

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan pustaka

Berdasarkan penelitian tentang proteksi transformator yang akan dibuat ini maka penulis mengacu pada beberapa referensi untuk mempertimbangkan permasalahan yang menjadi acuan tugas akhir ini guna mendukung penyusunan skripsi ini, diantaranya:

- a. Menurut *wirawan, Budi* pada tahun 2014 dalam papernya yang berjudul **“Setting Koordinasi Over Current Relay pada Trafo 60 MVA 150 / 20 Kv dan Penyulang 20 KV”** Tenaga listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok saat ini. Oleh karena itu perlu adanya sistem proteksi agar listrik dapat tetap di distribusikan meskipun ada beberapa permasalahan dalam beberapa sistem. Dari analisis ini, akan didapat besarnya nilai settingan proteksi relai arus lebih *Overcurrent Relay (OCR)* dan relai gangguan tanah (GFR) transformator beserta bagaimana koordinasi dari OCR dan GFR tersebut yang ditunjukkan pada grafik. Berdasarkan hasil tersebut sangat diperlukan evaluasi setting relai dikarenakan MVA tiap tahun pada Gardu Induk tidak selalu sama.(Wirawan, 2014)
- b. Menurut *maria oktaviani* pada tahun 2015 dalam papernya yang berjudul **“Evaluasi Setting Relay Proteksi Generator Dan Trafo Generator Di Pltgu Tambak Lorok Blok 1”** beliau berpendapat Kata PLTGU perlu adanya evaluasi pada relai tiap tahunnya menggunakan software *ETAP 12.6*. Setelah dievaluasi, setting relay proteksi generator dan trafo generator masih layak ataupun sesuai untuk dioperasikan, kecuali relai arus lebih, relay urutan negatif dan under frequency relay yang mengalami perubahan dari nilai eksisting.(Fitriyani & Facta, 2015)
- c. Menurut *Nugroho Agus Darmanto* pada tahun 2015 dalam papernya yang berjudul **“Analisa Koordinasi Ocr - Recloser Penyulang Kaliwungu 03”** beliau berpendapat Kelistrikan di Jawa Tengah menganut sistem pentanahan langsung sepanjang jaringan (solidly grounded common neutral), sehingga arus gangguan yang terjadi sangat besar, maka perluasan

atau pelimpahan beban dari penyulang lain harus mempertimbangkan jangkauan pengindera peralatan pengaman dan mengkoordinasikan antara pengaman yang satu dengan yang lain, koordinasi system proteksi berperan sangat penting untuk menjamin keandalan sistem penyaluran tenaga listrik, dengan menganalisa perhitungan setting diharapkan dapat diketahui tingkat keandalan penyulang Kaliwungu 03 (KLU03) dalam kondisi normal atau saat menerima pelimpahan beban dari penyulang Weleri 06 (WLI06). Dari analisa diketahui bahwa dengan besar arus gangguan minimum yang terjadi masih lebih besar dibanding dengan setting OCR dan Recloser, maka dapat disimpulkan peralatan pengaman penyulang Kaliwungu 03 dapat mengakomodir pelimpahan beban dari penyulang Weleri 06, namun untuk keandalan perlu dievaluasi kembali setting OCR dan Recloser khususnya tentang pemilihan karakteristik dan konstanta waktu tunda.(Darmanto, Handoko, Elektro, & Diponegoro, 2006)

- d. Menurut *Samuel Pirdion Parmonangan* pada tahun 2015 dalam papernya yang berjudul **“Evaluasi Koordinasi Proteksi Relay Arus Lebih Trafo 2 Dan Trafo 3 Gis Kandang Sapi Ke Penyulang Luluk, Dekat, Lahan, Makan, Sarapan, Budidharma 7-8, Dan Sruput Menggunakan Etap 12.6.0”** Pada sistem distribusi, perlu adanya evaluasi agar dapat memastikan bekerjanya dengan baik atau tidak suatu sistem tersebut. Evaluasi proteksi meliputi koordinasi antar peralatan proteksi dalam jaringan distribusi yang harus memenuhi standard yang ada. Penelitian ini membahas tentang evaluasi koordinasi proteksi relay arus lebih dan relay gangguan tanah pada penyulang yang terhubung dengan Trafo 2 dan Trafo 3 GIS Kandang Sapi dengan menggunakan aplikasi ETAP 12.6.0.. Pada gangguan 3 fasa berdasarkan hasil simulasi, interval waktu kerja antar relay kondisi eksisting adalah sebesar 1,121 detik dan dalam kondisi standard PLN sebesar 0,568 detik dimana standard interval yang diizinkan berdasarkan IEC 60255 adalah 0,3-0,5 detik. Setelah dilakukan perhitungan ulang, didapatkan waktu kerja antar relay sebesar 0,368 detik. Pada gangguan 1 fasa diujung saluran, relay incoming dalam kondisi eksisting membutuhkan waktu

selama 3,999 detik untuk bekerja, dan 2,53 detik untuk kondisi standard PLN.(Trafo et al., n.d.)

- e. Menurut *Agung Nugroh, Tejo Sukmadi Departemen* pada tahun 2017 dalam papernya yang berjudul **“Koordinasi Over Current Relay (Ocr) Sisi Incoming 1 Dengan Ocr Sisi Outgoing Kls 03 Pada Gi Kalisari”** beliau berpendapat Peralatan proteksi yang biasa digunakan pada sistem tegangan menengah adalah pemutus tenaga yang kerjanya diperintah oleh rele arus lebih Incoming 20 kV menyalurkan tenaga listrik ke beberapa outgoing feeder. Antara PMT Incoming 20 kV dan PMT Outgoing 20 kV harus ada koordinasi yang baik. Namun pada kenyataannya, dari beberapa gangguan disebabkan karena kesalahan koordinasi proteksi. Koordinasi proteksi yang tidak baik bisa menyebabkan overlap antara pengaman di incoming 20 kV dengan pengaman di outgoing 20 kV dan menyebabkan blackout di semua penyulang.(Trafo et al., n.d.)
- f. Menurut *Galih Dwi Susanto* pada tahun 2017 dalam papernya yang berjudul **“Analisis Koordinasi Overcurrent Relay Menggunakan Software Etap 12.6.0 & Isa-Tdms 6.5.1”** beliau berpendapat perihal proteksi, Sistem proteksi merupakan suatu sistem yang sangat urgent ataupun penting dalam sistem tenaga listrik, karena sistem tenaga listrik tidak bisa lepas dari adanya gangguan. Jenis gangguan sendiri yaitu karena adanya arus hubung singkat yang menyebabkan arus yang mengalir cukup besar dan gangguan karena putusnya penghantar. *Dilihat dari akibat yang ditimbulkannya adanya suatu gangguan, hubung singkat memerlukan perhatian yang jauh lebih besar daripada rangkaian terbuka (stevenson, 1993).*(Salsabila, Akuntansi, Ekonomi, Bisnis, & Surakarta, 2016)

