

Perlindungan Sistem Tenaga

Dasar-Dasar Sistem Tenaga Listrik - Minggu 13

Novalio Daratha

Universitas Bengkulu
Fakultas Teknik - Teknik Elektro

August 9, 2026



Outline

- 1 Pendahuluan
- 2 Komponen Perlindungan
- 3 Prinsip Koordinasi
- 4 Aplikasi Perlindungan
- 5 Kasus Sumatra Grid
- 6 Teknologi Modern

Apa Itu Perlindungan Sistem Tenaga?

Definisi

Perlindungan sistem tenaga adalah sistem yang dirancang untuk mendeteksi kondisi abnormal (gangguan) dalam sistem tenaga listrik dan mengisolasi komponen yang bermasalah secepat mungkin.

Tujuan Utama:

- Melindungi peralatan
- Melindungi personel
- Meminimalkan gangguan
- Menjaga kontinuitas pelayanan



Klasifikasi Gangguan

Berdasarkan Lokasi:

- Gangguan Internal: di dalam peralatan
- Gangguan Eksternal: di saluran transmisi

Berdasarkan Jenis:

- Gangguan Hubung Singkat:
 - 3 fasa (3P)
 - Fasa-ke-fasa (L-L)
 - Fasa-ke-tanah (L-G)
 - 2 fasa-ke-tanah (L-L-G)
- Gangguan Operasional: overload, under/over voltage

Perhatian

Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan arus jauh di atas nilai normal!

Komponen Utama Sistem Perlindungan

① Relay Proteksi

- Otak dari sistem perlindungan
- Mendeteksi kondisi abnormal

② CT dan PT

- Menurunkan arus/tegangan tinggi ke level ukur
- Memberikan isolasi

③ Circuit Breaker

- Memutus aliran arus saat diperintah relay
- Bekerja berdasarkan prinsip mekanik/elektrik

Cascading Process

Gangguan → CT/PT → Relay → CB → Isolasi

Jenis-Jenis Relay Proteksi

Berdasarkan Prinsip Kerja:

- Elektromekanis
- Statik (Solid State)
- Digital (Numerik)

Fungsi Proteksi:

- Diferensial (87)
- Arus Lebih (51)
- Impedansi/Jarak (21)
- Arah (67)
- Tegangan (59)

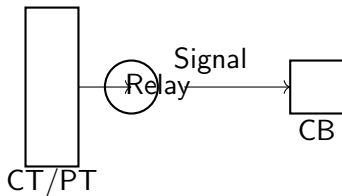


Figure: Diagram Alir Sistem Proteksi

Current Transformer (CT) dan Potential Transformer (PT)

Current Transformer (CT):

- Mengurangi arus tinggi ke level ukur (1A atau 5A)
- Rasio standar: 100:1, 200:1, 300:1, dsb.
- Harus jangan pernah dibuka saat berbeban!

Potential Transformer (PT):

- Mengurangi tegangan tinggi ke level ukur (110V)
- Rasio standar: 11000:110, 20000:110, dsb.
- Memberikan isolasi tegangan

$$\text{Rasio CT} = \frac{I_{\text{primer}}}{I_{\text{sekunder}}} \quad (1)$$

Pemutus Tenaga (Circuit Breaker)

Fungsi: Memutus aliran arus selama kondisi normal dan gangguan

Jenis Berdasarkan Media Pemadam Busur:

- ① **SF₆**: Menggunakan gas sulfur hexafluoride
- ② **Vacuum**: Menggunakan ruang hampa
- ③ **Oil**: Menggunakan minyak isolasi

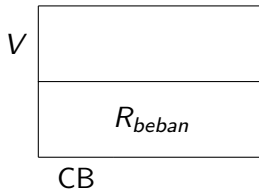
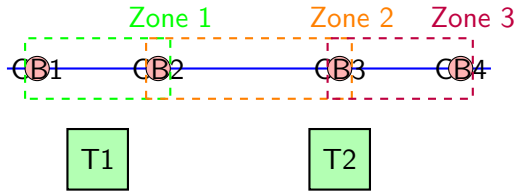


Figure: Circuit Breaker dalam Rangkaian

Zone Perlindungan



Saluran Transmisi antar Gardu Induk

- Setiap komponen dalam zone perlindungan primer
- Perlindungan cadangan dari komponen lain
- Tujuan: selektivitas maksimal

Koordinasi Waktu Perlindungan

Prinsip Selektivitas: Perlindungan harus beroperasi secara berjenjang

Kurva Waktu-Terbalik:

$$t = \frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^p - 1} + B \quad (2)$$

