

p.ISSN 2303-212X
e.ISSN 2503-5398

Jurnal DESIMINASI TEKNOLOGI



Diterbitkan Oleh :
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TRIDINANTI PALEMBANG

JURNAL
DESIMINASI TEKNOLOGI

VOL. 9

NOMOR 2

HAL.: 92 - 165

JULI 2021

JURNAL DESIMINASI TEKNOLOGI

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TRIDINANTI PALEMBANG

VOLUME 9 NOMOR 2

p-ISSN 2303-212X

e-ISSN 2503-5398

JULI 2021

DAFTAR ISI

Halaman

EVALUASI KUALITAS RUANG TERBUKA PUBLIK MENGGUNAKAN GOOD PUBLIC SPACE INDEX DI KOTA PALEMBANG

*Monaliza Agustina (Dosen Arsitektur UIGM).....*92 – 99

ANALISA PENGARUH SUDUT DATANG SINAR MATAHARI TERHADAP KINERJA SOLAR CELL 50 Wp

*Madagaskar, Abdul Muin, M. Ali, Dadang Istate (Dosen Teknik Mesin UTP).....*100 – 104

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENGGULUNG TALI PLASTIK DUA ROLL DENGAN PENGGERAK MOTOR LISTRIK

*Sukarmansyah, Rita M. V., M. Amin F., Hermanto Ali, Salman K. (Dosen Teknik Mesin UTP).....*105 – 114

ANALISIS INDEKS KEPUASAN PELANGGAN TERHADAP ASURANSI JASINDO DENGAN METODE QUALITY OF SERVICE

*Evan Kahmeldi, Hermanto Emzed, Winmy Andalia (Dosen Teknik Industri UTP).....*115 – 120

PERENCANAAN SETTING RELAY DIFFERENTIAL SEBAGAI PROTEKSI UTAMA TRANSFORMATOR 500 MVA GITET 500/275 KV MUARA ENIM PT. PLN (PERSERO) UIP SUMBAGSEL

*M. Aditya Firnanda, Ishak Effendi, Dyah Utari Y.W. (Dosen Teknik Elektro UTP).....*121 – 129

EVALUASI KINERJA FLYOVER JAKABARING MENGGUNAKAN PROGRAM MICROSIMULATOR VISSIM 8.00

*Felly Misdalena (Dosen Teknik Sipil UTP).....*130 – 134

ANALISA KONTINGENSI SISTEM KELISTRIKAN DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA

*Wildan Firdaus, Yuslan Basir, Dyah Utari Y.W. (Dosen Teknik Elektro UTP).....*135 – 143

PENGARUH PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZER DAN SILICA FUME TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR DENGAN FAS 0,3

*Indra Syahrul Fuad (Dosen Teknik Mesin UTP).....*144 – 151

RANCANG BANGUN BENTUK CHASIS DAN SISTEM REM GO-KART STANDAR RACE DENGAN PENGGERAK MOTOR BAKAR

*Martin L.K., Iskandar Husin, Zulkarnain Fatoni, Nur Ari Pratama (Dosen D3 Teknik Mesin UTP).....*152 – 160

PERHITUNGAN KAPASITAS RUANG SERBAGUNA PASCA PANDEMI COVID-19 DI FAKULTAS EKONOMI UNIVERSITAS TRIDINANTI PALEMBANG

*Andy Budiarto (Dosen Arsitektur UTP).....*161 – 165

PRAKATA

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, atas berkah dan rahmat-Nya sehingga jurnal ilmiah *Desiminasi Teknologi* dapat dikenal pada lingkungan Fakultas Teknik dan civitas akademika teknik di seluruh Indonesia.

Jurnal *Desiminasi Teknologi* disusun dari berbagai penelitian dan kajian dosen dan atau mahasiswa internal Fakultas Teknik UTP dan dosen atau mahasiswa dari fakultas Teknik di luar Universitas Tridianti Palembang yang memiliki penelitian untuk dipublikasikan. Jurnal ini terdiri dari berbagai rumpun ilmu teknik, diantaranya: Teknik Sipil, Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Industri, Arsitektur dan teknik lainnya.

Pada edisi kali ini, Jurnal Desiminasi Teknologi telah memasuki terbitan Volume 9 Nomor 2 edisi Juli 2021, dan kami beritahukan juga bahwa Jurnal Desiminasi Teknologi telah terdaftar secara elektronik dengan nomor e.ISSN 2503-5398.

Segala kritik dan saran yang bersifat membangun, sangat kami harapkan untuk perbaikan penulisan jurnal ini di masa mendatang dan kepada semua pihak yang ikut terlibat dalam proses penerbitan jurnal ini, kami ucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya.

Palembang, Juli 2021

Redaksi

PERENCANAAN SETTING RELAY DIFFERENTIAL SEBAGAI PROTEKSI UTAMA TRANSFORMATOR 500 MVA GITET 500/275 KV MUARA ENIM PT. PLN (PERSERO) UIP SUMBAGSEL

