

DASAR-DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK

Minggu 1: Arsitektur Grid, Komponen Utama, & Pengenalan Komputasi Octave

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik - Universitas Bengkulu

Semester Genap 2026

Agenda Pembahasan Minggu 1

- 1 Gambaran Umum & Evolusi Sistem Tenaga
- 2 Hirarki 5 Pilar Grid Peralatan Utama
- 3 Konsep Interkoneksi Grid Sistem Sumatera
- 4 Review Dasar Daya AC Fasor
- 5 Pengenalan Komputasi GNU Octave MATPOWER

Pentingnya Energi Listrik Modern

Infrastruktur Krusial Modern

Energi listrik adalah satu-satunya bentuk energi yang dapat ditransmisikan secara instan dalam jumlah besar dengan efisiensi tinggi.

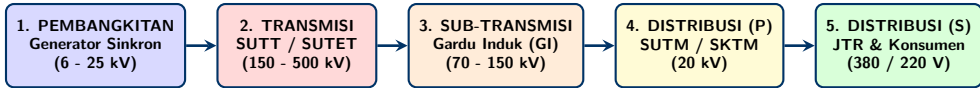
Karakteristik Unik Listrik:

- Tidak dapat disimpan dalam skala giga-watt secara langsung (perlu konversi BESS/Pumped Hydro).
- Laju produksi (pembangkitan) harus ****selalu seimbang secara real-time**** dengan konsumsi (beban).

Evolusi Sistem Kelistrikan:

- **Isolated Grid (1880-1920):** Sistem DC/AC skala kota kecil.
- **Interconnected Grid (1920-sekarang):** Jaringan terintegrasi frekuensi tunggal (50/60 Hz).
- **Smart Grid Low Carbon (Masa Depan):** Digitalisasi, IBR, EBT.

Arsitektur 5 Pilar Utama Sistem Tenaga



Mengapa Memerlukan Peninggian Tegangan?

Rugi-rugi daya pada saluran transmisi:

$$P_{loss} = I^2 \cdot R = \left(\frac{P}{\sqrt{3} V_L \cos \theta} \right)^2 \cdot R$$

Menaikkan V_L 10× akan menurunkan arus /10× dan menekan P_{loss} sebesar **100 kali lipat**!

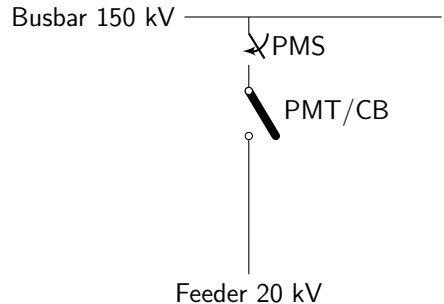
Tingkat Tegangan Standar Indonesia (PLN):

- **SUTET**: 500 kV (Interkoneksi Jawa-Bali/Sumatera)
- **SUTT**: 150 kV 70 kV (Transmisi Regional)
- **TM (Tegangan Menengah)**: 20 kV (Distribusi Primer)
- **TR (Tegangan Rendah)**: 380V (3-Fasa) / 220V (1-Fasa)

Peralatan Utama Gardu Induk & Sistem Proteksi

Komponen Utama Sakelar Proteksi

- **Busbar:** Titik temu umum (node) penghubung berbagai saluran dan trafo.
- **Circuit Breaker (CB) / PMT:** Sakelar pemutus arus beban dan arus gangguan hubung singkat secara otomatis.
- **Disconnecting Switch (DS) / PMS:** Sakelar pemisah mekanis tanpa beban untuk keselamatan pemeliharaan.
- **CT & PT:** Transformator ukur untuk



Konsep Interkoneksi Grid (Sistem Sumatera)

Keuntungan Interkoneksi Grid

- **Ekonomi Pembangunan:**
Mengoperasikan unit paling efisien (*Economic Dispatch*).
- **Keandalan Resiliensi:** Ketersediaan cadangan berputar (*spinning reserve*) saat ada insiden N-1.
- **Integrasi EBT:** Mengakomodasi variabilitas hidro/geotermal regional.

