



LEMBAR KERJA MINGGU 10

Kontrol Tegangan dan Daya Reaktif

Mata Kuliah: Dasar-Dasar Sistem Tenaga Listrik
Program: Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Institution: Universitas Bengkulu

Nama: _____ **NIM:** _____
Tanggal: _____ **Kelas:** _____

Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan lembar kerja ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Memahami pentingnya kontrol tegangan dalam sistem tenaga listrik
 2. Mengidentifikasi hubungan antara tegangan dan daya reaktif
 3. Menganalisis berbagai metode kontrol tegangan
 4. Menghitung kebutuhan kompensasi daya reaktif
 5. Mengevaluasi dampak perangkat kontrol tegangan terhadap profil tegangan sistem
-

1 Konsep Dasar Kontrol Tegangan

1.1 Pentingnya Kontrol Tegangan

Pertanyaan 1: Mengapa kontrol tegangan penting dalam sistem tenaga listrik? Sebutkan 4 konsekuensi dari kontrol tegangan yang buruk!

Pertanyaan 2: Sebutkan batas tegangan yang dapat diterima dalam sistem tenaga listrik menurut standar PLN atau IEEE!



- Untuk transmisi: _____
- Untuk distribusi: _____

1.2 Hubungan Tegangan dan Daya Reaktif

Pertanyaan 3: Jelaskan hubungan antara tegangan dan daya reaktif dalam sistem tenaga! Gunakan persamaan untuk mendukung penjelasan Anda.

$$\Delta V \approx \frac{PR + QX}{V}$$

- Pada saluran transmisi ($X \gg R$): _____
- Pada saluran distribusi ($R \approx X$): _____

Soal 1: Sebuah saluran transmisi dengan impedansi $Z = 5 + j50 \, \Omega$ menyuplai beban 100 MW dengan faktor daya 0.85 lagging pada tegangan 132 kV. Hitung jatuh tegangan pada saluran tersebut!

2 Metode Kontrol Tegangan

2.1 Kontrol Eksitasi Generator

Pertanyaan 4: Jelaskan bagaimana sistem eksitasi generator mengontrol tegangan! Sebutkan komponen utama sistem eksitasi otomatis (AVR).

Pertanyaan 5: Gambarkan kurva kapabilitas generator dan jelaskan batas operasi



generator dalam menyediakan daya reaktif!

2.2 On-Load Tap Changer (OLTC)

Pertanyaan 6: Jelaskan prinsip kerja OLTC dan bagaimana OLTC mengatur tegangan sekunder transformator!

Soal 2: Sebuah transformator 150/20 kV dengan OLTC memiliki 33 posisi tap (± 16 steps dari nominal), dengan setiap step sebesar 0.625%. Jika tegangan primer adalah 145 kV dan tegangan sekunder yang diinginkan adalah 20 kV, tentukan:

- a) Rasio transformasi yang dibutuhkan
- b) Posisi tap yang harus dipilih

Pertanyaan 7: Mengapa OLTC memiliki karakteristik time delay dan deadband? Jelaskan fungsi dari kedua parameter ini!



3 Kompensasi Daya Reaktif

3.1 Kapasitor Shunt

Pertanyaan 8: Jelaskan bagaimana kapasitor shunt bekerja untuk meningkatkan tegangan dan mengurangi rugi-rugi sistem!

Soal 3: Sebuah feeder distribusi 20 kV dengan panjang 15 km menyuplai beban 5 MW dengan faktor daya 0.75 lagging. Impedansi saluran per km adalah $(0.2 + j0.4) \Omega/\text{km}$. Hitung:

- a) Daya reaktif beban
- b) Tegangan di ujung beban (tanpa kompensasi)
- c) Ukuran kapasitor shunt yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya menjadi 0.95 lagging
- d) Tegangan di ujung beban setelah dipasang kapasitor

Pertanyaan 9: Di mana lokasi optimal untuk menempatkan kapasitor shunt pada feeder radial? Jelaskan alasannya!



3.2 Reaktor Shunt

Pertanyaan 10: Kapan reaktor shunt diperlukan dalam sistem tenaga? Berikan 3 contoh aplikasi reaktor shunt!

