

PROBLEM SET – MINGGU 6**Pembangkitan Tenaga Listrik:
Prinsip, Jenis Pembangkit, dan Kontrol Operasi**

Program Studi Teknik Elektro
Universitas Bengkulu

Nama: _____

NIM: _____

C1 (Mengingat): Prinsip Dasar Pembangkitan

Soal 1: Jelaskan prinsip dasar kerja generator sinkron berdasarkan hukum induksi Faraday. Sebutkan dan jelaskan fungsi dari dua komponen utama generator sinkron (rotor dan stator).

Soal 2: Sebutkan 4 syarat utama yang harus dipenuhi sebelum generator dapat disinkronkan (paralel) dengan grid sistem tenaga. Mengapa setiap syarat tersebut penting?

C2 (Memahami): Karakteristik Pembangkit

Soal 3: Jelaskan perbedaan mendasar antara pembangkit *base load*, *load follower*, dan *peaker* dalam sistem tenaga listrik. Berikan masing-masing satu contoh jenis pembangkit untuk setiap kategori tersebut.

Soal 4: Mengapa PLTGU (*Combined Cycle Gas Turbine*) memiliki efisiensi yang jauh lebih tinggi (55-60%) dibandingkan PLTG biasa (30-35%)? Jelaskan prinsip kerja gabungan siklus Brayton dan Rankine pada PLTGU.

C3 (Mengaplikasikan): Perhitungan Kinerja Pembangkit

Soal 5: Sebuah PLTU beroperasi dengan data berikut:

- Laju aliran uap: $\dot{m} = 200 \text{ kg/s}$
- Entalpi uap masuk turbin: $h_1 = 3500 \text{ kJ/kg}$
- Entalpi uap keluar turbin: $h_2 = 2300 \text{ kJ/kg}$
- Entalpi air keluar kondenser: $h_3 = 180 \text{ kJ/kg}$
- Entalpi air masuk boiler: $h_4 = 190 \text{ kJ/kg}$
- Efisiensi generator: $\eta_g = 97\%$

Hitung:

- a) Daya mekanik turbin (MW): $P_{turbin} = \dot{m}(h_1 - h_2) \times 10^{-3}$
- b) Daya listrik output generator (MW)
- c) Energi yang diserap boiler (MW): $Q_{in} = \dot{m}(h_1 - h_4) \times 10^{-3}$
- d) Efisiensi termal siklus Rankine (%)
- e) Energi yang dibuang ke kondenser (MW)

Soal 6: Sebuah PLTA memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Tinggi jatuh air (head): $H = 150$ m
- Debit air: $Q = 30$ m³/s
- Efisiensi turbin: $\eta_t = 92\%$
- Efisiensi generator: $\eta_g = 96\%$
- $\rho = 1000$ kg/m³, $g = 9.81$ m/s²

Hitung:

- a) Daya hidraulik teoritis (MW): $P_{hidraulik} = \rho g Q H \times 10^{-6}$
- b) Daya mekanik turbin (MW)
- c) Daya listrik generator (MW)
- d) Jika pada musim kemarau debit turun menjadi 18 m³/s, berapa persen penurunan daya output?

C4 (Menganalisis): Kontrol Frekuensi dan Tegangan

Soal 7: Sebuah sistem tenaga memiliki karakteristik berikut:

- Frekuensi nominal: $f_0 = 50$ Hz
- Total kapasitas pembangkit: $P_{rated} = 1500$ MW
- Beban awal: $P_{load} = 1200$ MW
- Governor droop setting: $R = 5\%$

Tiba-tiba terjadi pelepasan beban sebesar 100 MW (beban turun dari 1200 MW menjadi 1100 MW).

- a) Jelaskan apa yang dimaksud dengan *governor droop control*. Mengapa droop diperlukan untuk operasi paralel generator?
- b) Dengan menggunakan relasi droop:

$$\Delta P = -\frac{P_{rated}}{R/100} \times \frac{\Delta f}{f_0}$$

Hitung perubahan frekuensi steady-state (Δf) akibat pelepasan beban 100 MW tersebut.

- c) Berapa frekuensi baru sistem setelah governor merespons?
- d) Jelaskan peran *secondary control* (AGC) dalam mengembalikan frekuensi ke 50.00 Hz yang eksak.

