

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kebutuhan listrik di Indonesia saat ini sangat tinggi baik di perkotaan maupun pedesaan, dan banyak industri yang masih menggunakan energi listrik PLN untuk operasionalnya. Energi listrik disalurkan melalui suatu jaringan dengan penghantar terbuka yang diberikan secara cuma-cuma di udara kepada konsumen atau pelanggan, sehingga tidak terjadi gangguan hubung singkat antar fasa dan antar fasa tunggal pada saat proses pendistribusiannya fasa ke tanah. Gangguan terjadi karena adanya arus lebih pada sistem transmisi sehingga menyebabkan terganggunya arus beban dan mengakibatkan kerugian pada jaringan transmisi maupun pelanggan listrik (Prabowo & Umar, 2018).

Cara kerja OCR (Over Current Relay) atau biasa disebut dengan over current adalah suatu alat yang mendeteksi dimana terdapat arus lebih yang melebihi nilai yang telah ditetapkan, baik menyebabkan beban lebih atau bahkan korsletingsingkat dapat mengakibatkan kerusakan pada perlengkapan alat disistem tenaga listrik yang terdapat didalam tempat proteksi sehingga *Relay* itu dapat memerintahkan PMT agar memutuskan arus (Prabowo & Umar, 2018).

Ada banyaknya jenis gangguan pada sistem tenaga listrikan yang dapat mengakibatkan terputusnya pasokan daya listrik menuju beban. Gangguan ini bisa bersifat sementara atau permanen. Gangguan hubung singkat apabila tidak ditangani dengan baik dapat merusak peralatan listrik dan beban terpasang.

Cara untuk mengatasi permasalahan interferensi tersebut adalah dengan menggunakan alat proteksi yang peranannya sangat penting agar suplai energi listrik ke konsumen tidak terganggu. Relay juga mampu memulai tindakan tertentu berdasarkan keputusan (Anderson, 1999). *Relay* dapat dikonfigurasi secara bebas dan dapat diaktifkan oleh kontrol atau perlindungan (Areva, 2011).

Dipasanganya *Relay* arus lebih atau *over current relay* pada transformator Gardu Induk merupakan upaya dari PLN (Persero) untuk memprediksi pemadaman apa saja yang mungkin terjadi. *Over current relay* adalah relai arus lebih yang digunakan sebagai proteksi cadangan lokal pada proteksi penghantar. *Relai arus lebih digunakan untuk melindungi konduktor terhadap gangguan fasa Over current relay* bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus lebih yang melebihi nilai pengamanan tertentu. Hampir semua jenis gangguan yang ada pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetris yang terjadi dari hubung singkat tidak simetris, dan gangguan tidak simetris melalui penghantar yang terbuka. Gangguan asimetris merupakan gangguan dua fasa ke tanah. Berdasarkan hal tersebut maka penulis mengusulkan proposal skripsi dengan judul **Analisis Sistem Proteksi Pada Transformator Step Up 150 kV Unit PLTMG Kastela Kota Ternate Menggunakan Over Current Relay (OCR)** Harapan dengan proposal ini dapat memberikan pengetahuan pada khalayak akademik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang masalah yang telah dibuat, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah : Bagaimana menganalisa setting arus dan waktu *Over Current Relay* (OCR) pada transformator *step up* 150 kV unit PLTMG kastela ?.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sesuai dengan rumusan masalah yang ada yaitu dapat mengetahui : Untuk menganalisa setting arus dan waktu *Over Current Relay* (OCR) pada transformator *step up* 150 kV unit PLTMG Kastela.

1.4 Batasan masalah

Membatasi suatu masalah digunakan untuk menghindari masalah atau permasalahan tambahan. Hal ini akan membantu penelitian menjadi lebih fokus dan memudahkan diskusi yang berujung pada tercapainya tujuan penelitian. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : Hanya mengetahui setting arus dan waktu *Over Current Relay* (OCR) pada transofmtator *step up* 150 kv PLTMG kastela.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah :

1. Menambah pemahaman dan wawasan penulis tentang proteksi *Over Current Relay* (OCR) pada trafo *step up* 150 kV PLTMG Kastela.
2. Memberikan pemahaman kepada pembaca tentang cara kerja sistem proteksi *Over Current Relay* (OCR) pada trafo *step up* 150 kV PLTMG Kastela.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan, laporan ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang, masalah, tujuan penelitian, keterbatasan masalah, manfaat penelitian dan metode penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi dasar dasar teori.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tempat dan waktu penelitian dan metode penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

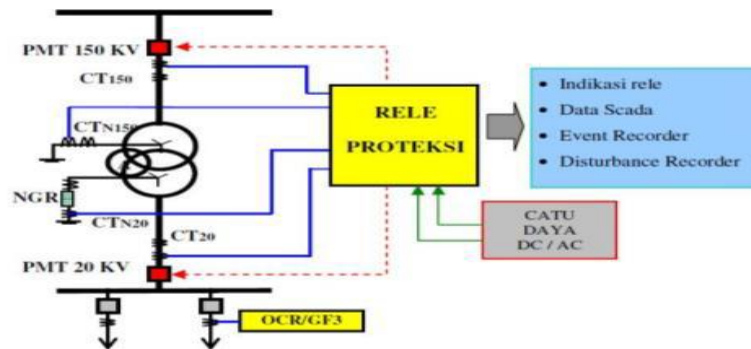
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah suatu sistem jaminan keselamatan terhadap peralatan listrik yang disebabkan oleh gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan pengoperasian dan sebab-sebab lainnya. Sistem proteksi adalah suatu alat proteksi kelistrikan pada sistem tenaga listrik yang dipasang pada sistem distribusi tenaga listrik, trafo tenaga, sistem transmisi dan generator. Digunakan untuk melindungi sistem tenaga listrik dari gangguan listrik atau beban lebih dengan cara mengisolasi setiap bagiannya. Sistem tenaga listrik terganggu. Memungkinkan sistem kelistrikan tanpa gangguan untuk terus berfungsi (mendistribusikan arus ke beban atau konsumen). Jadi pada hakekatnya pengamanan pada sistem tenaga listrik yaitu mengamankan seluruh sistem tenaga listrik supaya kehandalan tetap terjaga (Azis & Febrianti, 2019)

2.2 Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Secara umum sistem proteksi merupakan salah satu perangkat yang berperan dalam mengatasi gangguan pada jaringan tenaga listrik. Sistem proteksi ini melindungi saluran atau jaringan dan peralatan listrik terhadap kerusakan dengan cara menghilangkan (mengisolir) gangguan yang terjadi secara cepat dan tepat (Gambar 2.1)



Gambar 2. 1 Peralatan sistem proteksi pada transformator tenaga 150/20 Kv
(Sumber. Multi & Addaus, 2022)

Sistem proteksi pada instalasi tenaga listrik terdiri dari komponen yang telah menjadi satu kesatuan untuk mengatasi gangguan. Kerja dari komponen ini bergantung sesuai dengan tugas dan fungsinya. Komponen ini terdiri dari relay proteksi, transformator arus (CT), pengawatan, sumber daya arus searah (battery), pemutus tenaga (PMT).

Sistem proteksi yang terdapat di sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi dua kelompok, (Multi & Addaus, 2022) yaitu:

1. Proteksi utama

Pengaman sistem tenaga listrik yang akan bekerja pada awal terdeteksinya gangguan. Begitu ada gangguan proteksi ini akan bekerja untuk memutus supaya tidak merusak peralatan dan memperkecil gangguan yang terjadi supaya tidak meluas ke peralatan yang lain.

2. Proteksi cadangan

Apabila proteksi primer gagal, maka proteksi cadangan ini akan berlaku dengan jeda waktu tertentu untuk memberikan kesempatan proteksi primer bekerja terlebih dahulu agar

tidak terjadi kesalahan proteksi. Perlindungan semacam ini dapat dibagi menjadi dua jenis: cadangan lokal, yaitu perlindungan cadangan ditempatkan bersama dengan perlindungan cadangan jarak jauh utama, yaitu perlindungan cadangan ditempatkan pada lokasi yang berlainan dengan proteksi utama.

