



Desain Proteksi Kubikel 20 kV pada Gardu Distribusi Pelanggan Tegangan Menengah di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Bali Utara

I Gede Dharma Saputra^{1,*}, Aghus Sofwan^{1,2}, R. Rizal Isnanto^{1,2}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

²Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*Corresponding author: dash.gede@gmail.com

(Received: September 9, 2024; Accepted: October 18, 2024)

Abstract

Design of 20 kV Cubicle Protection at Medium Voltage Customer Distribution Substation at PT PLN (Persero) Customer Service Implementation Unit (UP3) North Bali. PLN sometimes distributes electricity to household and industrial customers using the same distribution network, so network reliability must be well maintained. Medium voltage (TM) customers use the same voltage level as the distribution network, namely 20 kV. Disturbances in the installations owned by TM customers can cause the protection on the distribution network to work or make the network trip (disconnected), so that the distribution of electricity stops, both to household and industrial customers. Therefore, for TM customers, electricity is distributed through 20 kV cubicles equipped with protection relays. With this relay, disturbances in the installations owned by TM customers can be localized. In order for the relay to function properly, it is necessary to make the right protection design and calculation. Protection is designed to work on overcurrent (overcurrent), ground fault (ground fault) and thermal protection (overload). Protection calculations will use customer power data, customer transformer capacity and CT ratio used, then use several equations to determine the right setting value. From the customer power, the nominal current value (I_n) will be obtained, and from the design results for I_n at values 105%, 120% and 150% are included in the category of excess usage load, while for I_n with a value of 400% it is included in the category of overcurrent disturbance. For ground fault settings, refer to the maximum current value of the customer transformer (I_{ne}), by limiting the neutral current by 20% of I_{ne} .

Keywords: 20 kV cubicle, protection relay, overcurrent, ground fault, thermal protection

Abstrak

PLN adakalanya dalam menyalurkan tenaga listrik ke pelanggan rumah tangga dan industri menggunakan jaringan distribusi yang sama, sehingga keandalan jaringan harus terjaga dengan baik. Pada pelanggan tegangan menengah (TM) menggunakan level tegangan yang sama dengan jaringan distribusi yaitu 20 kV. Gangguan pada instalasi milik pelanggan TM dapat menyebabkan proteksi pada jaringan distribusi bekerja atau membuat jaringan *trip* (terputus), sehingga penyaluran tenaga listrik terhenti, baik kepada pelanggan rumah tangga dan industri. Maka dari itu pada pelanggan TM, tenaga listrik disalurkan melalui kubikel 20 kV yang dilengkapi dengan *relay* proteksi. Dengan *relay* tersebut, gangguan pada instalasi milik pelanggan TM dapat dilokalisasi. Agar *relay* dapat berfungsi dengan baik perlu dibuat desain dan perhitungan proteksi yang tepat. Proteksi didesain untuk bekerja pada gangguan *overcurrent* (arus lebih), *ground fault* (gangguan ke tanah) dan proteksi *thermal* (*overload*). Perhitungan proteksi akan menggunakan data-data daya

pelanggan, kapasitas trafo pelanggan dan rasio CT yang digunakan, kemudian menggunakan beberapa persamaan untuk menentukan nilai *setting* yang tepat. Dari daya pelanggan akan didapatkan nilai arus nominal (I_n), dan dari hasil desain untuk I_n pada nilai 105%, 120% dan 150% termasuk kategori beban pemakaian lebih, sedangkan untuk I_n dengan nilai 400% masuk kategori gangguan *overcurrent*. Untuk *setting ground fault*, mengacu besar nilai arus maksimum trafo pelanggan (I_{ne}), dengan cara membatasi arus netral sebesar 20% dari I_{ne} .

