

Analysis of Overcurrent Relay on Power Transformers 150/20 kV at Tangerang Main Substation

Analisa Over Current Relay (OCR) pada Transformator 150/20 kV di Gardu Induk Tangerang

Gabriel G.T.B Montolalu, Glanny M. Ch. Mangindaan, Lily Stiowati Patras

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : gabrielmontolalu023@student.unsrat.ac.id, glanny_m@unsrat.ac.id, lily_spatras@unsrat.ac.id

Abstract — OCR (Overcurrent Relay) is a protection device that can detect disturbances in the electric power system and provide information automatically to the power breaker to separate the protected electrical equipment as quickly as possible from disturbances, which is the main step in overcoming disturbances, especially in distribution channels. The working principle of the relay is to detect an overcurrent that exceeds a predetermined setting value, whether caused by a short circuit between phases or an overload, from the calculation of the maximum short circuit current of 6011.9 and the minimum short circuit current of 5026.3. What was done were the results of the OCR, or overcurrent relay settings, on the 150/20KV transformer at the Tangerang Main Substation with a current setting of 7A and a TMS of 0.24s and a comparison with the OCR setting data in the field. To optimize the work of the overcurrent relay, it is best to update the relay settings periodically to avoid failure of the protection relay to work if a disturbance occurs.

Keywords — , *Overcurrent Relay, short circuit fault, Setting Currents., Time Multiple Setting, Multi Plug.*

Abstrak — OCR (Overcurrent Relay) merupakan salah satu alat proteksi yang dapat mendeteksi gangguan pada sistem penyediaan tenaga listrik dan secara otomatis memberikan informasi kepada pemutus arus untuk mengisolasi sarana listrik dengan mengamankan gangguan secepat mungkin, prosedur penting untuk mengamankan masalah terutama untuk saluran distribusi. Prinsip pengoperasian relai ini adalah mendeteksi arus berlebih dengan melampaui nilai yang sudah dipilih, yang dikarenakan dari hubungan pendek sesama fasa maupun beban lebih, atas perhitungan arus gangguan hubung singkat maximal sebesar 6011.9 dan arus hubung singkat minimal 5026.3 dan dari perhitungan yang dilakukan diperoleh hasil setting OCR atau Overcurrent Relay pada transformator 150/20KV Gardu Induk Tangerang dengan setting arus 7A dan TMS 0,24s dan perbandingan dengan data setting OCR di lapangan untuk Pengoptimalan kerja over current relay, sebaiknya di lakukan pembaruan setingan relai secara berkala untuk mencegah kegagalan bekerja relai proteksi apabila terjadi gangguan.

Kata kunci — *Overcurrent Relay, short circuit fault, Setting Currents., Time Multiple Setting, Multi Plug.*

I. PENDAHULUAN

Sistem distribusi termasuk salah satu sistem energi listrik memegang peranan utama sebab berkaitan langsung melalui penggunaan energi listrik, khususnya penggunaan energi listrik tegangan menengah serta menurun. Dalam sistem distribusi ditemukan berbagai perangkat listrik yang belum bisa dipisahkan dan pemakaiannya paling penting, salah satunya

adalah transformator.[1] Transformator termasuk sebuah alat listrik dalam klasifikasi mesin listrik stasioner, yang mana kegunaan dari transformator adalah menyampaikan tenaga listrik maupun energi listrik atas tegangan tinggi menuju tegangan rendah serta kebalikannya. Masalah tidak dapat dihindari saat memasang sistem catu daya.[2] Supaya menurunkan kerusakan serta meminimalisir gangguan pada wilayah sehingga diperlukan sistem proteksi terutama untuk saluran distribusi. Sebagian besar masalah dapat dialami akibat hubungan pendek, termasuk hubungan tiga fasa. hubungan singka.. Salah satu alat yang termasuk dalam sistem proteksi disebut relay.[2]

Relay dapat melindungi perangkat listrik lainnya oleh arus hubung pendek atau beban banyak. Besarnya arus gangguan hubung pendek dapat dialami pada sistem tenaga listrik harus ditemukan sebelum masalah sebenarnya terjadi.[3] Berfungsi sebagai sistem proteksi, OCR (Over Current Relay) dapat mendeteksi gangguan untuk sistem kelistrikan dan secara otomatis memberikan informasi kepada pemutus arus untuk memisahkan peralatan listrik yang dilindungi dari gangguan secepat mungkin.. saluran distribusi.[3] Transformator daya dilindungi oleh relai arus lebih yang berfungsi sebagai proteksi darurat atau darurat atau sebagai penyedia tenaga listrik darurat. OCR bisa diinstal hanya pada sisi tegangan tinggi, hanya untuk sisi tegangan menengah, maupun untuk kedua sisi tegangan tinggi dan menengah secara bersamaan. Kemudian, OCR dapat memutuskan pasokan daya pada kedua sisi transformator.[4] Dalam rangka tugas akhir ini, penulis akan menghitung arus hubung singkat antar fasa pada transformator, menentukan pengaturan relai arus lebih yang dipasang pada transformator, menilai waktu respons relai pada titik gangguan pada transformator pada Gardu Induk Tangerang, dan membandingkannya dengan data yang sudah ada di Gardu Induk Tangerang guna mengoptimalkan kinerja OCR.

