

PERHITUNGAN ECONOMIC DISPATCH TIGA BUAH PEMBANGKIT MENGUNAKAN METODE MERIT ORDER DENGAN MEMPERTIMBANGKAN LOSSES

Dina Mariani^{1*}, Yanuar Mahfudz Safarudin², Nur Fatowil Aulia², Ahmad Hamim Su'udy², Nanang Apriandi MS², Baktiyar Mei Hermawan²

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Semarang
Jl. Kedungmundu No.18, Kedungmundu, Kec. Tembalang, Kota Semarang

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang, 50275
(63129) – Indonesia

*E-mail: dinamariani@unimus.ac.id

Abstrak

Merit order adalah metode paling sederhana dalam economic dispatch yang dilakukan dengan mengurutkan pembangkit dari yang paling rendah sampai yang paling tinggi biaya operasinya. Pembangkit yang paling rendah biaya operasinya (Rp/MWh) dianggap sebagai pembangkit yang paling ekonomis. Penelitian ini membahas tentang perhitungan daya pada pembangkit dengan menggunakan metode merit order. Ada tiga pembangkit yang digunakan untuk menyuplai beban sebesar 975 MW. Simulasi digunakan dengan memperhitungkan losses. Hasil menunjukkan bahwa merit order membantu dispatcher untuk mengambil keputusan lebih cepat. SOP merit order dibuat berdasarkan biaya operasi pembangkit sehingga harus selalu disesuaikan dengan harga bahan bakar terkini.

Kata Kunci: *dispatcher, economic dispatch, merit order, pembangkit*

PENDAHULUAN

Dalam pengoperasian sebuah pembangkit agar bekerja secara optimal, maka ada dua tahapan utama, yaitu unit commitment dan economic dispatch. Unit commitment adalah penjadwalan suatu pembangkit, dijadwalkan untuk beroperasi pada waktu tertentu sedangkan economic dispatch adalah mengoptimalkan penggunaan pembangkit yang sudah dijadwalkan, sehingga saat beroperasi dapat meminimalkan biaya bahan bakar.

Pada tahap economic dispatch, salah satu metode yang biasa digunakan adalah merit order. Metode ini dilakukan dengan mengurutkan pembangkit berdasarkan biaya operasinya, mulai dari yang terendah sampai yang paling tinggi biaya operasinya. Pembangkit yang memiliki biaya operasi paling rendah dianggap sebagai pembangkit yang paling ekonomis.

Dispatcher akan memaksimalkan pembangkit yang dianggap paling ekonomis terlebih dahulu untuk menyuplai beban. Jika belum mampu menyuplai seluruh kebutuhan beban maka pembangkit yang urutan paling ekonomis berikutnya yang akan dimaksimalkan. Jika beban menurun dan terjadi kelebihan daya pada pembangkit maka daya pembangkitan akan dikurangi dari urutan yang paling tinggi biaya operasionalnya, jika masih kelebihan daya pembangkit maka pembangkit yang berikutnya yang akan diturunkan, sampai daya yang dibangkitkan sama dengan daya beban ditambah rugi-rugi daya.

Metode ini sangat sederhana, dimana dispatcher hanya perlu mengurutkan penggunaan pembangkit sesuai dengan urutan merit order.

METODE PENELITIAN

Biaya Produksi

Pada pendahuluan telah dijelaskan bahwa biaya produksi merupakan tolak ukur utama dalam menentukan pengoperasian pembangkit. Biaya produksi merupakan nilai uang atau biaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 MWh daya (satuan Rp/MWh), yang diperoleh dengan memasukkan nilai daya rata-rata kedalam persamaan incremental fuel cost $\frac{dF}{dP}$

Misalkan pada pembangkit memiliki cost function atau persamaan biaya sebagai berikut:

$$f(P) = 500 + 5.3P + 0.004P^2 \text{ Rp/h}$$

$$P_{\min}=200 \text{ MW}, P_{\max}=450 \text{ MW}$$

Maka nilai incremental fuel cost yang merupakan turunan pertama fungsi persamaan biaya diperoleh sebagai berikut:

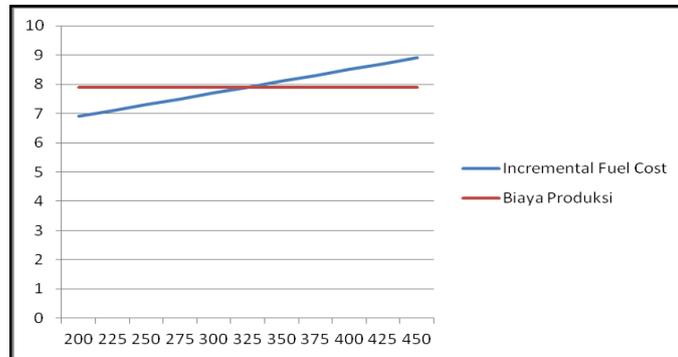
$$\frac{dF}{dP} = 5.3 + 0.008 \times P \text{ Rp/MWh}$$

Karena biaya produksi berubah-ubah untuk setiap nilai daya (MW), maka diambil daya rata-rata antara nilai P_{\min} dan P_{\max} yaitu 325 MW. Biaya produksi untuk pembangkit tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Biaya produksi} = 5.3+(0.008 \times 325) \text{ Rp/MWh}$$

$$= 7.9 \text{ Rp/MWh}$$

Grafik di bawah ini menunjukkan perbandingan nilai incremental fuel cost dengan nilai biaya produksi.



Gambar 1. Perbandingan nilai Incremental Fuel Cost dan Biaya Produksi

Dari grafik dapat dilihat bahwa biaya produksi mengambil nilai incremental fuel cost pada daya rata-ratanya.

Merit Order

Metode merit order digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan pembangkit guna menurunkan biaya operasional. Algoritma merit order bekerja berdasarkan urutan biaya operasi pembangkit. Pembangkit yang paling rendah biaya operasinya akan dimaksimalkan terlebih dahulu untuk menyuplai beban. Berikut ini adalah langkah-langkah untuk mengoptimalkan pembangkit menggunakan merit order.

1. Mengumpulkan data pembangkit berupa cost function, serta batas daya minimum dan maksimum tiap pembangkit.
2. Menghitung biaya operasional
3. Membuat urutan merit order berdasarkan biaya operasi pembangkit.
4. Mengumpulkan data beban yang akan disuplay pembangkit.
5. Menentukan batas daya minimum masing-masing pembangkit sebagai nilai awal daya yang dibangkitkan agar tidak terjadi reverse power.
6. Apabila daya yang dibangkitkan belum mencukupi kebutuhan beban, maka tambahkan daya pembangkitan mulai dari pembangkit termurah hingga termahal

sesuai urutan merit order, hingga daya yang dibangkitkan seluruh pembangkit mencukupi daya yang dibutuhkan beban.

7. Apabila seluruh pembangkit sudah dimaksimalkan namun belum mencukupi kebutuhan beban, maka nyalakan pembangkit murah yang lain sesuai urutan merit order.
8. Apabila seluruh pembangkit sudah diminimalkan namun masih melebihi kebutuhan beban, maka matikan pembangkit yang paling tinggi biaya operasinya sesuai urutan merit order.

Algoritma Pemrograman

Simulasi merit order dengan mempertimbangkan losses ini menggunakan konfigurasi 4 bus yang terdiri dari 3 bus pembangkit dan 1 bus beban. Konfigurasi dan data jaringan dapat dilihat pada tabel 1. Untuk memperoleh nilai losses digunakan persamaan aliran daya, yang pada simulasi ini menggunakan software dari Hadi Saadat.