2.3 Tujuan Sistem Proteksi

1. Menghindari atau mengurangi kerusakan pada peralatan atau peralatan yang mengalami gangguan yang dilalui arus gangguan akibat gangguan.
2. Cari (isolasi) daerah interferensi sekecil mungkin.
3. Mampu memberikan pelayanan ketenagalistrikan yang sangat andal kepada konsumen. dan meminimalkan risiko terhadap manusia.

2.4 Syarat Syarat Sistem Proteksi

Syarat syarat dalam sistem proteksi tenaga listrik mencakup :(Wardani, 2020)

1. Kepekaan (*sensitivity*)

Relai arus harus mendeteksi kesalahan sesuai dengan prinsip sensitivitas, yaitu Artinya, relai harus mampu mendeteksi ada tidaknya suatu gangguan.

2. Keandalan (*Realibility*)

Prinsip proteksi harus mampu melepaskan dan mendeteksi bagian sistem yang rusak.

Keandalan sendiri terdiri dari 3 aspek:

- *Dependability*

Dependability merupakan tingkat kepastian bekerjanya sistem proteksi.

- *Security*

Security merupakan tingkat kepastian suatu sistem proteksi tidak salah kerja

- *Availability*

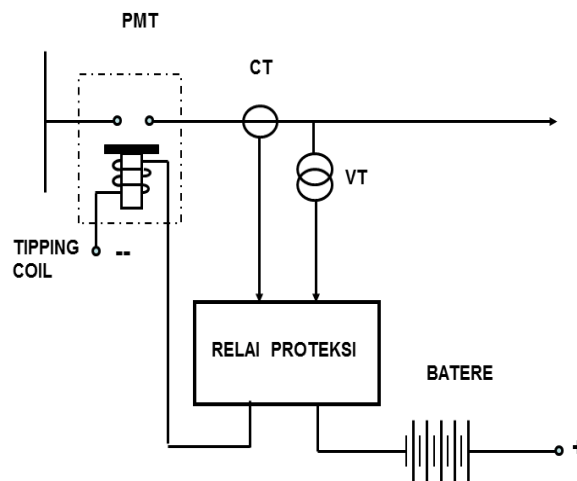
Availability merupakan perbandingan antar waktu dari sistem proteksi.

3. Selektifitas (*Selectivity*)

Sistem proteksi harus mampu mengisolasi bagian jaringan yang rusak sebagai bagian dari pemantauan utamanya.

4. Kecepatan (*Speed*)

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



Gambar 2. 2 Sistem Proteksi Tenaga Listrik
(Montolalu et al., 2021)

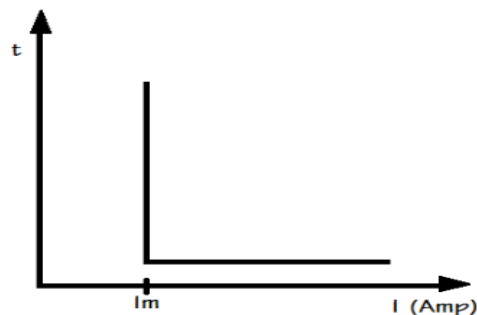
Pada gambar 2.2, *Relay* sebagai pengaman untuk mendeteksi adanya gangguan, pemutus tenaga sebagai pemutus aliran daya listrik dalam rangkaian listrik saat terjadi gangguan. Transformator arus dan atau transformator tegangan mengubah besarnya arus dan

atau tegangan dari sirkuit primer ke sirkuit sekunder, Batere sebagai sumber tenaga untuk mentriapkan PMT dan catu daya untuk *relay* statik dan *relay* bantu, dan *Wiring* untuk menghubungkan komponen komponen proteksi sehingga menjadi satu sistem.(Montolalu et al., 2021).

2.5 Jenis *Relay* Berdasarkan Karakteristik

1. Relay Arus Lebih Sesaat (Instantaneous)

Relay arus lebih sesaat merupakan relai arus lebih yang tidak mempunyai waktu tunda atau waktu operasi sesaat untuk waktu operasinya (20- 100).



Gambar 2. 3 Karakteristik Waktu Seketika
(Multi & Addaus, 2022)

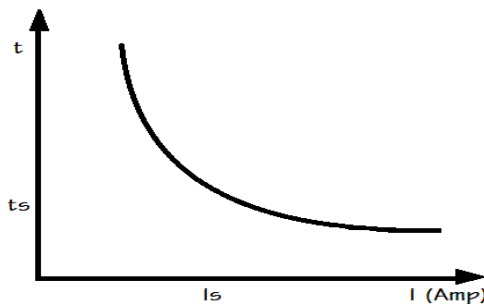
2. Relay Arus Lebih Definite (Definite time) Relai arus lebih pasti Merupakan relai yang waktu tundanya tetap dan tidak bergantung pada besarnya arus gangguan. Jika arus gangguan telah melebihi arus pengaturannya, relai akan beroperasi dalam waktu yang tetap tanpa memperhatikan besarnya arus gangguan.



Gambar 2. 4 Karakteristik Waktu tertentu
(Multi & Addaus, 2022)

3. Relay Arus Lebih Inverse (Inverse time)

Relay arus lebih inverse Adalah relay dimana waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Semakin besar arus gangguan maka semakin cepat kerja rele, karena arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja rele.



Gambar 2. 5 Karakteristik waktu terbalik
(Multi & Addaus, 2022)

Bentuk perbandingan terbalik dari waktu arus ini sangat bermacam macam tetapi dapat di golongankan menjadi: Standard Inverse, Very Inverse, Long Inverse, ExtremelyInverse.

2.6 Gangguan Ganguan Pada Sistem Tenaga Listrik

2.6.1 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,(Montolalu et al., 2021).

Kemungkinan masalah pada sistem termasuk :

2.6.1.1 Gangguan 3 fasa

Hubungan pendek tiga fasa adalah keadaan dimana ketiga fasa listrik pada suatu sistem kelistrikan tiga fasa mengalami hubungan pendek atau bersentuhan langsung satu sama lain. Ini adalah jenis gangguan yang serius dan berpotensi berbahaya dalam sistem kelistrikan tiga fasa.

2.6.1.2 Gangguan 2 fasa

Korsleting dua fasa terjadi ketika dua konduktor atau dua fasa listrik dalam sistem kelistrikan satu fasa yang tidak boleh bersentuhan bersentuhan atau bersentuhan langsung. Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk kerusakan peralatan, isolasi yang rusak, kesalahan instalasi, atau kegagalan komponen dalam sistem listrik.

2.6.1.3 Gangguan 1 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.

2.6.2 Tegangan lebih

"*Overvoltage*" pada jaringan listrik berarti situasi di mana tegangan pada jaringan melebihi nilai nominal yang ditetapkan untuk pengoperasian yang aman dan efisien. Tegangan

lebih dapat terjadi karena berbagai alasan, termasuk gangguan dalam jaringan listrik, perubahan beban, atau kegagalan peralatan.

2.6.3 Beban lebih

Kelebihan beban pada suatu sistem tenaga listrik adalah suatu keadaan dimana kebutuhan daya listrik pada sistem tersebut 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.

2.6.4 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.

2.7 Transformator

Trafo adalah perangkat listrik yang mengubah tegangan bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat lainnya melalui kopling magnet dan berdasarkan induksi elektromagnetik. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder (Latupeirissa, 2018). Penggunaan trafo yang sederhana dan andal memungkinkan pemilihan tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tujuan apa pun dan merupakan salah satu alasan utama mengapa AC begitu populer untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Seperti pada Gambar 2.6, kedua kumparan ini

terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluc-tance*) rendah. Ketika kumparan primer dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, arus bolak-balik tercipta di inti yang dilaminasi. Karena kumparan membentuk jaringan tertutup, arus primer mengalir. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi sendiri (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan AC maka arus primer mengalir karena kumparan membentuk jaringan tertutup, dan arus sekunder mengalir karena kumparan membentuk jaringan tertutup (Sadi, 2020).