Resume dan pilih-pilihan jurnal terkait *OverCurrent Relay* dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 resum data penelitian terdahulu

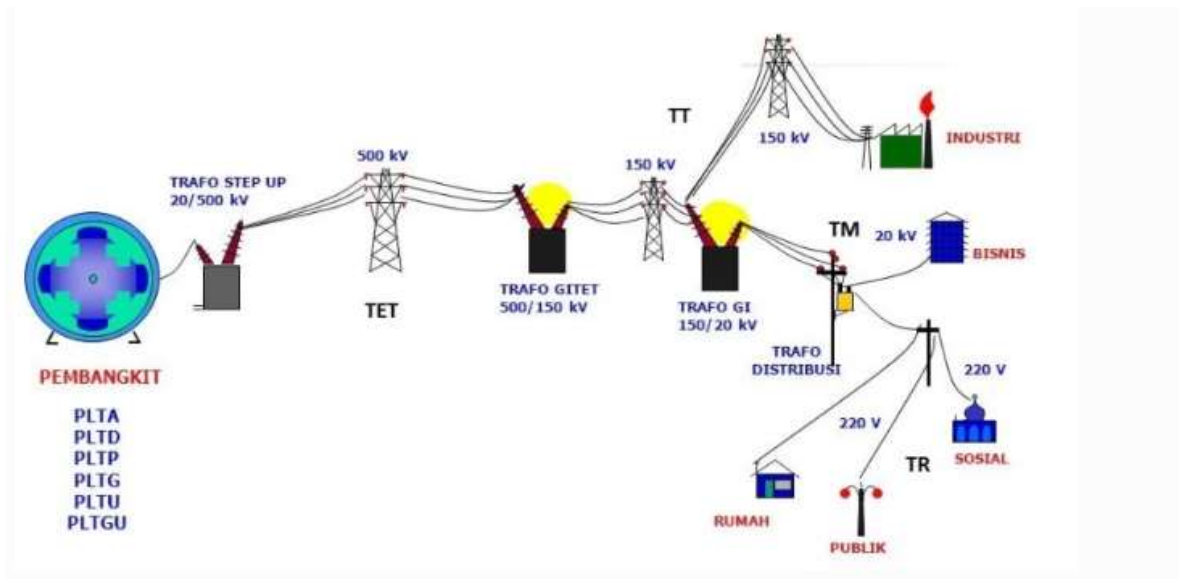
No	Judul	Tahun	Metode	Hasil
1.	Setting Koordinasi <i>Over Current Relay (OCR)</i> pada Trafo 60 MVA 150 / 20 Kv dan Penyulang 20 KV	2014	Studi kasus	Setting di lapangan sudah sesuai dengan teori
2.	Evaluasi Setting Relay Proteksi <i>Generator Dan Trafo Generator</i> Di Pltgu Tambak Lorok Blok 1	2015	Metode Analisa dan perbandingan	Hasil di lapangan tak semuanya sama dengan data yang di Analisa.
3.	Analisa Koordinasi Ocr - Recloser Penyulang Kaliwungu 03	2015	pendekatan kuantitatif	Proteksi sudah cukup baik namun lebih baik lagi jika di tambahkan proteksi tambahan di sisi primer
4.	Evaluasi Koordinasi Proteksi Relay Arus Lebih Trafo 2 Dan Trafo 3 Gis Kandang Sapi Ke Penyulang Luluk, Dekat, Lahan, Makan, Sarapan, Budidharma 7-8, Dan Sruput Menggunakan Etap 12.6.0	2015	Perhitungan manual dan menggunakan aplikasi ETAP	Dapat mengevaluasi system yang tidak sesuai dengan ketentuan PLN di karnakan factor tertentu.
5.	Koordinasi Over Current Relay (Ocr) Sisi Incoming 1 Dengan Ocr Sisi Outgoing Kls 03 Pada Gi Kalisari	2017	Pengumpulan data dan pengolahan data	Lokasi suatu system menjadi alasan waktu kerja proteksi.

No	Judul	Tahun	Metode	Hasil
6.	Analisis Koordinasi Overcurrent Relay Menggunakan Software <i>Etap 12.6.0 & Isa-Tdms</i> <i>6.5.1</i>	2017	Pengambilan data dan analisis data	Hasil simulasi dapat di bandingkan dengan overcurrent relay yang ada di lapangan.

2.2 Landasan teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sistem penyaluran energi listrik dari sumber menuju beban, Adapun sistem ini terdiri dari beberapa rangkaian instalasi utama untuk penyaluran energi listrik yang diantaranya yaitu pembangkit, transmisi, distribusi, dan konsumen atau beban.



Gambar 2. 1 sistem distribusi listrik

Sumber : <https://yukpodosinaubareng.wordpress.com/2016/08/15/proses-distribusi-listrik-di-indonesia/>

Jika dilihat pada gambar diatas proses listrik menuju konsumen cukup banyak, di mualai dari pembangkit listrik disini biasanya menggunakan generator untuk mengubah dari energi gerak menjadi energi listrik adapun yang menggerakan

turbinnya untuk berputar tergantung pembangkit yang di gunakan jika PLTU maka menggerakkan turbinnya dengan uap dari bahan bakar batu bara, adapun jika PLTA maka menggerakkan turbinnya dengan uap dari air yang sudah di hilangkan kandungan mineralisasinya, ataupun PLTD yang membutuhkan bahan bakar solar yang nantinya menjadi penggerak mula pada diesel, Setelah bekerja, mesin diesel akan menghasilkan energi murni mekanis yang dapat menggerakkan motor generator, begitupun dengan pembangkit lainnya inti dari semua macam-macam pembangkit yaitu bahan apa yang digunakan untuk menggerakkan turbin pada generator. Hasil tegangan dari pembangkit ini biasanya 10KV – 12KV.

kemudian di salurkan ke jaringan transmisi untuk menaikkan tegangannya sesuai dengan standar di Indonesia kisaran tegangan 70KV – 120KV ataupun 500KV fungsi menaikkan tegangan yaitu untuk mengurangi rugi-rugi daya semakin tinggi tegangannya maka semakin kecil rugi-rugi dayanya, jaringan transmisi juga biasa disebut dengan SUTET (saluran udara ekstra tinggi) yang terpasang di udara ataupun SKTT yang terpasang di bawah tanah.

Pada jaringan distribusi tegangan diturunkan menjadi 20KV disebut dengan TM (tegangan menengah) kemudian diturunkan kembali tegangannya sesuai dengan kebutuhan konsumen di bagi menjadi dua, yaitu tiga phase yang memiliki tegangan 380V pelanggan yang menggunakan pada umumnya seperti pabrik, rumah industri ataupun mall dan 1 phase memiliki tegangan 220V digunakan oleh masyarakat luas untuk kebutuhan setiap harinya.

