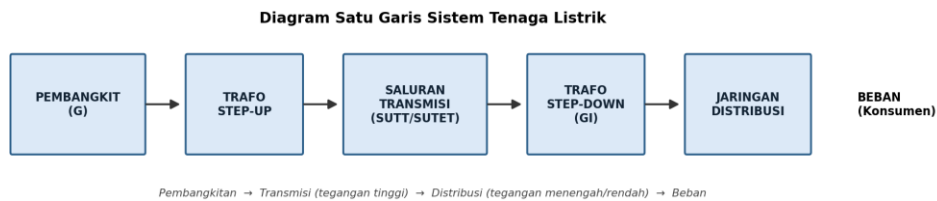


MODUL PEMBELAJARAN

MATA KULIAH TEKNIK TENAGA LISTRIK

Pembangkitan, Transmisi, Distribusi, dan Pemanfaatan Energi Listrik



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Kode Mata Kuliah: MKKP0612 | Bobot: 3 SKS | Semester: IV

Disusun Oleh : Dian Erlita, M.Pd., Ajunda, MT, Muhibul Jamal , MT

KATA PENGANTAR

Modul ini disusun sebagai bahan ajar pendukung mata kuliah Teknik Tenaga Listrik pada Program Studi Teknik Elektro. Modul membahas konsep dasar hingga penerapan sistem tenaga listrik, mulai dari pembangkitan, transmisi, transformator, distribusi, mesin-mesin listrik, sistem proteksi, hingga aspek kualitas daya. Materi disusun secara bertahap dan dilengkapi ilustrasi/diagram teknis, tabel ringkasan, contoh perhitungan sederhana, serta soal latihan pada setiap akhir bab untuk membantu mahasiswa memahami konsep secara komprehensif.

Diharapkan modul ini dapat menjadi panduan belajar mandiri maupun pendamping perkuliahan tatap muka, serta mendorong mahasiswa untuk mengaitkan teori dengan praktik dan perkembangan teknologi ketenagalistrikan terkini, termasuk pemanfaatan energi baru terbarukan.

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN

- 1.1 Deskripsi Mata Kuliah
- 1.2 Capaian Pembelajaran
- 1.3 Ruang Lingkup Sistem Tenaga Listrik

BAB II SISTEM PEMBANGKITAN TENAGA LISTRIK

- 2.1 Prinsip Dasar Pembangkitan
- 2.2 Jenis-Jenis Pembangkit Listrik
- 2.3 Pembangkit Energi Baru Terbarukan (EBT)

BAB III TRANSFORMATOR

- 3.1 Prinsip Kerja Transformator
- 3.2 Jenis dan Konstruksi Transformator
- 3.3 Rugi-Rugi dan Efisiensi Transformator

BAB IV SALURAN TRANSMISI TENAGA LISTRIK

- 4.1 Klasifikasi Saluran Transmisi
- 4.2 Parameter Saluran Transmisi
- 4.3 Jatuh Tegangan dan Rugi Daya

BAB V SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

- 5.1 Struktur Jaringan Distribusi
- 5.2 Topologi Jaringan Distribusi
- 5.3 Gardu Distribusi

BAB VI MESIN-MESIN LISTRIK

- 6.1 Generator Sinkron
- 6.2 Motor Induksi
- 6.3 Karakteristik Torsi–Kecepatan Motor Induksi

BAB VII SISTEM PROTEKSI TENAGA LISTRIK

- 7.1 Tujuan Sistem Proteksi
- 7.2 Peralatan Sistem Proteksi
- 7.3 Koordinasi Proteksi

BAB VIII KUALITAS DAYA DAN KEANDALAN SISTEM

8.1 Faktor Daya (Power Factor)

8.2 Harmonisa

8.3 Keandalan Sistem Distribusi

BAB IX RANGKUMAN DAN SOAL LATIHAN

DAFTAR PUSTAKA

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Deskripsi Mata Kuliah

Teknik Tenaga Listrik (Electric Power Engineering) adalah cabang ilmu teknik elektro yang mempelajari proses pembangkitan, penyaluran (transmisi), pendistribusian, dan pemanfaatan energi listrik secara aman, andal, dan efisien. Mata kuliah ini memberikan dasar pemahaman tentang komponen utama sistem tenaga listrik beserta prinsip kerja, karakteristik, serta permasalahan teknis yang umum dijumpai dalam operasional sistem kelistrikan, baik pada skala pembangkit besar maupun jaringan distribusi menuju konsumen.