Gambar 2.6 Transformator
(Sumber: PT. XYZ)

2.8 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum ampere dan hukum *Faraday*, yaitu arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dapat menimbulkan arus listrik jika pada satu kumparan pada transformator di beri arus bolak balik maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Sisi sekunder menerima garis gaya

magnet dan sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan (Latupeirissa, 2018)

2.9 Komponen-Komponen Transformator

2.9.1 Inti besi

Inti besi berfungsi untuk memperlancar jalannya fluksi magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Terbuat dari pelat besi tipis yang diisolasi untuk meredam panas (sebagai kehilangan besi).

2.9.2 Kumparan Trafo

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder, diisolasi baik pada inti besi maupun antar kumparan dengan insulasi padat seperti karton, Pertinac dan lain-lain. Kumparan merupakan alat pengubah tegangan dan arus. Minyak trafo Minyak isolasi pada trafo berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan terhadap oksidasi. Minyak isolasi trafo merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis yaitu minyak parafin, naftan, dan aromatik.

2.9.3 Bushing

Soket adalah sarana menghubungkan belitan ke jaringan eksternal. Soket terdiri dari konduktor yang dilapisi isolator. Insulator bertindak sebagai isolator antara konduktor feedthrough dan badan tangki utama transformator.

2.9.4 Tangki Konservator

Umumnya bagian trafo yang direndam dalam minyak trafo berada di dalam tangki baja. Tangki trafo distribusi biasanya dilengkapi dengan sirip pendingin yang memperluas

permukaan dinding tangki, sehingga pendistribusian panas minyak pada saat konveksi menjadi lebih baik dan efektif, untuk menampung pemuaian minyak trafo maka tangki dilengkapi dengan konservator (Aprianto, 2010).

2.9.5 Pendingin Trafo

Suhu pada trafo selama beroperasi dipengaruhi oleh kualitas tegangan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Temperatur pengoperasian yang tinggi menyebabkan kerusakan pada isolasi kertas trafo. Oleh karena itu pendinginan yang efektif mutlak diperlukan.

2.9.6 Tap Changer

Kestabilan tegangan pada suatu jaringan merupakan salah satu hal yang disebut dengan kualitas tegangan. Transformator harus mempunyai nilai tegangan keluaran yang stabil, sedangkan level tegangan masukan tidak selalu sama. Dengan mengubah jumlah belitan, rasio antara belitan primer dan sekunder dapat diubah, sehingga tegangan keluaran/sekunder dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem, tidak tergantung pada tegangan masukan/primer. Penyesuaian rasio belitan ini disebut tap changer. Pada alat pengawet ini permukaan minyak tidak boleh bersentuhan dengan udara, karena uap air udara yang mengandung uap air akan mencemari minyak meskipun proses pencemarannya memakan waktu cukup lama. Untuk menghindari hal ini, udara yang masuk ke tangki pengawet saat minyak mendingin memerlukan media ekstraksi kelembapan, biasanya dalam bentuk gel silika.

2.10 Jenis-Jenis Tranformator

2.10.1 Berdasarkan Level Tegangan (Puntoko, 2008)

1. Trafo Tegangan Tinggi (Trafo 500/150kV, 150/70kV)
2. Trafo Tegangan Menengah (Trafo 150/30kV, 150/20kV)
3. Trafo Tegangan Rendah (Trafo 20kV/380V, 6kV/380V)

2.10.2 Berdasarkan fungsi/pemakaian (Puntoko, 2008)

1. Trafo Pembangkitan. Trafo *step up* yang membangkitkan tegangan dari generator ke Gardu Induk untuk ditransmisikan ke pemakaian.
2. Trafo Gardu Induk. Trafo *step down* untuk pemakaian pabrik/industri.
3. Trafo Distribusi. Trafo step-down untuk rumah tangga dan infrastruktur.
4. Ada beberapa jenis trafo yang dikenal dan digunakan secara luas di masyarakat, diantaranya adalah :

- Trafo Daya

Trafo daya adalah trafo yang biasa digunakan di GI baik itu GI Pembangkit dan GI Distribusi dimana trafo tersebut memiliki kapasitas daya yang besar.

- Trafo Distribusi

Trafo distribusi merupakan trafo yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah (11,6/20kV) ke tegangan rendah (220/380V). Trafo ini banyak ditemukan di masyarakat dan mudah dikenali karena biasanya dipasang pada tiang.

- Trafo Tegangan (Potensial Trafo)

Konverter tegangan merupakan suatu transformator yang digunakan untuk menerima data masukan berupa besaran tegangan dengan cara membandingkan belitan pada belitan primer atau sekunder.

- Trafo Arus (*Current Trafo*)

Trafo arus adalah trafo yang digunakan untuk menerima data masukan berupa besaran arus dengan cara membandingkan belitan pada belitan primer atau sekunder.

2.11 Jenis-Jenis Pemeliharaan Transformator

2.11.1 In Service Inspection

In-service inspeksi adalah inspeksi yang dilakukan pada saat trafo diberi energi atau beroperasi. Tujuan dilakukannya *in service inspection* adalah untuk mendeteksi secara dini ketidaknormalan yang mungkin terjadi didalam trafo tanpa melakukan pemadam tenaga kerja dikeranakan untuk memperbaiki dengan cara 'penggantian' (PLN, 2014: 18).

2.11.2 In Service Measurement

Pengukuran operasional adalah pengukuran/pengujian yang dilakukan pada saat trafo diberi energi atau beroperasi (in operating). Tujuan pengukuran dalam pengoperasiannya adalah untuk mengetahui kondisi trafo dengan lebih akurat tanpa menyebabkan pemadaman listrik (PLN, 2014:18).

2.11.3 Predictive Maintenance

Pemeliharaan prediktif adalah pemeliharaan yang melibatkan prediksi kondisi perangkat listrik, apakah dan kapan perangkat listrik tersebut kemungkinan besar akan rusak; dengan

memprediksi kondisi tersebut gejalanya dapat diketahui. kerusakan secara dini (Aribowo et al., 2014)

2.11.4 *Preventive Maintenance*

Preventive Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi suatu peralatan listrik, apakah dan kapan kemungkinannya peralatan listrik tersebut menuju kegagalan, dengan memprediksi kondisi tersebut dapat diketahui gejala kerusakan secara dini.

2.11.5 *Corrective Maintenance*

Pemeliharaan korektif adalah pemeliharaan yang dilakukan pada waktu-waktu tertentu ketika suatu peralatan listrik menunjukkan kelainan atau kinerja yang rendah dalam menjalankan fungsinya, dengan tujuan mengembalikannya ke kondisi semula. kondisi semula disertai perbaikan dan penyempurnaan instalasi (Aribowo et al., 2014).

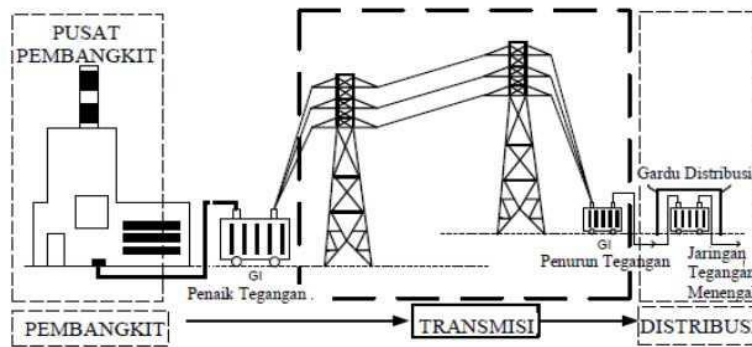
2.11.6 *Breakdown Maintenance*

Bantuan pinggir jalan adalah pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan mendadak yang tidak diketahui waktunya dan merupakan keadaan darurat.