Tabel 1 Nilai parameter R dan X dari jaringan

Bus Awal	Bus Tujuan	R (pu)	X (pu)
1	2	0.0012	0.0013
2	4	0.0017	0.0017
3	3	0.0007	0.0011
4	1	0.0015	0.0018

Simulasi merit order dengan mempertimbangkan losses sedikit berbeda dengan simulasi tanpa losses. Pada persamaan Pada persamaan aliran daya, bus pembangkit dikategorikan menjadi dua bus yaitu slack bus dan PV bus. Slack bus merupakan bus yang diketahui atau ditentukan magnitude dan sudut tegangannya. Bus ini akan mengeluarkan daya total berupa jumlah dari beban yang belum ditanggung PV bus ditambah dengan losses. Kemudian PV bus merupakan bus yang ditentukan nilai daya aktif dan tegangannya.

Pada simulasi merit order dengan mempertimbangkan losses, slack bus akan dioperasikan menggunakan pembangkit dengan biaya produksi termurah dan sisanya dioperasikan sebagai PV bus. Hal ini dilakukan, agar slack bus yang berfungsi untuk menanggung kekurangan daya pada sistem memiliki biaya pembangkitan minimum. Berikut adalah langkah penyelesaiannya:

1. Menghitung biaya produksi dalam Rp/MWh dari masing-masing pembangkit, sama seperti pada simulasi tanpa losses. Nilai biaya produksi dapat dicari dengan memasukkan daya rata-rata ke dalam fungsi incremental fuel cost $\left(\frac{dF}{dP}\right)$.

$$\frac{dF_1}{dP_1} = 5.3 + 0.008P_1 \text{ Rp/MWh}$$

$$\text{Biaya Produksi 1} = 5.3 + 0.008 \times 450 = 8.9 \text{ Rp/MWh}$$

$$\frac{dF_2}{dP_2} = 5.8 + 0.018P_2 \text{ Rp/MWh}$$

$$\text{Biaya Produksi 2} = 5.8 + 0.018 \times 225 = 9.85 \text{ Rp/MWh}$$

$$\frac{dF_4}{dP_4} = 5.5 + 0.012P_4 \text{ Rp/MWh}$$

$$\text{Biaya Produksi 3} = 5.5 + 0.012 \times 350 = 9.7 \text{ Rp/MWh}$$

2. Mengurutkan pembangkit termurah hingga pembangkit termahal, dilihat dari nilai biaya produksinya. Dari langkah 1 diperoleh urutan pembangkitan termurah hingga termahal yaitu pembangkit 1, pembangkit 3, dan pembangkit
3. Mencari nilai daya pembangkit seperti pada percobaan tanpa losses.
4. Pembangkit termurah yang belum dimaksimalkan penggunaannya dijadikan sebagai *slack bus*, sedangkan sisanya dijadikan sebagai PV bus.
5. Menghitung aliran daya
6. Sistem dikatakan *overload* apabila pembangkit termahal sudah mencapai batas maksimalnya tetapi *slack bus* masih melebihi batas maksimal pembangkitan.
7. Tampilkan total *cost* dan hasil kombinasi *merit order* apabila tidak *overload*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah listing program pada MATLAB untuk algoritma di atas.

```
clear
```

```
%Parameter aliran daya
```

```
basemva = 100; accuracy = 0.001; accel = 1.2; maxiter = 900;
```

% masukan batas bawah dan atas pembangkit

Lb=[200; 100; 150];

Ub=[450; 225; 350];

Mb=(Lb+Ub)/2;

% masukan cost function pembangkit

% $aP^2 + bP + c$

CF=[0.004 5.3 500

0.009 5.8 200

0.006 5.5 400];

%hitung incremental fuel cost

IC=[2*CF(1,1) CF(1,2)

2*CF(2,1) CF(2,2)

2*CF(3,1) CF(3,2)];