Kata kunci: *kubikel 20 kV, relay proteksi, overcurrent, ground fault, proteksi thermal*

How to Cite This Article: Saputra, I. G. D., Sofwan, A. & Isnanto, R. R. (2024). Desain Proteksi Kubikel 20 kV pada Gardu Distribusi Pelanggan Tegangan Menengah di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Bali Utara. *JPII*, 2(4), 232-237. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.24575>

PENDAHULUAN

PT PLN (Persero) adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bertugas sebagai penyedia jasa energi listrik kepada masyarakat di seluruh Indonesia. PLN dalam visinya menyebutkan yaitu menjadi perusahaan listrik terkemuka se-Asia Tenggara. Sebagai perusahaan terkemuka tentunya PLN dituntut untuk senantiasa menyediakan penyaluran tenaga listrik yang andal dan berkualitas kepada pelanggannya. Unit PLN yang bertugas menyalurkan tenaga listrik adalah unit distribusi yang tersebar sesuai wilayah kerjanya di seluruh Indonesia. Untuk wilayah Bali, unit distribusinya bernama PLN Unit Induk Distribusi Bali (UID Bali). PLN UID Bali memiliki 3 (tiga) area kerja yaitu Bali Selatan, Bali Timur dan Bali Utara. Masing-masing area dibentuk Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) yaitu UP3 Bali Selatan, UP3 Bali Timur dan UP3 Bali Utara.

Pelanggan listrik PLN terdiri dari pelanggan rumah tangga dan pelanggan industri. Pelanggan industri dengan daya kontrak lebih besar dari 240 kVA menggunakan tegangan nominal 20 kV (tegangan menengah) sehingga umum disebut pelanggan TM. Pelanggan industri dengan daya di atas 240 kVA (Edaran Direksi PT PLN (Persero) no. 18.E/012/DIR/2002, 2002) digunakan pemutus (PMT) dilengkapi dengan trafo arus (*current transformer*) dan *relay* pembatas termis *overload*. Tujuan daripada penggunaan alat pembatas antara lain untuk mencegah penggunaan daya yang berlebih oleh pelanggan dan juga sebagai indikasi adanya gangguan di sisi instalasi pelanggan sehingga dapat segera dilokalisasi agar tidak mengganggu jaringan PLN yang dapat mengakibatkan terputusnya penyaluran tenaga listrik ke pelanggan lainnya.

Pelanggan tegangan menengah adakalanya mendapatkan tenaga listrik dari penyulang yang juga menyalurkan ke pelanggan-pelanggan lainnya (dapat pelanggan rumah tangga ataupun pelanggan industri lainnya). Gangguan pada sisi instalasi milik pelanggan TM berpotensi untuk membuat penyulang menjadi *trip* (terputus) apabila tidak segera dilokalisasi. Maka dari itu, peran sistem proteksi menjadi sangat penting guna menekan atau mengurangi jumlah pemadaman pada pelanggan.

Bagian yang terganggu atau mengalami kegagalan saat beroperasi harus segera dipisahkan dari sistem. Dalam hal ini kita batasi pada instalasi milik pelanggan yang kita anggap sebagai bagian yang terganggu atau mengalami kegagalan. Untuk jenis proteksi yang digunakan antara lain proteksi terhadap arus lebih (*overcurrent*), gangguan ke tanah (*ground fault*) dan *thermal overload*.

Pada artikel ini akan dijelaskan bagaimana desain dan perhitungan proteksi pada kubikel 20 kV pada gardu distribusi pelanggan TM di unit PLN UP3 Bali Utara. Pada desain akan dirancang sedemikian rupa agar gangguan yang terjadi pada instalasi milik pelanggan tidak menjalar ke sistem milik PLN. Perhitungan nilai-nilai parameter yang akan digunakan pada *setting relay* dirancang beroperasi dengan tepat dan cepat pada kondisi terjadi gangguan ataupun *overload* pada instalasi milik pelanggan TM.

Pembahasan dibatasi pada pengaturan proteksi di lingkup gangguan pada instalasi milik pelanggan TM dengan tujuan melindungi jaringan PLN agar tetap beroperasi normal dan tidak terpengaruh oleh gangguan tersebut. Seperti kita ketahui bahwa apabila ada gangguan di jaringan yang menyebabkan proteksi bekerja dengan memutuskan *circuit breaker*, maka untuk menormalkan kembali operasinya, PLN harus menghilangkan dulu gangguan yang ada, dengan cara melakukan inspeksi sepanjang jaringan, dan baru dapat beroperasi normal kembali setelah meyakini kondisi sudah aman. Dengan menerapkan sistem proteksi di gardu pelanggan TM, dapat meringankan kerja PLN karena bila terjadi gangguan di sisi instalasi pelanggan TM dapat segera dilokalisasi, dengan demikian jumlah pelanggan padam dapat ditekan, sehingga kinerja dan *image* PLN menjadi lebih bagus.

