

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berikut beberapa penelitian mengenai analisis proteksi serta setting rele diferensial pada Busbar di suatu Switchyard atau Gardu induk yang pernah dilakukan sebagai rujukan penulis guna mendukung penyusunan skripsi ini.

1. Menurut Bonar Pandjaitan Tahun 2012 Buku tentang *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik* “Proteksi dan kendali sistem tenaga merupakan subjek yang sangat kompleks dan memerlukan pemahaman yang baik tentang komponen sistem tenaga listrik dan berbagai kondisi abnormal yang dapat terjadi sebagai akibat hubung singkat maupun kegagalan peralatan”.
2. I Made Dian Purnawan (2015) melakukan penelitian yang berjudul *Studi Pengaman Busbar pada Gardu Induk Amlapura*. Dari penulisan yang ia lakukan didapat kesimpulan bahwa “Pengaman busbar adalah suatu sistem proteksi yang berperan penting dalam mengamankan gangguan yang terjadi pada busbar itu sendiri. Sistem proteksi ini harus bekerja secara sensitif, selektif, cepat, dan harus stabil untuk gangguan yang terjadi diluar daerah proteksi busbar. Pada Gardu Induk Amlapura, jika salah satu busbar mengalami gangguan atau tidak adanya pengaman yang mengamankan busbar tersebut seperti

yang ada pada Gardu Induk lain, akan mengakibatkan adanya ketidakseimbangan yang dirasakan oleh sistem dan dapat mengakibatkan kontinuitas aliran daya dapat terganggu”.

3. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Wildan Imanur Rahman tentang *Setting Rele diferensial Bus High Impedance Pada Sistem Distribusi Ring 33 kV di PT. Pertamina RU V Balikpapan*. Menjelaskan bahwa “Prinsip kerja rele diferensial mengacu pada hukum kirchoff yaitu keseimbangan jumlah arus antara jumlah arus yang masuk dan jumlah arus yang keluar pada suatu titik. Rele diferensial hanya bekerja jika terjadi gangguan pada daerah yang diproteksi dan tidak terpengaruh dengan adanya gangguan akibat beban lebih. Daerah yang diproteksi rele diferensial dibatasi oleh CT yang dipasang pada setiap incoming dan outgoing yang terhubung pada daerah yang diproteksi tersebut. Rele diferensial digunakan sebagai pengaman utama karena sifatnya yang dapat bekerja dengan kecepatan tinggi serta sangat selektif mengamankan gangguan yang muncul. Pada kondisi normal, jumlah arus yang masuk akan sama dengan jumlah arus yang keluar daerah yang diproteksi”.
4. Luthfi Sandi Putra (2016) melakukan penelitian yang berjudul *Studi Proteksi Busbar 150 kV dengan Rele diferensial di GI Tangerang baru*. Dari penulisan yang ia lakukan didapat kesimpulan bahwa “untuk menjamin kestabilan rele diferensial busbar dengan memasang stabilitas resistor (R_{st}) maka tegangan setelan rele harus lebih besar

dari tegangan kerja drop rele ($V_s > V_r$), sehingga rele high impedance lebih stabil low impedance”.

5. Yuniarto, dkk (2017) melakukan penelitian yang berjudul *Setting Rele diferensial pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi*. Dari penulisan yang Ia lakukan didapat kesimpulan bahwa “Setting rele diferensial sangat diperlukan guna mencegah arus gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik yang stabil”.
6. G. Altama (2017) melakukan penelitian yang berjudul *Analisis Proteksi Differential Rele Main Transformer (87GT) pada Pembangkit listrik Tenaga Panasbumi Unit 4 PT. Pertamina geothermal energi area Kamojang*. Dari penulisan yang ia lakukan didapat kesimpulan bahwa “Apabila hasil perhitungan setting rele diferensial sesuai dengan data actual, maka dapat dipastikan bahwa sistem proteksi rele diferensial pada main transformer kamojang unit 4 sudah handal terhadap gangguan yang akan terjadi baik gangguan internal maupun gangguan eksternal”.
7. Nor Ria Fitriani (2017) melakukan penelitian yang berjudul *Analisis Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Proteksi pada Transformator Daya 16 MVA di Gardu Induk Jajar*. Mengatakan bahwa “Rele diferensial bekerja tanpa koordinasi dengan rele yang lain, sehingga kerja rele ini memerlukan waktu yang cepat. Berbeda dengan sifat rele yang lain, rele ini bersifat sangat selektif. Sifat selektif yang dimaksud