%hitung nilai Rp/KWh dengan memasukkan nilai daya rata-rata pada fungsi

% incremental fuel cost

Rp(1)=(IC(1,1)*Mb(1))+IC(1,2);

Rp(2)=(IC(2,1)*Mb(2))+IC(2,2);

Rp(3)=(IC(3,1)*Mb(3))+IC(3,2);

%Mengurutkan prioritas pembangkit

uRp=sort(Rp);

%Menentukan bus yang termurah sebagai bus slack. jnsb merepresentasikan

%jenis bus. 1=slack bus, 2=PV bus

for i=1:3

```
for j=1:3
    if uRp(i)==Rp(j)
        murah(j)=i;
    end
end
end
end
%menentukan nilai beban
Load=975;
%inisialisasi awal nilai pembangkit
P=Lb';
while sum(P)~=Load & Load<=sum(Ub)
    %maksimalkan dahulu pembangkit termurah
    for i=1:3
        if murah(i)==1 & P(i)<Ub(i)
            P(i)=P(i)+1;
        end
    end
end
%setelah itu maksimalkan pembangkit termurah kedua
for i=1:3
    for j=1:3
        if murah(i)==1
            if murah(j)==2 & P(j)<Ub(j) & P(i)==Ub(i)
                P(j)=P(j)+1;
            end
        end
    end
end
```

```
    end
end
%baru pembangkit termahal ditambahkan apabila belum cukup
for i=1:3
    for j=1:3
        for k=1:3
            if murah(i)==1
                if murah(j)==2
                    if murah(k)==3 & P(k)<Ub(k) & P(i)==Ub(i) & P(j)==Ub(j)
                        P(k)=P(k)+1;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end

for i=1:3
    if P(i)<Ub(i)
        jnsb(i)=1;
    end
    if P(i)==Ub(i)
        jnsb(i)=2;
    end
end
```

```

end

% jnsb

% P

% inisialisasi daya awal generator dan daya urutan generator

Gn=P;

error=1;

cons=1; %kons adalah konstanta penambahan daya

%data bus. jumlah beban dapat dimasukkan pada bus 3

busdata=[1 jnsb(1) 1.0 0.0 0.0 0.0 Gn(1) 0.0 0 0 0
          2 jnsb(2) 1.0 0.0 0.0 0.0 Gn(2) 0.0 0 0 0
          3 0 1.0 0.0 Load 0.0 0.0 0.0 0 0 0
          4 jnsb(3) 1.0 0.0 0.0 0.0 Gn(3) 0.0 0 0 0];

%
% Line code
% Bus bus R X 1/2 B = 1 for lines
% nl nr p.u. p.u. p.u. > 1 or < 1 tr. tap at bus nl

linedata=[1 2 0.0012 0.0013 0 1
           2 4 0.0017 0.0017 0 1
           4 3 0.0007 0.0011 0 1
           3 1 0.0015 0.0018 0 1];

%Aliran daya dihitung menggunakan program Hadi Saadat

LFYBUS

LFNEWTON

% Menghitung error, yaitu selisih antara daya pada slack bus dengan batas

% atasnya

% menghitung nilai Lossos. Pgt dan Pdt dapat dilihat pada program Hadi

```

```
%Saadat

Totallosses=Pgt-Pdt;

%Menghitung biaya total

cost(1)=(CF(1,1)*(Pg(1)^2))+(CF(1,2)*Pg(1))+(CF(1,3));
cost(2)=(CF(2,1)*(Pg(2)^2))+(CF(2,2)*Pg(2))+(CF(2,3));
cost(3)=(CF(3,1)*(Pg(4)^2))+(CF(3,2)*Pg(4))+(CF(3,3));

Totalcost=sum(cost);

if sum(Pg)<=sum(Ub)

    fprintf('-----')

    fprintf('\n')

    BUSOUT

    Totallosses

    Totalcost

    fprintf('\n')

    fprintf('-----')

    fprintf('\n')

end

if sum(Pg)>sum(Ub)

    fprintf('-----')

    fprintf('\n')

    fprintf('overload')

    fprintf('\n')

    fprintf('-----')

    fprintf('\n')

end
```

Berikut adalah hasil dari program MATLAB dengan losses.