2.2.2 Gardu Induk (*substation*)

Gardu Induk (*substation*) yaitu sistem penyaluran listrik yang masih mempunyai tegangan tinggi dari 20 kV atau biasa di sebut main substaion kemudian di salurkan ke substation lainnya yang semuanya *step down* atupun di turunkan tegangannya sesuai dengan teganagan yang di butuh kan oleh beban, total keseluruhan substation yang ada di PT. Pertamina RU VI balongan yaitu 13 substation 1 diantaranya sebagai main substation (induk) dan yang lainnya sebagai penyalur ke beban dengan tegangan yang lebih rendah. Adapun Gardu Induk memiliki beberapa fungsi adalah sebagai berikut:

- a. Mentransformasikan daya listrik dengan cara mengubah tegangan untuk penyaluran energi listrik ke beban dengan frekuensi yang tetap.
- b. Sebagai sarana untuk mengukur, pengawasan operasi dan untuk pengamanan pada sistem tenaga listrik
- c. sebagai sarana pengaturan daya yang menuju ke Gardu Induk ataupun substation lainnya melalui saluran tegangan tinggi dan ke gardu distribusi setelah melalui proses pengubahan taraf tegangan melewati penyulang (*feeder*) tegangan menengah.
- d. Sebagai sarana telekomunikasi/penghubung yang pada umumnya untuk masalah antar sistem yang akan menunjang satu sama lain dan internal dari PLN.

2.2.3 Komponen listrik utama pada substation

Pada sebuah substation dalam menjalankan serta memenuhi tujuan dan fungsinya dengan baik, maka gardu induk dilengkapi oleh peralatan-peralatan listrik untuk mendukung dalam pengoperasian gardu induk tersebut yaitu sebagai berikut:

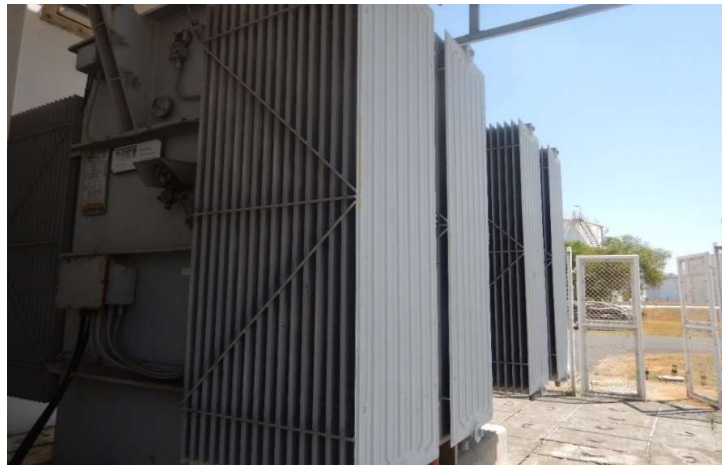
- a. Transformator daya (Potential Transformator)

Transformator merupakan suatu peralatan jaringan listrik yang mampu menurunkan taraf tegangan listrik AC (*alternatif current*) menjadi lebih rendah atau lebih tinggi tanpa mengubah frekuensinya dan digunakan untuk menyalurkan tenaga atau daya energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya tanpa dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Transformator terdiri 3 komponen utama yaitu kumparan kawat primer, kumparan kawat sekunder, dan inti besi dimana kumparan kawat ini dililitkan pada sebuah inti besi (*core*) tersebut. Adapun prinsip kerja dari transformator daya sebagai berikut yaitu ketika kumparan primer transformator dihubungkan dan dialiri oleh sumber tegangan arus bolak-balik, kemudian terjadi perubahan arus listrik pada kumparan primer yang

akan menimbulkan medan magnet yang berubah atau fluks magnetik disekitarnya.

Medan magnet yang berubah tersebut diperkuat dengan adanya inti besi serta dihantarkan oleh inti besi kekumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul gaya gerak listrik (GGL) induksi. Inti besi juga digunakan untuk mempermudah jalannya fluks magnetik dan mengurangi suhu panas yang ditimbulkan.

Untuk lebih jelasnya bisa di lihat pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 transformator 14B-PTR-01B di PT. Pertamina RU VI Balongan, Indramayu Jawa Barat

Transformator daya juga memiliki fungsi untuk pengaturan tegangan dan juga dilengkapi dengan transformator pertanahan yang berguna untuk mendapatkan titik netral dari trafo daya. Peralatan ini sering juga disebut NCT atau *Neutral Current Transformer* dan ada juga peralatan lainnya NGR atau *Neutral Grounding Resistance* hal ini bertujuan untuk memperkecil arus gangguan yang terjadi pada transformator.

Terkait penjelasan diatas bisa dilihat pada gambar 2.3



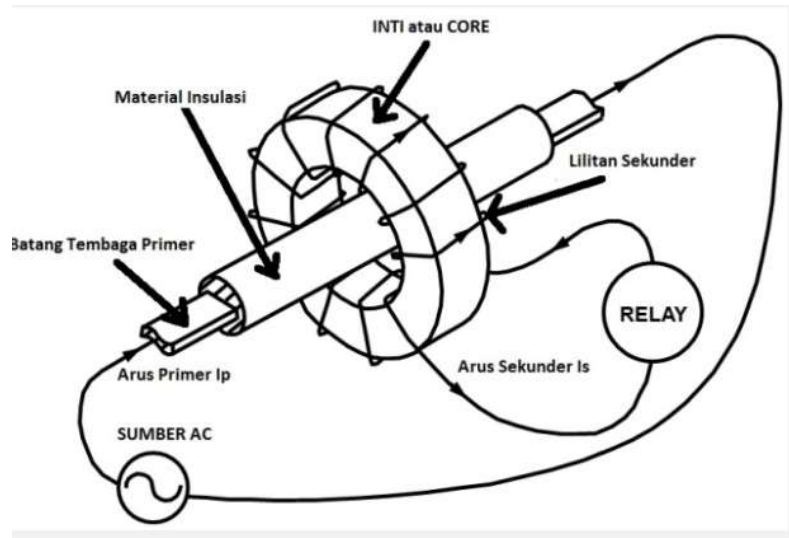
Gambar 2. 3 Sumber: Transformator 2 dengan NGR GI Gianyar

b. Transformator Arus

Trafo arus merupakan suatu komponen listrik untuk menkoversikan arus yang dilakukan untuk proses pengukuran. Penurunan arus dalam pengukuran sangat penting dikarenakan pada suatu sistem tenaga listrik yang memiliki arus yang tinggi, alat-alat pengukur tidak mampu membaca secara langsung arus perangkat yang melewati suatu penghantar, karena peralatan pengukur diproduksi untuk kapasitas arus yang kecil, oleh karena itu maka nilai arus perlu diturunkan dengan rasio tertentu untuk mendapatkan hasil pengukuran.