Penelitian Terkait

A. Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik termasuk pengamanan sistem kelistrikan jika mengalami kejadian kelistrikan atau kelebihan beban.. Melindungi sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu cara supaya membatasi kehancuran sarana, makanya distribusi tenaga listrik secara berkesinambungan bisa terjadi secara akurat. [3]

B. Gangguan Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

1. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin dialami di berbagai titik pada sistem yang sedang diselidiki, terutama terkait dengan bagaimana arus hubung pendek berkontribusi untuk semua cabang transmisi, cabang distribusi, transformator, dan node dengan arus atau tegangan yang signifikan. Hasil analisa tersebut perlu dilindungi.[8] Kemungkinan masalah pada sistem termasuk:

a. Gangguan 3 fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa adalah kondisi dalam sistem listrik tiga fasa di mana semua tiga fase listrik mengalami hubungan singkat atau kontak langsung satu sama lain. Ini merupakan jenis gangguan serius dan berpotensi berbahaya dalam sistem listrik tiga fasa.

b. Gangguan 2 fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa terjadi ketika dua konduktor atau dua fase listrik yang seharusnya tidak bersentuhan dalam sistem listrik satu fasa menjadi bersentuhan atau mengalami kontak langsung. Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk kerusakan peralatan, isolasi yang rusak, kesalahan instalasi, atau kegagalan komponen dalam sistem listrik.

c. Gangguan satu fasa

Gangguan hubung singkat satu fasa adalah suatu kondisi di mana ada hubungan singkat atau kontak langsung antara dua konduktor atau fase listrik yang seharusnya tidak bersentuhan dalam sistem listrik satu fasa. Gangguan ini dapat terjadi karena berbagai alasan, termasuk kerusakan kabel, isolasi yang rusak, kegagalan peralatan, atau faktor lain yang dapat menyebabkan dua konduktor menjadi bersentuhan

2. Tegangan Lebih

"Overvoltage" atau tegangan lebih dalam sistem tenaga listrik merujuk pada situasi di mana tegangan listrik dalam sistem melebihi nilai tegangan nominal yang telah ditentukan untuk operasi yang aman dan efisien. Tegangan lebih dapat terjadi karena berbagai alasan, termasuk gangguan dalam jaringan listrik, perubahan beban, atau kegagalan peralatan.

3. Beban Lebih

Beban lebih pada sistem tenaga listrik merujuk pada situasi di mana permintaan daya listrik dalam sistem melebihi kapasitas atau daya maksimum yang dapat disediakan oleh sistem tersebut. Hal ini dapat terjadi karena beberapa alasan, termasuk pertumbuhan beban yang tidak diprediksi, kesalahan dalam perencanaan jaringan listrik, atau gangguan pada sistem yang mengakibatkan peningkatan permintaan daya yang tidak terduga.

4. Arus Lebih

Overcurrent atau arus lebih adalah ketika arus mengalir untuk sebuah rangkaian melampaui arus normal pada

saat beban full mengalir untuk rangkaian motor Arus lebih sendiri bisa terjadi karena adanya beban lebih atau korsleting yang terjadi pada rangkaian. [6]

C. Syarat syarat Sistem Proteksi

Syarat-syarat dalam sistem proteksi tenaga listrik mencakup :

1. Kepekaan (Sensitivity)

Relai arus harus memiliki prinsip kepekaan dalam mendeteksi gangguan yang berarti relai harus mampu untuk memastikan ada atau tidaknya gangguan.[5]

2. Keandalan (Reliability)

Prinsip proteksi harus dapat melepaskan dan mendeteksi bagian dari sistem yang terganggu, Keandalan itu sendiri terdiri dari 3 aspek :[5]

a. Dependability

Dependability merupakan tingkat kepastian bekerjanya sistem proteksi.

b. Security

Security merupakan tingkat kepastian suatu sistem proteksi tidak salah kerja.

c. Availabilty

Availabilty merupakan perbandingan antar waktu dari sistem proteksi.

3. Selektifitas (Selectivity)

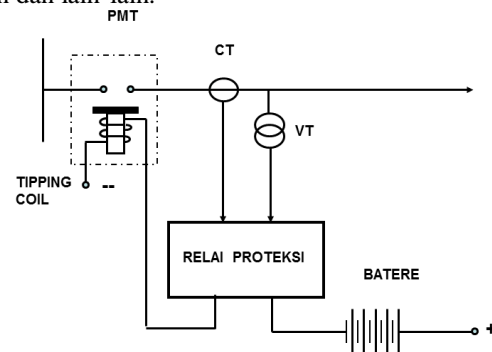
Sistem proteksi harus bisa memisahkan bagian dari sistem yang mengalami gangguan dalam ruang lingkup pengawasan utamanya.[5]

4. Kecepatan (Speed)

Suatu alat proteksi harus bisa memisahkan bagian terjadinya gangguan dari bagian sistem lainnya secepat mungkin.[5]

D. Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik suatu sistem tenaga listrik, misalnya generator, transformator, jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain: hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron dan lain-lain.



Gambar 1 Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Pada gambar 1, Relai sebagai pengaman untuk mendeteksi adanya gangguan, pemutus tenaga sebagai pemutus aliran daya listrik dalam rangkaian listrik saat terjadi gangguan,

Transformator arus dan atau transformator tegangan mengubah besarnya arus dan atau tegangan dari sirkuit primer ke sirkuit sekunder, Batere sebagai sumber tenaga untuk mentripping PMT dan catu daya untuk relai statik dan relai bantu, dan Wiring untuk menghubungkan komponen komponen proteksi sehingga menjadi satu sistem.