Soal 8: Lengkapi tabel perbandingan antara kontrol frekuensi dan kontrol tegangan:

Aspek	Kontrol Frekuensi	Kontrol Tegangan
Besaran yang dikontrol		
Alat kontrol utama		
Input yang diatur		
Keterkaitan daya	Daya aktif (P)	
Sifat pengaruh	Global (sama di seluruh inter-koneksi)	
Waktu respon	Detik (primary), menit (secondary)	

Jelaskan mengapa frekuensi bersifat global sedangkan tegangan bersifat lokal dalam sistem tenaga.

C5 (Mengevaluasi): Evaluasi Sistem Kelistrikan

Soal 9: Sistem kelistrikan Provinsi X memiliki komposisi pembangkit sebagai berikut:

Jenis	Kapasitas (MW)	Peran	Bahan Bakar
PLTU Batubara	400	Base Load	Batubara
PLTP	110	Base Load	Geotermal
PLTA	80	Load Follower	Air
PLTG	100	Peaker	Gas Alam
PLTD	30	Backup	Solar
Total	720		

Data tambahan:

- Beban puncak saat ini: 500 MW
- Pertumbuhan beban: 7% per tahun
- Target bauran energi terbarukan: 30% dalam 5 tahun

Evaluasi sistem ini dengan menjawab:

a) Hitung *reserve margin* saat ini:

$$Reserve\ Margin = \frac{Kapasitas\ Total - Beban\ Puncak}{Beban\ Puncak} \times 100\%$$

b) Apakah reserve margin memadai? (Standar PLN: minimal 30%)

c) Proyeksikan beban puncak 5 tahun mendatang: $P_5 = P_0(1 + 0.07)^5$

d) Berapa kapasitas pembangkit energi terbarukan yang diperlukan untuk mencapai target 30% EBT dari total kapasitas?

e) Evaluasi: Jenis pembangkit terbarukan apa yang paling cocok ditambahkan (PLTA, PLTP, PLTS, atau PLTBm)? Berikan minimal 3 kriteria evaluasi Anda.

C6 (Menciptakan): Economic Dispatch dan Optimasi

Soal 10: Sebuah sistem memiliki 3 unit pembangkit dengan fungsi biaya operasi:

Unit	P_{min} (MW)	P_{max} (MW)	a (Rp/MW ² h)	b (Rp/MWh)
1 (PLTU)	150	500	180	14000
2 (PLTG)	50	250	350	18000
3 (PLTA)	80	300	100	10000

Fungsi biaya: $C_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i$ (Rp/jam)

Total beban yang harus dilayani: $P_D = 600$ MW

Kondisi optimal economic dispatch dicapai ketika biaya marginal semua unit sama:

$$\frac{\partial C_1}{\partial P_1} = \frac{\partial C_2}{\partial P_2} = \frac{\partial C_3}{\partial P_3} = \lambda$$

dengan biaya marginal: $\frac{\partial C_i}{\partial P_i} = 2a_i P_i + b_i$

- Tulis sistem persamaan untuk kondisi optimal (3 persamaan biaya marginal + 1 persamaan keseimbangan daya)
- Selesaikan sistem persamaan tersebut untuk mendapatkan alokasi daya optimal P_1, P_2, P_3 dan nilai λ
- Hitung total biaya operasi per jam pada kondisi optimal
- Bandingkan dengan strategi *equal sharing* proporsional:

$$P_1 = 600 \times \frac{500}{1050} = 285.7 \text{ MW}$$

$$P_2 = 600 \times \frac{250}{1050} = 142.9 \text{ MW}$$

$$P_3 = 600 \times \frac{300}{1050} = 171.4 \text{ MW}$$

Berapa selisih biaya operasi antara economic dispatch optimal dengan equal sharing?

- Bonus:** Buat program GNU Octave untuk menyelesaikan economic dispatch ini secara numerik. Tampilkan hasil dan plot kurva biaya marginal ketiga unit.

Catatan Pengerjaan

- Kerjakan dengan teliti dan tunjukkan langkah perhitungan
- Untuk soal komputasi (Soal 10 bonus), lampirkan kode dan output
- Nilai problem set: 20% dari nilai total minggu 6
- Deadline pengumpulan: 1 minggu setelah pembahasan materi
- Konsultasi dipersilakan melalui jam konsultasi atau forum diskusi online

— SELAMAT MENGERJAKAN —

*"Efficient power generation is the foundation
of a sustainable electricity system."*