Trafo arus dipasang seri terhadap beban, berbeda pada trafo pada umumnya. Prinsip kerja trafo arus dijelaskan ketika arus primer (I_p) mengalir pada kumparan primer, maka akan muncul medan magnet disekeliling kumparan primer tersebut, medan magnet tersebut akan terkumpul lebih banyak pada inti besi. Pada gambar 2.4 bisa di lihat bahwa medan magnet yang berputar di dalam inti besi karena arus AC menghasilkan perubahan fluks primer dan memotong lilitan sekunder sehingga menginduksi tegangan pada lilitan sekunder sesuai hukum faraday. Karena lilitan sekunder membentuk loop tertutup, maka akan mengalir arus sekunder (I_s) yang akan membangkitkan medan magnet untuk

melawan flux magnet yang dihasilkan oleh belitan primer sesuai hukum lenz.



Gambar 2. 4 bagian Trafo Arus /CT (Current Transformator)

Sumber : <https://trafoinstrumen.wordpress.com/2016/06/14/prinsip-kerja-trafo-arus-atau-current-transformer/>

c. Transformator Tegangan

Trafo tegangan merupakan sebuah piranti yang digunakan untuk menurunkan taraf tegangan yang dilakukan untuk proses pengukuran. Penurunan nilai tegangan dalam pengukuran sangat penting karena pada suatu sistem tenaga listrik yang memiliki tegangan yang tinggi, alat-alat pengukur tidak mampu membaca secara langsung, karena peralatan pengukur diproduksi untuk tegangan yang kecil, oleh karena itu maka nilai tegangan perlu diturunkan dengan rasio tertentu untuk mendapatkan hasil pengukuran. Pada gambar 2.5 merupakan bentuk nyata di lapangan, Trafo tegangan dipasang paralel terhadap beban, berbeda dengan trafo arus yang dipasang secara seri.



Gambar 2. 5 Transformator 14B-PTR1-01B di PT Pertamina RU-VI Balongan Indramayu, Jawa Barat

Prinsip kerja dari trafo tegangan diketahui bahwa pada saat ada arus AC mengalir I_p pada kumparan coil primer maka akan menimbulkan gaya gerak magnet yang akan menghasilkan fluks pada inti besinya yang mana setelah itu akan membentuk gaya gerak listrik (ggl) pada kumparan coil sekunder, dan apabila rangkaian pada kumparan sekunder tertutup maka arus akan mengalir I_s dan menghasilkan gaya gerak listrik pada kumparan coil sekunder.

d. Pemutus Tenaga (PMT)

Menurut *International Electrotechnical Vocabulary* Pemutus Tenaga atau disebut juga *Circuit Breaker* ialah suatu alat sakelar atau switching mekanis yang mampu memutus arus listrik secara otomatis ketika terjadi konsleting (kondisi tidak normal) akibat gangguan dikarenakan lebihnya arus yang melewati *Circuit Breaker* tersebut. Dan juga berfungsi selain memutus juga bisa menghubungkan jaringan ataupun rangkaian listrik yang terhubung ke beban dengan aman.

Terkait dengan penjelasan di atas dapat di lihat pada gambar 2.6



Gambar 2. 6 Bentuk fisik Pemutus Tenaga

Pada suatu peralatan listrik untuk menjadi pemutus tenaga memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi yaitu sebagai berikut:

- Dapat mendistribusikan arus maksimum sistem secara berkelanjutan
- Dapat memutus atau menutup jaringan dalam keadaan berbeban ataupun dalam keadaan gangguan misalnya seperti hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus daya itu sendiri.
- Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan yang tinggi.

e. Pemisah (PMS)

Pemisah (PMS) atau disebut juga dengan *Disconnecting Switch* (DS) merupakan sebuah peralatan dari sistem tenaga listrik yang fungsinya tidak jauh beda dengan PMT yang berfungsi sebagai saklar pemisah pada rangkaian listrik tanpa memisahkan peralatan listrik dari peralatan lain yang bertegangan dimana pembukaan maupun penutupan PMS hanya dapat dilakukan pada kondisi tanpa beban, perbedaannya adalah pada PMS tidak mampu memutus jaringan apabila terjadi arus gangguan sedangkan PMT mampu memutus jaringan jika terjadi arus gangguan. Terkait dengan penjelasan di atas dapat di lihat pada gambar 2.7



Gambar 2. 7 pemisah (PMS)

<https://docplayer.info/49151160-Pengertian-dan-fungsi-pemisah-pms.html>

f. Control Panel Device

Control panel device ini berfungsi untuk mengetahui serta mengontrol kondisi pengoperasian yang terjadi pada gardu induk ataupun substation tersebut dan juga merupakan pusat pengendalian local gardu induk. Pada control panel device ini berisi sakelar, indicator, meter, tombol untuk operasional PMS, PMT, alat ukur besaran listrik seperti rele, serta annunciator yang berada dalam sebuah ruangan. Terkait dengan penjelasan di atas dapat di lihat pada gambar 2.8



Gambar 2. 8 Control Panel Device di PT.Pertamina RU-VI Balongan

g. *Lightning Arrester (LA)*

Lightning Arrester(LA) merupakan suatu peralatan listrik yang digunakan sebagai penangkap petir, untuk melindungi peralatan listrik dari tegangan lebih akibat terjadinya sambaran petir atau dikenal dengan istilah lightning surge pada kawat transmisi, maupun disebabkan oleh switching surge, sehingga petir bisa langsung dibumikan oleh LA agar tidak merusak peralatan listrik. Pada saat keadaan normal LA bekerja sebagai isolator sedangkan ketika keadaan tidak normal terjadi gangguan, maka LA bersifat konduktif dan akan menyalurkan arus listrik lebih keground atau tanah.



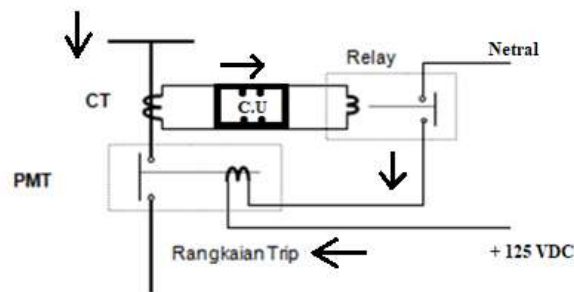
Gambar 2. 9 *lightning arrester*

Sumber : <http://www.arresterworks.com>

h. Relai Proteksi

Relai proteksi merupakan suatu dari susunan peralatan yang telah dirancang khusus untuk merasakan dan mengukur ketika adanya suatu gangguan pada peralatan listrik. Adapun relai proteksi memiliki kegunaan sebagai sistem pengaman yang mana terdiri dari beberapa macam diantaranya Distance relay, differential relay, *overcurrent current relay* (OCR), dan masih banyak lainnya. Contoh fungsi relai proteksi ini adalah OCR untuk mendeteksi adanya arus lebih, dengan cara membaca arus yang

masuk kerelai yang untuk pembacaannya sudah diturunkan oleh CT (*Current Transformator*) sesuai arus untuk pengukuran yang dibutuhkan relai begitupun tegangannya dengan pengaturan yang baik sehingga relai akan bekerja dan memberi perintah PMT untuk trip sebagai pengamanan. Relay proteksi dapat mengetahui adanya gangguan pada peralatan yang perlu diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterima dengan nilai besaran yang telah ditentukan. Besaran-besaran tersebut adalah arus, tegangan dan lain sebagainya. Relai pengaman ini sangat diperlukan agar kelangsungan . kerja suatu sistem tenaga listrik bisa berjalan dengan baik dan bisa mengisolir daerah yang mengalami gangguan agar tidak menyebar luas. Terkait dengan penjelasan di atas dapat di lihat pada gambar 2.10



Gambar 2. 10 Transformator 14B-PTR1-01B di PT.Pertamina RU-VI Balongan Indramayu, Jawa Barat

i. Transformator

Pemakaian Sendiri (PS) Transformator Pemakaian sendiri merupakan suatu transformator yang digunakan untuk mentransformasikan daya listrik menjadi daya konsumen biasa standar pelanggan 220/380 V untuk pemakaian pada lingkungan gardu induk itu sendiri.