2.12 Sistem transmisi tenaga listrik

Jaringan listrik terdiri dari tiga komponen utama: pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan jaringan distribusi. Jalur transmisi merupakan rantai penghubung antara pusat pembangkit tenaga listrik dengan jaringan distribusi dan juga dapat mengarah ke jaringan tenaga listrik lainnya melalui sambungan lintas sistem. Jaringan distribusi menghubungkan semua konsumen yang terpisah ke jalur transmisi. Diagram garis sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.6. Saluran Transmisi merupakan media yang digunakan untuk

mentransmisikan tenaga listrik dari Generator Station/ Pembangkit Listrik sampai distribution station hingga sampai pada consumer pengguna listrik (Tenda & Tumaliang, 2016).



Gambar 2. 7 Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik
(Tenda & Tumaliang, 2016)

2.13 Kategori saluran transmisi

Menurut instalasinya, saluran transmisi dibagi menjadi dua kategori yaitu

- Saluran Udara Saluran transmisi yang mendistribusikan energi listrik melalui kabel yang digantung pada isolator antar menara atau menara transmisi.
- Jalur kabel bawah tanah (underground cable) Jalur transmisi yang mendistribusikan energi listrik melalui kabel yang diletakkan di bawah tanah. Saluran lainnya adalah saluran kabel bawah laut dan saluran isolasi gas.

2.14 Klasifikasi saluran transmisi berdasarkan tegangan

Pada transmisi tegangan tinggi, energi listrik disalurkan dari satu gardu induk (gardu induk) ke gardu induk lainnya. Ini terdiri dari konduktor yang direntangkan di atas isolator antara tiang (menara) dan sistem tegangan tinggi. Standar tegangan tinggi yang berlaku di

Indonesia adalah 30 kV, 70 kV, dan 150 kV. Dilihat dari klasifikasi tegangannya, transmisi daya dibagi menjadi:

Saluran Udara Ekstra Tinggi (SUTET 200kV-500Kv). Tujuannya adalah untuk mengurangi penurunan tegangan pada penampang saluran sebanyak mungkin untuk memastikan pengoperasian yang efektif dan efisien. Saluran Tegangan Tinggi (SUTT) 30kV-150kV, contohnya seperti pada gambar 2.7. Jarak paling efektif untuk saluran transmisi ini adalah 100 km. Jika jarak transmisi lebih dari 100km maka drop tegangan terlalu besar sehingga tegangan pada akhir transmisi menjadi rendah.

Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 30kV-150kV, contoh seperti pada gambar 2.8. Saluran transmisi dipasang di kota-kota besar menggunakan kabel bawah tanah. Gambar 2.9. Saluran Udara Ekstra Tinggi Gambar 2.8. Saluran Udara Tegangan Tinggi (Tenda & Tumaliang, 2016)



Gambar 2. 8 Saluran Udara Ekstra Tinggi
(Tenda & Tumaliang, 2016)



Gambar 2. 9 Saluran Udara Tegangan Tinggi
(Tenda & Tumaliang, 2016)

2.15 Komponen Jaringan Transmisi

Saluran transmisi tenaga listrik terdiri dari konduktor, isolator, arester dan prasarana tiang penyangga.

1. Konduktor

Kawat konduktor digunakan untuk mengalirkan arus listrik dari suatu tempat ke tempat lain. Kawat konduktor yang biasa digunakan adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (CU 100%) atau aluminium dengan konduktivitas 61% (AL 61%). Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Namun kelemahannya adalah tembaga lebih berat daripada aluminium dengan ketahanan yang sama dan juga lebih mahal. Oleh karena itu, kawat aluminium telah menggantikan kawat tembaga.

Kawat dengan bahan konduktor untuk saluran tegangan tinggi selalu tanpa pelindung/isolasi kawat. Ini hanyalah kawat tembaga atau aluminium telanjang besar dengan inti baja (kabel aluminium yang diperkuat baja/ACSR) yang direntangkan untuk menyalurkan arus listrik. Kabel aluminium konduktif hadir dalam berbagai desain. AAC (All-Aluminum

Conductor), yaitu kawat konduktor yang seluruhnya terbuat dari aluminium. AAC (All-Aluminum Conductor), yaitu kawat konduktor yang seluruhnya terbuat dari aluminium. AAAC (All-Aluminium-Alloy Conductor), yaitu kawat konduktor yang seluruhnya terbuat dari paduan aluminium. ACSR (Aluminium Conductor, Steel-Reinforced) adalah kawat konduktor yang terbuat dari bahan aluminium dengan inti kawat baja. ACAR (Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced), kawat aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

2. Isolator

Isolator pada sistem transmisi tenaga listrik berfungsi untuk menahan bagian konduktor terhadap bumi. Bahan isolator biasanya terbuat dari porselen, namun bahan kaca dan bahan isolasi sintetis juga sering digunakan di sini. Bahan isolasi harus mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap arus bocor dan mempunyai ketebalan yang cukup (sesuai standar) untuk mencegah kerusakan pada tekanan listrik tegangan tinggi untuk mempertahankan fungsi isolasi. Insulasi harus tahan terhadap guncangan dan beban konduktor. Isolator yang digunakan pada saluran transmisi biasanya terbuat dari porselen atau kaca, yang berfungsi sebagai insulasi tegangan listrik antara kabel saluran dan tiang. Contoh isolator seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 isolator piring

(Tenda & Tumaliang, 2016)

3. *Arester*

Arester petir disingkat arester, atau sering juga disebut penangkap petir, adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surjapetir. Ini bertindak seperti jalan pintas di sekitar isolasi. Arester membentuk jalur yang mudah ditembus arus petir, sehingga tidak terjadi tegangan lebih tinggi pada perangkat. Bypass harus dirancang sedemikian rupa sehingga tidak mempengaruhi aliran arus jaringan 50 Hz.

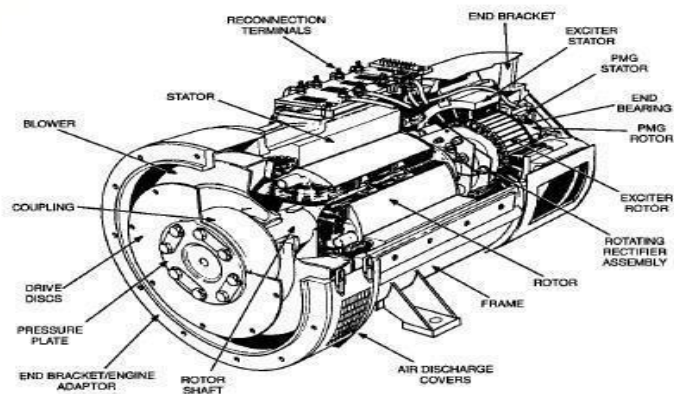
4. *infrastruktur Tiang Penyangga*

Daya listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekelilingnya, dan untuk menyanggah/merentang kawat. Untuk memastikan bahwa konduktor bawah berada pada ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan, kabel konduktor bawah dipasang pada struktur bangunan stabil yang disebut menara.

Struktur tiang baja merupakan jenis konstruksi yang paling banyak digunakan untuk saluran tegangan tinggi (SUTT) atau saluran tegangan ekstra tinggi (SUTET) di jaringan PLN karena mudah dalam perakitannya terutama di bidang transmisi tenaga listrik. Untuk pemasangan di daerah pegunungan dan jauh dari jalan raya, harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan penggunaan saluran bawah tanah serta pemeliharaannya yang mudah (Tenda & Tumaliang, 2016).