M. Aditya Firnanda¹⁴, Ishak Effendi¹⁵, Dyah Utari Y.W.¹⁶

E-mail Korespondensi: dyahutari@univ-tridinanti.ac.id

Abstrak: Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi yang direncanakan akan dibangun di Sumatera selatan adalah GITET Muara Enim yang nantinya beroperasi menggunakan 2 Set Inter Bus Transformator (IBT) 2 x 500 MVA. Sebagai salah satu proteksi utama dalam pengoperasian Inter Bus Transformator (IBT) di GITET Muara Enim maka akan dipasang Relay Differensial pada Transformator tersebut. Dalam pengoperasian Relay Differensial tersebut diperlukan perhitungan nilai setting Relay Differensial agar tidak terjadi kegagalan proteksi pada Transformator tersebut. Untuk melakukan settingan relay differensial dibutuhkan data-data untuk perhitungan seperti data Transformator. Transformator yang terpasang memiliki daya sebesar 500 MVA dengan tegangan kerja 500/275 kV. Dengan data yang diperoleh kita dapat melakukan perhitungan guna mendapatkan nilai setting Relay Differensial. Kita dapat menghitung Arus Nominal Trafo sisi 500 kV dan 275 kV yang masing-masing nilainya 577,35 A dan 1049,72 A. Arus rating trafo sisi 500 kV dan 275 kV masing-masing besarnya 635,085 A dan 1154,692 A. Dari nilai arus rating tersebut kita dapat menentukan rasio CT pada sisi 500 kV menggunakan rasio CT 800/1 sedangkan sisi 275 kV menggunakan rasio CT 1200/1. Sehingga arus sekunder dari masing-masing CT dapat kita ketahui dimana pada sisi 500 kV dan 275 kV masing-masing sebesar 0,721 A dan 0,874 A. Dari perhitungan di atas kita mendapatkan arus differential sebesar 0,153 A. sedangkan arus sebesar 0,797 A. setelah arus differential dan arus penahan diketahui maka kita dapat menghitung persentase slope 1 dan slope 2, sehingga didapat nilai 19,19% dan 38,39 % dengan setting relay differensial 0,3 A. Pada perhitungan hubung singkat, didapatkan arus yang dapat mengalir pada sisi 275 kV sebesar 1070,4 A.

Kata kunci: setting relay, relay differensial, proteksi

Abstract : The Extra High Voltage Substation that is planned to be built in South Sumatra is the Muara Enim GITET which will later operate using 2 Sets of Inter Bus Transformers (IBT) 2 x 500 MVA. As one of the main protections in the operation of the Inter Bus Transformer (IBT) at the Muara Enim GITET, a Differential Relay will be installed on the transformer. In the operation of the Differential Relay, it is necessary to calculate the value of the Relay Differential setting so that there is no failure of protection on the transformer. To perform differential relay settings, data is needed for calculations such as transformer data. The installed transformer has a power of 500 MVA with a working voltage of 500/275 kV. With the data obtained, we can perform calculations in order to get the Differential Relay setting value. We can calculate the Nominal Current of the 500 kV and 275 kV side transformers, which are respectively 577.35 A and 1049.72 A. Current rating we can determine the CT ratio on the 500 kV side using the CT ratio 800/1 while the 275 kV side uses the CT ratio 1200/1. So that the secondary current from each CT can be seen where on the 500 kV and 275 kV sides respectively 0.721 A and 0.874 A. From the above calculations we get a differential current of 0.153 A. while the current is 0.797 A. after a differential current and the retaining current is known so we can calculate the percentage of slope 1 and slope 2, so that the values of 19.19% and 38.39% are obtained with a differential relay setting of 0.3 A. In the short circuit calculation, the current that can flow on the 275 kV side is obtained. amounting to 1070.4 A.

Keywords: relay settings, differential relay, protection

^{15,16} Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti Palembang.

¹⁴ Alumni Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti Palembang.

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik dari hari ke hari semakin bertambah karena kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan menghasilkan produk-produk teknologi yang membutuhkan suplai energi berkualitas untuk memaksimalkan kinerjanya. Salah satu komponen utama dalam penyaluran energi listrik dalam sistem kelistrikan adalah Transformator pada gardu induk tegangan ekstra tinggi (GITET). Untuk menunjang

keandalan sistem kelistrikan di Sumatera khususnya di Sumbagsel, maka Salah satu (GITET) yang direncanakan akan dibangun di Sumatera selatan tepat nya di Desa Pagar Dewa, simpang metur Kabupaten Muara Enim adalah GITET Muara Enim yang nantinya akan beroperasi menggunakan 2 Set Inter Bus Transformator (IBT) 2 x 500 MVA yang sekarang sedang dibangun pada tahap pekerjaan sipil dan erection peralatan switchyard.

GITET Muara Enim mempunyai target penyelesaian yaitu pada akhir tahun 2021. Untuk memberikan keandalan dan kualitas yang baik dalam pendistribusian tenaga listrik, suatu sistem tenaga listrik yang baik harus mempunyai sistem pengamanan yang memadai untuk melindungi dari gangguan-gangguan internal dan eksternal. Terutama untuk peralatan vital seperti transformator daya, agar tidak sampai menyebabkan kerusakan dan kerugian. Sebagai salah satu proteksi utama dalam pengoperasian Inter Bus Transformator (IBT) di GITET Muara Enim maka akan dipasang Relay Differential pada Transformator tersebut. Relay Differential Maka dalam pengoperasian Relay Differential tersebut diperlukan perhitungan nilai setting Relay Differential agar tidak terjadi kegagalan proteksi pada Transformator tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Rele Diferensial

Rele diferensial berfungsi mengamankan transformator dari gangguan hubung singkat yang terjadi didalam daerah pengamanan, antara lain hubung singkat antar belitan, antara belitan dengan tangka, gangguan fasa-fasa dan gangguan fasa-tanah di dalam daerah pengamanannya. Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan trafo arus dimana relay diferensial dipasang sehingga relay diferensial tidak dapat dijadikan sebagai pengaman cadangan untuk daerah berikutnya. Proteksi relay diferensial bekerja dengan prinsip keseimbangan arus.^[4]