adalah rele diferensial tidak akan bekerja pada saat normal atau gangguan di luar daerah pengamanan. Rele ini juga tidak dapat dijadikan sebagai pengaman cadangan dan rele ini memiliki daerah pengamanan yang dibatasi oleh trafo arus (CT)”.

8. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Julian Maruli Torang Manurung tentang *Studi Pengaman Busbar 150kV pada Gardu Induk Siantan*. Dari penulisan yang ia lakukan didapat kesimpulan bahwa “Dengan konfigurasi busbar yang ditawarkan atau dirancang, maka bila terjadi gangguan pada salah satu busbar hanya busbar yang gangguan dan PMT Kopel saja yang trip sedangkan busbar yang tidak terganggu akan aman”.
9. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Muhammad Irsyam tentang *Analisa Trouble Diferensial Rele Terhadap Trip CB (Circuit Breaker) 150kV Transformator 30 MVA PLTGU Panaran*. Mengatakan bahwa “Sistem proteksi merupakan kesatuan yang tidak dapat dipisahkan dalam ketenagalistrikan. Sistem proteksi yang handal akan menjaga sistem kelistrikan serta menjaga alat dari kerusakan yang lebih besar akibat gangguan dalam (internal) dan gangguan luar (external)”.
10. Fitriani (2017) melakukan penelitian yang berjudul *Analisa Penggunaan Rele diferensial sebagai Proteksi utama pada Transformator Daya 16 MVA di Gardu Induk Jajar*. Dari penulisan

yang Ia lakukan didapat kesimpulan bahwa arus *setting* yang didapat sebesar 0.3 A dan diharapkan dapat bekerja dengan optimal.

Adapun penelitian yang penulis lakukan berjudul “Analisis Proteksi Rele diferensial (87B) pada Busbar di Switchyard 150kV Pembangkit listrik tenaga panasbumi (PLTP) Unit 4 PT. Pertamina geothermal energi area Kamojang”. Pada penelitian ini, penulis melakukan perbandingan perhitungan antara *setting differential rele* berdasarkan teori dengan data actual *setting differential rele* pada Busbar di Switchyard PLTP Kamojang unit 4 untuk mengetahui kehandalan sistem kelistrikan dan melakukan simulasi *differential rele* pada Busbar dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pendahuluan

Suatu sistem tenaga listrik pada dasarnya terdiri dari beberapa susunan yaitu pembangkit, transmisi dan jaringan distribusi yang terhubung satu sama lain untuk membangkitkan, mentransmisikan dan mendistribusikan tenaga listrik tersebut hingga dapat dimanfaatkan oleh seluruh konsumen. Karena manfaat dan fungsi suatu sistem tenaga listrik yang sangat vital dalam kehidupan sehari-hari maka pengembangan sistem harus dilakukan dengan perancangan yang sangat matang dan mempertimbangkan semua aspek terkait secara menyeluruh dalam arti luas, oleh sebab itu sistem yang akan dibangun dapat dikelola secara optimal, aman, ekonomis serta handal.

