

LEMBAR KERJA MINGGU 11

EKONOMI OPERASI SISTEM TENAGA

Dasar-Dasar Sistem Tenaga Listrik
Fakultas Teknik - Universitas Bengkulu

Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan lembar kerja ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Memahami konsep economic dispatch dan fungsi biaya pembangkit
2. Menerapkan metode Lagrange multiplier untuk menyelesaikan masalah economic dispatch
3. Menghitung economic dispatch dengan dan tanpa rugi-rugi transmisi
4. Memahami konsep penalty factors dan pengaruh lokasi pembangkit
5. Menggunakan MATPOWER untuk analisis optimal power flow

1 Teori Singkat

1.1 Fungsi Biaya Pembangkit

Biaya operasi pembangkit termal umumnya dapat dimodelkan dengan fungsi kuadrat:

$$C_i(P_{G,i}) = a_i + b_i P_{G,i} + c_i P_{G,i}^2 \quad [\text{Rp/jam}] \quad (1)$$

Incremental cost (biaya incremental) adalah turunan dari fungsi biaya:

$$IC_i = \frac{dC_i}{dP_{G,i}} = b_i + 2c_i P_{G,i} \quad [\text{Rp/MWh}] \quad (2)$$

1.2 Economic Dispatch Tanpa Rugi-Rugi Transmisi

Tujuan: Meminimalkan total biaya operasi

$$\text{Minimize: } F_T = \sum_{i=1}^N C_i(P_{G,i}) \quad (3)$$

Batasan:

- Keseimbangan daya: $\sum_{i=1}^N P_{G,i} = P_D$
- Batas kapasitas: $P_{G,i}^{\min} \leq P_{G,i} \leq P_{G,i}^{\max}$

Kondisi optimal (prinsip equal incremental cost):

$$IC_1 = IC_2 = \dots = IC_N = \lambda \quad (4)$$



1.3 Economic Dispatch dengan Rugi-Rugi Transmisi

Penalty factor:

$$L_i = \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{G,i}}} \quad (5)$$

Kondisi optimal dengan penalty factors:

$$\frac{IC_1}{L_1} = \frac{IC_2}{L_2} = \dots = \frac{IC_N}{L_N} = \lambda \quad (6)$$



2 Latihan 1: Karakteristik Biaya Pembangkit

Soal

Diberikan tiga pembangkit dengan fungsi biaya sebagai berikut:

- Pembangkit 1 (PLTU Batubara): $C_1 = 800 + 35P_1 + 0.015P_1^2$ Rp/jam
- Pembangkit 2 (PLTG): $C_2 = 600 + 50P_2 + 0.030P_2^2$ Rp/jam
- Pembangkit 3 (PLTD): $C_3 = 400 + 65P_3 + 0.045P_3^2$ Rp/jam

Pertanyaan

- Tentukan fungsi incremental cost untuk masing-masing pembangkit.
- Hitung incremental cost untuk setiap pembangkit pada output $P = 100$ MW dan $P = 300$ MW.
- Jika incremental cost sistem $\lambda = 60$ Rp/MWh, berapakah output optimal untuk setiap pembangkit?
- Pembangkit mana yang paling ekonomis untuk base load? Mengapa?



3 Latihan 2: Economic Dispatch Dua Pembangkit

Soal

Sistem tenaga listrik memiliki dua pembangkit dengan karakteristik:

- Pembangkit 1: $C_1 = 500 + 40P_1 + 0.02P_1^2$ Rp/jam, $100 \leq P_1 \leq 400$ MW
- Pembangkit 2: $C_2 = 400 + 50P_2 + 0.04P_2^2$ Rp/jam, $50 \leq P_2 \leq 300$ MW

Total beban yang harus dipenuhi adalah $P_D = 500$ MW. Abaikan rugi-rugi transmisi.

Langkah Penyelesaian

Langkah 1: Tuliskan fungsi incremental cost untuk kedua pembangkit.

Langkah 2: Terapkan prinsip equal incremental cost. Tuliskan persamaan yang harus dipenuhi.

Langkah 3: Selesaikan sistem persamaan untuk mendapatkan P_1 , P_2 , dan λ .

Langkah 4: Periksa apakah solusi memenuhi batasan kapasitas.



Langkah 5: Hitung total biaya operasi sistem.

Langkah 6: Bandingkan dengan biaya jika pembangkit dibagi rata (masing-masing 250 MW). Berapa penghematan yang diperoleh dengan economic dispatch?

4 Latihan 3: Economic Dispatch Tiga Pembangkit

Soal

Sistem memiliki tiga pembangkit dengan data:

Pembangkit	a_i (Rp/jam)	b_i (Rp/MWh)	c_i (Rp/MW ² h)
1	600	30	0.010
2	500	40	0.020
3	400	55	0.035

Batasan kapasitas:

- Pembangkit 1: $50 \leq P_1 \leq 500$ MW
- Pembangkit 2: $50 \leq P_2 \leq 400$ MW
- Pembangkit 3: $50 \leq P_3 \leq 300$ MW

Total beban: $P_D = 800$ MW. Abaikan rugi-rugi transmisi.