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Maximum Power Mismatch = 3.84816e-006

No. of Iterations = 3

Bus		Voltage	Angle	-----Load-----		---Generation---		Injected
No.	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar	
1	1.000	-0.021	0.000	0.000	450.000	-98.122	0.000	
2	1.000	0.000	0.000	0.000	181.330	-179.213	0.000	
3	0.995	-0.600	975.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
4	1.000	-0.322	0.000	0.000	350.000	285.472	0.000	
Total			975.000	0.000	981.330	8.137	0.000	

Total losses =

6.3304

Total cost =

8.3026e+003

Hasil program diatas menunjukkan kombinasi pembangkit dengan harga total pembangkitan termurah menggunakan metode *merit order* dengan mempertimbangkan *losses*. Dapat dilihat, pembangkit 1 dan 3 dimaksimalkan terlebih dahulu dalam menyuplai beban sebelum mulai menambahkan daya pada pembangkit 2. Dari total daya yang dikeluarkan, terdapat *losses* sebesar 6.3304 MW. Algoritma *merit order* dengan *losses* maupun tanpa *losses* merupakan algoritma yang identik, hanya saja perhitungan dengan *losses* merupakan perhitungan yang lebih mendekati nilai sebenarnya karena pada aplikasi lapangan penggunaan pembangkit pasti memiliki nilai *losses*.

SIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dalam penulisan dan penyusunan laporan penelitian ini antara lain:

Perhitungan Economic Dispatch.....Dina Mariani, dkk

1. Pembangkit 1 dan 3 dimaksimalkan terlebih dahulu dalam menyuplai beban sebelum mulai menambahkan daya pada pembangkit 2.
2. Dari total daya yang dikeluarkan, terdapat *losses* sebesar 6.3304 MW
3. Perhitungan dengan *losses* merupakan perhitungan yang lebih mendekati nilai sebenarnya karena pada aplikasi lapangan penggunaan pembangkit pasti memiliki nilai *losses*
4. SOP dari metode merit order dibuat berdasarkan biaya operasi pembangkit sehingga harus selalu di update sesuai perubahan harga bahan bakar.
5. Penggunaan merit order di dunia nyata tidak hanya berdasarkan faktor harga, tetapi menyesuaikan dengan kondisi di lapangan. Dari kondisi tersebut dibuatlah keputusan dengan biaya produksi yang terendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hermawan DEA. *Bahan Ajar Kuliah Sistem Energi*. Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
- [2] Hermawan DEA. *Bahan Ajar Operasi Ekonomik Sistem Tenaga*. Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
- [3] RB. Zainal. *PT. PLN (PERSERO) P3B JB Bidang Operasi Sistem Sub Bidang Operasi Sistem, Dokumen Level 3 Instruksi Kerja Pengaturan Frekuensi*. Nomor dokumen BOPS/IKA/04-006.
- [4] Suriyan Arif Wibowo. *Optimasi Economic Dispatch Pembangkit Sistem 150 Kv Jawa Timur Menggunakan Metode Merit Order*. Proceeding Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS. 2012
- [5] W. Ongsakul. *Real-time economic dispatch using merit order loading for linear decreasing and staircase incremental cost functions*. Electric Power Systems Research 51 (1999) 167–17.
- [6] YM Safarudin, R Stephani, NF Aulia, AH Su'udy, N Apriandi MS, BM Hermawan. *Perhitungan Economic Dispatch Tiga Buah Pembangkit Tanpa Losses dengan Metode Merit Order*. Jurnal Eksergi Volume 16 No. 1, p-ISSN 0216-8685 | e-ISSN 2528-6889, (halaman 28-34). Politeknik Negeri Semarang