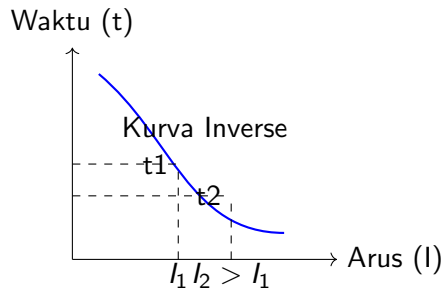


Figure: Kurva Waktu-Terbalik

Perlindungan Generator

Perlindungan Primer:

- ➊ **Relay Diferensial (87G):** Gangguan fasa-ke-fasa di stator
- ➋ **Relay Arus Lebih (51G):** Beban berlebih
- ➌ **Relay Gangguan ke Tanah (67G):** Ground fault

Perlindungan Aksesori:

- Perlindungan kehilangan medan (40)
- Perlindungan putaran terbalik (46)
- Perlindungan tegangan tidak seimbang (47)

Kritis

Generator adalah aset penting, perlindungan harus sangat andal!

Perlindungan Transformator

Perlindungan Primer:

- 1 **Relay Diferensial (87T):** Gangguan internal
- 2 **Relay Arus Lebih (51T):** Overload
- 3 **Relay Tekanan/Temperatur:** Overheat



Figure: Proteksi Diferensial Transformator

Relay Jarak (Distance Relay - 21):

- Zona 1: 80-85% panjang saluran (instantaneous)
- Zona 2: 120-150% panjang saluran (time-delayed)
- Zona 3: Cadangan untuk saluran berikutnya

Relay Arus Lebih Berarah:

- Digunakan untuk sistem loop
- Menyediakan selektivitas berdasarkan arah arus

$$Z = \frac{V}{I} < Z_{set} \Rightarrow \text{Relay Operates} \quad (3)$$

Studi Kasus: Perlindungan Jalur 150 kV Sumatra

Skenario

Desain perlindungan untuk jalur transmisi 150 kV menghubungkan Bengkulu-Palembang

Konsiderasi Perlindungan:

- ① Jarak transmisi: 300 km, perlu relay jarak
- ② Kondisi iklim: Tahan petir dan kelembaban
- ③ Koordinasi: Dengan gardu sepanjang jalur
- ④ Keandalan: Perlindungan cadangan dari gardu berikutnya

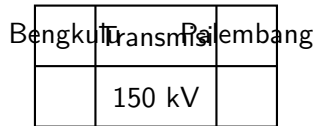


Figure: Jalur Transmisi 150 kV Sumatra

Rekomendasi Perlindungan Sumatra

Sistem Perlindungan Terpadu:

- Relay jarak mikroprosesor (Zona 1, 2, 3)
- Relay arus lebih berarah sebagai cadangan
- Sistem komunikasi untuk proteksi diferensial

Manfaat untuk Sumatra Grid:

- Meningkatkan keandalan sistem
- Mengurangi waktu padam
- Melindungi investasi infrastruktur
- Mendukung integrasi pembangkit terbarukan

Strategis

Perlindungan yang baik mendukung pertumbuhan sistem kelistrikan Sumatra

Manfaat Digital Relay:

- Fungsi proteksi multipel dalam satu perangkat
- Komunikasi terstandarisasi (IEC 61850)
- Fungsi pengukuran tambahan
- Rekaman kejadian (event recorder)
- Fasilitas remote monitoring

Smart Grid Integration:

- Perlindungan berbasis komunikasi
- Pemantauan kondisi sistem real-time
- Restorasi otomatis
- Perlindungan untuk sistem DER

Kesimpulan

- ① Perlindungan sistem tenaga penting untuk keamanan dan keandalan
- ② Komponen utama: Relay, CT/PT, dan Circuit Breaker
- ③ Prinsip selektivitas membuat hanya bagian bermasalah yang diputus
- ④ Perlindungan bervariasi tergantung peralatan (gen, trafo, saluran)
- ⑤ Teknologi modern membawa fitur lanjutan
- ⑥ Penerapan perlu menyesuaikan kondisi lokal

Pro Tips

Perlindungan adalah jaminan keamanan sistem tenaga - tanpa proteksi yang baik, sistem tidak bisa beroperasi dengan aman.

- Apa konsekuensi dari tidak adanya sistem perlindungan dalam sistem tenaga?
- Bagaimana prinsip selektivitas meningkatkan keandalan sistem?
- Faktor apa saja yang mempengaruhi pemilihan jenis relay untuk suatu peralatan?
- Bagaimana perlindungan sistem tenaga beradaptasi dengan integrasi energi terbarukan?

Terima Kasih
Universitas Bengkulu