2.16 Generator

Generator adalah dua peralatan utama untuk menghasilkan listrik. Dalam pengoperasiannya tidak selalu berjalan normal, melainkan sering terjadi gangguan yang mengakibatkan keandalannya berkurang dan apabila tidak segera diatasi dapat mengganggu kerja sistem bahkan menyebabkan kerusakan pada perangkat tersebut. Oleh karenanya dibutuhkan yang disebut dengan proteksi. Dari sini akan Dibahas tentang cara melindungi generator dari gangguan arus lebih dan transformator dari kemungkinan gangguan hubung singkat. Kerusakan yang dimaksud adalah kerusakan arus hubung singkat berada pada generator unit. Relay proteksi yang digunakan dan di setting adalah relay arus lebih dan rele diferensial. Relay ini berfungsi memproteksi arus gangguan terhadap fasa-tanah, fasa-fasa, dan fasafasa tanah.



Gambar 2. 11 Susunan komponen generator
(Sumber: Novi, 2015)

2.17 Prinsip Kerja Generator

Prinsip pengoperasian generator sesuai dengan hukum Lens, yaitu. Arus listrik yang dialirkan ke stator menimbulkan momen elektromagnetik yang melawan putaran rotor sehingga menimbulkan gaya gerak listrik (ggl). pada kumparan rotor. Tegangan gaya gerak listrik ini akan menghasilkan suatu arus jangkar. Penggerak mula memutar rotor generator, kemudian rotor diberi energi sehingga menimbulkan medan magnet yang melintasi penghantar stator dan menimbulkan tegangan pada stator. Dua kutub yang berbeda antara utara dan selatan, tegangan pada stator merupakan tegangan bolak-balik.

Generator AC bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik. Generator AC terdiri dari stator yang merupakan elemen tetap, dan rotor yang merupakan elemen berputar dan terdiri dari belitan medan. medan. Generator AC jangkarnya diam sedangkan medan utamanya berputar dan lilitan jangkarnya dihubungkan dengan dua cincin geser (Fauziyah & Irwanto, 2022)

2.18 Relay Proteksi

1. *Relay Over Voltage*

Relay beban lebih (*overload relay*) adalah jenis *relay* 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. *Relay Diferensial*

Relay diferensial, juga dikenal sebagai *relay* 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. *Relay* diferensial bekerja dengan membandingkan arus yang masuk dengan arus yang keluar dari peralatan yang dilindungi.

3. *Ground Fault Relay*

Relay 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 mendeteksi kebocoran arus ke tanah yang melebihi ambang batas tertentu dan mengambil tindakan perlindungan untuk mencegah gangguan atau kerusakan lebih lanjut pada rangkaian.

4. *Overcurrent Relay*

Relay arus lebih (*overcurrent relay*) adalah jenis *relay* proteksi yang digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk melindungi peralatan listrik dan sistem dari kerusakan akibat arus yang melebihi ambang batas yang ditetapkan.

2.19 Over Current Relay

Relai Arus Lebih (OCR) merupakan relai yang beroperasi pada kondisi adanya arus yang melebihi nilai aman tertentu dalam jangka waktu tertentu. Gangguan beban lebih biasanya terjadi karena adanya hubung singkat fasa ke tanah atau fasa ke fasa sehingga menimbulkan arus gangguan yang melebihi arus normal setting relai arus lebih. Sehingga

relay arus memicu pemutus tenaga bekerja sesuai dengan *setting* waktu yang ditentukan, kemudian resiko kerusakan pada sistem kelistrikan dapat dihindari. Pengaturan arus pada *relay* arus lebih dilakukan berdasarkan arus nominall transformator tenaga dan arus beban yang mengalir di penyulang pada sisi primer maupun sisi sekunder.



Gambar 2. 12 Relay Over Current
(Sumber: PT. Indonesia Power)

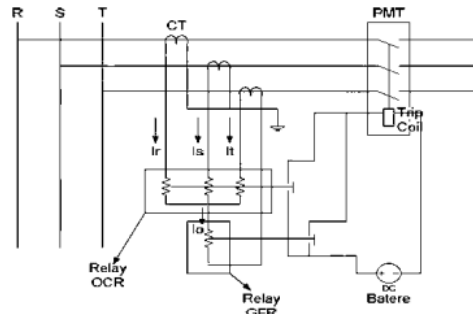
Relay arus hanya mendeteksi adanya hubungan singkat antar fasa, pada *Setting OCR* sangat penting untuk dilakukan perhitungan karena setiap sistem tenaga listrik memiliki sistem distribusi yang berbeda-beda, sehingga dibutuhkan analisa pada seluruh komponen didalamnya. Pemodelan sistem proteksi tenaga listrik *setting* pada *relay* sangatlah berpengaruh pada kinerjanya (Fauziah & Irwanto, 2022)

2.20 Prinsip Kerja Over Current Relay

Prinsip kerja relay *OCR* dapat dilihat pada gambar.2.9 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.

Cara kerja *Over Current Relay* seperti :

1. Dalam keadaan normal, arus beban (I_b) mengalir melalui SUTM/SKTM dan trafo arus. Nilai saat ini kemudian diganti dengan besaran sekunder (I_r). Arus (I_r) mengalir melalui kumparan relai, namun karena nilainya masih di bawah batas yang telah ditentukan, maka relai tidak akan bekerja.
2. Jika terjadi hubungan pendek, arus beban (I_b) bertambah dan seiring dengan itu arus (I_r). Apabila arus (I_r) 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. (I. AFFANDI 2009).



Gambar 2. 13 Rangkaian Pengawatan Over Current Relay
(Montolalu et al., 2021)

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 trafo dan impedansi sumber listrik, (B.S 2014).

2.21 Gardu Induk

Gardu Induk merupakan subsistem dari jaringan transmisi atau distribusi tenaga listrik. Sebagai subsistem dari sistem transmisi tenaga listrik, gardu induk memegang peranan yang sangat penting. Jadi, pengoperasian Gardu Induk ini tidak bisa dipisahkan sama sekali dari sistem transmisi listrik (Adhitya Agung Pratomo). Gardu Induk sebagai salah satu komponen pada sistem penyaluran tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting karena merupakan penghubung pelayanan tenaga listrik ke konsumen. (Pratomo et al., 2022)

2.22 Fungsi Gardu Induk

Gardu induk adalah pusat distribusi listrik yang memainkan peran penting dalam penyediaan listrik kepada daerah-daerah yang lebih kecil. Fungsi utamanya adalah:

2.22.1. Distribusi Listrik

Gardu induk berfungsi sebagai tempat di mana listrik dari pembangkit listrik atau gardu listrik lainnya diatur dan didistribusikan ke berbagai tempat, seperti industri, perumahan, dan bisnis.

2.22.2. Transformasi Tegangan

Gardu induk mengubah tegangan listrik dari tinggi tegangan *High Voltage* (HV) yang dihasilkan oleh pembangkit listrik menjadi tegangan rendah *Low Voltage* (LV) yang dapat digunakan oleh konsumen.

2.22.3. Penyediaan Cadangan

proteksi untuk memastikan kelangsungan pasokan listrik dalam situasi darurat atau gangguan pada jaringan.

2.22.4. Monitoring dan Pengendalian

Gardu induk juga berfungsi sebagai pusat pengawasan dan pengendalian jaringan listrik. Ini termasuk pemantauan aliran listrik, tegangan, dan arus, serta mengatur *switch* dan *breaker* untuk mengelola aliran listrik.

2.22.5. Interkoneksi

Gardu induk memungkinkan interkoneksi antara berbagai sumber listrik, seperti pembangkit listrik tenaga air, tenaga angin, tenaga surya, atau pembangkit listrik konvensional, sehingga memungkinkan fleksibilitas dalam penyediaan energi.

Dengan demikian, gardu induk berperan penting dalam menjaga stabilitas dan ketersediaan pasokan listrik bagi masyarakat dan industri.