Dalam melakukan desain dan perhitungan *setting* proteksi, agar mendapatkan nilai yang tepat, kita mulai dari menggambarkan *single line diagram* (SLD) agar kita mendapatkan gambaran sistem distribusinya seperti apa, kemudian mengumpulkan data-data yang diperlukan seperti daya pelanggan, trafo arus, trafo tegangan dan juga trafo daya milik pelanggan. Setelah data-data kita dapatkan, maka kita gunakan rumus atau formula untuk

mendapatkan nilai *setting* yang tepat. Setelah nilai *setting* didapatkan, maka kita dapat memasukkannya ke dalam *relay* yang kita gunakan dengan mengikuti petunjuk dari pabrikan *relay* tersebut.

METODE PENELITIAN

Desain Proteksi

Pertama-tama kita perlu membuat *single line diagram* (SLD) penyulang (Gambar 1) yang akan digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik ke pelanggan TM. Dari SLD tersebut dapat diketahui kondisi jaringan dan dapat memperkirakan bagian proteksi mana yang akan bekerja sesuai dengan lokasi gangguan terjadi, dengan membaginya menjadi zona A, B dan C (Gambar 2). Dalam artikel ini berfokus melindungi jaringan PLN apabila terjadi gangguan pada instalasi milik pelanggan atau zona C, sebab apabila tidak ada proteksi atau proteksi gagal maka akan mengaktifkan proteksi di zona B. Bila proteksi zona B yang bekerja, maka jumlah pelanggan padam akan lebih banyak dan ini menyebabkan beberapa aktivitas terganggu akibat listrik terputus. Maka sangat penting apabila gangguan terjadi di sisi instalasi pelanggan proteksi di zona C yang bekerja. Hal ini juga dikarenakan adanya pembagian wewenang di PLN di mana untuk zona C merupakan wewenang PLN UP3, sedangkan zona A dan B merupakan wewenang PLN UP2D.

Pada zona B dipasang *fuse cut out* (FCO). FCO merupakan pelebur jenis *expulsion* (SPLN D3.026:2017, 2017), di mana operasi pemutusan dilakukan dengan pengeluaran gas yang dihasilkan oleh busur listrik. FCO digunakan utamanya adalah pada kondisi pemeliharaan, untuk memisahkan dari jaringan utama bila akan dilakukan pemeliharaan pada kubikel 20 kV. Namun FCO dapat saja bekerja apabila ada kegagalan proteksi pada zona C, tapi tentu saja tidak dapat dilakukan koordinasi karena dapat saja *relay* pada zona B bekerja lebih dahulu atau dapat saja kedua-duanya bekerja. Maka dari itu, penggunaan FCO sebagai proteksi tidak dapat diandalkan, karena pemutusannya yang banyak juga dipengaruhi faktor-faktor dari luar seperti kondisi lingkungan dan usia pemakaian.

