

# CATATAN KULIAH MINGGU 1

## Pengantar Sistem Tenaga Listrik

Mata Kuliah: Dasar-Dasar Sistem Tenaga Listrik  
Tingkat: Menengah (Mahasiswa Tahun Ketiga Teknik Elektro)  
Durasi: 3 jam perkuliahan

## 1 Gambaran Umum Sistem Tenaga Listrik

### 1.1 Pentingnya Energi Listrik

Energi listrik merupakan **infrastruktur krusial** dalam kehidupan modern karena:

- Mendukung seluruh aktivitas ekonomi, industri, dan domestik
- Tidak dapat disimpan dalam skala besar secara ekonomis
- Harus diproduksi sesuai dengan kebutuhan konsumen secara real-time
- Memerlukan sistem yang andal dan efisien untuk penyalurannya

### 1.2 Sejarah dan Evolusi Sistem Tenaga

Perkembangan sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi beberapa era:

#### **Era Isolated Grid (1880-1920)**

- Pembangkit kecil melayani area terbatas
- Sistem DC dan AC berkompetisi
- Efisiensi rendah, cakupan terbatas

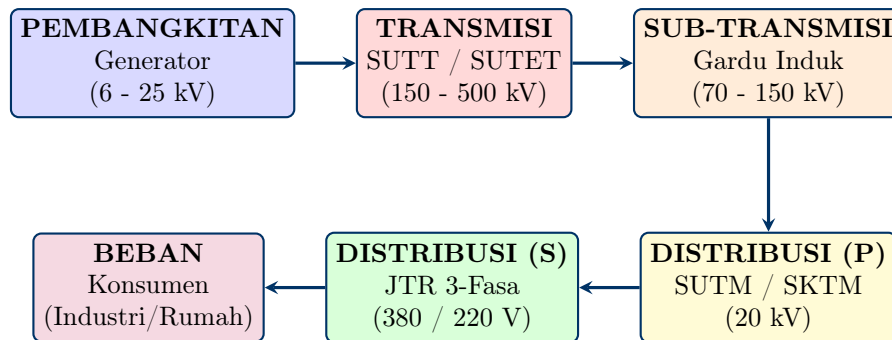
#### **Era Interconnected Grid (1920-sekarang)**

- Interkoneksi antar pembangkit dan beban
- Standarisasi frekuensi dan tegangan
- Peningkatan efisiensi dan keandalan
- Ekonomi skala dalam pembangkitan

## 2 Struktur Sistem Tenaga Listrik

### 2.1 Blok Diagram Sistem Tenaga

Sistem tenaga listrik terdiri dari lima komponen utama:



## 2.2 Pembangkitan (Generation)

**Fungsi:** Mengkonversi energi primer menjadi energi listrik

- **Tegangan operasi:** 6-25 kV
- **Jenis pembangkit:** Termal, hidro, nuklir, terbarukan
- **Komponen utama:** Generator sinkron, transformator step-up, sistem eksitasi

## 2.3 Transmisi Tegangan Tinggi

**Fungsi:** Mentransmisikan daya listrik jarak jauh dengan rugi-rugi minimal

- **Tegangan operasi:** 70 kV - 800 kV
- **Karakteristik:**
  - Sistem 3 fasa
  - Saluran udara (overhead) atau kabel bawah tanah
  - Jarak transmisi: ratusan kilometer

## 2.4 Sub-Transmisi

**Fungsi:** Menghubungkan sistem transmisi dengan sistem distribusi

- **Tegangan operasi:** 35 kV - 138 kV
- **Cakupan:** Regional/kota besar
- **Komponen:** Gardu induk sub-transmisi, transformator step-down

## 2.5 Distribusi Primer

**Fungsi:** Mendistribusikan listrik ke konsumen besar dan gardu distribusi

- **Tegangan operasi:** 4 kV - 35 kV (Indonesia: umumnya 20 kV)
- **Jarak:** 1-30 km dari gardu induk
- **Topologi:** Radial, loop, atau mesh

## 2.6 Distribusi Sekunder

**Fungsi:** Menyalurkan listrik ke konsumen akhir

- **Tegangan operasi:** 220V - 480V (Indonesia: 220V/380V)
- **Jarak:**  $< 1$  km dari gardu distribusi
- **Konsumen:** Rumah tangga, usaha kecil

## 3 Komponen Kunci Sistem Tenaga

### 3.1 Generator Sinkron

**Prinsip kerja:** Konversi energi mekanik menjadi energi listrik melalui induksi elektromagnetik

- **Komponen utama:** Stator (kumparan jangkar), Rotor (kumparan medan)
- **Karakteristik:**
  - Kecepatan sinkron:  $n_s = \frac{120f}{p}$  (rpm)
  - $f$  = frekuensi sistem (50 Hz di Indonesia)
  - $p$  = jumlah kutub generator

### 3.2 Transformator Daya

**Fungsi:** Mengubah level tegangan untuk optimasi transmisi dan distribusi

- **Prinsip:** Induksi elektromagnetik mutual
- **Jenis berdasarkan aplikasi:**
  - Step-up transformer (di pembangkit)
  - Step-down transformer (di gardu induk)
- **Parameter penting:** Rasio transformasi, impedansi, rugi-rugi

### 3.3 Saluran Transmisi

**Fungsi:** Media penyaluran daya listrik

- **Jenis:**
  - Saluran udara (overhead lines)
  - Kabel bawah tanah (underground cables)
- **Parameter:** Resistansi (R), Induktansi (L), Kapasitansi (C), Konduktansi (G)