2.2.1.1 Perangkat Proteksi

Ada berbagai cara yang dapat dan sering digunakan dalam mendefinisikan perangkat proteksi suatu sistem tenaga listrik, yaitu :

1. Sistem proteksi merupakan susunan perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan prinsip-prinsip proteksi sesuai dengan definisi yang terdapat pada standar IEC 6255-20
2. Perangkat proteksi merupakan kumpulan perangkat proteksi seperti rele, sekring dan lain-lainnya di luar perangkat trafo arus, perangkat pemutus tenaga yang biasa disingkat CB (*Circuit Breaker*), kontaktor, dan lain sebagainya.
3. Skema proteksi merupakan kumpulan dari perangkat proteksi yang berfungsi untuk melakukan proteksi di mana semua perangkat yang termasuk dalam sistem proteksi terlibat di dalamnya seperti rele, trafo tegangan, trafo arus, PMT (Pemutus) atau CB (*Circuit Breaker*), baterai, dan lain sebagainya.

Pada dasarnya prinsip kerja sebuah rele proteksi dapat dibuat berdasarkan satu besaran tunggal, seperti halnya rele arus lebih yang prinsip kerjanya hanya berdasarkan arus gangguan semata. Namun dalam rangka memenuhi keperluan proteksi efektif yang memenuhi kriteria stabil, cepat, dan selektif yang dapat disetel sesuai konfigurasi jaringan, kondisi operasi yang berbeda-beda, maka suatu rele proteksi seyogyanya dapat dibuat untuk merespon terhadap berbagai perubahan besaran listrik.

Sebagai contoh, meskipun sebuah rele arus lebih dapat digunakan untuk memproteksi jaringan distribusi radial hanya berdasarkan level arus gangguan namun pada jaringan yang kompleks sistem proteksi tidak lagi bisa hanya mengandalkan pengukuran besaran tunggal. Untuk dapat melakukan proteksi secara efektif maka perangkat proteksi perlu mampu merespons besaran-besaran listrik lain seperti besar daya, tegangan, frekuensi, sudut fasa ataupun impedansi jaringan yang berguna untuk menentukan arah dan jarak gangguan.

2.2.1.2 Zona Proteksi

Pada zona proteksi dalam membatasi luasnya daerah sistem tenaga yang harus diisolasi jika terjadi gangguan maka sistem proteksi tenaga listrik dibuat secara selektif berdasarkan zona atau daerah proteksi. Idealnya zona proteksi harus saling tumpang-tindih (*overlap*) sedemikian sehingga tidak ada bagian jaringan yang tidak teramankan. Kebutuhan ini misalnya dapat diterapkan dengan meletakkan dua trafo arus yang mengapit pemutus(PMT).

Titik hubung proteksi sistem tenaga merupakan letak penempatan rele proteksi yang umumnya menentukan zona proteksi sehingga sangat erat kaitanya dengan penempatan lokasi trafo.

2.2.1.3 Faktor Keandalan

Kebutuhan perangkat sistem proteksi dengan tingkat keandalan yang tinggi merupakan salah satu faktor pertimbangan yang sangat penting dalam perencanaan jaringan sistem tenaga listrik, yaitu sebagai berikut:

1. Perancangan

Desain atau perancangan sistem proteksi adalah tahapan atau proses yang sangat penting yang dapat menentukan baik tidaknya suatu sistem proteksi. Pada waktu perancangan, sistem proteksi harus sudah bisa dipertanggung jawabkan bahwa sistem proteksi yang dirancang pasti dapat bekerja sesuai parameter operasidan konfigurasi jaringan yang telah ditetapkan sebelumnya. Sistem proteksi tersebut harus senantiasa berada pada posisi siaga (*standby*) pada waktu kondisi normal, tidak ada gangguan yang harus ditanggulangi. Di sini suatu rele tidak boleh bekerja terhadap arus beban normal maupun arus gangguan yang terjadi di luar daerah proteksinya.

2. Setelan

Setelan rele juga merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam aplikasi proteksi sistem tenaga listrik. Seorang teknisi tenaga listrik, khususnya ahli sitem proteksi, harus mampu menentukan setelan yang tepat terhadap setiap rele proteksisesuai lokasinya pada sistem tenaga dan memperhitungkan semua parameter sistem tenaga, seperti

level arus gangguan, beban normal dan berbagai parameter lain yang dibutuhkan sistem kerja dinamis.