E. Relai Proteksi

1. Relai Over Voltage
Relay beban lebih (overload relay) adalah jenis relai proteksi yang dirancang untuk melindungi peralatan listrik, terutama motor listrik, dari kerusakan akibat beban yang berlebihan atau arus lebih. Relay ini mendeteksi apakah arus yang mengalir melalui peralatan telah melebihi kapasitas yang aman dan mengambil tindakan untuk menghentikan atau membatasi operasi peralatan sebelum kerusakan terjadi.
2. Relai Diferensial
Relai diferensial, juga dikenal sebagai relai arus diferensial, adalah perangkat proteksi yang digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk melindungi transformator, generator, motor listrik, dan komponen lainnya dari gangguan dan kerusakan yang mungkin terjadi akibat aliran arus yang tidak seimbang atau adanya perbedaan arus antara dua sisi suatu peralatan atau bagian dalam sistem. Relai diferensial bekerja dengan membandingkan arus yang masuk dengan arus yang keluar dari peralatan yang dilindungi.
3. Ground Fault Relai
Relai Proteksi Ground Fault adalah jenis relai proteksi yang digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk mendeteksi arus yang bocor atau mengalir ke tanah (ground) sebagai akibat dari hubung singkat adalah untuk mengidentifikasi kebocoran arus ke tanah yang melebihi ambang batas yang ditentukan dan mengambil tindakan perlindungan untuk menghentikan gangguan atau kerusakan lebih lanjut dalam sirkuit.
4. Overcurrent Relay
Relai arus lebih (overcurrent relay) adalah jenis relai proteksi yang digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk melindungi peralatan listrik dan sistem dari kerusakan akibat arus yang melebihi ambang batas yang ditetapkan.

F. Relai Arus Lebih (Overcurrent Relay)

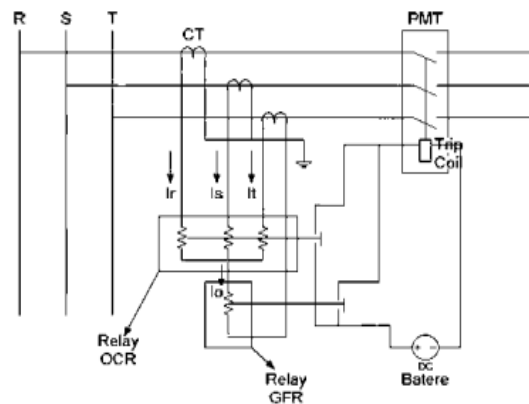
Relai arus lebih atau overcurrent relay (OCR) termasuk perangkat berfungsi menjadi sistem proteksi darurat di transformator. Fungsinya adalah untuk mendeteksi arus berlebih, yang bisa dikarenakan dari hubung singkat atau beban berlebih, yang berpotensi menghancurkan komponen sistem kelistrikan di daerah tersebut. Relai arus lebih ini digunakan di sebagian besar sistem keselamatan sistem tenaga.[3]

G. Prinsip Kerja Overcurrent Relai

Prinsip kerja relai OCR dapat dilihat pada gambar. 2 termasuk sesuai diperolehnya arus berlebih yang melampaui nilai yang ditetapkan, baik karena hubungan pendek maupun karena beban lebih (overload), yang kemudian memerintahkan PMT untuk memutus tergantung pada karakteristik pengaturan waktu..[7]

Cara kerja Over Current Relay seperti :

1. Saat dalam keadaan normal, arus beban (Ib) mengalir melalui SUTM/SKTM dan transformator arus. Nilai arus tersebut kemudian diganti sebagai besaran sekunder (Ir). Arus (Ir) mengalir melalui kumparan relay, tetapi karena nilainya tetap di bawah batas yang telah ditetapkan, relay tidak akan berfungsi.[7]
2. Ketika terjadi hubung singkat, arus beban (Ib) akan meningkat, sehingga juga akan meningkatkan arus (Ir). Apabila arus (Ir) melampaui nilai ambang tertentu (di atas tingkat yang telah ditetapkan), relay akan berfungsi dan memicu tindakan. Ini akan mengaktifkan coil pemicu untuk membuka peralatan perlindungan (PMT), yang memisahkan SUTM/SKTM terhambat oleh jaringan.[7]



Gambar. 2 Rangkaian Pengawatan Overcurrent Relai

Sebelum menghitung arus hubung singkat, perlu dimulai perhitungan untuk suplai tegangan primer pada tingkat stasiun supaya sisi keluaran dari beragam bentuk gangguan, nanti untuk sisi masukan untuk titik-titik lain lebih jauh atas tujuan, pengetahuan tentang impedansi dasar sumber diperlukan impedansi traflo dan impedansi sumber listrik.[8]

a. Menghitung Impedansi Sumber

Supaya mengukur impedansi sumber untuk di sisi 150kV, menggunakan rumus berikut:

$$X_{sc} = \frac{kV^2}{MV A_{sc}} \tag{1}$$

Dimana :

X_{sc} = Impedansi sumber sisi 150 kV (Ohm)

kV^2 = Tegangan sisi primer transformator tenaga (kV)

