

DASAR-DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK

Minggu 5: Saluran Transmisi Panjang, Efek Ferranti, & Kompensasi Daya Reaktif

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik - Universitas Bengkulu

Semester Genap 2026

Agenda Pembahasan Minggu 5

- 1 Model Saluran Transmisi Panjang (≥ 250 km)
- 2 Fenomena Khusus Saluran Transmisi
- 3 Kompensasi Daya Reaktif (Shunt Capacitor Reactor)
- 4 Simulasi GNU Octave Profil Tegangan Saluran Panjang

Model Gelombang Berjalan Persamaan Hiperbolik

Persamaan Diferensial Saluran Panjang

Parameter terdistribusi merata sepanjang saluran (x):

$$\frac{d^2 V(x)}{dx^2} = \gamma^2 V(x), \quad \gamma = \sqrt{z \cdot y} = \alpha + j\beta$$

- γ : Konstanta propagasi
- α : Konstanta Atenuasi (Neper/m)
- β : Konstanta Fasa (rad/m)
- $Z_c = \sqrt{z/y}$: Impedansi Karakteristik (Ω)

Matriks ABCD Fungsi Hiperbolik

$$A = D = \cosh(\gamma l)$$

$$B = Z_c \sinh(\gamma l)$$

$$C = \frac{1}{Z_c} \sinh(\gamma l)$$

Memperhitungkan efek gelombang berjalan pada saluran transmisi daya jarak jauh.

Fenomena Khusus: Efek Ferranti, Skin Effect, Proximity

1. Efek Ferranti

Kondisi di mana tegangan di ujung penerima (V_R) ****lebih tinggi**** daripada tegangan ujung pengirim (V_S) saat saluran berbeban sangat ringan atau tanpa beban!

$$V_R \approx \frac{V_S}{\cos(\beta l)} > V_S$$

Terjadi karena arus charging kapasitansi saluran yang dominan.

2. Efek Kulit (*Skin Effect*)

Kecenderungan arus AC frekuensi tinggi/50Hz untuk berkonsentrasi di permukaan luar konduktor, mengurangi luas penampang efektif meningkatkan R_{ac} .

3. Efek Kedekatan (*Proximity Effect*)

Distorsi distribusi arus akibat medan magnet dari konduktor lain di sekitarnya.

Kompensasi Daya Reaktif pada Transmisi

1. Reaktor Shunt (Shunt Reactor)

- Dipasang di ujung saluran transmisi panjang.
- ****Fungsi****: Menyerap daya reaktif kapasitif berlebih saat beban ringan untuk ****menekan Efek Ferranti**** dan mencegah ***overvoltage***.

2. Kapasitor Shunt (Shunt Capacitor)

- Dipasang dekat pusat beban.
- ****Fungsi****: Memasok daya reaktif lokal, memulihkan penurunan tegangan (***voltage drop***), dan mengoptimalkan kapasitas transfer daya.

Simulasi GNU Octave: Profil Tegangan Efek Ferranti

Skrip Octave Simulasi Saluran Panjang

```
% Simulasi Efek Ferranti Saluran Panjang 400 km
l = 400;                                % Panjang saluran (km)
z = 0.03 + 0.3j;                        % Impedansi per km (Ohm/km)
y = 4e-6j;                              % Admitansi per km (S/km)
gamma = sqrt(z * y);                    % Konstanta propagasi
Zc = sqrt(z / y);                       % Impedansi karakteristik

VS = 500e3 / sqrt(3);                   % Tegangan Pengirim 500 kV LN (V)
% Tanpa Beban (IR = 0): VR = VS / cosh(gamma * l)
VR_noload = VS / cosh(gamma * l);
fprintf('Tegangan Pengirim VS = %.2f kV\n', VS/1e3);
fprintf('Tegangan Penerima VR (No Load) = %.2f kV\n', abs(VR_noload)/1e3);
fprintf('Kenaikan Tegangan Efek Ferranti = %.2f%%\n', ...
```

Rangkuman Minggu 5

- Saluran Transmisi Panjang (> 250 km) memerlukan persamaan diferensial gelombang berjalan dan fungsi hiperbolik ($\cosh, \sinh$).
- Efek Ferranti menyebabkan tegangan penerima $V_R > V_S$ saat beban ringan karena dominasi arus *charging* kapasitif.
- Reaktor Shunt digunakan untuk memitigasi Efek Ferranti, sedangkan Kapasitor Shunt dipasang untuk mengatasi jatuh tegangan saat beban berat.
- Penguasaan alat komputasi GNU Octave mempermudah kalkulasi matriks hiperbolik dan prediksi profil tegangan grid.