Gambar 2. 11 Transformator PS

(Sumber:<https://eprints.ums.ac.id>)

j. Busbar dan Kabel listrik

Busbar merupakan suatu susunan konduktor yang biasanya berupa plat tembaga ataupun aluminium yang berguna dalam sebuah panel kelistrikan sehingga bisa mendistribusikan atau menghantarkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan dan juga berfungsi sebagai tempat titik pertemuan atau hubungan antara trafo daya , SKTT, SUTT serta komponen lainnya yang terdapat pada switchyard. Komponen rel busbar diantaranya konduktor (BC, HDCC, HAL, THAL, AAAC) serta Insulator ,tension clamp, suspension clamp, socket eye, anchor sagle, space, fitting dan lain lain.

Kabel listrik adalah suatu media yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik, sebuah kabel listrik biasanya terdiri dari isolator dan

konduktor. Adapun pengawatan *wiring* pada sistem proteksi tenaga listrik digunakan untuk menghubungkan antar komponen sistem proteksi yang satu dengan lainnya sehingga semua peralatan dapat bekerja dengan semestinya. Pengawatan (*wiring*) pada sistem proteksi terdiri dari *sirkuit sekunder* (arus dan tegangan), *sirkuit tripping* dan *sirkuit peralatan* bantu. Terkait dengan penjelasan di atas dapat di lihat pada gambar 2.12



Gambar 2. 12 Bentuk Fisik Rel Busbar
(Sumber: <https://scadaku.wordpress.com>)

2.2.4 Pengaman (Proteksi)

Dalam sistem tenaga listrik ada pembangkit untuk membangkitkan listrik dan juga beban (konsumen) sebagai penerima energi listrik dan ada beberapa sistem yang dilalui seperti jaringan transmisi (SUTTET) (GITET), jaringan distribusi lalu barulah beban dan dalam kenyataannya listrik sampai ke masyarakat tidak semudah dengan teori yang dipelajari ataupun di aplikasi yang telah disimulasikan, ada banyak faktor gangguan di lapangan seperti gangguan alam gangguan faktor alat itu sendiri dan masih banyak lainnya salah satu cara mengatasinya dengan memasang sistem proteksi pada main maupun sub main artinya harus adanya koordinasi sistem proteksi yang baik seperti pada *transformator* yaitu terpasangnya

OCR dan sebagai proteksi arus berlebih pada trafo dengan demikian alat dapat di selamatkan dari kerusakan ,

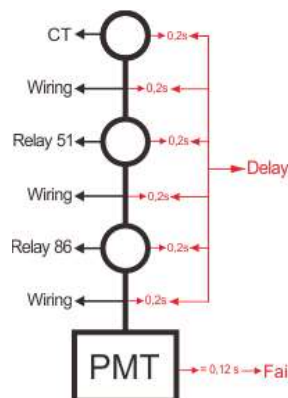
a. Persyaratan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Proteksi merupakan peralatan utama dalam sistem tenaga listrik, yang mempunyai fungsi sebagai pengaman baik arus ataupun tegangan dalam suatu sistem yang bila mana terjadi gangguan tidak normal maka proteksi akan bekerja dengan cepat untuk memutus (mentriapkan) dengan begitu tidak mempengaruhi kinerja sistem lain dan juga sistem lain menjadi membaik /tidak rusak.

Hutauruk (1991) menjelaskan bahwa sistem proteksi bertujuan untuk mengamankan gangguan. Cara kerja sistem proteksi adalah dengan cara mengisolir komponen atau bagian tempat terjadinya gangguan. Dengan demikian sistem proteksi harus memiliki hal-hal berikut ini:

a) Sensitifitas (Kepekaan)

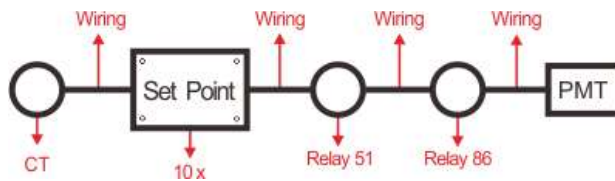
Sensitifitas ialah pekanya relay terhadap segala gangguan dengan tepat sesuai sarannya dan dengan set point yang telah di tentukan oleh petugas. Ketika gangguan itu sudah melewati set point yang telah di tentukan maka relay akan bertugas memutus bagian yang sedang bermasalah sesuai dengan perintahnya. Terkait dengan penjelasan di atas dapat di lihat pada gambar 2.13



Gambar 2. 13Ilustrasi Filosofi Sensitifitas Pada Skema Rangkaian

b) Speed (Kecepatan)

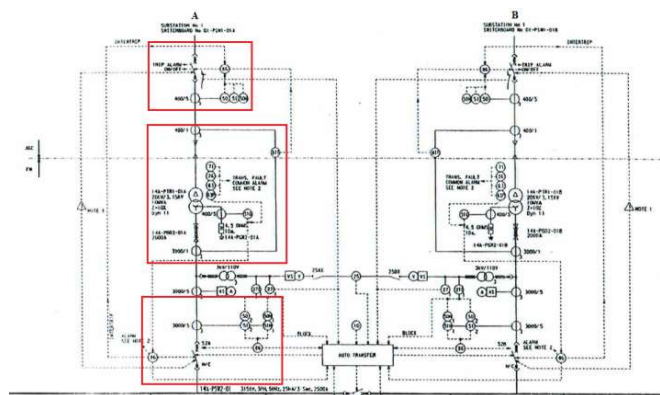
Dalam sistem proteksi perlu adanya akurasi ataupun kecepatan dalam perlindungan, ini dikarenakan ketika ada gangguan yang terjadi relay bisa langsung memutuskan gangguan tersebut sehingga gangguan yang terjadi tidak bisa menyebar dan merusak ke rangkain/komponen yang lain. Terkait dengan penjelasannya bisa dilihat pada gambar 2.14



Gambar 2. 14 Ilustrasi Filosofi Kecepatan Pada Skema Rangkaian

c) Selektivitas (Selektif)