$MV A_{sc}$ = Data hubung singkat transformator (MVA)

Untuk menghitung Impedansi sumber supaya di sisi 20kV, sehingga menggunakan rumus seperti:

$$X_{sc} (\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{KV^2}{150} \times X_{sc} (\text{sisi } 150 \text{ kV}) \quad (2)$$

Dimana:

X_{sc} = Impedansi sumber sisi 20 kV(Ohm)

kV^2 = Tegangan sekunder transformator tenaga (V)

b. Menghitung Impedansi Transformator

Perhitungan impedansi transformator dilakukan sebesar nilai reaktansi, sedangkan resistansi diabaikan sebab nilainya kecil.[9] Supaya menemukan nilai reaktansi transformator pada satuan Ohm bisa dihitung yang memakai rumus seperti:

Prosedur utama untuk menemukan nilai Ohm untuk 100%, termasuk:

$$X_t (100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \quad (3)$$

Dimana :

$X_t (100\%)$ = Impedansi Dasar transformator tenaga (ohm)

kV = Tegangan sisi sekunder transformator tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya transformator tenaga (MVA)

Supaya mengukur nilai reaktansi transformator tenaga urutan positif dan negatif menggunakan rumus sebagai berikut:

$$X_{t1} = X_{t2} = X_t \times \text{Nilai Reaktansi} \quad (4)$$

Dimana :

$X_{t1} = X_{t2} =$ Reaktansi transformator tenaga urutan baik serta buruk (ohm)

c. Impedansi Penyulang

Perhitungan impedansi suatu penghantar tergantung pada impedansi per km penghantar yang dihitung, dimana besarnya tergantung untuk bentuk penghantar, dimana besarnya nilai tergantung pada jenis penghantarnya, pemilihan bahan penghantar dipengaruhi oleh komposisi materialnya, serta penampang dan panjang penghantar. Selain itu, perubahan suhu dan konfigurasi penyulang juga memengaruhi karakteristik impedansi penyulang. Nilai impedansi dihitung menggunakan rumus tertentu:[6]

$$Z = (R + jX) \text{ ohm/Km} \quad (5)$$

Untuk menghitung impedansi suatu dapat memakai rumus, susunan baik serta susunan buruk berikut:

Urutan positif dan urutan negative

$$Z_1 = Z_2 = \% \times \text{panjang penyulang} \times Z_1/Z_2 \quad (6)$$

Dimana:

Z_1 = Impedansi urutan positif (ohm)

Z_2 = Impedansi urutan negative (ohm)

d. Impedansi Ekivalen

Dalam perhitungan ini, kita menghitung nilai impedansi ekivalen positif dan negatif dari titik gangguan kembali ke sumber. Karena impedansi dari sumber ke titik gangguan dihubungkan secara seri, kita dapat dengan mudah menghitung Z_{1eq} dan Z_{2eq} dengan menambahkan impedansi tersebut. Jadi, untuk menghitung impedansi jaringan ekivalen[9], kita menggunakan rumus:

$$Z_{eq} = Z_{sc1} + Z_{t1} + Z_1 \quad (7)$$

Dimana :

Z_{eq} = Impedansi ekivalen jaringan

Z_{sc1} = Impedansi sumber sisi 20 kV (ohm)

Z_{t1} = Impedansi transformator tenaga urutan baik serta buruk (ohm)

Z_1 = Impedansi penyulang (ohm)

H. Menghitung Arus Lebih

Relai arus lebih mencakup kedua relai arus dan relai waktu. Relai waktu bisa bangun mandiri, seperti, dalam kasus relai arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu, atau diintegrasikan lewat pengukuran arus yang melampaui batas tertentu, terutama dalam relai arus lebih invers waktu. Selain itu, relai arus lebih sering disempurnakan lewat relai arus sesaat. Sehingga, saat mengatur relai arus lebih, kita perlu memperhatikan parameter arus, waktu, dan arus sesaat.[6]

1. Menghitung Arus Beban Penuh

MVAbase dan beban konsumen pada tiap jaringan distribusi untuk gardu induk harus di hitung terlebih dahulu untuk menghitung arus beban penuh, lalu menggunakan rumus dibawah ini:[10]

$$I_{fl} = \frac{MVA}{\sqrt{3} \cdot kV} \quad (8)$$

Dimana :

I_{fl} = Arus beban penuh (A)

MVA = Kapasitas Transformator (A)

kV = Tegangan (kV)

2. Menghitung Arus Gangguan Maksimal dan Minimal

Gangguan hubung singkat dalam sistem tenaga listrik dapat terjadi antara fasa ke fasa atau fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat antara fasa dapat berupa masalah tiga fasa atau dua fasa. Gangguan tiga fasa adalah jenis gangguan hubung pendek menghasilkan arus besar.[11] Supaya menghitung arus gangguan hubung singkat tiga fasa dalam jaringan listrik, digunakan perhitungan:

$$I_{sc3\phi} = \frac{MVA_f}{\sqrt{3} \times kV} \quad (9)$$

Dimana :

$I_{sc3\phi}$ == arus hubung singkat tiga fasa (A)

MVAf = beban hubung singkat (A)
 kV = tegangan (kV)