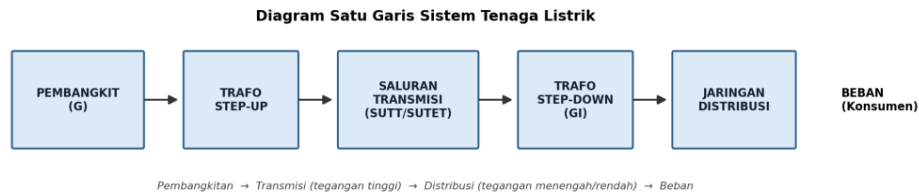
1.2 Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari modul ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan konsep dasar dan komponen utama sistem tenaga listrik.
2. Menganalisis prinsip kerja pembangkit listrik konvensional dan energi baru terbarukan.
3. Menghitung parameter dasar transformator, saluran transmisi, dan jaringan distribusi.
4. Menjelaskan prinsip kerja generator sinkron dan motor induksi beserta karakteristiknya.
5. Memahami konsep dan peralatan sistem proteksi tenaga listrik.
6. Menjelaskan konsep kualitas daya listrik dan keandalan sistem.

1.3 Ruang Lingkup Sistem Tenaga Listrik

Secara umum, sistem tenaga listrik terdiri atas tiga subsistem utama yang saling terintegrasi, yaitu subsistem pembangkitan (generation), subsistem transmisi (transmission), dan subsistem distribusi (distribution), sebelum akhirnya energi listrik dimanfaatkan oleh konsumen (load). Gambar 1.1 menunjukkan diagram satu garis (single line diagram) yang menggambarkan alur penyaluran energi listrik dari pembangkit hingga ke konsumen.



Gambar 1.1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik

Tegangan yang dibangkitkan generator umumnya berkisar 6–24 kV, kemudian dinaikkan oleh transformator step-up menjadi tegangan tinggi/ekstra tinggi (70 kV–500 kV) agar rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat ditekan. Selanjutnya tegangan diturunkan bertahap melalui gardu induk dan transformator step-down menuju tingkat tegangan menengah (20 kV) dan tegangan rendah (220/380 V) untuk didistribusikan ke konsumen rumah tangga, komersial, maupun industri.

Istilah Penting

- SUTT: Saluran Udara Tegangan Tinggi (70–150 kV)
- SUTET: Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (≥ 500 kV)
- GI: Gardu Induk — tempat transformasi tegangan pada sistem transmisi/distribusi
- GD: Gardu Distribusi — penyalur akhir menuju konsumen

BAB II SISTEM PEMBANGKITAN TENAGA LISTRIK

2.1 Prinsip Dasar Pembangkitan

Pembangkitan tenaga listrik adalah proses konversi energi primer (mekanik, panas, kimia, cahaya, dsb.) menjadi energi listrik. Sebagian besar pembangkit konvensional menggunakan prinsip yang sama, yaitu memutar poros generator sinkron menggunakan penggerak mula (prime mover) berupa turbin, sehingga timbul gaya gerak listrik (ggl) induksi sesuai hukum induksi elektromagnetik Faraday.

$$e = -N (d\Phi/dt)$$

dengan e adalah ggl induksi (volt), N jumlah lilitan kumparan, dan $d\Phi/dt$ laju perubahan fluks magnet terhadap waktu.

2.2 Jenis-Jenis Pembangkit Listrik

Jenis Pembangkit	Energi Primer	Prinsip Kerja Singkat
PLTU (Uap)	Batu bara / gas / minyak	Bahan bakar memanaskan boiler → uap bertekanan tinggi memutar turbin uap → generator
PLTG (Gas)	Gas alam / BBM	Gas dibakar dalam ruang bakar → gas panas memutar turbin gas → generator
PLTGU	Gas + panas buang	Kombinasi siklus gas dan siklus uap (turbin gas + HRSG + turbin uap) untuk efisiensi lebih tinggi
PLTA (Air)	Energi potensial air	Air jatuh dari ketinggian memutar turbin air (Kaplan/Francis/Pelton) → generator
PLTD (Diesel)	Solar/BBM	Mesin diesel memutar generator secara langsung, umum untuk daya kecil/darurat
PLTN (Nuklir)	Reaksi fisi nuklir	Panas reaksi fisi menghasilkan uap bertekanan tinggi untuk memutar turbin uap
PLTP (Panas Bumi)	Uap panas bumi	Uap alami dari reservoir panas bumi langsung memutar turbin uap