Pertanyaan

- a. Tuliskan persamaan incremental cost untuk ketiga pembangkit.



- b. Gunakan metode Lagrange multiplier untuk menentukan dispatch optimal.
- c. Hitung total biaya operasi.
- d. Jika beban meningkat menjadi 900 MW, bagaimana dispatch akan berubah?



5 Latihan 4: Economic Dispatch dengan Rugi-Rugi Transmisi

Soal

Dua pembangkit dengan karakteristik:

- Pembangkit 1: $C_1 = 400 + 45P_1 + 0.025P_1^2$ Rp/jam
- Pembangkit 2: $C_2 = 500 + 40P_2 + 0.020P_2^2$ Rp/jam

Rugi-rugi transmisi dimodelkan dengan formula B-coefficients:

$$P_{loss} = 0.0001P_1^2 + 0.00015P_2^2 + 0.00005P_1P_2 \text{ MW} \quad (7)$$

Total beban: $P_D = 600$ MW.

Pertanyaan

- a. Hitung penalty factors untuk kedua pembangkit jika $P_1 = 300$ MW dan $P_2 = 300$ MW.

Hint: $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_1} = 2(0.0001)P_1 + 0.00005P_2$

- b. Apakah kondisi $P_1 = P_2 = 300$ MW optimal? Jelaskan dengan menggunakan konsep penalty factors.

- c. Tentukan dispatch optimal dengan menggunakan kondisi:

$$\frac{IC_1}{L_1} = \frac{IC_2}{L_2} \quad (8)$$

(Gunakan metode iteratif atau trial-and-error)



6 Latihan 5: Studi Kasus Sistem Bengkulu

Soal

Provinsi Bengkulu memiliki beberapa pembangkit dengan karakteristik estimasi berikut:

Pembangkit	Kapasitas (MW)	b_i (Rp/MWh)	c_i (Rp/MW ² h)	Keterangan
PLTU Bengkulu	200	35	0.015	Batubara
PLTP Hululais	110	25	0.010	Panas bumi
PLTA Musi	210	5	0.001	Hidro (musim hujan)
PLTD Backup	50	80	0.050	Diesel (darurat)

Skenario 1: Beban Normal (400 MW)

- a. Tentukan dispatch ekonomi untuk memenuhi beban 400 MW.

- b. Apakah PLTD perlu dioperasikan? Mengapa?

Skenario 2: Beban Puncak (500 MW)

- a. Tentukan dispatch ekonomi untuk beban 500 MW.



b. Hitung total biaya operasi per jam.



Skenario 3: Musim Kemarau

Pada musim kemarau, kapasitas PLTA Musi berkurang menjadi 100 MW dan biaya incremental meningkat ($b = 10$ Rp/MWh karena nilai air lebih tinggi).

a. Untuk beban 450 MW, bagaimana dispatch akan berubah dibanding musim hujan?

b. Hitung peningkatan biaya operasi akibat musim kemarau.

7 Latihan 6: Penggunaan MATPOWER (Lab Komputer)

Tujuan

Menggunakan MATPOWER untuk menjalankan optimal power flow dan menganalisis hasilnya.

Langkah Kerja

1. Load case file

```
mpc = loadcase('case9');
```

2. Modifikasi generator cost

Edit `mpc.gencost` untuk mengubah fungsi biaya pembangkit.

3. Run OPF

```
results = runopf(mpc);
```

4. Analisis hasil

```
printpf(results);
```



Tugas

- a. Jalankan OPF pada case9. Catat:
 - Output daya masing-masing generator
 - System lambda
 - Total biaya operasi
 - Total rugi-rugi

- b. Ubah fungsi biaya generator 1 menjadi lebih mahal (naikkan koefisien b sebesar 50%). Bagaimana perubahan dispatch?

- c. Tingkatkan beban total sebesar 20%. Bagaimana perubahan system lambda dan total biaya?



8 Pertanyaan Diskusi

1. Mengapa pembangkit dengan biaya bahan bakar rendah tidak selalu dioperasikan pada kapasitas maksimum?
2. Jelaskan perbedaan antara biaya rata-rata (average cost) dan incremental cost. Mana yang lebih relevan untuk economic dispatch?
3. Bagaimana economic dispatch berubah sepanjang hari seiring perubahan kurva beban?
4. Dalam konteks Bengkulu, apa tantangan dalam melakukan economic dispatch dengan penetrasi energi terbarukan yang tinggi?
5. Jika Indonesia menerapkan pasar listrik kompetitif, bagaimana hal ini akan mempengaruhi operasi pembangkit di Bengkulu?



Kesimpulan

Economic dispatch adalah tool fundamental untuk operasi ekonomis sistem tenaga listrik. Prinsip equal incremental cost memastikan bahwa biaya operasi diminimalkan sambil memenuhi permintaan beban. Dalam sistem nyata, rugi-rugi transmisi dan batasan jaringan harus dipertimbangkan melalui penalty factors dan optimal power flow.