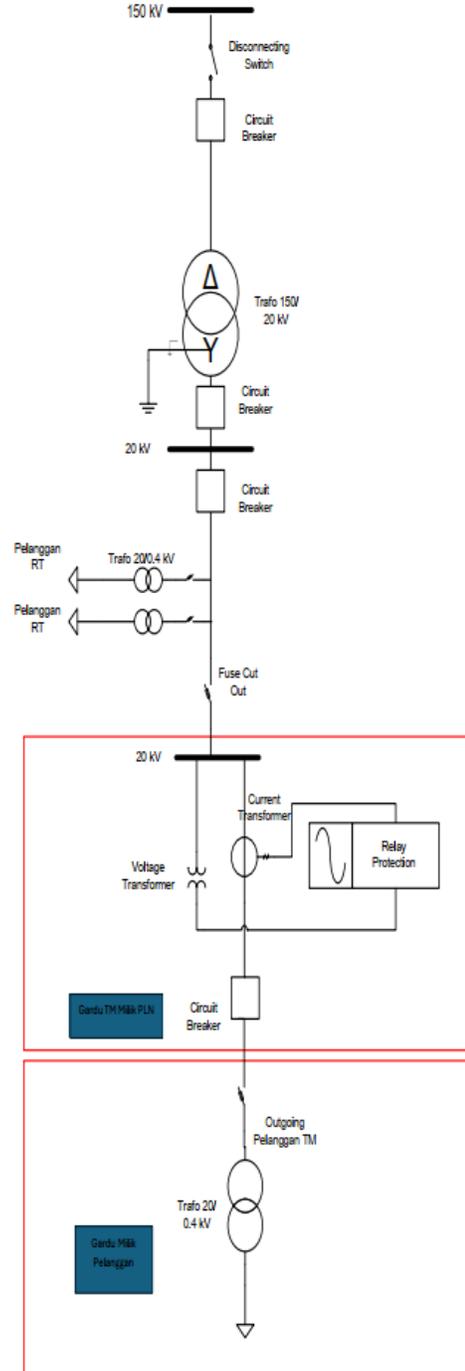
Untuk melakukan perhitungan *setting* proteksi kita perlu mendapatkan data-data antara lain daya yang diminta pelanggan, daya trafo pelanggan, rasio trafo arus dan trafo tegangan yang digunakan.

Setting Proteksi

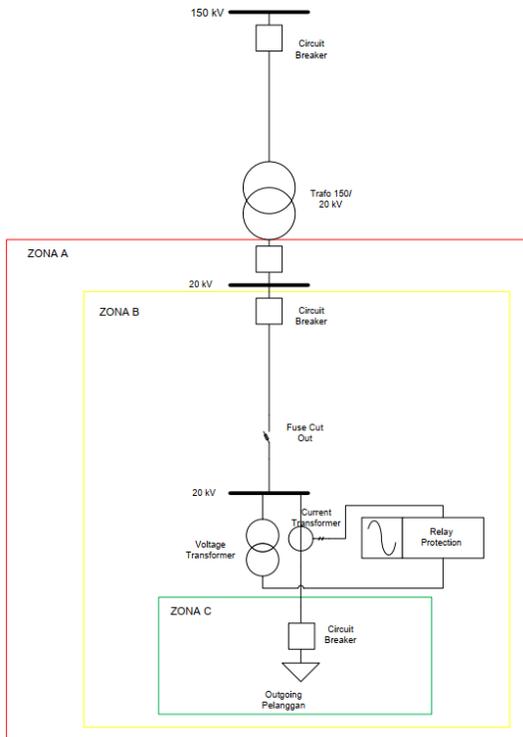
Dalam melakukan perhitungan *setting* proteksi diawali dengan melakukan pengumpulan data. Data tersebut antara lain:

- a. Besar daya pelanggan
- b. Rasio trafo arus (*Current Transformer*)
- c. Rasio trafo tegangan (*Voltage Transformer*)
- d. Kapasitas Trafo Pelanggan yang digunakan.

Setelah data didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *setting* proteksi menggunakan beberapa rumus perhitungan dan juga untuk menentukan proteksi termal menggunakan rumus *cold start* dari karakteristik *thermis relay overload* yang akan diterangkan lebih detail lagi pada pembahasan berikutnya agar tercapai karakteristik *trip* yang sesuai.



Gambar 1. Single line diagram



Gambar 2. Pembagian zona proteksi

Pengaturan Proteksi Arus Lebih

Dari besarnya daya yang diminta pelanggan, maka kita dapat menghitung nilai arus maksimumnya dengan rumus sebagai berikut.

$$S = \sqrt{3}V_L I_L \tag{1}$$

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3}V_L} \tag{2}$$

di mana I_L adalah arus 3 fasa (A), S adalah daya 3 fasa (VA) dan V_L adalah tegangan 3 fasa (V).

Dengan mengetahui nilai arus maksimum maka akan dapat ditentukan nilai pengaturan untuk proteksi arus lebih. Nilai arus nominal (I_n) sama dengan arus maksimum (I). *Setting* proteksi arus lebih mengacu pada Tabel 1 (Edaran direksi PT PLN (Persero) no. 18.E/012/DIR/2002, 2002). Berdasarkan Tabel 1, maka untuk arus $1.05 \times I_n$, $1.20 \times I_n$ dan $1.50 \times I_n$ masih dianggap arus pemakaian pelanggan yang masih wajar, sedangkan untuk $4 \times I_n$ sudah dimasukkan sebagai kategori gangguan.