Prinsip ini berdasarkan hukum *kirchhoff* yaitu membandingkan jumlah arus masuk ke primer (I_p) sama dengan jumlah arus yang keluar dari sekunder (I_S).^[5]

$$I_{diferensial} = I_d = I_p + I_s \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

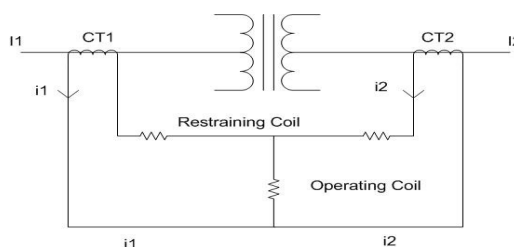
I_d = Arus Diferensial (A)

I_p = Arus Sisi Masuk (A)

I_s = Arus Sisi Keluar (A)

Karakteristik Rele Diferensial

Karakteristik diferensial dibuat sejalan dengan *Unbalances current* (I_μ), untuk menghindari terjadinya kesalahan kerja. Kesalahan kerja disebabkan karena CT ratio mismatch, adanya pergeseran fasa akibat belitan transformator tenaga terhubung (Y) – (Δ).



Gambar 1. Karakteristik Rele Diferensial

Perubahan tap tegangan (perubahan posisi *tap changer*) pada transformator tenaga oleh On Load Tap Changer (OLTC) yang menyebabkan CT mismatch juga ikut berubah. Kesalahan akurasi CT, Perbedaan kesalahan CT di daerah jenuh (Saturasi CT), dan *Inrush current* pada saat transformator *energize* menimbulkan *unbalances current* (I_μ) yang bersifat transient.

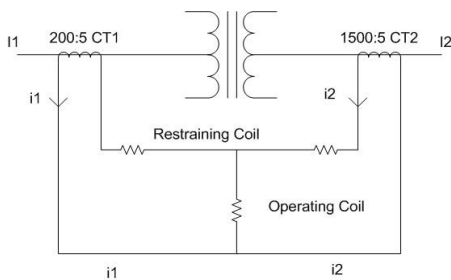
Untuk mengatasi masalah *unbalance current* (I_μ) pada relay diferensial caranya dengan menambahkan kumparan yang menahan bekerjanya relay di daerah I_μ . Kumparan ini di sebut *Restraining Coil*, sedangkan kumparan yang mengerjakan relay tersebut di sebut *Operating Coil*. Arus diferensial didapat dari menjumlahkan komponen arus sekunder perfasa di belitan 1 (I_1) dan belitan 2 (I_2) secara vector perfasa.

Jika arus berlawanan dalam arti yang satu menuju relay dan yang yang lainnya meninggalkan relay, maka akan saling mengurangi dan sebaliknya jika arus searah berarti yang kedua-duanya menuju atau meninggalkan relay, maka akan saling menjumlahkan. Arus penahan (*restrain*) didapat dari arus maksimal komponen arus sekunder perfasa di belitan 1 (I_1) dan belitan 2 (I_2)

Slope didapat dengan membagi antara komponen arus diferensial dengan arus penahan. Slope 1 akan menentukan arus diferensial dan arus penahan pada saat kondisi normal dan memastikan sensitifitas relay pada saat gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil. Sedangkan Slope 2 berguna supaya relay tidak kerja oleh gangguan eksternal yang berarus sangat besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi (diset dengan slope lebih dari 50%).

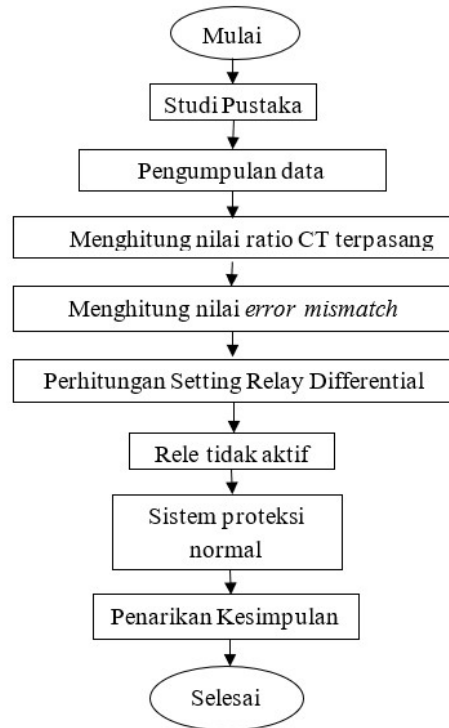
Syarat Pengaman Rele Diferensial

- a. Trafo arus yang digunakan oleh rele diferensial ini harus memiliki rasio perbandingan CT1 dan CT2 sama, contohnya 200:5 dan 1500:5, sehingga $I_p = I_s$, serta sambungan dan polaritas CT1 dan CT2 sama. Polaritas trafo arus memperlihatkan arah arus yang masuk dan keluar dari trafo arus. Jika tidak, akan terjadi kesalahan dalam melihat arus yang masuk dan keluar melalui transformator tenaga. Hal ini, menyebabkan kesalahan dalam menentukan adanya gangguan di transformator tenaga.
- b. Adanya pergeseran fasa akibat hubungan trafo tenaga yang terhubung delta (Δ) - (Y) maka untuk mengembalikan sudut fasa arus yang tergeser tersebut, hubungan trafo arus di buat berbeda dan sudut pada CT di sisi primer dan CT di sisi sekunder trafo berbeda 180° . Hubungan CT di primer berbeda dengan CT di sekunder yaitu satu sisi terhubung Y, lainnya Δ . Yang terhubung Δ menghasilkan dan adanya arus magnetisasi dari trafo tenaga di sisi primer menyebabkan pergeseran fasa, Oleh karena itu diperlukan suatu CT tambahan (*auxiliary CT – ACT*) yang terhubung Y, karena proteksi diferensial harus membandingkan arus pada dua sisi tanpa perbedaan fasa.
- c. Karakteristik kejenuhan CT1 dan CT2 harus sama