3. Instalasi

Instalasi sistem proteksi juga salah satu faktor sangat penting yang harus dilakukan secara benar dan rapi mengikuti prosedur instalasi sesuai standar instalasi yang berlaku. Mengingat beragamnya diagram sistem interkoneksi dan hubungannya dengan fungsi masing-masing *wiring* maka sistem instalasi harus dibuat dengan menggunakan gambar dan diagram yang menunjukan setiap fungsi wiring sehingga pada waktu pengetesan (*commissioning*) dan pemeliharaan maka para operator tidak akan mengalami kesulitan. Oleh karena itu pengetesan di lapangan merupakan hal penting yang perlu dilakukan dari wiring demi wiring dan dari satu titik ke titik yang lain sehingga sistem dapat bekerja dengan benar tanpa perlu menirukan semua jenis gangguan. Pada prinsipnya pengetesan instalasi ini harus ditujukan untuk memastikan bahwa semua instalasi sudah terlaksana dengan benar dan baik.

4. Pengetesan

Pengetesan pada rele proteksi merupakan salah satu tahapan yang juga sangat penting dan harus dilakukan secara lengkap, mencakup semua aspek skema proteksi, khususnya sebelum jaringan sistem tenaga dioperasikan.

5. Kinerja proteksi

Kinerja suatu sistem proteksi perlu dinilai secara statistik dan dilakukan secara periodik. Untuk keperluan masing-masing sistem gangguan diklasifikasikan sebagai kejadian dan idealnya hanya kejadian ini yang perlu dialokasikan dengan mentripping circuit breaker secara tepat sesuai klasifikasi dan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan klasifikasi dan kriteria ini diharapkan kinerja proteksi dapat dinilai secara tepat dan benar.

2.2.1.4 Selektivitas

Selektivitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga merupakan kemampuan rele proteksi dalam melakukan tripping secara tepat sesuai dengan rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain sistem proteksi. Dan suatu sistem proteksi tenaga harus bias bekerja secara selektif sesuai klasifikasi dan jenis gangguan yang harus di amankan.

2.2.1.5 Stabilitas

Stabilitas sistem proteksi tujuannya untuk menggambarkan kemampuan sistem proteksi tertentu untuk tetap bertahan pada karakteristik kerjanya dan tidak terpengaruh beberapa faktor di luar zona atau daerah proteksinya, misalnya pada arus gangguan lebih dan arus beban lebih. Dan stabilitas juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk tetap konsisten hanya bekerja pada daerah proteksinya saja, di mana

alat tersebut dibuat serta dirancang untuk tidak terpengaruh oleh berbagai parameter luar yang tidak merupakan besaran yang diperhitungkan.

2.2.1.6 Kecepatan

Fungsi sistem proteksi bekerja untuk mengisolasi gangguan-gangguan yang diharapkan dapat bekerja sesegera dan secepat mungkin. Tujuan utamanya yaitu untuk mengamankan kontinuitas pasokan daya dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang kearah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem yang pada akhirnya dapat meruntuhkan sistem tenaga tersebut.

2.2.1.7 Sensitivitas

Sensitivitas merupakan suatu istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti tegangan, level arus minimum, daya dan besaran lain di mana rele atau skema proteksi masih dapat bekerja dengan baik. Suatu rele dapat dikatakan sensitif bila parameter operasi utamanya rendah. Maksudnya adalah semakin rendah besaran parameter penggerak maka perangkat tersebut dikatakan semakin sensitif.

Sensitivitas pada rele elektromekanikal terdahulu biasanya dikaitkan dengan kepekaan dari perangkat bergerakanya terhadap daya yang diserap dalam bentuk Volt Ampere di mana rele bekerja. Semakin kecil Volt Ampere yang dibutuhkan maka rele elektromekanikal tersebut

semakin sensitif. Pada rele-rele numerik, sensitivitas tidak dikaitkan lagi pada perangkat kerasnya tetapi lebih pada aplikasi dan parameter trafo arus (CT-*Current Transformer*) atau trafo tegangan (VT-*Voltage Transformer*) yang digunakan.