Pada Arus	Waktu Trip
$1,05 \times I_n$	Tidak trip sebelum 60 menit
$1,20 \times I_n$	Trip sebelum 20 menit
$1,50 \times I_n$	Trip sebelum 10 menit
$4,00 \times I_n$	Dikoordinasikan dengan pengaman hubung singkat (OCR)

Untuk *setting* proteksi arus lebih ada 2 (dua) jenis yaitu *overcurrent* dan *instant overcurrent*. Untuk

overcurrent proteksinya bekerja dengan waktu tunda sesuai dengan karakteristik kurva proteksi. Salah satu karakteristik kurva proteksi adalah *standard inverse time-delayed*. *Instant overcurrent* proteksi bekerja tanpa waktu tunda. *Setting overcurrent* dapat dilihat pada Tabel 2 dan untuk *Instant overcurrent* pada Tabel 3.

Tabel 2. Nilai *setting overcurrent*

Setting Arus	Setting Waktu Tunda	Karakteristik Kurva
$1,8 \times I_n$	0,05 detik	Standard Inverse

Tabel 3. Nilai *setting overcurrent instant/moment*

Setting Arus	Setting Waktu Tunda	Karakteristik Kurva
$4 \times I_n$ (minimal)	0 detik (trip langsung)	DMT

Pengaturan Proteksi Termal

Untuk *setting thermal* mengacu pada besar daya pelanggan dan dibatasi dengan mengacu pada rumus *cold start* dari karakteristik *thermis relay overload* dan disesuaikan dengan arus nominal (Edaran direksi PT PLN (Persero) no. 18 .E/012/DIR/2002, 2002).

$$t = \tau \times \ln \left(\frac{I^2}{I^2 - (k \times I_S)^2} \right) \tag{3}$$

di mana t adalah waktu dalam menit, τ adalah konstanta *thermis*, I adalah arus beban, k adalah konstanta 1.05 dan I_S adalah setelan arus *relay*.

Berdasarkan persamaan (3) tersebut, maka nilai τ dan I_S diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan karakteristik *trip* seperti pada Tabel 1. Agar mendapatkan karakteristik *trip* seperti pada Tabel 1, nilai τ adalah 13 dan I_S adalah $1.0 \times$ arus nominalnya.

Setting Ground Fault

Untuk melakukan perhitungan pengaturan gangguan ke tanah, dapat mengacu pada arus netral yang mengalir ke trafo pelanggan. Pada sistem tiga fasa yang seimbang tidak ada arus yang mengalir pada netral atau arus netral nol (Dey & Chakraborty, 2013). Apabila terjadi gangguan ke tanah maka beban trafo menjadi tidak seimbang. Ketidakseimbangan beban akan memunculkan arus netral di trafo (Setiadji et al., 2008). Dengan sistem di mana netral ditanahkan maka deteksi terjadinya gangguan ke tanah dapat dilakukan.

Perhitungan *setting* gangguan ke tanah dapat dilakukan dengan mengacu pada arus maksimum trafo pelanggan. Dengan nilai arus maksimum tersebut dapat kita lakukan pembatasan nilai arus netral yang mengalir.

Sebagai ilustrasi apabila trafo milik pelanggan sebesar 300 kVA, maka dengan menggunakan persamaan (1) akan didapatkan arus maksimum sebesar 8,66 A, maka dapat kita tentukan di sini $I_{ne} = 8,66$ A. Jadi kita dapat batasi nilai arus netral yaitu sebesar $20\% \times I_{ne}$. *Setting relay* GFR dapat dibuat 30% sampai dengan 40%

$x I_n$ (Zulfarhain et al., 2022). *Setting* tersebut digunakan pada proteksi jaringan distribusi, dengan begitu pengaturan $20\% \times I_{ne}$ untuk *setting* di kubikel 20 kV *outgoing* pelanggan dapat dipilih.