Gambar 2. Pengaman Rele Diferensial

METODE PENELITIAN



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Pemilihan CT Ratio

Pemilihan CT disesuaikan dengan alat ukur dan proteksi. Pemilihan CT dengan kualitas baik akan memberikan perlindungan sistem yang baik. Relai diferensial sangat tergantung terhadap karakteristik CT. rasio CT untuk relai diferensial yang dipilih sebaiknya memiliki nilai mendekati nilai I_{rating} .^[10] Trafo arus memiliki dua pengenal, yaitu pengenal primer dan sekunder. Pengenal primer yang biasanya dipakai adalah 150, 200, 300, 400, 600, 800, 900, 1000, 1200, 1600, 1800, 2000, 2500, 3000 dan 3600. Pengenal sekunder yang biasa dipakai adalah 1 dan 5 A^[2]. Sebelum mendapatkan nilai rasio CT, maka terlebih dahulu mencari nilai arus nominal dan arus rating dari sisi primer (500 kV) dan sekunder (275 kV) Transformator dengan persamaan dibawah ini^[10]:

$$I_{n \text{ Primer}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p} \dots\dots\dots(2)$$

$$I_{n \text{ Sekunder}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_s} \dots\dots\dots (3)$$

$$I_{rating} = 110\% \times I_n \dots\dots\dots (4)$$

Dengan nilai :

$$S = \text{Daya}$$

$$I_{n \text{ Primer}} = \text{Arus nominal primer (A)}$$

I_n Sekunder = Arus nominal sekunder (A)
 V_p = Tegangan primer (V)
 V_s = Tegangan sekunder (V)

Perhitungan Arus Sekunder CT^[8]

Arus sekunder CT merupakan arus yang terbaca oleh transformator arus. Persamaan yang digunakan untuk mencari arus sekunder CT adalah :

$$i_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_n \dots\dots\dots (5)$$

Dengan nilai :

Ratio CT = ratio yang dipilih untuk CT
 I_n = arus nominal

Perhitungan Arus Differensial

Arus differensial merupakan selisih arus pada sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah. Persamaan yang digunakan untuk mencari arus differensial adalah :

$$I_d = i_2 - i_1 \dots\dots\dots (6)$$

Dengan nilai :

I_d = arus differensial (A)
 i_2 = arus sekunder CT₂ (A)
 i_1 = arus sekunder CT₁ (A)

Perhitungan Arus Restrain

Arus restrain adalah arus penahan yang digunakan sebagai parameter kerja dari relay differensial. Arus restrain digunakan untuk mengetahui arus rata-rata yang mengalir pada transformator sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah.

$$I_r = \frac{i_1 + i_2}{2} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan nilai :

I_r = arus restrain (A)
 i_1 = arus sekunder CT₁ (A)
 i_2 = arus sekunder CT₂ (A)

Percent slope (setting kecuraman)

Untuk mengetahui slope didapatkan dari arus diferensial dibagi dengan arus restrain. Dari slope 1 dapat diketahui arus differensial dan arus restrain saat kondisi normal dan untuk memastikan rele dapat bekerja saat ada gangguan internal dengan arus gangguan kecil. Untuk slope 2 dapat berguna agar rele tidak bekerja saat terjadi gangguan eksternal dengan arus gangguan besar sekalipun.

Menentukan slope :

$$\% \text{ Slope 1} = \left(\frac{I_d}{I_r} \right) \times 100\% \quad (3.7)$$

$$\% \text{ Slope 2} = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

Dengan nilai :

I_d = Arus differensial (A)
 I_r = Arus restrain (A)

Perhitungan Arus Setting

Arus setting merupakan batasan dan menentukan apakah relay differensial akan bekerja atau tidak dengan cara membandingkan dengan arus differensial. Jika arus differensial nilainya melebihi arus setting maka relay akan bekerja men-tripkan jaringan. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung arus setting :

$$I_{\text{sett}} = \text{Slope}_1 \times I_r \dots\dots\dots (10)$$

Dengan nilai :

I_{sett} = Arus setting (A)
 I_r = Arus restrain (A)

Error Mismatch

Error mismatch merupakan kesalahan dalam membaca perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder transformator serta pergeseran fasa di trafo tersebut. Menghitung besarnya arus *mismatch* yaitu dengan cara membandingkan rasio CT ideal dengan CT yang ada di pasaran, dengan ketentuan *error* tidak boleh melebihi 5% dari rasio CT yang dipilih.