### 3.4 Komponen Lainnya

- **Busbar:** Titik penghubung berbagai peralatan listrik di gardu induk
- **Pemutus Sirkuit:** Memutus dan menghubungkan sirkuit dalam kondisi normal dan gangguan
- **Disconnecting Switch:** Isolasi peralatan untuk pemeliharaan

| Jenis Beban | Karakteristik                | Faktor Beban |
|-------------|------------------------------|--------------|
| Residensial | Pola harian, variasi musiman | 30-40%       |
| Komersial   | Business hours               | 85-95% (PF)  |
| Industri    | Tinggi dan konstan           | 70-90%       |

### 3.5 Klasifikasi Beban

## 4 Konsep Grid dan Interkoneksi

### 4.1 Sistem Kelistrikan sebagai Jaringan Terintegrasi

Sistem tenaga modern beroperasi sebagai **grid terintegrasi** dengan karakteristik:

- Sinkronisasi frekuensi di seluruh sistem
- Load sharing otomatis antar pembangkit
- Redundansi untuk keandalan
- Ekonomi operasi melalui dispatch terpusat

### 4.2 Interkoneksi Regional: Sistem Sumatera

**Manfaat interkoneksi:**

- **Ekonomi:** Sharing cadangan, optimasi pembangkitan
- **Keandalan:** Mutual support saat gangguan
- **Kualitas:** Stabilitas frekuensi dan tegangan yang lebih baik

**Sistem Kelistrikan Sumatera:**

- Tegangan transmisi: 500 kV, 275 kV, 150 kV
- Menghubungkan pembangkit dari Aceh hingga Lampung
- **Peran Bengkulu:** Bagian dari sistem interkoneksi Sumatera
- Pembangkit di Bengkulu: PLTU, PLTA, PLTP, PLTD, PLTBg

## 5 Pengantar Alat Komputasi

### 5.1 GNU Octave

**GNU Octave** adalah software komputasi numerik open-source yang kompatibel dengan MATLAB.

**Keunggulan untuk analisis sistem tenaga:**

- Gratis dan open source
- Sintaksis mirip MATLAB
- Mendukung komputasi matriks dan bilangan kompleks
- Visualisasi data yang baik
- Komunitas pengembang aktif

## 5.2 MATPOWER

**MATPOWER** adalah paket tambahan untuk Octave/MATLAB khusus analisis sistem tenaga:

- Load flow analysis
- Optimal power flow
- Power system visualization
- Case files untuk berbagai sistem test

## 5.3 Instalasi dan Setup

**Langkah instalasi:**

1. Download GNU Octave dari <https://www.gnu.org/software/octave/>
2. Install sesuai sistem operasi
3. Download MATPOWER dari <https://matpower.org/>
4. Extract dan tambahkan ke path Octave

**Verifikasi instalasi:**

```
1 % Test dasar Octave
2 A = [1 2; 3 4];
3 B = [5 6; 7 8];
4 C = A * B
```

**Test MATPOWER:**

```
1 % Tambahkan MATPOWER ke path
2 addpath('path/to/matpower');
3 % Test case sederhana
4 runpf(case9)
```

## 6 Sintaksis Dasar Octave

### 6.1 Operasi Dasar

```
1 % Komentar menggunakan %
2 % Variabel dan assignment
3 a = 5;           % Semicolon menekan output
4 b = 10          % Tanpa semicolon menampilkan output
5 c = a + b;      % Operasi aritmatika
6
7 % Matriks dan vektor
8 A = [1 2 3; 4 5 6; 7 8 9]; % Matriks 3x3
9 v = [1; 2; 3];   % Vektor kolom
10 u = [1 2 3];    % Vektor baris
```

### 6.2 Operasi Matriks

```
1 % Operasi matriks
2 A_transpose = A'; % Transpose
3 A_inverse = inv(A); % Inverse (jika ada)
4 det_A = det(A); % Determinan
5 eigenvals = eig(A); % Eigenvalues
```

### 6.3 Bilangan Kompleks

```

1 % Bilangan kompleks (penting untuk analisis AC)
2 z1 = 3 + 4*i;           % atau 3 + 4*j
3 z2 = 5*exp(i*pi/4);     % Bentuk polar
4 magnitude = abs(z1);    % Magnitudo
5 phase = angle(z1);      % Fasa dalam radian
6 phase_deg = angle(z1)*180/pi; % Fasa dalam derajat

```

### 6.4 Visualisasi

```

1 % Plot sederhana
2 x = 0:0.1:10;
3 y = sin(x);
4 plot(x, y);
5 xlabel('x');
6 ylabel('sin(x)');
7 title('Fungsi Sinus');
8 grid on;

```

## 7 Rangkuman

Minggu pertama ini memberikan foundation yang kuat untuk memahami:

1. **Pentingnya sistem tenaga listrik** sebagai infrastruktur kritis
2. **Struktur sistem tenaga** dari pembangkitan hingga konsumen akhir
3. **Komponen-komponen kunci** dan fungsinya masing-masing
4. **Konsep interkoneksi** dan manfaatnya, khususnya sistem Sumatera
5. **Tools komputasi** yang akan digunakan sepanjang mata kuliah

**Persiapan minggu depan:**

- Praktek penggunaan Octave untuk operasi matriks dan bilangan kompleks
- Membaca tentang sistem tiga fasa dan keunggulannya
- Review konsep dasar rangkaian AC

## 8 Referensi Bacaan

- Saadat, Hadi. "Power System Analysis", Chapter 1
- Glover et al. "Power System Analysis and Design", Chapter 1-2
- Dokumentasi GNU Octave: <https://www.gnu.org/software/octave/doc/>