2.3 Pembangkit Energi Baru Terbarukan (EBT)

Perkembangan teknologi mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan sebagai alternatif pembangkit konvensional, antara lain:

- PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) — memanfaatkan efek fotovoltaiik pada sel surya untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik arus searah (DC), kemudian dikonversi menjadi AC melalui inverter.
- PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin) — energi kinetik angin memutar baling-baling (rotor) turbin angin yang terhubung ke generator.
- PLT Biomassa — memanfaatkan limbah organik sebagai bahan bakar untuk menghasilkan uap penggerak turbin.
- PLT Biogas — gas metana hasil fermentasi anaerobik digunakan sebagai bahan bakar generator set.

Pemanfaatan EBT sejalan dengan upaya transisi energi menuju sistem kelistrikan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, meskipun umumnya memerlukan sistem penyimpanan energi (baterai) atau manajemen jaringan khusus karena sifatnya yang intermiten (bergantung cuaca/waktu).

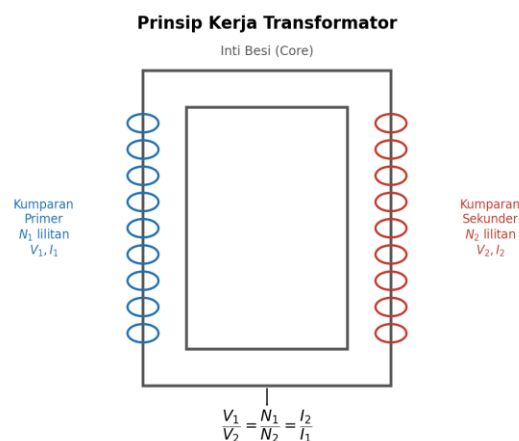
Contoh Perhitungan Sederhana

- Daya keluaran generator: $P = V \cdot I \cdot \cos \phi$ (satu fasa)
- Untuk sistem tiga fasa: $P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi$
- $\cos \phi$ disebut faktor daya (power factor), menyatakan efisiensi pemanfaatan daya listrik

BAB III TRANSFORMATOR

3.1 Prinsip Kerja Transformator

Transformator adalah peralatan statis yang berfungsi mengubah level tegangan dan arus bolak-balik (AC) tanpa mengubah frekuensinya, berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Transformator terdiri atas dua kumparan (primer dan sekunder) yang dililitkan pada inti besi (core) yang sama, sehingga fluks magnet yang dihasilkan kumparan primer dapat menginduksi ggl pada kumparan sekunder.



Gambar 3.1 Prinsip kerja transformator dua kumparan

Hubungan antara tegangan, arus, dan jumlah lilitan pada transformator ideal dinyatakan sebagai:

$$V_1 / V_2 = N_1 / N_2 = I_2 / I_1$$

dengan V_1 , I_1 , N_1 adalah tegangan, arus, dan jumlah lilitan sisi primer; V_2 , I_2 , N_2 adalah tegangan, arus, dan jumlah lilitan sisi sekunder. Apabila $N_2 > N_1$ maka transformator berfungsi menaikkan tegangan (step-up), sebaliknya jika $N_2 < N_1$ maka transformator menurunkan tegangan (step-down).

3.2 Jenis dan Konstruksi Transformator

- Berdasarkan fungsi: transformator daya (power transformer) dan transformator distribusi (distribution transformer).
- Berdasarkan jumlah fasa: transformator satu fasa dan transformator tiga fasa.
- Berdasarkan konstruksi inti: tipe inti (core type) dan tipe cangkang (shell type).