2.23 Prinsip Kerja Gardu Induk

Prinsip kerja gardu induk melibatkan beberapa langkah yang terjadi secara bersamaan untuk mengatur dan mendistribusikan listrik dari pembangkit ke konsumen. Berikut adalah prinsip kerja umum dari gardu induk:

2.23.1. Penerimaan dan Transformasi Tegangan

Gardu induk menerima listrik dari pembangkit listrik atau gardu listrik yang lebih besar dengan tegangan tinggi (HV). Listrik ini kemudian masuk ke dalam transformator, di mana tegangan tinggi tersebut ditransformasikan menjadi tegangan yang lebih rendah (LV) yang sesuai untuk distribusi kepada konsumen.

2.23.2. Pengendalian Aliran Listrik

Aliran listrik yang telah ditransformasi kemudian dikendalikan menggunakan *switch* dan *breaker* di gardu induk. Operator gardu induk memantau permintaan listrik dari konsumen dan mengatur aliran listrik secara tepat sesuai dengan kebutuhan.

2.23.3. Proteksi Jaringan

Gardu induk dilengkapi dengan sistem proteksi yang canggih untuk mendeteksi dan menanggapi gangguan seperti hubung singkat, arus lebih, atau kegagalan peralatan. Sistem proteksi ini secara otomatis mengisolasi bagian yang terpengaruh dari jaringan untuk mencegah kerusakan yang lebih besar dan memastikan keselamatan sistem secara keseluruhan.

2.23.4. Pemantauan dan pengukuran

Gardu induk dilengkapi dengan peralatan pemantauan dan pengukuran yang memungkinkan operator untuk memantau kondisi jaringan secara *real-time*, termasuk tegangan, arus, dan faktor-faktor lain yang relevan. Data ini digunakan untuk mengoptimalkan operasi jaringan dan memastikan ketersediaan listrik yang stabil.

2.23.5. Interkoneksi dan penyambungan

Gardu induk memungkinkan interkoneksi antara berbagai bagian dari jaringan distribusi listrik serta antara jaringan distribusi dengan gardu lainnya. Hal ini memungkinkan fleksibilitas dalam penyediaan energi dan memungkinkan aliran listrik yang efisien.

2.23.6. Manajemen cadangan

Gardu induk sering dilengkapi dengan sumber daya cadangan seperti generator darurat atau baterai cadangan untuk memastikan kelangsungan pasokan listrik dalam situasi darurat atau pemadaman listrik.

Prinsip kerja ini menyelaraskan berbagai fungsi gardu induk untuk menyediakan pasokan listrik yang andal, efisien, dan aman kepada konsumen.

2.24 Peralatan Gardu Induk

Agar gardu induk dapat memenuhi fungsi dan tujuannya, maka gardu induk dilengkapi dengan perangkat dan sistem. Secara garis besar perlengkapan gardu induk adalah sebagai berikut :

2.24.1 Transformator Daya

Transformator daya digunakan untuk mengubah energi listrik dengan mengubah tegangan dengan tetap mempertahankan frekuensi yang sama. Transformator daya juga berfungsi sebagai pengatur tegangan. Trafo daya dilengkapi dengan trafo grounding yang digunakan untuk menjaga titik netral trafo daya.



Gambar 2. 14 Trafo Daya
(Pratomo et al., 2022)

2.24.2 *Neutral Grounding Resistance (NGR)*

Resistansi tanah netral (NGR) adalah komponen yang dipasang antara titik netral trafo dan tanah. Resistansi pentanahan (NGR) digunakan untuk meminimalkan arus sisa yang terjadi.



Gambar 2. 15 Neutral Grounding Resistance
(Pratomo et al., 2022)

2.24.3 *Current Transformer*

Transformator arus (CT) digunakan untuk mengubah besaran listrik dari arus besar menjadi arus kecil. Atau mereka mengurangi jumlah listrik di jaringan listrik menjadi satu arus untuk sistem pengukuran dan perlindungan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu penelitian

Waktu yang digunakan peneliti untuk penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal dikeluarkannya ijin penelitian dalam kurun waktu kurang lebih 2 bulan, 1 bulan pengumpulan data dan 1 bulan pengolahan data yang meliputi pemaparan dalam bentuk skripsi dan proses pendampingan. Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan di bulan Mei dan Juni 2024

3.1.2 Tempat penelitian

Tempat penelitian adalah objek atau lokasi untuk diadakan suatu penelitian. Penelitian ini dilaksanakan di Gardu Induk Unit PLTMG Kastela Kota Ternate.

3.2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Metode penelitian deskriptif sebagai kegiatan yang meliputi pengumpulan data, baik itu sekunder maupun primer.

Alasan digunakannya metode deskriptif adalah sebagai berikut :

1. Metode deskriptif telah digunakan secara umum dan dapat merangkum banyak segi dibanding dengan metode-metode penelitian yang lain.

2. Metode deskriptif banyak memberikan sumbangan kepada ilmu pengetahuan melalui pemberian informasi keadaan mutakhir dan dapat membantu mengidentifikasi faktor-faktor yang berguna untuk melaksanakan percobaan.
3. Metode deskriptif dapat digunakan untuk menggambarkan keadaan-keadaan yang mungkin terdapat dalam situasi tertentu.

3.3. Sumber Data

Data primer

Data primer yaitu data yang diperoleh langsung dari lapangan atau penelitian di Gardu

Induk unit PLTMG kastela kota ternate :

4. Data Transformator
5. Data gangguan yang terjadi pada transformator
6. Data *Over Current Relay*
7. Data gangguan hubung singkat

Data sekunder

Data sekunder yaitu data yang diperoleh secara tidak langsung dengan cara mengumpulkan data dari berbagai sumber dan literatur yang berhubungan dengan masalah yang penulis angkat untuk memperoleh dasar teori pada penulisan tugas akhir ini.

3.4. Teknik Analisa Data

Dalam metode ini penulis menggunakan teknik analisa data kuantitatif, karena analisa data kuantitatif merupakan teknik yang mengolah atau mengelola data-data bersifat angka-angka atau statistik. Data yang digunakan adalah data numerik atau data numerik yang dapat dihitung secara akurat dengan menghitung rumus statistik. Metode ini dilakukan dengan tujuan untuk karakteristik data menjadi lebih mudah dipahami dan berguna sebagai solusi permasalahan, yang berkaitan dengan penelitian, sehingga menghasilkan analisa seperti ini, yang bagaimana cara *setting* arus dan waktu *over current relay (OCR)*.

3.5. Impedansi Sumber

Impedansi sumber dapat dihitung setelah mengetahui besarnya MVA_{hs} (MVA hubungan singkat) dengan persamaan berikut :

$$MVA_{hs} = \sqrt{3} \times I_{hs} \times kV_{\text{sistegangan tinggi}} \dots\dots\dots (3.1)$$

3.6. Impedansi Sumber di Sisi (150 kV) dan (11 kV)

Impedansi sumber di sisi tegangan tinggi (150 kV) dan di sisi tegangan rendah (11 kV) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Z_{sc} = kV^2_{\text{sisteg. tinggi}} / MVA (\text{untuk } 150 \text{ kV}) \dots\dots\dots (3.2)$$

$$Z_{sc} = kV^2_{\text{sisteg. rendah}} / MVA (\text{untuk } 11 \text{ kV}) \dots\dots\dots (3.3)$$

3.7. Reaktansi Trafo

Untuk menghitung reaktansi trafo pada urutan positif, negative dan nol, maka terlebih dahulu menghitung nilai reaktansi pada (100%) dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Z_{T(100\%)} = \frac{kV^2_{(sisiprimer)}}{MVA_{(trafo)}} \dots\dots\dots (3.4)$$

Untuk menghitung reaktansi trafo urutan positif dan negative menggunakan persamaan berikut :

$$X_{T1} = X_{T1} = Z_T \times X_{T(100\%)} \dots\dots\dots (3.5)$$

Sedangkan untuk menghitung reaktansi urutan nol dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$X_{T(0)} = 10 \times X_{T1} \dots\dots\dots (3.6)$$