Perhitungan besarnya *mismatch* dengan rumus :

$$\text{Error mismatch} = \frac{\text{rasio CT ideal}}{\text{rasio CT terpasang}} \% \dots\dots (11)$$

$$\text{Rasio CT1 (ideal)} = CT2 \times \left(\frac{V_s}{V_p} \right) \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{Rasio CT2 (ideal)} = CT1 \times \left(\frac{V_p}{V_s} \right) \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

CT1 = Rasio CT Primer
 CT2 = Rasio CT Sekunder
 V_p = Tegangan Primer
 V_s = Tegangan Sekunder

Gangguan Hubung Singkat Satu Fase Kitanah^[9]

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang sering terjadi, dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I_r = \frac{vf}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (14)$$

$$I_r = I_{\text{fasa kitanah}} \times I_{\text{base}} \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

V_f = tegangan

- Z_1 = impedansi urutan positif
- Z_2 = impedansi urutan negative
- Z_0 = impedansi urutan nol

Untuk menentukan tegangan dalam satuan per unit sebagai berikut :

$$V_{pu} = v_f = \frac{kv^2 nyata}{kv^2 nyata} \dots\dots\dots (16)$$

- Dimana :
- V_{pu} = tegangan dalam satuan per unit
- $kv^2 nyata$ = tegangan

Untuk menentukan I_{base} sebagai berikut :

$$I_{base} = \frac{MVA_{base}}{\sqrt{3} \times kv_{base}} \dots\dots\dots (17)$$

- Dimana :
- MVA_{base} = daya dasar
- KV_{base} = tegangan dasar

Impedansi transformator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Z_{dasar} = \frac{kv^2}{MVA} \dots\dots\dots (18)$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{Z_{trafo} \times Z_{dasar}}{30} \dots\dots\dots (19)$$

$$Z_1 (p.u) = \frac{Z_1}{Z_{dasar}} \dots\dots\dots (20)$$

$$Z_0 = 3 \times Z_1 \dots\dots\dots (21)$$

- Dimana :
- Z = impedansi transformator %
- Z_1 = impedansi urutan positif (ohm)
- Z_2 = impedansi urutan negative (ohm)
- KV = tegangan dasar (KV)
- Z_d = impedansi dasar (ohm)

Gangguan Hubung Singkat Pada Trafo ^[10]

Pada perhitungan gangguan ini digunakan untuk memberikan perkiraan apakah relay differensial akan bekerja atau tidak terhadap arus gangguan yang diberikan. Perhitungan gangguan dilakukan dengan persamaan dibawah ini.

$$I_{sekunder CT} = \frac{I_f}{CT_2} \dots\dots\dots (22)$$

$$I_{sekunder ACT} = \frac{I_{sekunde CT}}{i_2} \dots\dots\dots (23)$$

$$I_d = I_{sekunder ACT} - i_1 \dots\dots\dots (24)$$

- Dimana :
- $I_{sekunder CT}$ = Arus gangguan yang dibaca relay (A)
- $I_{sekunder ACT}$ = Arus sekunder *auxiliary current transformer* (ACT)
- I_f = Arus gangguan (A)
- i_2 = Arus sekunder CT_2 (A)

- i_1 = Arus sekunder CT_1 (A)
- I_d = Arus differensial (A)

Untuk menghitung batas arus nominal yang boleh mengalir ketika terjadi gangguan yaitu dengan mengasumsikan nilai arus differensial sebesar arus setting relay differensial sehingga untuk mencari nya dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$I_{sekunder ACT} = i_1 + I_d \dots\dots\dots (25)$$

$$I_{sekunder CT} = I_{sekunder ACT} \times i_2 \dots\dots\dots (26)$$

$$I_{N 275 kV} = I_{sekunder CT} \times CT_2 \dots\dots\dots (27)$$

- Dimana :
- $I_{sekunder ACT}$ = Arus sekunder *auxiliary current transformer* (ACT)
- $I_{sekunder CT}$ = Arus gangguan dibaca relay pada sisi sekunder (A)
- $I_{N 275 kV}$ = Batas arus nominal yang boleh mengalir di sisi sekunder (A)
- i_2 = Arus sekunder CT_2 (A)
- i_1 = Arus sekunder CT_1 (A)
- CT_2 = Rasio CT Sekunder

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pemilihan CT Ratio

Sebelum mendapatkan nilai rasio CT, Maka terlebih dahulu dicari Arus nominal dari sisi primer (500 kV) dan sekunder (275 kV), serta mencari arus rating transformator. Trafo daya untuk GITET 500 kV Muara Enim berkapasitas 500 MVA.

1. Perhitungan Arus Nominal Transformator sisi 500 kV dengan persamaan 2:

$$In primer = \frac{S}{kv primer \sqrt{3}}$$

$$In primer = \frac{500 MVA}{500 kv \sqrt{3}}$$

$$In primer = \frac{500.000.000 VA}{866.025,40 V}$$

$$In primer = 577,35 A$$

2. Perhitungan Arus Nominal Transformator sisi 275 kV dengan persamaan 3:

$$In sekunder = \frac{S}{kv sekunder \sqrt{3}}$$

$$In sekunder = \frac{500 MVA}{275 kv \sqrt{3}}$$

$$In sekunder = \frac{500.000.000 VA}{476.313,97 V}$$

$$In sekunder = 1049,72 A$$

- Setelah didapat arus nominal primer dan nominal sekunder, selanjutnya mencari arus rating dengan menggunakan persamaan 4.
3. Perhitungan arus rating Transformator sisi 500 kV

$$I \text{ rating Primer} = 110\% \times I_n \text{ (primer)}$$

$$I \text{ rating Primer} = 110\% \times 577,35 \text{ A}$$

$$I \text{ rating Primer} = 635,085 \text{ A}$$

4. Perhitungan arus rating Transformator 275 kV
- $$I \text{ rating sekunder} =$$
- $$110\% \times I_n \text{ (sekunder)}$$
- $$I \text{ rating sekunder} = 110\% \times 1049,72 \text{ A}$$
- $$I \text{ rating sekunder} = 1154,692 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka rasio CT yang dipilih pada sisi tegangan 500 kV adalah 800:1 A dan pada sisi tegangan 275 kV adalah 1200:1 A. Rasio CT tersebut dipilih berdasarkan nilai yang terdekat dari hasil perhitungan arus rating dan CT dengan rasio tersebut sesuai dengan yang ada di pasaran. Sehingga didapat arus sekunder Current Transformer (CT) dengan menggunakan persamaan 5 :