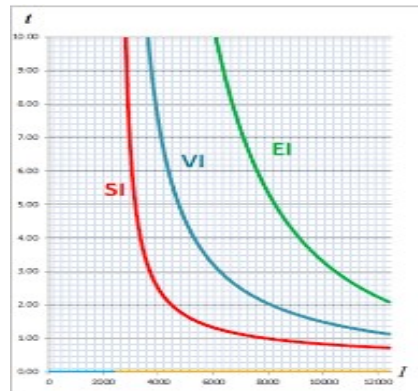
Selektifitas berarti proteksi mampu mengatasi atau mengeksekusi bagian yang terjadi gangguan saja tanpa harus mematikan ataupun mengganggu proses lainnya, dengan demikian dapat meminimalisir gangguan sekecil mungkin dan proteksi bertugas sesuai dengan sasarannya/tepat. Misalnya dalam suatu sistem terjadi gangguan di bagian suhu trafo maka proteksi akan mengatasinya sesuai dengan tugasnya tanpa mempengaruhi sistem lainnya. Terkait dengan penjelasannya bisa dilihat pada gambar 2.15



Gambar 2. 15 Ilustrasi Filosofi Selektifitas Pada Skema Rangkaian di PT.Petamina RU VI Balongan Indramayu, Jawa Barat

d) Reabilitas (Keandalan)

Reabilitas ialah dimana ketika relay menjalankan fungsinya dengan baik, keandalan relay di rekomendasikan 90% hingga 99%, dan salah satu langkah yang membuat atau meningkatkan keandalan relay yaitu dengan menambahkan relay proteksi back-up. Terkait dengan penjelasan



Gambar 2. 16 Ilustrasi Filosofi Keandalan

b. Faktor Penyebab Terjadinya Gangguan Pada Proteksi

Ardial Mardesnsyah (2008: 10) berpendapat bahwa “*Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang banya melibatkan komponen dan sangat kompleks. Oleh karena itu, terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik*” antara lain sebagai berikut :

a) Faktor manusia.

Faktor manusia menyangkut kesalahan atau kelalaian dalam Memberikan perlakuan pada sistem. Misalnya saja salah dalam melakukan penyambungan rangkaian, keliru dalam melakukan mengkalibrasi suatu piranti pengaman, dan sebagainya.

b) Faktor internal.

Faktor internal ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari dalam sistem itu sendiri. Misalnya usia pakai (ketuaan), keausan, dan lain sebagainya . Hal ini bisa mengurangi sensitivitas rele pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.

c) Faktor external.

Faktor external ini meliputi gangguan- gangguan ataupun masalah yang bersal dari luar atau lingkungan di sekitar sistem. Misalnya kadaan cuaca, gempa bumi, banjir bandang ,serta sambaran petir dan bencana alam lainnya. Di samping itu ada kemungkinan gangguan yang di sebabkan oleh binatang, misalnya gigitan tikus, burung, kelelawar, ular, dan sebagainya.

c. Tujuan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Tujuan adanya proteksi yaitu mempunyai fungsi utama, sesuai dengan pendapat tokoh ini adalah sebagai berikut:

- a) Untuk memastikan keamanan serta keselamatan manusia
- b) untuk meng-isolasi bagian yang bermasalah (dalam keadaan tidak normal) tanpa mempengaruhi bagian lain.
- c) Untuk meminimalisir bahaya.

2.2.4 Peralatan Relai Proteksi Transformator 2

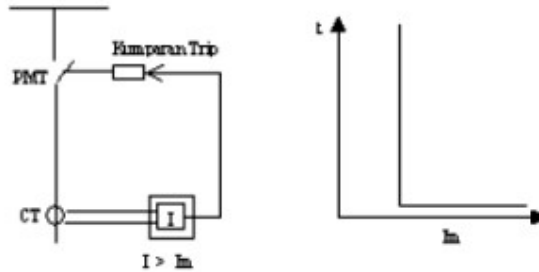
a. OCR (overcurrent relay)

Overcurrent current relay adalah suatu relay dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya. Agar alat tidak rusak jika ada arus yang melewati kemampuannya, selain peralatan tersebut diamankan terhadap kenaikan arusnya, maka peralatan pengamannya harus bekerja sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Adapun prinsip kerja *overcurrent current relay* (OCR) yaitu relay yang akan bekerja jika ada arus berlebih, rele OCR akan bekerja apabila ada arus yang melewatinya melebihi dari nilai setting arusnya. Relay ini bekerja dari nilai inputan berupa besaran arus yang mengalir padanya yang kemudian membandingkan dengan niali setting relay tersebut, jika nilai arus terbaca pada relay OCR melebihi nilai settingnya, maka relay akan memberi perintah ke tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) untuk trip (lepas), setelah waktu tunda yang sudah di tentukan.

b. Karakteristik Overcurrent Relay

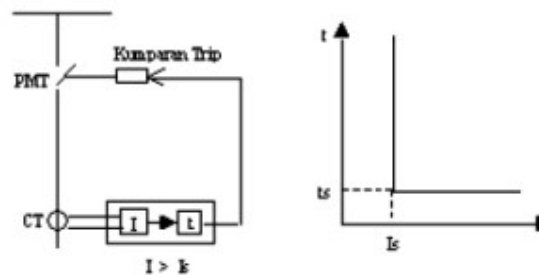
Berdasarkan karakteristiknya relay arus berlebih di bagi menjadi beberapa jenis diantaranya adalah sebagai berikut:

- *Relay instantaneous* adalah relay yang bekerja secara instan ataupun langsung tanpa adanya waktu tunda, jadi ketika suatu arus mengalir dan telah melebihi settingan semestinya yang telah di pasang maka relay akan bekerja dan memutus dan PMT maupun CB akan mentriapkan.



Gambar 2. 17 ilustrasi relay instanannoues

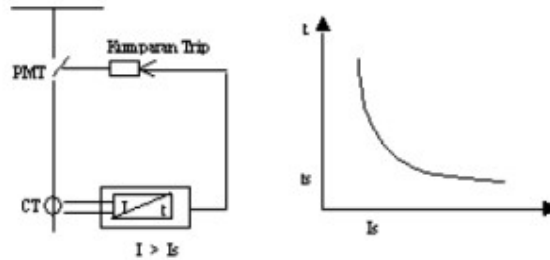
- Relay waktu tertentu (*Definite Time*) yaitu relay yang akan bekerja bila mana arus melebihi nilai setting (I_s) dan relay akan memberi perintah PMT untuk mentriapkan setelah selai waktu yang sudah di tentukan (T_s) yang tetap. Adapun pada relay relay definite time pengoprasian kerja tidak tergantung pada nilai setting arus asal dari relay tersebut dan arus serta waktu tundanya dapat di atur sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 2. 18 ilustrasi relay definite time

- Relay arus lebih waktu berbalik (*inverse time*) *Rele inverse time* adalah relay yang akan bekerja bila mana arus yang terdeteksi melebihi arus sttingnya (I_s) sehingga relay akan bekrja dengan cara memerintah PMT untuk mentriapkan tapi dengan waktu yang

tidak tetap tergantung dari besarnya arus gangguan. Semakin besar nilai arus gangguan pada suatu sistem maka nilai delay (waktu tunda) dari relay akan semakin cepat. Pada relay inverse time terbagi menjadi beberapa jenis diantaranya *standard inverse time*, *very inverse time*, *extremely inverse time*, *long time inverse*.