Perhitungan arus gangguan minimal menggunakan persamaan di bawah :

$$I_{sc\ 2\phi} = 0,866 \times I_{sc\ 3\phi} \quad (10)$$

Dimana :

$I_{sc\ 3\phi}$ == arus hubung singkat tiga fasa (A)

$I_{sc\ 2\phi}$ == arus hubung singkat tiga fasa (A)

I. *Setting Relay Arus Lebih (Over Current Relay)*

a. Setting Arus pada Overcurrent Relay

1. Batas Minimum

Untuk perhitungan batas arus minimum memerlukan hasil perhitungan arus lebih, Perhitungan setting arus minimum, menggunakan rumus di bawah :

$$I_{pp} = \frac{Ks}{Kd} I_{fl} \quad (11)$$

Dimana :

I_{pp} : Setting arus (A)

I_{fl} : Arus beban penuh (A)

Ks : Faktor keamanan (1,05 – 1,3)

Kd : Faktor arus balik (0,7-0,95)

2. Batas Maksimum

Perhitungan batas arus maksimum memerlukan hasil perhitungan rumus $I_{sc\ 2\phi} = 0.8 \cdot I_{sc\ 3\phi}$.

$$I_{pp} = \frac{I_{scmin}}{Ks} \quad (12)$$

Dimana :

I_{pp} = setting arus (A)

I_{scmin} : arus hubung pendek dua fasa (A)

Ks : faktor sensitivitas (1,3 – 1.5)

Melalui persamaan sebelumnya kita dapat menghitung nilai $I_{sc\ min}$ menggunakan rumus di bawah ini namun bisa juga menggunakan rumus gangguan hubung singkat dua fasa yaitu $I_{sc\ 2\phi} = 0.8 \times I_{sc\ 3\phi}$.

$$I_{pp} = K_s I_{sc\ 2\phi} \quad (13)$$

dimana :

I_{pp} : setting arus (A)

Ks : faktor keamanan pada hal tersebut

$Ks = 0.8 I_{sc\ 2\phi}$: arus gangguan dua fasa pada pembangkitan terendah pada satuseksi hilirinya (A)

Dari hasil tersebut maka batasan setting terendah serta tertinggi nanti diisikan ke dalam persamaan setting relay arus lebih pada gangguan fasa di bawah ini:

$$\frac{Ks}{Kd} I_{fl} < \frac{I_{scmin}}{Ks} \quad (14)$$

Supaya memilih arus setting memakai persamaan di bawah ini :

$$I_{ps} = \frac{I_{pp}}{CT} \quad (15)$$

Maka :

$$\frac{I_{fl}}{CT} < I_{ps} < \frac{I_{scmin}}{CT} \quad (16)$$

b. Setting Waktu pada Overcurrent Relay

Pengaturan waktu pengoperasian relay terutama dipertimbangkan dalam kaitannya dengan kecepatan operasi dan selektivitas relay, agar relay tidak mengalami malfungsi, yang bisa menyebabkan tujuan dari pengamanan tidak berarti.[12]

Td atau TMS berfungsi untuk memutus tenaga ketika menerima sinyal dari overcurrent relay sehingga apabila terjadi gangguan pada lokasi relay maka waktu pengoperasian relay adalah 0,2-0,3 detik. Atau untuk relay yang seluruh kurvanya tergambar, dapat digunakan kurva yang terkecil, misalnya relay elektromekanis Westinghouse.[13]

Dengan mengatur waktu relay hilir, relay dapat beroperasi secara selektif, sambil memastikan bahwa pengaturan waktu keseluruhan tetap cukup cepat tanpa melebihi batas ketahanan termal peralatan yang dijamin. Ketika waktu naik ditunjukkan oleh $\Delta t = 0.3- 0.5$ detik. Jadi untuk selektifitas didapat dengan (relay arus lebih waktu tertentu) $t + \Delta t$. [12]

Tabel I Setelan Waktu Relay

Tipe Relay	Setelan waktu (TMS)
Standard Invers	$TMS = \frac{tx \left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$
Very Invers	$TMS = \frac{tx \left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{13,2}$
Extremely Invers	$TMS = \frac{tx \left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{80}$

Untuk setting waktu sesuai dengan rumus Standard Inverse (SI) IEC (Internasional Electric Committion) 60025 dapat ditunjukkan pada tabel. 1

$$t = \frac{0,14xTms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \quad (17)$$

dimana :

t = Waktu kerja relay (detik)

I_{set} = Arus setelan relay (A)

I_{fault} = Arus Hubung singkat (A)

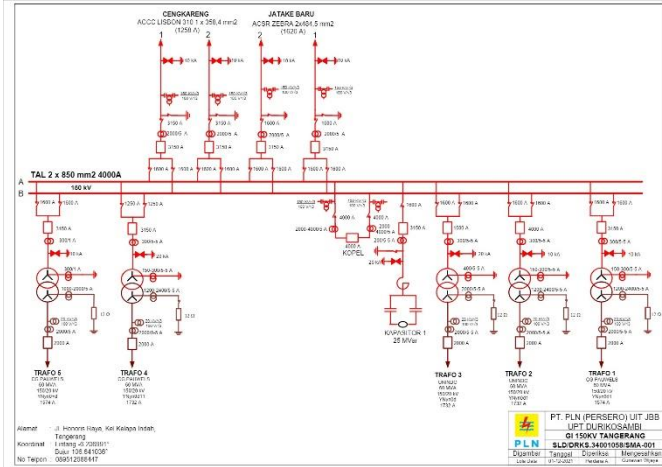
TMS = Time Multiple Setting

Karena setting untuk relay termasuk setting TMS karena itu durasi kerja diinginkan ketika terjadi masalah harus ditentukan TMS menggunakan persamaan berikut :

$$TMS = \frac{tx \left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \quad (18)$$

