;
end
% Biaya total bahan bakar :
Ct = sum(alpha)+sum(Pt*beta)+sum([P(1)^2 P(2)^2 P(3)^2]*gamma);
disp(' ')
disp([' ', 'Biaya Total Bahan Bakar = ' num2str(Ct), ', ', 'Rp./jam '])

```

Program di atas bila dijalankan , dengan mengambil harga estimasi awal Lambda sebesar 8, akan menghasilkan nilai-nilai berikut :

Harga Estimasi Awal Lambda = 8

Iterasi	Lambda (Rp./MW-jam)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)
1	8.0000	25.6082	38.6598	3.1120
2	9.1483	393.1698	334.6038	122.2264

Biaya Total Bahan Bakar = 8143.3561 Rp./jam

#### IV.SIMPULAN

a. Dalam tulisan ini masalah optimal generator scheduling dapat diselesaikan dengan menggunakan bantuan program Matlab yang memberikan nilai konvergen yang cepat.

b. Perhitungan diaplikasikan pada data persamaan karakteristik *input-output* suatu pembangkit yang menghasilkan nilai pembebanan yang ekonomis untuk masing-masing unit pembangkit dan harga total bahan bakar yang digunakan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 📖 Cekdin, C., “*Sistem Tenaga Listrik, Contoh Soal dan Penyelesaian Menggunakan Matlab*”, Andi. Yogyakarta, 2007.
- 📖 Gross, Charles. A, “*Power System Analysis*”, John Wiley & Sons, Inc, 1979.
- 📖 Hutauruk, TS., “*Analisa Sistem Tenaga Listrik*“, Jilid-I, ITB, 1984.
- 📖 Kirchmayer, L K. 1958. “*Economic Operation of Power System*”. John Wiley and Sons Inc: New York.
- 📖 Marsudi, D. 1990. “*Operasi Sistem Tenaga Listrik*”. Balai Penerbit & Human ISTN: Jakarta.
- 📖 Stagg, G.W., El-Abiad, A.H., “*Computer Methods in Power System Analysis*”, McGraw-Hill, 1968.
- 📖 Siang, Jang Jek, Drs., MSc., “*Jaringan Syaraf Tiruan & Pemrogramannya Menggunakan Matlab*”, Penerbit Andi Yogyakarta, 2004.
- 📖 Sahid, Drs., MSc., “*Panduan Praktis Matlab*”, Penerbit Andi Yogyakarta, 2006.
- 📖 Wood Allen, J. and Bruce F. Woollenberg. 1984. “*Power Generation Operation and Control*”. John Wiley & Sons : Singapore.