- Transformator instrumen: transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT/VT) untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

3.3 Rugi-Rugi dan Efisiensi Transformator

Dalam operasinya, transformator mengalami dua jenis rugi utama, yaitu rugi tembaga (copper loss) akibat resistansi belitan yang besarnya sebanding dengan kuadrat arus beban (I^2R), dan rugi inti (core loss/iron loss) yang terdiri atas rugi hysteresis dan rugi arus eddy pada inti besi, relatif konstan terhadap variasi tegangan suplai.

$$\eta = (P_{\text{output}} / P_{\text{input}}) \times 100\% = P_{\text{output}} / (P_{\text{output}} + P_{\text{cu}} + P_{\text{fe}}) \times 100\%$$

Efisiensi transformator umumnya sangat tinggi (di atas 95–98%) pada transformator daya berkapasitas besar, sehingga transformator dianggap sebagai salah satu peralatan listrik paling efisien.

BAB IV SALURAN TRANSMISI TENAGA LISTRIK

4.1 Klasifikasi Saluran Transmisi

Saluran transmisi berfungsi menyalurkan energi listrik dalam jumlah besar dari pusat pembangkit menuju gardu induk yang berlokasi lebih dekat dengan pusat beban, biasanya pada tegangan tinggi hingga ekstra tinggi untuk meminimalkan rugi-rugi daya. Berdasarkan panjangnya, saluran transmisi diklasifikasikan menjadi:

- Saluran pendek (< 80 km): parameter kapasitansi diabaikan, hanya diperhitungkan resistansi dan induktansi.
- Saluran menengah (80–250 km): parameter kapasitansi mulai diperhitungkan, umumnya dengan model rangkaian nominal- π atau nominal-T.
- Saluran panjang (> 250 km): memerlukan analisis parameter terdistribusi (distributed parameters) karena efek kapasitansi dan induktansi yang signifikan.

4.2 Parameter Saluran Transmisi

Saluran transmisi memiliki empat parameter listrik utama, yaitu resistansi (R), induktansi (L), kapasitansi (C), dan konduktansi (G). Resistansi menimbulkan rugi daya berupa panas, induktansi dan kapasitansi memengaruhi jatuh tegangan dan aliran daya reaktif, sedangkan konduktansi berkaitan dengan rugi akibat arus bocor pada isolator (umumnya sangat kecil dan sering diabaikan dalam analisis).

4.3 Jatuh Tegangan dan Rugi Daya

Jatuh tegangan (voltage drop) pada saluran transmisi terjadi akibat impedansi saluran yang dilalui arus beban. Secara pendekatan untuk saluran pendek:

$$\Delta V \approx I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

Rugi daya pada saluran (transmission loss) dirumuskan sebagai:

$$P_{\text{rugi}} = I^2 \times R$$

dengan I adalah arus saluran dan R adalah resistansi saluran. Karena rugi daya sebanding dengan kuadrat arus, menaikkan tegangan transmisi (sehingga arus untuk daya yang sama menjadi lebih kecil) merupakan cara efektif menekan rugi-rugi daya pada penyaluran jarak jauh.

Catatan Praktis

- Menaikkan tegangan $2\times$ akan menurunkan arus menjadi setengahnya untuk daya yang sama, sehingga rugi daya (I^2R) turun menjadi $\frac{1}{4}$ dari semula.
- Oleh karena itu sistem transmisi selalu menggunakan tegangan tinggi, meskipun memerlukan isolasi dan menara transmisi yang lebih kompleks.

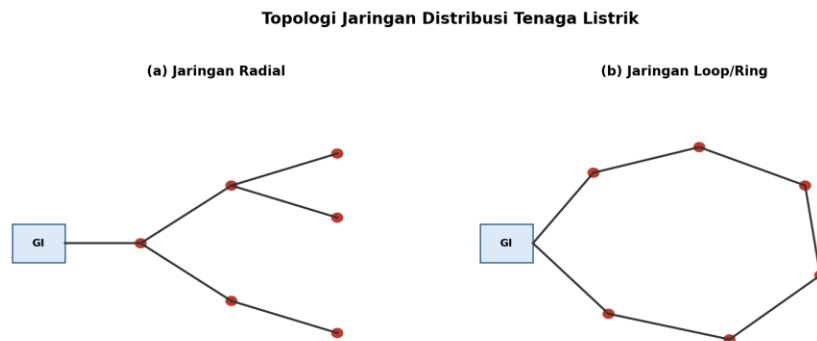
BAB V SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

5.1 Struktur Jaringan Distribusi

Sistem distribusi merupakan tahap akhir penyaluran energi listrik yang menghubungkan gardu induk dengan konsumen. Sistem ini terbagi menjadi Jaringan Tegangan Menengah (JTM, umumnya 20 kV) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR, 220/380 V) yang terhubung melalui gardu distribusi yang berfungsi menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah siap pakai.