Dimana :
 TMS = Time Multiple Setting
 IFault = Arus Hubung singkat (A)
 Iset = Arus setelan relai (A)
 t = waktu tertentu relai arus lebih

II. DATA DAN PERHITUNGAN



Gambar 3 Single Line Gardu Induk Tangerang

A. Pengambilan dan Pengumpulan Data

Data – data yang dibutuhkan akan diperoleh dari tempat penelitian. Dalam hal ini pengambilan data single line gardu induk Tangerang transformator, data penyulang dan data setting relai arus lebih untuk transformator pada gardu induk yang bisa diperhatikan lewat gambar. 2

Data yang di ambil di Gardu Induk Tangerang:

1. Data Transformator Daya 1
 - a. Merk : CG PAUWELS
 - b. Tipe: PX-001-FOHB
 - c. Tegangan Primer: 150
 - d. Tegangan Sekunder : 20
 - e. Impedansi : 12.03%
 - f. daya : 60MVA
2. Data Kawat Penghantar Penyulang
 - a. Jenis : ACCC
 - b. Ukuran : 150 mm²
 - c. Panjang Penyulang : 18.288km
 - d. Impedansi Positif dan Negatif : 0.216 + j0.33
3. Data OCR Transformator
 - a. Merk : Schneider
 - b. Tipe : MiCom P142
 - c. Ratio CT : 2000/5
 - d. TMS : 0,37s

A. Perhitungan Arus Beban Penuh

Transformator 1 Gardu Induk Tangerang memiliki daya 60 MVA serta tegangan 150/20 KV, untuk menghitung arus beban penuh menggunakan persamaan :

$$I_{FL} = \frac{MVA}{\sqrt{3} kV}$$

$$I_{FL} = \frac{60MVA}{\sqrt{3} 20 kV}$$

$$I_{FL} = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} 20 \times 10^3}$$

$$I_{FL} = 1732 A$$

B. Perhitungan Impedansi Sumber

Dari data hubung singkat pada busbar primer (150kV) di Gardu Induk Tangerang termasuk sebanyak 1.568 MVA.

Sehingga impedansi sumber (Xs) :

$$X_{S(sisi 150)} = \frac{kV^2}{1.568}$$

$$X_{S(sisi 150)} = \frac{150^2}{1.568}$$

$$X_{S(sisi 150)} = 14,18 \text{ ohm}$$

Impedansi baru dari sumber

$$Z_{p.u} = 14.18 \times \left(\frac{150kV}{150kV}\right)^2 \times \left(\frac{60MVA}{60MVA}\right)^2$$

$$Z_{p.u} = 14.18 \text{ p.u}$$

Supaya menemukan Impedansi sisi sekunder, termasuk pada bus sisi 20 kV sehingga :

$$X_{S(sisi 20)} = \frac{kV^2(sisi sekunder)}{kV^2(sisi primer)} \times X_{S(sisi 150)}$$

$$X_{S(sisi 20)} = \frac{20^2}{150^2} \times 14,18$$

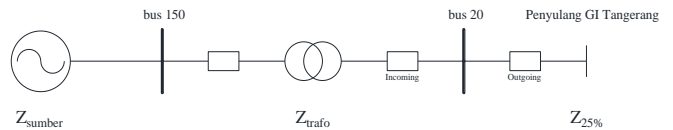
$$X_{S(sisi 20)} = 0,2520 \text{ ohm}$$

Impedansi baru dari sisi sekunder

$$Z_{p.u} = 0.2520 \times \left(\frac{20kV}{20kV}\right)^2 \times \left(\frac{60MVA}{60MVA}\right)^2$$

$$Z_{p.u} = 0.2520 \text{ p.u}$$

C. Perhitungan Impedansi Penyulang



Gambar 4 Single Line pada Transformator 1 Gardu Induk Tangerang

Berdasarkan data awat penghantar yang di gunakan di Gardu Induk Tangerang menggunakan jenis penghantar AAAC dengan ukuran 150 mm² pada panjang penyulang 18.288 km, Dimana rumus oleh impedansi termasuk:

$$Z = (R + jX) \text{ ohm/km}$$

$$Z1 = Z2 (AAAC) = (0,125 + j0,09) \text{ ohm/km}$$

Untuk impedansi penyulang Gardu Induk Tangerang dengan panjang penyulang 18.288 untuk jarak 25% maka :

$$Z = (25\% \cdot 18,288) \cdot (0.216 + j0,33)$$

$$Z = 0,9875 + j1,675$$

Atau

$$Z = \sqrt{0.216^2 + 0.33^2} \times 18,288 \times 25\%$$

$$Z = \sqrt{0.3249} \times 18,288 \times 25\%$$

$$Z = 0.57 \times 4.527$$

$$Z = 2.606\Omega$$

Impedansi baru dari penyulang dengan jarak 25%

$$Z_{p.u} = 2.606 \times \left(\frac{20kV}{20kV}\right)^2 \times \left(\frac{60MVA}{60MVA}\right)^2$$