3.8. Impedansi Ekuivalen

Impedansi ekuivalen adalah menghitung impedansi ekuivalen urutan positif, urutan negative dan urutan nol, dari titik gangguan sampai sumber. Karena gangguan hanya pada transformator maka reaktansi yang digunakan hanyalah reaktansi sumber dan reaktansi trafo. Untuk mencari impedansi urutan positif dan negative pada sisi 150/11 kV maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{sc1} + Z_{Ti} \dots\dots\dots (3.7)$$

3.9. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa dan 2 Fasa

Untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

Gangguan 3 fasa :

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{kV / \sqrt{3}}{Z_1} \dots\dots\dots (3.8)$$

Gangguan 2 fasa :

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{kV_{L-L}}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (3.9)$$

3.10. Setting Relay Arus Lebih (OCR)

Untuk setting relay arus lebih pada sisi 150 kV dan pada sisi 20 kV pertama yaitu harus menghitung arus nominal transformator tenaga terlebih dahulu. dapat di hitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{\text{base}} = \frac{S_{\text{base}}}{\sqrt{3} \cdot V_{\text{base}}} \dots\dots\dots (3.10)$$

Dimana:

I_{base} = Arus nominal (sesuai sisi transformator) (A)

S_{base} = Daya semu (KVA)

V_{base} = Tegangan (sesuai sisi transformator) (kV)

3.11. Arus Setting Relay Arus Lebih

Untuk memperoleh nilai setting arus lebih rele maka arus dihitung dengan rumus:

$$I_{\text{set (primer)}} = 1,05 \times I_{\text{nominal trafo}} \dots\dots\dots (3.11)$$

Nilai tersebut merupakan nilai primer, untuk mendapatkan nilai sekunder dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (primer)}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots\dots\dots (3.12)$$

Dimana:

$I_{\text{set (primer)}}$ = pengaturan arus rele arus lebih pada sisi primer (A)

$I_{\text{nominal trafo}}$ = Nilai arus nominal trafo (A)

$I_{\text{set (sekunder)}}$ = Arus setting relay arus lebih sisi sekunder (A)

3.12. *Setting Waktu Relay (Tms) Arus Lebih*

Untuk *setting* waktu *TMS relay* arus lebih dapat dihitung menggunakan rumus:

$$TMS = \frac{t \times \left[\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}} \right]^\alpha - 1}{\beta} \dots\dots\dots (3.13)$$

Dimana:

t = Waktu operasi (s)

TMS = Time multiple setting (tanpa satuan)

β = Konstanta standart inverse

I_{Fault} = Arus gangguan hubung singkat (A)

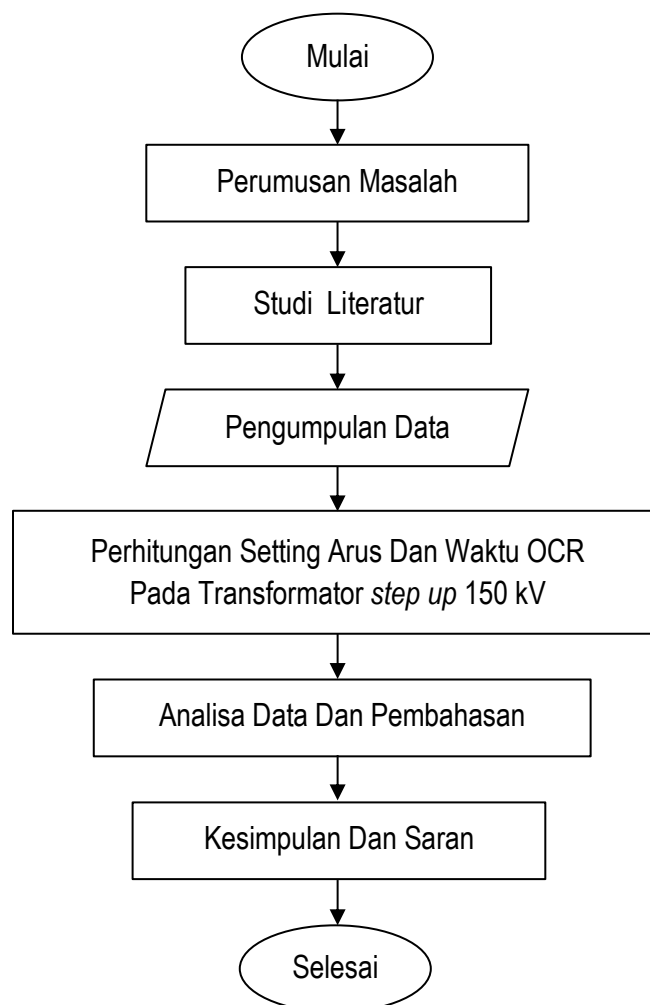
diambil dari arus gangguan hubung singkat 3 fasa

I_{Set} = Arus setting primer pada relay (A)

α = konstanta standart inverse

3.13. Tahapan penelitian

Tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat pada flowchart sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan pada saat penelitian, maka pada bab ini akan disajikan data hasil penelitian dan pembahasan yang di peroleh pada gardu induk 150 kV kastela kota ternate.

4.1 Data Penelitian

Data – data yang dibutuhkan akan diperoleh dari tempat penelitian. Dalam hal ini pengambilan data transformator pada PLTMG Kastela dan data setting *over current relay* (OCR) pada gardu induk yang bisa dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Spesifikasi Trafo

Merek	UNINDO
Daya	60 MVA
Tegangan	150 kV
Impedansi (Z%)	12,20
Tegangan primer	11 kV
Tegangan sekunder	150 kV
Arus Nominal primer (11kV)	3149.2 A
Arus Nominal sekunder (150 kV)	219.9 A
Arus hubung singkat (I_{sc})	50 kA

Sumber. Unit PLTMG Kastela

Tabel 4. 2 Spesifikasi OCR

Merek	Sherelder
Type	MICOM P142
Tms	950
Rasio CT	4000/1
Kurva	SIT

Sumber. Unit PLTMG Kastela

4.2 Hasil Perhitungan Pembahasan

1. Perhitungan Impedansi sumber

Impedansi sumber dapat dihitung setelah mengetahui besarnya MVA_{hs} (MVA hubung singkat).

Dari data yang diperoleh arus hubung singkat pada sisi tegangan rendah sebesar 50 kA, tegangan disisi tegangan tinggi adalah sebesar 150 kV maka nilai MVA hubung singkat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$MVA_{hs} = \sqrt{3} \times I_{hs} \times kV_{sistegangan\ tinggi}$$

Dimana :

$$MVA_{hs} = \text{Daya hubung singkattrafo}$$

$$kV_{sistegangan\ tinggi} = \text{Tegangan sekundertrafo}$$

$$MVA_{hs} = \sqrt{3} \times I_{hs} \times kV_{sistegangan\ tinggi}$$

$$\begin{aligned} MVA_{hs} &= \sqrt{3} \times 50 \text{ kA} \times 150 \text{ kV} \\ &= 12.990 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Impedansi sumber di sisi tegangan tinggi (150 kV). dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} X_{sc} &= kV_{sisteg.\ tinggi}^2 / MVA \\ &= 150^2 / 12.990 \\ &= j1,732 \end{aligned}$$

Impedansi sumber di sisi tegangan rendah (11 kV). dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} X_{sc} &= kV_{sisteg.\ rendah}^2 / MVA_{hs} \\ &= 11^2 / 12.990 \\ &= j0,009 \end{aligned}$$