Pertanyaan 11: Jelaskan apa yang dimaksud dengan efek Ferranti dan bagaimana reaktor shunt mengatasi masalah ini!

4 Perangkat FACTS

4.1 Static VAR Compensator (SVC)

Pertanyaan 12: Jelaskan perbedaan antara SVC dan kompensasi kapasitor/reaktor konvensional! Sebutkan keunggulan SVC.

Pertanyaan 13: Gambarkan karakteristik V-I dari SVC dan jelaskan wilayah operasinya (inductive, control range, capacitive)!



4.2 STATCOM

Pertanyaan 14: Apa keunggulan STATCOM dibandingkan dengan SVC? Gambarkan perbandingan karakteristik V-I keduanya!

Soal 4: Sebuah STATCOM dengan rating ± 100 MVAR dipasang pada bus yang memiliki tegangan nominal 132 kV. Jika tegangan bus turun menjadi 0.9 pu, bandingkan kinerja STATCOM dengan SVC (asumsikan SVC memiliki karakteristik slope 5%)!

5 Optimasi Daya Reaktif

5.1 Analisis Sensitivitas Tegangan

Pertanyaan 15: Apa yang dimaksud dengan sensitivitas tegangan terhadap daya reaktif ($\partial V / \partial Q$)? Bagaimana informasi ini digunakan untuk penempatan kompensator?

Pertanyaan 16: Jelaskan secara singkat konsep optimasi daya reaktif untuk meminimalkan rugi-rugi sistem dengan kendala tegangan!



5.2 Strategi Kontrol Terkoordinasi

Pertanyaan 17: Sebutkan dan jelaskan tiga tingkat hierarki kontrol tegangan dalam sistem tenaga:

1. Kontrol primer: _____

Contoh: _____

2. Kontrol sekunder: _____

Contoh: _____

3. Kontrol tersier: _____

Contoh: _____

6 Aplikasi dalam Konteks Bengkulu

Pertanyaan 18: Identifikasi tantangan kontrol tegangan spesifik dalam sistem kelistrikan Bengkulu, mengingat:

- Feeder distribusi panjang di daerah pedesaan
- Integrasi PLTP Hululais dan PLTA Musi
- Pembangkit PLTMH tersebar

Pertanyaan 19: Usulkan solusi kontrol tegangan yang sesuai untuk mengatasi tantangan di atas! Jelaskan pemilihan perangkat dan strategi kontrolnya.

Soal 5: Sebuah PLTMH 500 kW dengan inverter dipasang pada feeder distribusi 20 kV di daerah pedesaan Bengkulu. Sebelum PLTMH beroperasi, tegangan di lokasi PLTMH adalah 0.93 pu. Jelaskan:



- a) Dampak potensial PLTMH terhadap profil tegangan feeder
- b) Mode kontrol daya reaktif yang sebaiknya digunakan pada inverter PLTMH
- c) Koordinasi yang diperlukan dengan OLTC di gardu induk

7 Latihan Komputasi dengan MATPOWER

Latihan 1: Gunakan MATPOWER untuk menganalisis sistem IEEE 9-bus:

- a) Jalankan power flow dan catat profil tegangan semua bus
- b) Identifikasi bus dengan tegangan terendah
- c) Tambahkan kapasitor shunt 50 MVAR pada bus tersebut
- d) Bandingkan profil tegangan sebelum dan sesudah kompensasi

Code hint:

```
1 % Load case
2 mpc = loadcase('case9');
3
4 % Run power flow
5 results = runpf(mpc);
6
7 % Add shunt capacitor (modify bus data)
8 % mpc.bus(bus_num, QD) = mpc.bus(bus_num, QD) - 50;
9
10 % Run power flow again and compare
```

Dokumentasi hasil:

- Tegangan terendah (sebelum): _____ pada bus: _____
- Tegangan terendah (sesudah): _____ pada bus: _____
- Perubahan rugi-rugi total: _____

Referensi: Saadat, H. *Power System Analysis*; Glover, J.D. et al. *Power System Analysis and Design*

Software: GNU Octave, MATPOWER