$$Z_{p.u} = 2.606 \text{ p.u}$$

D. Perhitungan Impedansi Ekuivalen

Perhitungan berikut ini dapat dilihat dari gambar. 3

$$Z_{1eq} = Z_{sumber} + Z_{transformator} + Z_{penyulang25\%}$$

$$Z_{1eq} = 14.18\% + 12.03\% + 2.60\%$$

$$Z_{1eq} = 28.81\%$$

$$Z_{1eq} = 0.2881$$

E. Perhitungan Nilai Arus Gangguan Hubung Singkat (MVAfault)

$$MVA_f = \frac{MVA_{base}}{Z_{eq}}$$

$$MVA_f = \frac{60 \text{ MVA}}{0.2881} = \frac{60 \times 10^6}{0.2881} = \frac{60.000.000}{0.2881}$$

$$MVA_f = 208.26$$

F. Perhitungan Arus Hubung Singkat Maksimal dan Minimal

$$I_{sc3\phi} = \frac{MVA_f}{\sqrt{3}kV_{base}}$$

Maka :

$$I_{sc3\phi} = \frac{208.26MVA}{\sqrt{3} \cdot 20kV} = \frac{208.26 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \times 10^3}$$

$$I_{sc3\phi} = 6011.9A$$

Perhitungan arus hubung singkat minimal menggunakan persamaan :

$$I_{sc2\phi} = 0,866 \times I_{sc3\phi}$$

Maka :

$$I_{sc2\phi} = 0.866 \times 6011.9$$

$$I_{sc2\phi} = 5026.3A$$

G. Setting Arus Overcurrent Relay pada Transformator

$$I_{FL} = \frac{MVA}{\sqrt{3}kV} = \frac{60MVA}{\sqrt{3} \cdot 20kV} = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \times 10^3}$$

$$I_{FL} = 1732 \text{ Ampere}$$

$$\text{Maka CT} = \frac{2000}{5}$$

$$I_{sc3\phi} = \frac{208.26MVA}{\sqrt{3} \cdot 20kV} = \frac{208.26 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \times 10^3} = 6011.9$$

$$I_{sc2\phi} = 0.866 \times 6011.9 = 5026.3$$

Untuk menentukan setting arus untuk mengaktifkan relai agar membagikan perintah untuk PMT (pemutus) supaya memisahkan sarana kelistrik oleh sumber. Standart inverse termasuk $1,05 \leq ip \leq 0,8$ Isc min

$$\frac{K_s}{K_d} I_{fl} < lpp < \frac{I_{scmin}}{K_s}$$

$$1.5 I_{fl} < lpp < \frac{I_{scmin}}{1.5}$$

$$1.5 \times 1732 < lpp < \frac{5026.3}{1.5}$$

$$2598 < lpp < 3350,8$$

$$\frac{2598}{CT} < lpp < \frac{3350,8}{CT}$$

$$\frac{2598}{2000/5} < lpp < \frac{3350,8}{2000/5}$$

$$6.49 < lps < 8.37$$

Dari Hasil perhitungan di dapatkan nilai setting arus $6.49 > Ips > 8.37$ maka ditentukan nilai 7 menjadi nilai dari setting arus pada relai arus lebih transformator Gardu Induk Tangerang.

H. Setting Waktu Overcurrent Relay pada Transformator

Untuk menentukan setting waktu kerja OCR perlu di ketahui nilai TMS (Time Multiple Setting), OCR durasi kerja yang terhilir disahkan $t = 0,3$ detik. maka :

$$TMS = \frac{t \times \left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0.14} = \frac{0,3 \times \left(\frac{1732}{7}\right)^{0,02} - 1}{0.14} = 0,24 \text{ s}$$

III. HASIL PERHITUNGAN DAN HASIL ANALISA OVERCURRENT RELAY

A. Hasil Perhitungan

Berdasarkan perhitungan yang telah di lakukan, di dapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel II Hasil Perhitungan

Tabel Hasil Perhitungan		
No	Jenis Perhitungan	Hasil
1	Arus Beban Penuh	1732 A
2	Impedansi Penyulang	2.6060 p.u
3	Impedansi Ekuivalen	0.2882
4	Arus Gangguan Hubung Singkat	208.26 A
5	Arus Hubung Singkat Maksimal	6022.9 A
6	Arus Hubung Singkat Minimal	5026.3 A
7	Ratio CT	2000/5
8	Setting Arus OCR	6.49<lps<8.37
9	Setting Waktu OCR	0,24s

Untuk perbandingan hasil perhitungan over current relai dan data over current relai di lapangan dapat dilihat pada tabel. III.