2.2.2 Proteksi Busbar

Busbar merupakan titik pertemuan atau hubungan antara transformator tenaga, saluran udara, saluran kabel atau peralatan listrik lainnya yang berfungsi untuk menerima dan menyalurkan energi listrik. Busbar dalam sistem tenaga listrik memiliki peranan yang sangat penting, karena berfungsi sebagai tempat terhubungnya antara semua bay yang ada pada suatu switchyard atau gardu induk, seperti pada bay transformator dan bay line.

Menurut buku peralatan Gardu induk PT. PLN (Persero) desain konfigurasi dalam Gardu Induk yang dikelola oleh PT. PLN (Persero) pada umumnya menggunakan tiga jenis konfigurasi busbar, yaitu busbar tunggal (single busbar), busbar ganda (double busbar) dan busbar setengah PMT (one and a half busbar). Walaupun pada kenyataannya gangguan busbar jarang sekali terjadi dibandingkan gangguan pada penghantar, namun pada pengoperasiannya busbar tidak terlepas dari gangguan atau kondisi abnormal. Gangguan pada busbar akan menghasilkan dampak yang jauh lebih besar daripada gangguan pada penghantar, terutama apabila busbar tersebut terhubung dengan kapasitas pembangkit yang besar. Hal tersebut dikarenakan gangguan busbar dapat mengakibatkan kerusakan pada

peralatan instalasi yang sangat besar baik peralatan pada gardu induk ataupun peralatan instalasi lain seperti pembangkit, selain itu juga dapat mengganggu keandalan sistem dalam menyalurkan pasokan daya. Adapun dampak lain yang dapat ditimbulkan oleh gangguan di bus jika gangguan tidak segera diputuskan antara lain adalah timbulnya masalah stabilitas transient dan dimungkinkan rele arus lebih atau Over Current Rele (OCR) dan rele gangguan tanah atau Ground Fault Rele (GFR) di sistem bekerja sehingga pemutusan menyebar, dan dampak lainnya seperti kerusakan instalasi juga dapat terjadi.

Oleh karena itu proteksi busbar (*Busbar Protection*) sangat memiliki peranan penting dalam sistem kelistrikan, untuk itu proteksi ini harus bekerja secara cepat, selektif, sensitive dan harus stabil untuk gangguan yang terjadi di luar daerah atau zona proteksinya (gangguan diluar busbar rele tidak boleh trip). Secara sederhana daerah kerja proteksi busbar yaitu dimana sistem proteksi busbar ini harus dapat bekerja tanpa adanya tunda waktu (*instantaneous*) apabila terjadi gangguan di dalam zona proteksinya, sedangkan untuk gangguan yang terjadi di luar daerah atau zona proteksinya, proteksi busbar tidak boleh bekerja atau rele harus stabil.

Busbar pada suatu sistem tenaga listrik adalah jaringan interkoneksi antara dua jaringan atau lebih yang terdapat pada gardu induk. Jumlah pembangkit, transmisi atau trafo yang terhubung ke busbar bervariasi tergantung dari posisi gardu dan letak strategisnya ditengah-tengah jaringan. Mengingat busbar ini merupakan titik tumpu sejumlah jaringan-jaringan

yang saling terhubung maka setiap gangguan yang terjadi pada busbar tersebut bisa menyebabkan kerugian yang besar yang bahkan bisa mengganggu stabilitas sistem tenaga secara keseluruhan. Oleh karena itu penerapan sistem proteksi busbar harus dikaji secara mendalam dan hati-hati baik secara teknis maupun secara ekonomi.