5.2 Topologi Jaringan Distribusi

Terdapat beberapa konfigurasi topologi jaringan distribusi yang umum digunakan, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangan terkait keandalan dan biaya investasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Topologi jaringan distribusi radial dan loop/ring

Topologi	Karakteristik	Keandalan
Radial	Struktur sederhana, satu arah aliran daya dari sumber ke beban	Rendah — gangguan pada satu titik memutus seluruh beban di hilirnya
Loop/Ring	Ujung jaringan terhubung kembali ke sumber, dapat disuplai dari dua arah	Sedang–tinggi — dapat dilakukan manuver saat terjadi gangguan

Topologi	Karakteristik	Keandalan
Spindel	Beberapa penyulang radial terhubung ke gardu hubung sebagai cadangan	Tinggi — umum digunakan pada jaringan bawah tanah perkotaan

5.3 Gardu Distribusi

Gardu distribusi berfungsi menurunkan tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (380/220 V) melalui transformator distribusi, dilengkapi peralatan pengaman seperti fuse cut-out (FCO), lightning arrester (LA), dan panel hubung bagi (PHB) tegangan rendah untuk membagi beban ke beberapa jurusan (feeder) menuju konsumen.

BAB VI MESIN-MESIN LISTRIK

6.1 Generator Sinkron

Generator sinkron adalah mesin listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik AC, dengan kecepatan putar rotor yang sinkron (sama) dengan medan putar stator. Kecepatan sinkron dinyatakan oleh persamaan:

$$n_s = 120f/p$$

dengan n_s adalah kecepatan sinkron (rpm), f adalah frekuensi sistem (Hz), dan p adalah jumlah kutub magnet pada rotor. Generator sinkron menjadi komponen utama hampir seluruh pembangkit konvensional (PLTU, PLTG, PLTA, PLTD) karena mampu menghasilkan daya besar dengan tegangan dan frekuensi yang stabil.

6.2 Motor Induksi

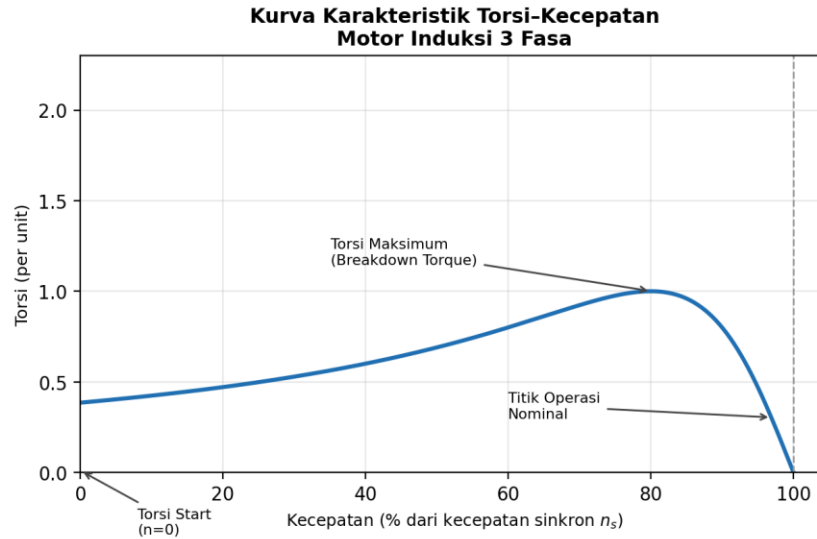
Motor induksi (asynchronous motor) adalah jenis motor AC yang paling banyak digunakan di industri karena konstruksinya sederhana, kokoh, dan relatif murah. Berbeda dengan generator sinkron, rotor motor induksi berputar sedikit lebih lambat dari medan putar stator (kecepatan sinkron), dengan selisih yang disebut slip (s):

$$s = (n_s - n_r) / n_s \times 100\%$$

dengan n_r adalah kecepatan putar rotor aktual. Nilai slip pada kondisi beban penuh umumnya berkisar 2–5% untuk motor induksi rotor sangkar (squirrel cage).