Gambar 2. 19 ilustrasi relay inverse time

Pada standard inverse ini memiliki rumus umum dengan ketentuan sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} \text{ tms}$$

Rumus 2. 1
standart invers

Keterangan:

- t : Time Setting Relay
- tms : Standar waktu setiing relay
- K : Konstanta standard inverse (0,14)
- α : Konstanta standard inverse (0,02)

c. Teori Perhitungan Setting Overcurrent Relay

Dalam melakukan setting overcurrent relay (OCR) biasanya dengan menghitung hasil dari perhitungan arus gangguan akibat hubung singkat, yang akan digunakan untuk mensetting arus lebih, terutama nilai setting *Time Multiple Setting* (TMS) dari relay arus lebih karakteristik jenis *standard inverse*. selain itu ketika nilai setting relay telah diperoleh, nilai arus gangguan hubung singkat dapat diasumsikan, dan digunakan untuk memeriksa arus relay tersebut, dengan

menganalisa apakah settingan masih efektif dan elektif atau nilai settingan harus diubah kenilai lain yang memberikan kerja rele yang lebih efektif dan selektif, atau telah rele telah memiliki selektifitas yang optimum dimana rele tidak bekerja terlalu lama tetapi menghasilkan selektifita yang handal.

Adapun untuk melakukan arus setting pada OCR disisi primer transformator daya adalah :

Agar mendapatkan nilai settingan sekunder untuk deset pada relay OCR maka perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan *Current Transformator* (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator daya.

$$Iset(sek) = Iset(prim) \times \frac{1}{ratio\ CT}$$

Rumus 2. 2
Settingan
Sekunder

Keterangan :

Inom : Arus nominal pada transformator

Iset : Setting Arus

Iset (Prim) : 1,05 x Inom trafo

Ratio CT : ratio current transformer

Adapun untuk pensettingan arus pada OCR dihitung berdasarkan arus beban yang mengalir disisi incoming ataupun disisi outgoing yaitu untuk kerja OCR yang terpasang dioutgoing masuk incoming feeder dihitung berdasarkan arus nominal transformator tenaga dan untuk kerja OCR yang terpaasng di outgoing di sisi 3,15 keluar outgoing dihitung berdasarkann arus beban maksimum beban puncak yang mengalir pada penyulang tersebut. Menurut british standard untuk rele inverse sering disetting sebesar 1,05 s/d 1,3 x Ibeban, sedangakn rele dfinite disetting sebesar 1,2 s/d 1,3 x Ibeban

Tipe kurva Standard α β L

Tabel 2. 2 Konstanta Karakteristik OCR Standar ANSI/IEEE dan IEC

Tipe kurva	Standard	α	β	L
<i>Moderately inverse</i>	IEEE	0.02	0,0515	0,114
<i>Very inverse</i>	IEEE	2.0	19,61	0,491
<i>Extremely inverse</i>	IEEE	2.0	28,2	0,1217
<i>Inverse</i>	COS	0.02	0,0239	0,0169
<i>Short-time inverse</i>	CO2	0.02	0,0239	0,0169
<i>Standard inverse</i>	IEC	0.02	0,14	0
<i>Very inverse</i>	IEC	1.0	80,0	0
<i>Extremely inverse</i>	IEC	2.0	80,0	0
<i>Long-time inverse</i>	UK	1.0	120	0

Standar IEEE Std 242-2001 menyatakan bahwa nilai grading time sebesar 0.2-04 detik. Hal ini dipengaruhi oleh:

- a. Kesalahan kerja rele
- b. Factor keamanan
- c. Waktu pembukaan PMT hingga hilang api.

Pada saat PMT dioperasikan oleh penyulang tersebut. Sebelum melakukan penyetingan pada setting pada waktu relay diawal dilakukan menghitung bebrapa perhitungan seperti impedansi transformator yang terdapat di substation dan beberapa perhitungan lainnya.

Adapun untuk menghitung arus hubung singkat dan arus pada sisi primer dan sisi sekunder maka di gunakan rumus sebagai berikut:

- Arus di sisi primer

$$I_{set} (primer) = 1,1 \times I_{beban} \quad \text{Rumus 2. 3}$$

Keterangan:

1,1 = konstanta

Ibeban = Arus beban

- Rumus di sisi sekunder:

$$I_{set} (sekunder) = I_{set} (primer) \times 1/\text{Rasio CT} \quad \text{Rumus 2. 4}$$

Keterangan:

Iset (primer) = Arus setting pada sisi primer

Rasio CT = ratio current transformer

- Hubung singkat 3 fase

$$I = \frac{V_{ph}}{\sqrt{Z_{1eq}}} \quad \text{Rumus 2. 5}$$

- Hubung singkat 2 fase

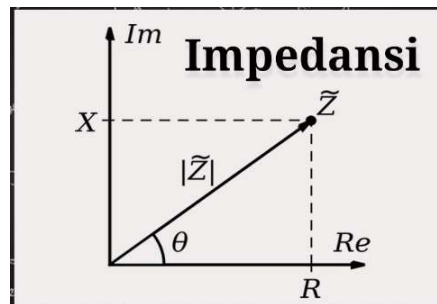
$$I_{2fase} = \frac{V_{ph} - ph}{\sqrt{Z_{1eq} + Z_{2eq}}} \quad \text{Rumus 2. 6}$$

- Hubung singkat 1 fase

$$I_{1fase - ground} = \frac{3 \times V_{ph}}{\sqrt{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}}} \quad \text{Rumus 2. 7}$$

a) Perhitungan impedansi

Impedansi merupakan AC ekivalen terhadap resistansi pada sisitem DC dengan penambahan efek reaktansi. Impedansi di simbolkan dengan huruf Z dan merupakan penjumlahan vector antara resistansi dan rekatsi.