2. Perhitungan reaktansi trafo

Untuk nilai reaktansi daya di gardu induk PLTMG kastela memiliki daya sebesar 12,20%. Untuk menghitung reaktansi pada urutan positif dan negatif, maka terlebih dahulu menghitung nilai reaktansi pada 100% dapat diperoleh sebagai berikut :

$$X_{T(100\%)} = \frac{kV^2_{(\text{sisilou voltage})}}{MVA_{(\text{Trafo})}}$$

$$X_{T(100\%)} = \frac{11^2}{60} = j2,017$$

Sedangkan untuk reaktansi trafo urutan positif dan negatif ($X_{T1} = X_{T2}$) dapat di peroleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} X_{T1} &= X_{T2} = Z_T \times X_{T(100\%)} \\ &= 0,122 \times j2,017 \\ &= j0,246 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Untuk menghitung reaktansi trafo urutan nol, harus diketahui apakah trafo memiliki belitan delta atau tidak, jika memiliki belitan delta maka besar reaktansi urutan nol (X_0) adalah $3 \times X_1$. Akan tetapi trafo tidak memiliki belitan delta maka besar reaktansi urutan nol (X_{T0}) berkisar antara 9 sampai dengan 14 dikali dengan reaktansi trafo (X_{T1}) diambil 10. Maka kita ambil nilai $X_{T0} = 10 \times X_T$. Dimana nilai reaktansi trafo urutan nol dapat diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} X_{T(0)} &= 10 \times X_{T1} \\ &= 10 \times j0,246 \\ &= j2,46 \text{ ohm} \end{aligned}$$

4.3 Perhitungan Impedansi Ekivalen

Perhitungan impedansi ekivalen adalah menghitung Impedansi ekivalen urutan positif, urutan negative dan urutan nol dari titik gangguan sampai sumber. Karena gangguan hanya pada transformator maka reaktansi yang digunakan hanyalah reaktansi sumber dan reaktansi trafo.

- Impedansi urutan positif dan negative

Untuk mencari impedansi urutan positif (Z_{1eq}) = impedansi urutan negatif (Z_{2eq}) pada sisi tegangan rendah (11kV) dan tegangan tinggi (150kV) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{sc1} + Z_{t1}$$

Dimana :

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif

Z_{2eq} = Impedansi ekivalen urutan negative

Z_{sc1} = Impedansi sumber

Z_{t1} = Impedansi trafo urutan positif

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{sc1} + Z_{t1}$$

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = 0.009 + 0,246$$

$$= 0,255 \text{ Ohm}$$

4.4 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

4.4.1 Gangguan hubung singkat 3 fasa

Rumus dasar yang digunakan untuk megubung besarnya arus gangguan hubung singkat 3 fasa adalah :

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{kV / \sqrt{3}}{Z_1}$$

Dimana :

$I_{3\text{fasa}}$ = arus gangguan 3 fasa

kV = Tegangan fasa

Z_1 = impedansi ekivalen urutan positif

Oleh karena itu, arus hubung singkat 3 fasa dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{11\text{kV} / \sqrt{3}}{j0,255}$$

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{6,350}{\sqrt{j0,255^2}}$$

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{6,350}{\sqrt{j0,255^2}}$$

$$= 24.901,96 \text{ A}$$

$$= 24,901\text{kA}$$

4.4.2 Gangguan hubung singkat 2 fasa

Rumus dasar untuk menghitung besarnya arus hubung singkat 2 fasa adalah. $I = \frac{V}{Z}$

Dimana :

I = arus gangguan hubung singkat 3 fasa

V = tegangaun fasa ke sisi 11 kV

$$= \frac{11.000}{\sqrt{3}} = V_{ph}$$

Z = jumlah impedansi positif (Z_{1eq}) dan impedansi lawan (Z_{2eq}) Jadi arus hubung singkat 2 fasa dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{2fasa} = \frac{kV_{l-l}}{Z_1 + Z_2}$$

Dalam hal ini diangap nilai $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, sehingga persamaan arus hubung singkat 2 menjadi :

$$\begin{aligned} I_{2fasa} &= \frac{11}{j0.255 + j0.255} \\ &= \frac{11}{j0.51} \\ &= \frac{11}{\sqrt{(j0.51)^2}} \\ &= 21.586,6 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan arus gangguan hubung singkat ini (3 fasa dan 2 fasa), dapat digunakan sebagai penyetelan relay arus lebih.

4.5 Setelan Rele *Over Current Relay* (OCR) di sisi *low voltage* 11 kV

4.5.1 Setelan rele arus lebih (OCR)

Penyetelan rele yang terpasang di sisi primer transformator dihitung berdasarkan arus beban maksimum. Untuk rele inverse diambil biasa di set sebesar $1,05 \times I_{\text{maksimal}}$. Persyaratan lain yang harus dipenuhi yaitu untuk penyetelan waktu minimum dari rele arus lebih (terutama) di sisi primer transformator tidak lebih kecil dari 0,8 sec. Keputusan ini diambil untuk mencegah terjadinya tripping kembali akibat arus masuk trafo yang terhubung ke jaringan interkoneksi pada saat PMT dimasukkan.

Penentuan setelan rele arus lebih (OCR) pada sisi *low voltage* 11 kV trafo tenaga, yaitu harus diketahui terlebih dahulu nilai arus nominal trafo tenaga tersebut.

Setelan arus nominal trafo pada sisi *low voltage* 11 kV

$$\begin{aligned}
 I_{n(\text{sisi } 11\text{kV})} &= \frac{\text{KVA}}{\text{kV} \sqrt{3}} \\
 &= \frac{60.000}{11 \sqrt{3}} \\
 &= 3.149.275 \text{ A (Nilai ini sesuai dengan name plate trafo)}
 \end{aligned}$$

Nilai setelan pada *in coming* untuk relay OCR di trafo.

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set primer}} &= 1,05 \times I_n \\
 I_{\text{set primer}} &= 1,05 \times 3.149.275 \text{ A} \\
 I_{\text{set primer}} &= 3.306.738 \text{ A} \\
 &\text{Dibulatkan menjadi } 4000 \text{ A.}
 \end{aligned}$$

Nilai setelan pada sisi *high voltage* trafo adalah :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set sek}} &= I_{\text{set primer}} \times \frac{1}{\text{ratio ct}} \\
 &= 3.306.738 \times \frac{1}{4000} \\
 &= 0,827 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dibulatkan menjadi 1 A.

4.5.2 *Setting Time Multiplier setting (TMS)*

Penentuan besarnya *setting TMS* pada rele OCR di sisi *low voltage* 11 kV pada tranformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% dengan tidak memperhitungkan panjang saluran. Waktu kerja yang di tetapkan $t = 0,7$ sec. karena setting rele di hilir disetting sebesar 0,3 sec. agar tidak terjadi kesalahan kerja rele di hilir dan di hulu.

Setelan menemukan nilai setting arus untuk rele lebih sisi *low voltage*, selanjutnya data yang diperoleh saat observasi yaitu untuk kurva yang digunakan adalah *standar inverse* dengan arus gangguan maksimal yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa sebesar 24,901 kA. untuk mencari nilai *setting* waktu rele arus lebih bias dicari menggunakan persamaan rumus berikut :

$$\text{tms} = \frac{t \times \left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0.14}$$

$$\text{tms} = \frac{0.7 \times \left(\frac{24.901,96}{3.306,738} \right)^{0,02} - 1}{0.14}$$

$$= 0.21 \text{ (tanpa satuan)}$$

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan setting Rele arus lebih pada Trafo step up 11/150kV maka dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan Trafo Arus (CT) pada sisi primer dan sekunder adalah telah sesuai yaitu sebesar 3.306,738 A : 0,827 A hasil perhitungan. sementara yang terpasang dengan nilai 4000 : 1 Ampere, tidak lebih kecil dari hasil perhitungan.

Nilai settingan waktu kerja rele OCR dan nilai tms telah sesuai dimana nilai setting waktu OCR harus lebih besar dari nilai tms.

5.2 Saran

Setelah melakukan peneliatian ini saran saya adalah untuk menjaga kinerja *over current relay* (OCR) alangkah baiknya lakukan pembaruan settingan relay sesuai jadwalnya untuk menghindari kesalahan dari hasil relai proteksi ketika terjadinya gangguan.