

DASAR-DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK

Minggu 3: Transformator - Prinsip Kerja, Model Ekuivalen, & Koneksi 3-Fasa

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik - Universitas Bengkulu

Semester Genap 2026

Agenda Pembahasan Minggu 3

- 1 Prinsip Kerja Model Trafo Ideal
- 2 Rangkaian Ekuivalen Trafo Riil Rugi-rugi
- 3 Koneksi Trafo 3-Fasa Pergeseran Fasa
- 4 Autotransformator Transformator Ukur (CT PT)
- 5 Simulasi GNU Octave Rangkaian Ekuivalen Trafo

Prinsip Dasar Induksi Elektromagnetik (Hukum Faraday)

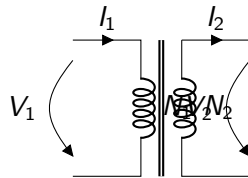
Hukum Induksi Faraday Lenz

Tegangan terinduksi pada lilitan sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik inti (ϕ):

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt}, \quad e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

Rasio Transformasi (a)

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$



Rangkaian Ekuivalen Transformator Riil

Komponen Non-Ideal Transformator

- **Resistansi Lilitan** (R_1, R_2): Menyebabkan rugi-rugi tembaga I^2R .
- **Reaktansi Bocor** (X_1, X_2): Fluks bocor yang tidak mengikat kedua lilitan.
- **Resistansi Inti** (R_c): Rugi-rugi histeresis arus pusar (*eddy current*).
- **Reaktansi Magnetisasi** (X_m): Memerlukan arus magnetisasi I_m untuk membangkitkan fluks inti.

Efisiensi (η) Trafo

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{cu} + P_{core}} \times 100\%$$

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2, \quad P_{core} = \frac{V_1^2}{R_c}$$

Koneksi Trafo 3-Fasa Vector Group

Konfigurasi Utama Lilitan

- **Y - Y (Bintang-Bintang):**
Memerlukan saluran netral untuk mencegah distorsi tegangan fasa.
- **Δ - Δ (Delta-Delta):** Stabil untuk beban tidak seimbang, mengeliminasi harmonisa ke-3.
- **Y - Δ / Δ - Y:** Konfigurasi standar step-up step-down di sistem transmisi/distribusi.

Pergeseran Fasa Tegangan (Δ - Y)

Koneksi Δ - Y (misal: ****Dyn11****) menghasilkan pergeseran fasa tegangan sebesar ****30° mendahului (leading)**** antara sisi Tegangan Tinggi dan Tegangan Rendah!

Autotransformator & Trafo Ukur (CT / PT)

Autotransformator

- Menggunakan lilitan tunggal dengan *tap* variabel.
- Efisiensi lebih tinggi, ukuran fisik lebih kecil, biaya lebih murah.
- Aplikasi: Interkoneksi gardu induk SUTET/SUTT (500 kV/150 kV).

Transformator Ukur (Instrument Transformer)

- **Current Transformer (CT):**
Menurunkan arus sekunder besar (1000A $\rightarrow$ 5A) untuk relai/meter.
- **Potential Transformer (PT):**
Menurunkan tegangan tinggi (150kV $\rightarrow$ 110V) untuk pengukuran aman.

Simulasi GNU Octave: Efisiensi Regulasi Tegangan Trafo

Skrip Octave Analisis Parameter Trafo

```
% Perhitungan Efisiensi Trafo 50 MVA, 150kV/20kV
S_rating = 50e6;           % Rating MVA
P_core = 45e3;             % Rugi Inti (W)
P_cu_full = 180e3;         % Rugi Tembaga Beban Penuh (W)
pf = 0.85;                 % Faktor Daya

% Hitung Efisiensi pada Beban 100% dan 50%
load_factor = [1.0, 0.5];
for x = load_factor
    P_out = x * S_rating * pf;
    P_losses = P_core + (x^2) * P_cu_full;
    eff = (P_out / (P_out + P_losses)) * 100;
    fprintf('Efisiensi pada beban %.0f%% = %.2f%%\n', x*100, eff);
endfor
```

Rangkuman Minggu 3

- Transformator bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik Hukum Faraday dengan rasio tegangan $V_1/V_2 = N_1/N_2$.
- Model ekivalen trafo riil memperhitungkan resistansi lilitan (R), reaktansi bocor (X), serta rugi inti (R_c, X_m).
- Koneksi trafo 3-fasa $\Delta - Y$ menghasilkan pergeseran fasa 30° yang harus diperhitungkan dalam analisis sistem.
- Autotransformator digunakan untuk penyambungan grid tegangan tinggi, sementara CT dan PT penting untuk sistem metering dan proteksi.