6.3 Karakteristik Torsi–Kecepatan Motor Induksi

Karakteristik torsi motor induksi terhadap kecepatan (atau slip) memiliki bentuk khas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.1, dengan torsi start pada saat $n = 0$, torsi maksimum (breakdown torque) pada slip tertentu, dan titik operasi normal mendekati kecepatan sinkron.



Gambar 6.1 Kurva karakteristik torsi-kecepatan motor induksi tiga fasa

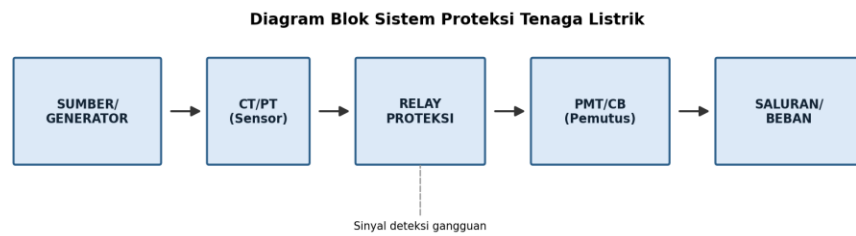
Pemahaman terhadap karakteristik ini penting dalam pemilihan motor untuk aplikasi tertentu, misalnya aplikasi yang memerlukan torsi start tinggi (seperti conveyor atau crane) memerlukan pertimbangan jenis rotor dan metode starting yang sesuai (star-delta, soft starter, atau variable frequency drive/VFD).

BAB VII SISTEM PROTEKSI TENAGA LISTRIK

7.1 Tujuan Sistem Proteksi

Sistem proteksi bertujuan mendeteksi dan mengisolasi gangguan (fault) pada sistem tenaga listrik secepat mungkin, sehingga meminimalkan kerusakan peralatan, menjaga stabilitas sistem, serta menjamin keselamatan manusia. Persyaratan utama sistem proteksi meliputi kepekaan (sensitivity), keandalan (reliability), selektivitas (selectivity), dan kecepatan (speed).

7.2 Peralatan Sistem Proteksi



Gambar 7.1 Diagram blok sistem proteksi tenaga listrik

- Transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT): menurunkan besaran arus/tegangan sistem ke level yang dapat dibaca relay.
- Relay proteksi: elemen pengambil keputusan yang mendeteksi kondisi abnormal (arus lebih, tegangan lebih/kurang, hubung singkat, dsb.) dan memberi perintah trip.
- Pemutus Tenaga (PMT/Circuit Breaker): peralatan pemutus yang mengisolasi bagian sistem yang terganggu berdasarkan perintah relay.
- Peralatan pendukung lain: lightning arrester (LA) untuk proteksi surja petir, dan grounding system untuk pengamanan terhadap arus gangguan tanah.

7.3 Koordinasi Proteksi

Koordinasi proteksi (protection coordination) bertujuan memastikan hanya bagian sistem yang terganggu yang terisolasi, sementara bagian lain tetap beroperasi normal. Hal ini dicapai melalui pengaturan waktu

kerja (time grading) dan setting arus antar-relay yang berurutan (relay utama dan relay cadangan/backup), sehingga tercipta selektivitas yang baik dalam mengatasi gangguan pada sistem tenaga listrik.

BAB VIII KUALITAS DAYA DAN KEANDALAN SISTEM

8.1 Faktor Daya (Power Factor)

Faktor daya menyatakan perbandingan antara daya aktif (P , dalam watt) dengan daya semu (S , dalam VA) yang diserap suatu beban, dan mencerminkan efisiensi pemanfaatan energi listrik oleh beban tersebut.

$$\cos \varphi = P / S$$

Faktor daya yang rendah (akibat beban induktif seperti motor listrik) menyebabkan arus yang mengalir lebih besar untuk daya aktif yang sama, sehingga meningkatkan rugi-rugi pada saluran. Perbaikan faktor daya umumnya dilakukan dengan pemasangan kapasitor bank.