- Arus Sekunder CT Sisi 500 kV :

$$i1 = \frac{1}{\text{Ratio CT}} \times I_n$$

$$i1 = \frac{1}{800 \text{ A}} \times 577,35 \text{ A}$$

$$i1 = \frac{577,35 \text{ A}}{800 \text{ A}}$$

$$i1 = 0,721 \text{ A}$$

- Arus Sekunder CT sisi 275 kV :

$$i2 = \frac{1}{\text{Ratio CT}} \times I_n$$

$$i2 = \frac{1}{1200 \text{ A}} \times 1049,72 \text{ A}$$

$$i2 = \frac{1049,72 \text{ A}}{1200 \text{ A}}$$

$$i2 = 0,874 \text{ A}$$

Tabel 1. Hasil hitung Rasio CT sisi 500 dan 275 kV

SISI	500 kV	275 kV
<u>Arus Nominal</u>	577,35 A	1049,72 A
<u>Arus rating</u>	635,08 A	1154,69 A
<u>Rasio CT</u>	800/1	1200/1
<u>Arus sekunder CT</u>	0,721 A	0,874 A

Arus Differential (I_{diff}) dan Arus Penahan (restrain)

Arus diferensial (I_d) merupakan arus operasi (I_{oper}) pada relai diferensial. Karena $I_{sekunder}$ CT 275 kV dan $I_{sekunder}$ 500 kV telah diketahui nilainya maka kita dapat mencari I_{diff} dengan persamaan 6 :

$$I_d = i_2 - i_1$$

$$I_d = 0,874 \text{ A} - 0,721 \text{ A}$$

$$I_d = 0,153 \text{ A (Arus Differential)}$$

Setelah didapat nilai arus differential, maka selanjutnya mencari nilai arus penahan (*restrain*)

yang dapat dicari dengan menggunakan persamaan 7.

$$I_r = \frac{i1+i2}{2}$$

$$I_r = \frac{0,721 \text{ A} + 0,874 \text{ A}}{2}$$

$$I_r = 0,797 \text{ A (Arus penahan)}$$

Dari perhitungan diatas, nilai arus restrain nya adalah 0,797 A. Ketika terjadi gangguan eksternal maka arus yang melewati transformator akan sangat besar. Ketika arus yang masuk sangat besar, maka arus differensialnya pun akan naik sehingga arus restrain pun ikut naik. Nilai restrain ini sebagai parameter relay differensial untuk mengetahui apakah arus differensial ini berasal dari gangguan internal atau eksternal.

Percent slope (setting kecuraman)

Untuk mengetahui slope didapatkan dari arus diferensial dibagi dengan arus restrain. Dari slope 1 dapat diketahui arus differensial dan arus restrain saat kondisi normal dan untuk memastikan rele dapat bekerja saat ada gangguan internal dengan arus gangguan kecil. Untuk slope 2 dapat berguna agar rele tidak bekerja saat terjadi gangguan eksternal dengan arus gangguan besar sekalipun.

Menentukan slope 1 dengan menggunakan persamaan 8 :

$$\% \text{ Slope 1} = \left(\frac{I_d}{I_r} \right) \times 100\%$$

$$\% \text{ Slope 1} = \left(\frac{0,153 \text{ A}}{0,797 \text{ A}} \right) \times 100\%$$

$$\% \text{ Slope 1} = 19,19 \%$$

Menentukan slope 2 dengan menggunakan persamaan 9 :

$$\% \text{ Slope 2} = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100\%$$

$$\% \text{ Slope 2} = \left(\frac{0,153 \text{ A}}{0,797 \text{ A}} \times 2 \right) \times 100\%$$

$$\% \text{ Slope 2} = 38,39 \%$$

Perhitungan Arus Setting

Arus setting adalah arus yang didapat dari hasil perkalian slope dan restrain berdasarkan persamaan 10. Selanjutnya hasil dari arus setting dibandingkan dengan arus differensial.

$$I \text{ setting} = \text{slope}_1 \times I \text{ Restrain}$$

$$I \text{ setting} = 19,19 \% \times 0,797 \text{ A}$$

$$I \text{ setting} = 0,152 \text{ A}$$

Maka didapat hasil setting relay differential 0,152 A, namun arus setting akan dibuat 0,3 A atau 30% dengan alasan^[11] :

- Kesalahan sadapan 10 %
- Kesalahan CT 10 %
- Mismatch 4 %
- Arus eksitasi 1 %
- Faktor keamanan 5%

Perhitungan Mismatch Error

Error mismatch merupakan kesalahan dalam membaca perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder transformator serta pergeseran fasa di trafo tersebut. Menghitung besarnya arus *mismatch* yaitu dengan cara membandingkan rasio CT ideal dengan CT yang ada di pasaran, dengan ketentuan *error* tidak boleh melebihi 5% dari rasio CT yang dipilih. Sebelum mencari besaran nilai error mismatch maka terlebih dahulu mencari nilai rasio ideal dari CT₁ dan CT₂.