Profil Grid Sumatera Bengkulu

- ****Tol Listrik 275 kV 150 kV**:**
Membentang dari Aceh hingga Lampung.
- ****Sub-sistem Bengkulu**:**
Terinterkoneksi via GI Tes, GI Curup, GI Pekalongan, GI Lahat.

Review Formula Daya Kompleks & Segitiga Daya

Daya Kompleks 1-Fasa

$$S = P + jQ = \mathbf{V} \cdot \mathbf{I}^* = |V||I|\angle(\theta_v - \theta_i)$$

- **Daya Aktif (P):** $VI \cos \theta$ [Watt]
- **Daya Reaktif (Q):** $VI \sin \theta$ [VAR]
- **Daya Semu (S):** $\sqrt{P^2 + Q^2}$ [VA]
- **Faktor Daya (pf):** $\cos \theta = \frac{P}{|S|}$

Daya Sistem 3-Fasa Seimbang

Untuk tegangan saluran (V_L) dan arus saluran (I_L):

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta \quad [\text{W}]$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta \quad [\text{VAR}]$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} V_L I_L \quad [\text{VA}]$$

Lingkungan Komputasi GNU Octave & MATPOWER

Mengapa GNU Octave MATPOWER dalam DSTL?

- **GNU Octave:** Bahasa pemrograman komputasi matriks open-source (100% kompatibel sintaks MATLAB).
- **MATPOWER:** Paket simulasi daya standar industri untuk aliran daya (*Power Flow*), *Optimal Power Flow* (OPF), dan *Contingency Analysis*.

Struktur Kasus MATPOWER (casefile.m)

```
mpc.baseMVA = 100;  
% busdata: [bus_i  type  Pd  Qd  Gs  Bs  area  Vm  Va  baseKV  zone]  
mpc.bus = [ 1  3  0  0  0  0  1  1.0  0  150  1 ;  
           2  1  50  20  0  0  1  1.0  0  150  1 ];  
% branchdata: [fbus tbus r  x  b  rateA  rateB  rateC  ratio  angle  status]  
mpc.branch = [ 1  2  0.02  0.08  0.01  100  100  100  0  0  1 ];
```


Contoh Skrip Octave: Analisis Segitiga Daya Kompleks

Skrip Octave Perhitungan Daya Fasor

```
% Perhitungan Arus dan Daya Kompleks Beban 3-Fasa
V_L = 20e3;                      % Tegangan Saluran 20 kV
P_load = 5e6;                    % Daya Aktif 5 MW
pf = 0.85;                       % Power factor lagging
theta = acos(pf);
S_mag = P_load / pf;             % Daya Semu Total (VA)
Q_load = S_mag * sin(theta); % Daya Reaktif (VAR)

I_L = P_load / (sqrt(3) * V_L * pf); % Arus Saluran (A)
fprintf('Daya Semu S = %.2f MVA\n', S_mag/1e6);
fprintf('Arus Saluran I = %.2f A\n', I_L);
```

Rangkuman Minggu 1

- Sistem Tenaga Listrik terdiri dari 5 hierarki pilar: Pembangkitan, Transmisi, Sub-transmisi, Distribusi, dan Beban.
- Peninggian tegangan transmisi (SUTT/SUTET) secara drastis mengurangi arus dan menekan rugi-rugi I^2R .
- Analisis daya kompleks $S = P + jQ$ dan persamaan 3-fasa seimbang merupakan fondasi utama komputasi grid.
- Perangkat lunak GNU Octave dan MATPOWER akan digunakan sepanjang semester untuk menyelesaikan pemodelan numerik sistem tenaga.

Tugas: Selesaikan Lembar Kerja Minggu 1 Siapkan Instalasi GNU Octave di Laptop Masing-Masing.