Tabel III Perbandinga Hasil Perhitungan OCR dan data OCR di lapangan

Hasil Perhitungan	Data Lapangan
TMS = 0,24s Ratio CT = 2000/5	TMS = 0,37s Ratio CT = 2000/5

Hasil perhitungan dan data lapangan memiliki perbedaan dikarenakan pada data di lapangan memiliki banyak parameter sedangkan dalam penelitian ini perhitungan hanya dilakukan untuk menentukan nilai dari setting waktu relai berdasarkan data transformator di Gardu Induk Tangerang

Dari hasil perhitungan data lapangan dengan data hasil perhitungan pada setelah TMS memiliki perbedaan yaitu data yang ada dilapangan lebih lambat dibandingkan dengan hasil perhitungan pada penelitian ini.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Sesuai hasil di peroleh atas perhitungan serta analisa untuk tugas akhir tersebut bisa dibuat kesimpulan yaitu :

1. Arus beban penuh pada transformator di Gardu Induk Tangerang adalah 1732 ampere.
2. Pada transformator di Gardu Induk Tangerang arus hubung singkat maximal 6011.9 dan arus hubung singkat minimal 5026.3
3. Untuk mengoptimalkan gangguan terjadinya over current, dilakukan setting Overcurrent relay sehingga diperoleh setting relai OCR pada transformator di Gardu Induk Tangerang dengan setting arus 7A dan TMS = 0.24s

B. Saran

- Untuk Pengoptimalan kerja over current relay, sebaiknya di lakukan pembaruan settingan relai secara berkala untuk menghindari kegagalan kerja dari relai proteksi ketika terjadi gangguan
- Hasil penelitian ini dapat menjadi pertimbangan dan rujukan supaya mengatur setting relai arus lebih untuk transformator di gardu induk

V. KUTIPAN

- [1] T. FIDARGO, "ANALISA GANGGUAN KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN LISTRIK DI GEDUNG FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI (FTI) UNISSULA." *Repos. UNISSULA*, 2019.
- [2] F. Fitriani, A. Amri, and R. Hidayat Dongka, "Studi Gangguan Sistem Distribusi Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) Penyulang Rindam Di PT. PLN (Persero) Rayon Sungguminasa," *Dewantara J. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 10–14, Dec. 2022, doi: 10.59563/djtech.v3i2.186.
- [3] E. Dermawan and D. Nugroho, "Analisa Koordinasi Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka," vol. 14, no. 2.
- [4] A. Naufal, "ANALISIS KOORDINASI RECLOSER DAN OVERCURRENT RELAY UNTUK GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PENYULANG GRANIT GARDU INDUK SERPONG UP3 DEPOK," *Repos. UNSIL*, 2023.
- [5] D. P. Wardani, "Analisa Overcurrent Relay pada Transformator daya 60 MVA dengan Simulasi Matlab di Gardu Induk Paya Geli," *Univ. Panca Budi*, 2020.
- [6] H. Y. Kustanto, M. Suyanto, and S. Hani, "ANALISIS OCR (OVER CURRENT RELAY) DAN GFR (GROUND FAULT RELAY) PADA TRANSFORMATOR DAYA 1 (60 MVA) GARDU INDUK BANTUL 150 KV MENGGUNAKAN PROGRAM ETAP," vol. 1, no. 1, 2014.
- [7] I. AFFANDI, "ANALISA SETTING RELAI ARUS LEBIH DAN RELAI GANGGUAN TANAH PADA PENYULANG SADEWA DI GI CAWANG," *Univ. Indones.*, 2009.
- [8] B. S., "SETTING KOORDINASI OVER CURRENT RELAY PADA TRANSFORMATOR 60 MVA 150/20 KV DAN PENYULANG 20 KV," *Mercubuana*, vol. 18, 2014.
- [9] A. M. Thufail Addaus, "ANALISA PROTEKSI OVER CURRENT RELAY (OCR) DAN GROUND FAULT RELAY (GFR) PADA TRANSFORMATOR DAYA GARDU INDUK," *SAINSTECH J. Penelit. DAN Pengkaj. SAINS DAN Teknol.*, vol. 32, no. 1.
- [10] Y. Rondonuwu, L. S. Patras, and H. Tumaliang, "Analisa Setting Relai Arus Lebih Jaringan Transmisi 150kV Pada Sistem Minahasa," vol. 7, no. 2, 2018.
- [11] A. S. Sampeallo, N. Nursalim, and P. J. Fischer, "ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA JARINGAN PEMAKAIAN SENDIRI PLTU BOLOK PT. SMSE (IPP) UNIT 3

DAN 4 MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0," *J. Media Elektro*, pp. 79–88, Apr. 2019, doi: 10.35508/jme.v8i1.1442.

- [12] I. D. G. Agung Budhi Udiana, I. G. Dyana Arjana, and T. G. Indra Partha, "STUDI ANALISIS KOORDINASI OVER CURRENT RELAY (OCR) DAN GROUND FAULT RELAY (GFR) PADA RECLOSER DI SALURAN PENYULANG PENEABEL," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 2, p. 37, Aug. 2017, doi: 10.24843/MITE.2017.v16i02p07.
- [13] S. A. D. Savitri, F. Ardianto, and B. Alfaresi, "Setting Kerja Waktu Relay Arus Lebih pada Penyulang Kikim di Gardu Induk Sungai Juaro," *Electrician*, vol. 13, no. 2, p. 57, Jun. 2019, doi: 10.23960/elc.v13n2.2109.



Gabriel Gracia Theresia Betryst Montolalu, lahir di Amurang, Sulawesi Utara, pada 7 Januari 2002. Saat tahun 2019, penulis memulai pendidikan di program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado serta memilih konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2021. Selama menjalani Pendidikan, penulis mengikuti Kerja Praktek di PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong pada Maret-Mei 2022 dan tergabung dalam kepengurusan organisasi Himpunan Mahasiswa Elektro (HME).