Sebenarnya sistem proteksi suatu sistem tenaga listrik pada prinsipnya harus mencakup semua aspek terhadap semua kemungkinan jenis gangguan yang bisa terjadi termasuk gangguan-gangguan yang terjadi pada busbar. Sistem proteksi saluran transmisi sebenarnya dapat memenuhi kebutuhan sistem proteksi sistem tenaga tanpa memperdulikan dimanapun letak gangguan yang terjadi. Seperti misalnya rele arus lebih ataupun rele jarak yang dipasang secara independent. Masalahnya terletak pada waktu clearing yang mungkin berbeda tergantung dari letak gangguan. Gangguan yang terjadi pada daerah busbar sebenarnya dapat juga ditangani oleh rele arus lebih ataupun dengan rele jarak tetapi dengan waktu delay tertentu yang mungkin sudah terlalu lama sehingga tidak sesuai dengan kebutuhan.

Namun sebaliknya hal yang perlu dipertimbangkan bila tidak menggunakan proteksi busbar adalah resiko kerusakan yang bisa terjadi sebagai akibat yang timbul karena gangguan busbar yang tidak tertanggulangi yang bisa berujung dengan meluapnya daya (MVA) yang sangat besar yang mengalir menuju titik gangguan yang bisa menyebabkan gardu tersebut terbakar habis dan mengalami kerusakan yang hebat.

2.2.2.1 Karakteristik Proteksi Busbar

Pada dasarnya karakteristik sistem proteksi busbar yang dibutuhkan tidak mempunyai perbedaan yang principal dengan sistem proteksi lain, di mana faktor utama pada proteksi busbar terletak pada kecepatan dan stabilitas seperti yang akan dibicarakan pada bagian-bagian berikut ini.

1. Kecepatan

Proteksi busbar utamanya berguna untuk:

- Membatasi konsekuensi kerusakan
- Menghilangkan gangguan dalam waktu kurang dari waktu proteksi cadangan, dengan tujuan pokok adalah untuk mempertahankan stabilitas.

Beberapa skema rele konvensional terdahulu menggunakan sistem diferensial impedansi rendah dengan waktu operasi proteksi yang relatif lama yaitu sampai 0,5 detik. Basis dari semua proteksi busbar modern adalah dengan menggunakan prinsip diferensial impedansi rendah yang dibias ataupun rele impedansi tinggi yang tidak dibias.

Sistem proteksi tersebut harus mampu bekerja hanya beberapa cycles pada setelan gangguan pada beberapa kali normal. Waktu tersebut harus ditambahkan waktu tripping rele-rele lain terkait, namun waktu operasi total yang dihasilkan di luar kelambatan pemutus daya seharusnya kurang dari dua cycles. Dengan menggunakan circuit breaker berkecepatan tinggi, total waktu penanggulangan gangguan dapat dicapai hingga 0,1

detik. Sistem proteksi busbar dengan menggunakan sistem frame-earth mempunyai waktu proteksi yang hampir sama dengan waktu tersebut.

2. Stabilitas

Gangguan busbar adalah gangguan yang terjadi dengan tingkat kejadian yang sangat jarang, misalnya bisa terjadi hanya satu kali gangguan per busbar dalam dua puluh tahun. Walaupun demikian, bila stabilitas sistem tenaga sungguh-sungguh menjadi prioritas utama dan merupakan kebutuhan mutlak, maka pemasangan proteksi gangguan busbar menjadi sangat penting dan tidak terhindarkan. Dengan memasang proteksi busbar, maka tingkat kemampuan mengatasi gangguan-gangguan pada sistem tenaga yang dihadapi akan lebih baik.

2.2.2.2 Prinsip Proteksi Diferensial Busbar

Prinsip sistem proteksi diferensial pada sistem dengan banyak saluran sebenarnya langsung diperoleh dengan menerapkan hukum kirchoff pertama. Penggerak rele biasanya adalah arus sirkulasi yang timbul sebagai akibat penjumlahan arus-arus pada trafo-trafo arus yang terhubung parallel ke rele melalui kawat-kawat penghubung.