Setting nilai arus gangguan ke tanah dapat dibuat menjadi 1 atau 2 *stage* (tergantung fitur yang disediakan *relay* yang digunakan). Perhitungan *setting* arus gangguan ke tanah (I_{ne}) sebagai berikut sesuai Tabel 4.

Tabel 4. *Setting ground fault*

Stage	Nilai <i>Setting</i>	TMS (detik)	Kurva
Stage 1 (I_{n1})	$20\% \times I_n$	0,05	<i>Standard Inverse</i>
Stage 2 (I_{n2})	$4 \times I_{n1}$	0	DMT

Trafo Arus dan Trafo Tegangan

Data nilai rasio dari trafo arus (CT) dan trafo tegangan (VT) yang digunakan sangat diperlukan dalam melakukan *setting* nilai proteksi. Rasio sekunder CT yang digunakan adalah 1 A atau 5 A. Untuk VT rasio yang digunakan adalah 20.000 V : 100 V. Dari data rasio tersebut kita dapat memasukkan *setting* yang tepat dan akurat agar *relay* bekerja dengan baik. Pada *setting* proteksi ini menggunakan parameter arus untuk nilai *setting*-nya, sedangkan untuk VT hanya digunakan untuk memonitor nilai tegangannya dan tidak digunakan untuk nilai proteksi.

Selain rasio, kelas CT yang digunakan juga perlu diperhatikan. Untuk keperluan proteksi digunakan kelas CT 5P20. Arti dari 5P20 adalah ketika arus yang mengalir melalui proteksi CT kurang dari 20 kali arus pengenalnya, kesalahan CT harus kurang dari $\pm 5\%$.

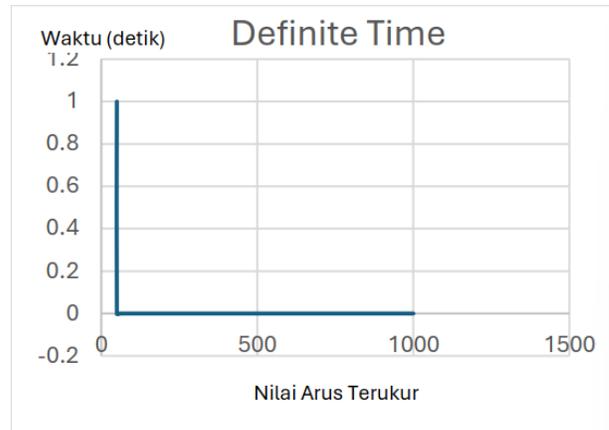
HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan penghitungan nilai-nilai untuk digunakan pada pengaturan proteksi, maka selanjutnya kita dapat melakukan ulasan/tinjauan dari pengaturan tersebut. Gambaran kerja proteksi dapat digambarkan melalui sebuah grafik agar terlihat karakteristiknya. Grafik untuk waktu tunda *setting* proteksi *overcurrent* seperti terlihat pada Gambar 3.



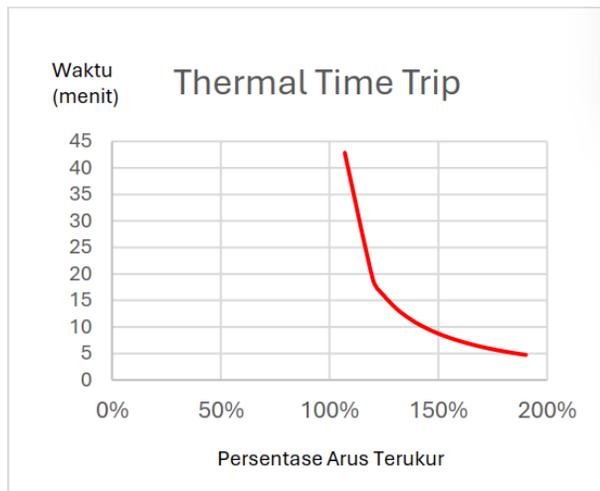
Gambar 3. Grafik kurva waktu trip *standard inverse* untuk proteksi arus lebih

Semakin besar arus gangguan maka respon waktu *relay* bekerja akan semakin cepat seperti yang terlihat pada Gambar 3. Untuk *setting* proteksi *Instant Overcurrent* tidak ada waktu tunda seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik kurva waktu trip *definite time*

Dapat dilihat pada Gambar 5, kondisi dikategorikan normal bila beroperasi dengan arus di bawah 100% arus nominal. Waktu trip sesuai dengan persamaan (2). Pada operasi arus pada nilai 105% secara terus menerus maka *relay* akan bekerja setelah 60 menit, begitupun pada arus 120% dan 150% *relay* akan bekerja sesuai dengan Tabel 1.