Untuk mencari nilai rasio ideal CT1 dengan menggunakan persamaan 12 :

$$\text{Rasio CT1 (ideal)} = CT2 \times \left(\frac{V_s}{V_p}\right)$$

$$\text{Rasio CT1 (ideal)} = (1200 \text{ A}) \times \left(\frac{275 \text{ V}}{500 \text{ V}}\right)$$

$$\text{CT1 ideal} = 660 \text{ A}$$

Kemudian mencari error mismatch CT1 dengan menggunakan persamaan 11 :

$$\text{Error mismatch} = \frac{\text{rasio CT ideal}}{\text{rasio CT terpasang}} \%$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{660 \text{ A}}{800 \text{ A}} \%$$

$$\text{Error Mismatch CT1} = 0,82 \%$$

Lalu mencari rasio ideal CT2 dengan menggunakan persamaan 3.12

$$\text{:Rasio CT2 (ideal)} = CT1 \times \left(\frac{V_p}{V_s}\right)$$

$$\text{Rasio CT2 (ideal)} = (800 \text{ A}) \times \left(\frac{500 \text{ V}}{275 \text{ V}}\right)$$

$$\text{Rasio CT2 (ideal)} = 1454,54 \text{ A}$$

Kemudian mencari error mismatch CT2 dengan menggunakan persamaan 11 :

$$\text{Error mismatch} = \frac{\text{rasio CT ideal}}{\text{rasio CT terpasang}} \%$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{1454,54 \text{ A}}{1200 \text{ A}} \%$$

$$\text{Error Mismatch CT2} = 1,21 \%$$

Hasil dari perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai CT1 ideal sebesar 660 A dan *error mismatch* sebesar 0,82%. *Error mismatch* pada CT2 sebesar 1,21 % dengan hasil perhitungan CT ideal sebesar 1454,54 A.

Tabel 2. Hasil hitung Setting Relay Differensial

SISI	Nilai
<u>Arus Differensial</u>	0,153 A
<u>Arus Restrain (penahan)</u>	0,797 A
<u>Arus Setting</u>	0,3 A
<u>CT1 Ideal</u>	660 A
<u>Error Mismatch CT1</u>	0,82%
<u>CT2 Ideal</u>	1454,54 A
<u>Error Mismatch CT2</u>	1,21%

Gangguan Hubung Singkat Satu Fase Kewanah

Perhitungan Impedansi Transformator dengan menggunakan persamaan 18, 19, 20, 21 dengan diketahui nilai impedansi transformator yaitu 13 % dapat dilihat dari data TPG pada lampiran 0.6 :

$$\begin{aligned} Z_{\text{dasar}} &= \frac{kv^2}{MVA} \\ &= \frac{500^2 kv}{500 MVA} \\ &= 500 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 &= \frac{Z_{\text{trafo}} \times Z_{\text{dasar}}}{30} \\ &= \frac{13 \times 500}{30} \\ &= 216,66 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 \text{ (p.u)} &= \frac{Z_1}{Z_{\text{dasar}}} \\ &= \frac{216,66}{500} \\ &= 0,433 \text{ p.u} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_0 &= 3 \times Z_1 \\ &= 3 \times 0,433 \text{ p.u} \\ &= 1,29 \text{ p.u} \end{aligned}$$

Perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa kewanah dengan persamaan 16, dan 17 :

$$\begin{aligned} V_{\text{pu}} = vf &= \frac{kv^2 \text{ nyata}}{kv^2 \text{ nyata}} \\ &= \frac{500 \text{ kV}}{500 \text{ kV}} \\ &= 1 \text{ p.u} \\ I_{\text{base}} &= \frac{MVA_{\text{base}}}{\sqrt{3} \times kv_{\text{base}}} \\ &= \frac{500.000.000 \text{ VA}}{1,73 \times 500.000 \text{ V}} \\ &= \frac{866.025,4}{500.000.000 \text{ VA}} \\ &= 577,35 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk menghitung besarnya arus gangguan satu fasa kewanah dengan menggunakan persamaan 14 dan 15 :

$$I_r = \frac{vf}{Z_1+Z_2+Z_0} = \frac{1 p.u}{0,433 p.u+0,433 p.u+1,29 p.u} = 2,156 p.u$$

$$I_r = I_{\text{fasa ketanah}} \times I_{\text{base}} = 2,156 p.u \times 577,35 A = 1244,76 A$$

Untuk menghitung arus differensial sebagai parameter bekerja atau tidaknya relay differensial yang dihasilkan oleh arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah menggunakan persamaan 22, 23, 24 :

$$I_{\text{sekunder CT}} = \frac{I_f}{CT} = \frac{1244,76 A}{1200 A} = 1,037 A$$

$$I_{\text{sekunder ACT}} = \frac{I_{\text{sekunder CT}}}{i_2} = \frac{1,037 A}{0,874 A} = 1,186 A$$

$$I_d = I_{\text{sekunder ACT}} - i_1 = 1,186 A - 0,721 = 0,465 A$$

Arus differensial yang dihasilkan oleh arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah sebesar 0,465 A melebihi arus setting 0,3 A sehingga relay differensial akan bekerja.

Gangguan Hubung Singkat pada Transformator

Pada perhitungan gangguan hubung singkat pada transformator, mengasumsikan gangguan yang terjadi dari 1000 A hingga 1100 A. kemudian akan dilakukan perhitungan secara manual terlebih dahulu selanjutnya perhitungan dilakukan dengan menggunakan Microsoft excel.