Gambar 2. 20 Grafik Hubungan impedansi

Dangan persamaan rumus:

$$Z = R + j \text{ Dimana,}$$

$$Z = \text{Impedansi } (\Omega)$$

$$R = \text{Resistansi } (\Omega)$$

$$X = \text{Reaktansi } (\Omega)$$

Reaktansi merupakan fenomena pada sisitem AC yang yang terdiri dari reaktansi kapasitif dan induktif. Energi di butuhkan komponen untuk bereaksi terhadap sumber dan berakibat menurunkan ketersediaan daya yang dapat digunakan.

a) Perhitungan impedansi kabel dipengaruhi oleh Panjang, luas penampang dan jenis penghantar yang digunakan. Perhitungan impedansi kabel bergantung pada nilai resistansi kabel yang terdapat pada data sheet kabel pabrikan. Pada

dasarnya persamaan yang digunakan untuk mencari impedansi kabel sama dengan impedansi umum yaitu sebagai berikut:

$$Z = R + jX$$

Dimana:

Z = Impedansi

R = Resistansi

X = Reaktansi

b) Perhitungan impedansi transformator

perhitungan impedansi transformator dapat dilakukan dengan mengamati nameplate transformator yang menampilkan spesifikasi dan transformator. Persamaan yang digunakan untuk memperoleh nilai impedansi dari transformator adalah:

$$Z_{trafo} = z\% \frac{v_p^2}{S}$$

Rumus 2. 8
impedansi
transformator

Dimana:

Ztrafo = Impedansi Transformator (Ω)

Z% = Presentase Impedansi Transformator

Vp = Tegangan Primer Transformator (V)

S = Daya Maksimal Transformator (VA)

c) Perhitungan impedansi sumber

Untuk perhitungan impedansi sumber dilakukan dengan persamaan:

$$Z_S = \frac{v^2}{P_{SC}}$$

Rumus 2. 9
impedansi
sumber

Dimana,

Z_s = impedansi sumber (Ω)
 V = tegangan sumber (V)
 P_{sc} = daya hubung singkat (VA_{sc})
 (Pranayuda dkk, 2012)

Adapun jika daya hubung singkat belum diketahui maka dapat dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{sc} = \sqrt{3} \times I_{sc} \times V$$

Keterangan :

P_{sc} = Daya hubung singkat (VA_{sc})
 I_{sc} = Arus hubung singkat (A)
 V = Tegangan (V)

d. Setting Time Multiple Setting (TMS)

Untuk melakukan setting *TMS* dan kerja relay pada jaringan distribusi biasanya menggunakan *Standard Invers* yang dihitung menggunakan rumus kurva waktu dan arus, dalam hal ini juga dapat diambil persamaan dari arus kurva waktu *standard british*, sebagai berikut:

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

Rumus 2. 10
Setting Time
Multiple
Setting

Dan

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

Keterangan :

TMS : Time Multiple Setting

- t : Waktu trip (s)
- Ifault : Besarnya arus gangguan hubung singkat (A) setelah OCR inverse diambil arus gangguan hubung singkat terbesar
- Iset : besarnya arus setting disisi primer (A) Setelah OCR inverse diambil standard (BS) 1,05 s/d 1,3 x Ibeban
- α, β : Konstanta

e. Perhitungan Arus Nominal (Full Load Ampere)

Arus nominal merupakan arus maksimal yang digunakan beban dalam keadaan normal. Arus nominal dapat dihitung dengan diketahui daya semu beban:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

Rumus 2.
11
Perhitungan
Arus
Nominal

Dimana,

I_n = kuat arus nominal (A)

S = daya semu (VA)

V = tegangan (V)

f. Perhitungan arus hubung singkat

Pada umumnya perhitungan arus hubung singkat merupakan penjabaran dari hukum ohm pada sistem DC:

$$I = V R$$

Rumus 2. 12
Perhitungan
arus hubung
singkat

Dimana pada AC nilai R (resistansi) digantikan dengan nilai Z yang merupakan penjumlahan vektor antara R (resistansi) dan X (reaktansi). Sehingga di peroleh persamaan:

$$I = V Z$$

Rumus 2.
13
prhitungan
hubung
singkat

Dari persamaan dasar tersebut didapatkan persamaan untuk menghitung arus hubung singkat yang terjadi pada busbar, yaitu:

$$I_{sc} = \frac{cVL - L}{\sqrt{3} \times Z_{ekivalen}}$$

Rumus 2. 14

Dimana :

I_{sc} = kuat arus hubung singkat (A)

I = Arus (A)

VL-L = Tegangan fase ke fase (V)

VL-N = Tegangan fase ke netral (V)

R = Resistansi (Ω)

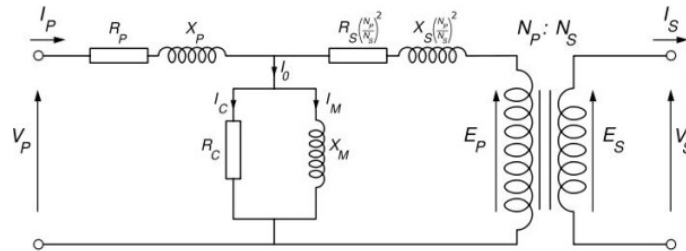
V_p = Tegangan primer(V)

Z_{kabel} = Impedansi kaebel (Ω)

Z_{trafo} = Impedansi transformator (Ω)

Z_{sumber} = Impedansi sumber (Ω)

Rumus dasar dimana impedansi/ hambatan yang di pasang secara seri merupakan rangkaian pembagi tegangan sedangkan impedansi yang di pasang secara pararel merupakan pembagi arus.



Gambar 2. 21Rangkaian ekivalen 1 fase

Dimana rangkaian tersebut dapat di sederhanakan menjadi gambar b untuk memperoleh nilai V_{Zp} dihitung dengan rumus

$$V_{Zp} = I_{total} \times Z_p \quad \text{Rumus 2. 15} \\ \text{mencari } V_{pz}$$

Pada rangkaian pararel untuk mencari nilai arus yang melewati Z_1 adalah ;

$$I_{Z1} = \frac{v_p}{Z_1} = \frac{I_{total} \times Z_p}{Z_1} \quad \text{Rumus 2. 16} \\ \text{mencari } I_{z1}$$

2.2.4 Software ETAP

ETAP atau (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan perangkat lunak yang di gunakan untuk analisa sistem tenaga listrik ataupun untuk merancang skemanya. Perangkat lunak *ETAP* 12.6 dapat bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, dan dapat di digunakan untuk data real dengan online atau untuk menggunakan sistem secara real-time. adapun fitur didalamnya bermacam-macam diantaranya fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkit tenaga listrik, system transmisi maupun sisitem distribusi listrik. *ETAP* ini pada awalnya di buat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keadaan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sebagai monitor manajemen energi secara real time, simulasi, kontrol, dan optimasi pada sisitem tenaga listrik, (Awaluddin, 2007). *Software ETAP 12.6* dapat digunakan

untuk membuat proyek tenaga listrik yang mampu di simulasikan pada program yang telah di bentuk dalam langkah yang tepat dengan satu garis (one line diagram) dan jalur system pertahanan dalam berbagai analisis , antara lain: aliran daya, hubung singkat, *starting motor*, *transient stability*, koordinasi relay proteksi dan system harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki elemen rangkaian masing-masing yang dapat di edit langsung dari diagram satu garis dan jalur pertahanan. Hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

Adapun beberapa analisa untuk sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan pada *software ETAP 12.6* antara lain:

- a. Analisa aliran daya (*Load flow analysis*)
- b. Analisa hubung singkat (*Short circuit analysis*)
- c. *Motor starting*
- d. *Arc flash analysis*
- e. *Harmonics power system*
- f. Analisa kesetabilan transien (*Transient stability analysis*)
- g. *Protective device coordination*