Gambar 5. Grafik kurva waktu *trip* proteksi termal

KESIMPULAN

Berdasarkan pada desain, perhitungan dan pembahasan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tujuan utama dari sistem proteksi pada kubikel 20 kV Gardu Pelanggan TM adalah untuk mencegah agar gangguan yang terjadi pada instalasi milik pelanggan tidak mengakibatkan terganggunya sistem distribusi milik PLN.
2. Pemakaian arus oleh pelanggan mulai dari 105% sampai dengan 150% masih dalam kategori beban pemakaian lebih bukan sebagai arus gangguan, tetapi nilai tersebut dimasukkan dalam proteksi termal. Apabila arus lebih dari 400% dapat dikategorikan sebagai arus gangguan.
3. *Setting overcurrent* ada 2 kategori yaitu normal *overcurrent* dan *instant overcurrent*. Normal *Overcurrent* menggunakan waktu tunda sedangkan *instant overcurrent* tidak ada waktu tunda atau bekerja seketika.
4. Pada pengaturan proteksi termal agar mendapatkan karakteristik *trip* yang sesuai dengan aturan dari PLN, maka nilai $\tau = 13$, dan nilai $I_S = 1.0 \times I_n$.
5. Arus maksimum trafo pelanggan digunakan sebagai acuan untuk perhitungan nilai arus gangguan ke tanah, dengan membatasi arus netral yang mengalir sebesar 20 % dari arus maksimum trafo untuk *stage 1*, untuk *stage 2* dapat dengan 4 x arus *stage 1*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arisantha, G. & Hamdani, E. 2017. Analisa Proteksi Arus Lebih Gangguan Tanah pada Feeder Gardu Induk Garuda Sakti. *Jom FTEKNIK*, 4(1).
- Dalian Huayi Electric Power Electric Appliances Co, Ltd. 2019. *Pengenalan arti trafo arus akurat level 5P20*. <http://m.id.hyee-ct->

vt.com/info/introduction-of-the-meaning-of-the-current-tra-54697214.html.

- Dey, N. & K. Chakraborty, A. 2013. Neutral Current and Neutral Voltage in Three Phase Four Wire Distribution System of a Technical Institution. *International Journal of Computer Applications*, 72(3), pp. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.5120/12471-8864>.
- Kamil, I., Pratama, L.W. & Anugrah, D.A. 2018. Setting Overcurrent Relay dan Ground Fault Relay pada Kubikel 20 KV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 3, pp. 214– 220.
- Kuncahyo, M. D. 2017. Analisis Setting Ground Fault Relay (GFR) Terhadap Sistem Pentanahan Netral Transformator Menggunakan Metode Neutral Grounding Resistor (NGR) pada Penyulang PLN Rayon Kuala Pembuang Kalimantan Tengah?. *MAGNETIKA*, 1(1), pp. 15–22.
- PT PLN (Persero). 2002. *Edaran Direksi No 18 2002.pdf*. Edaran Direksi PLN No. 18.
- PT PLN (Persero). 2017. *SPLN D3.026:2017, Spesifikasi fuse cutout*. SPLN.
- Setiadji, J. S., Machmudsyah, T. & Isnanto, Y. 2008. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(2), pp. 68–73. Available at: <https://doi.org/10.9744/jte.7.2.68-73>.
- Stevenson, W. D. 1983. *Analisa Sistem Tenaga, Alih Bahasa Budiono Ismail*. Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya Malang.
- Zulfarhain, Supriyanto & Hikmat. 2022. Proteksi Arus Lebih Gangguan Fasa dan Gangguan Tanah Untuk Simulator Koordinasi Proteksi Pada Transformator Tenaga. *The 13th Industrial Research Workshop & National Seminar*, pp. 13–14.