Arus gangguan di sisi tegangan 275 kV sebesar 1000 A dihitung dengan persamaan 22, 23, 24:

$$I_{\text{sekunder CT}} = \frac{I_f}{CT_2} = \frac{1000 A}{1200 A} = 0,833 A$$

$$I_{\text{sekunder ACT}} = \frac{I_f \text{ relay}}{I_2} = \frac{0,833 A}{0,874 A} = 0,953 A$$

$$I_d = I_{\text{sekunder ACT}} - i_1 = 0,953 A - 0,721 A = 0,232 A$$

Dengan arus gangguan 1000 A pada sisi tegangan 275 kV, menghasilkan arus differensial sebesar 0,232 A sesuai perhitungan. Untuk itu relay differensial tidak bekerja karena nilai arus differensial tidak melebihi arus setting 0,3 A. Hasil dari perhitungan arus gangguan dari 1000-1100 A, akan dilihat dari tabel dibawah ini :

Tabel 3. Hasil perhitungan dari asumsi arus gangguan

Arus Gangguan (A)	$I_{\text{sekunder CT}}$ (A)	$I_{\text{sekunder ACT}}$ (A)	I_d (A)
1000	0,833	0,953	0,232
1010	0,842	0,963	0,242
1020	0,850	0,973	0,252
1030	0,858	0,982	0,261
1040	0,867	0,992	0,271
1050	0,875	1,001	0,280
1060	0,883	1,011	0,290
1070	0,892	1,020	0,299
1080	0,900	1,030	0,309
1090	0,908	1,039	0,318
1100	0,917	1,271	0,550

Dari hasil perhitungan arus gangguan, bahwa pada arus gangguan sebesar 1080 A yang mengalir pada sisi tegangan 275 kV menghasilkan I_d sebesar 0,309 yaitu melebihi arus setting sebesar 0,3 A. Maka relay differensial akan bekerja.

Batas arus nominal yang diperbolehkan mengalir pada sisi tegangan 275 kV yaitu 1070 A dengan arus differensial sebesar 0,299 A pada arus setting 0,3 A, dapat dibuktikan dengan perhitungan dibawah ini :

Gangguan hubung singkat yang menyebabkan I_d 0,3 A dengan persamaan 25, 26, 27:

$$I_{\text{sekunder ACT}} = i_1 + I_d = 0,721 A + 0,3 A = 1,021 A$$

$$I_{\text{sekunder CT}} = I_{\text{sekunder ACT}} \times i_2$$

$$= 1,021 \text{ A} \times 0,874 \text{ A}$$

$$I_{\text{sekunder CT}} = \mathbf{0,892 \text{ A}}$$

$$I_{N \text{ 275 kV}} = I_{\text{sekunder CT}} \times CT_2$$

$$= 0,892 \text{ A} \times 1200 \text{ A}$$

$$I_{N \text{ 275 kV}} = \mathbf{1070,4 \text{ A}}$$

SIMPULAN

1. Arus nominal dan arus rating pada transformator sisi 500 kV sebesar 577,3 A dan 635,08 A sedangkan arus nominal dan arus rating pada transformator sisi 275 kV sebesar 1049,72 A dan 1154,69 A.
2. Setelan Relay differensial (Slope 1) sebesar 19,17 % dan setelan relay differensial (slope 2) sebesar 38,34 % .
3. Nilai arus setting relay differensial yang diperoleh sebesar 0,3 A, dan arus differensial sebesar 0,153 A.
4. Nilai CT1 ideal sebesar 660 A dan *error mismatch* sebesar 0,82%. *Error mismatch* pada CT2 sebesar 1,21% dengan hasil perhitungan CT ideal sebesar 1454,54 A.
5. Pada perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah didapatkan nilai arus gangguan sebesar 1244,76 A, menimbulkan arus differensial sebesar 0,465 A sehingga menyebabkan relay differensial akan bekerja.
6. Berdasarkan perhitungan arus gangguan hubung singkat, ketika arus gangguan yang mengalir pada sisi 275 kV sebesar 1080 A menyebabkan Id 0,309 A sehingga relay differensial akan bekerja.
7. Batas arus nominal yang boleh mengalir pada sisi 275 kV ketika arus differensial 0,3 A yaitu pada arus gangguan 1070,4 A.

DAFTAR PUSTAKA

A. Arismunandar dan S. Kuwahara, Teknik Tenaga Listrik, (Jakarta : 2000), hlm 62.

Hariyanto dkk. (2016). *Studi Rele Differensial Pada Trafo Interbus di Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi Gandul*, 6(1), 35-40.

Hendra Marta Yuda Prinsip dan Aplikasi Rele Proteksi (Palembang, 2008) hlm 174.

Irine Kartika, F. (2016) . Penerapan Rele Differensial di Transformator 30 MVA, 1(2), 60.

Liem Ek Bien & Dita Helma, Penyetelan Relai Differential Pada Transformator PT. Chevron Pacific Indonesia, (Jakarta : 2007) hlm 41.

Muhammad Rizki M. 2018. Analisa Performa Relay Differensial Transformator Pada Gardu Induk Cilegon Lama. Skripsi. FTI, Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Muhammad Arfianda 2019, Analisa Penggunaan Rele Differensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir (PT.PLN PERSERO). Skripsi. FT, Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.

PT. PLN (Persero) Pusat, *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Arus*, Jakarta : 2014.

PT. PLN (Persero) Pusat, *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*, (Jakarta;2014).

SPLN T5 003 - 1- *Pola Proteksi transformator Tenaga* (Jakarta : 2010).

Yuniarto., Arkhan Subari., & Dinda Hapsari. (2015). Setting Differensial Pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi. Transmisi, 17.