8.2 Harmonisa

Harmonisa adalah komponen frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamental (50/60 Hz) yang timbul akibat beban non-linear seperti peralatan elektronik, inverter, dan lampu hemat energi. Harmonisa dapat menyebabkan pemanasan berlebih pada peralatan, gangguan pada peralatan sensitif, dan penurunan kualitas daya secara keseluruhan.

8.3 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi umumnya diukur menggunakan indeks SAIDI (System Average Interruption Duration Index) dan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), yang masing-masing menyatakan rata-rata durasi dan frekuensi pemadaman yang dialami pelanggan dalam periode tertentu (biasanya per tahun).

$$SAIFI = \Sigma(\text{jumlah pelanggan padam}) / (\text{jumlah total pelanggan})$$

$$SAIDI = \Sigma(\text{durasi padam} \times \text{jumlah pelanggan padam}) / (\text{jumlah total pelanggan})$$

Semakin rendah nilai SAIDI dan SAIFI, semakin tinggi tingkat keandalan pelayanan sistem distribusi tenaga listrik kepada konsumen.

BAB IX RANGKUMAN DAN SOAL LATIHAN

9.1 Rangkuman

- Sistem tenaga listrik terdiri atas subsistem pembangkitan, transmisi, dan distribusi yang saling terintegrasi untuk menyalurkan energi listrik dari sumber hingga ke konsumen.
- Transformator berperan penting menaikkan tegangan untuk transmisi jarak jauh (menekan rugi daya) dan menurunkan kembali tegangan untuk distribusi ke konsumen.
- Generator sinkron dan motor induksi merupakan dua mesin listrik utama dalam sistem tenaga, masing-masing berperan dalam pembangkitan dan pemanfaatan energi listrik.
- Sistem proteksi diperlukan untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara cepat dan selektif guna menjaga keandalan dan keselamatan sistem.
- Kualitas daya (faktor daya, harmonisa) dan keandalan sistem (SAIDI/SAIFI) menjadi indikator penting kinerja sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

9.2 Soal Latihan

1. Jelaskan mengapa energi listrik ditransmisikan pada tegangan tinggi, bukan tegangan rendah, meskipun keduanya dapat menyalurkan daya yang sama.
2. Sebuah transformator satu fasa memiliki kumparan primer 500 lilitan dan kumparan sekunder 100 lilitan. Jika tegangan primer 2.200 V, hitung tegangan sekundernya.
3. Sebutkan dan jelaskan tiga jenis topologi jaringan distribusi beserta karakteristik keandalannya masing-masing.
4. Sebuah motor induksi 4 kutub bekerja pada sistem 50 Hz dengan kecepatan rotor 1.440 rpm. Hitung kecepatan sinkron dan nilai slip motor tersebut.
5. Jelaskan perbedaan fungsi antara relay proteksi dan pemutus tenaga (PMT) dalam suatu sistem proteksi tenaga listrik.
6. Mengapa faktor daya yang rendah merugikan sistem kelistrikan, dan bagaimana cara memperbaikinya?

DAFTAR PUSTAKA

- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. (2003). *Electric Machinery* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Power System Analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Marsudi, D. (2011). *Operasi Sistem Tenaga Listrik* (Edisi 2). Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Pansini, A. J. (2005). *Guide to Electrical Power Distribution Systems* (6th ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Saadat, H. (2010). *Power System Analysis* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Sulasno. (2009). *Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Weedy, B. M., Cory, B. J., Jenkins, N., Ekanayake, J. B., & Strbac, G. (2012). *Electric Power Systems* (5th ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
- Zuhal. (1991). *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: Penerbit ITB.

Catatan: Mahasiswa dianjurkan pula merujuk pada standar nasional yang berlaku, seperti SPLN (Standar Perusahaan Listrik Negara) dan SNI (Standar Nasional Indonesia) terkait ketenagalistrikan, serta publikasi ilmiah terbaru dari jurnal-jurnal teknik elektro/tenaga listrik untuk memperkaya wawasan mengenai perkembangan teknologi terkini.