Dalam keadaan normal arus sirkulasi yang menuju rele sama dengan nol, sehingga rele tidak akan bekerja. Rele tersebut baru aktif bila busbar mengalami gangguan hubung singkat ke tanah yang menyebabkan arus yang mengalir ke kumparan rele tidak lagi sama dengan nol tetapi sudah berubah menjadi arus diferensial pada nilai yang sudah melebihi setelan yang sudah ditentukan.

2.2.3 Rele Diferensial pada Saluran Transmisi

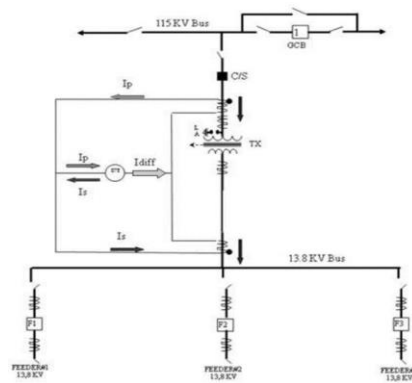
2.2.3.1 Rele Diferensial

Rele diferensial adalah rele proteksi utama pada trafo yang dibuat bekerja secepat mungkin saat terjadi gangguan. Rele diferensial tidak dapat dijadikan sebagai rele cadangan dikarenakan pemasangannya dibatasi oleh kedua trafo arus disisi *incoming* dan *outgoing*. Proteksi rele diferensial bekerja dengan metode keseimbangan arus.



2.1 Gambar Rele Diferensial PLTP Unit 4

Prinsip kerja rele diferensial berdasarkan *hukum kirchoff* yaitu membandingkan arus yang masuk dengan arus yang keluar pada trafo.



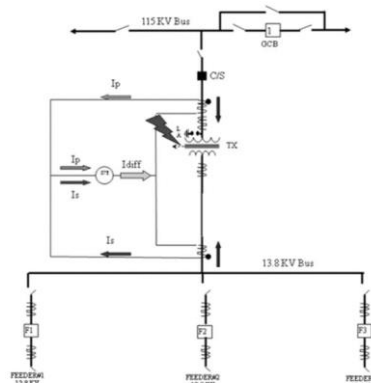
(sumber :Liem Ek Biem dan Dita Helna, 2007)

Gambar 2.2 Rele Diferensial dalam keadaan arus normal.

Pada gambar 2.2 diatas menunjukkan tidak ada arus yang mengalir melalui rele tersebut sehingga rele diferensial tidak akan bekerja.

2.2.3.2 Gangguan di dalam Daerah yang dilindungi

Pada saat arus yang mengalir di dalam daerah yang dilindungi oleh rele diferensial melebihi batas arus *setting*, maka rele diferensial akan memerintahkan *circuit breaker* untuk memutuskan jaringan, sehingga transformator daya terbebas dari gangguan yang terjadi.

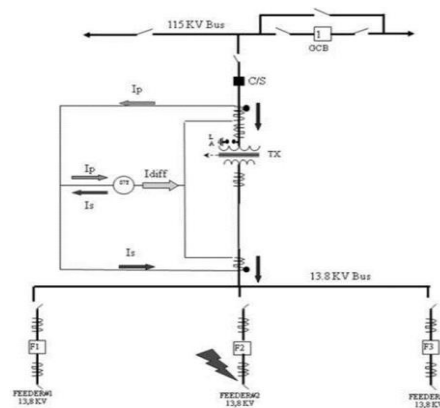


(sumber :Liem Ek Biem dan Dita Helna, 2007)

Gambar 2.3 Rele Diferensial saat gangguan internal

2.2.3.3 Gangguan di luar Daerah yang dilindungi

Pada gangguan diluar zona proteksi rele diferensial, maka rele diferensial tidak akan bekerja karena arus yang mengalir memiliki nilai arus yang sama, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar berikut.

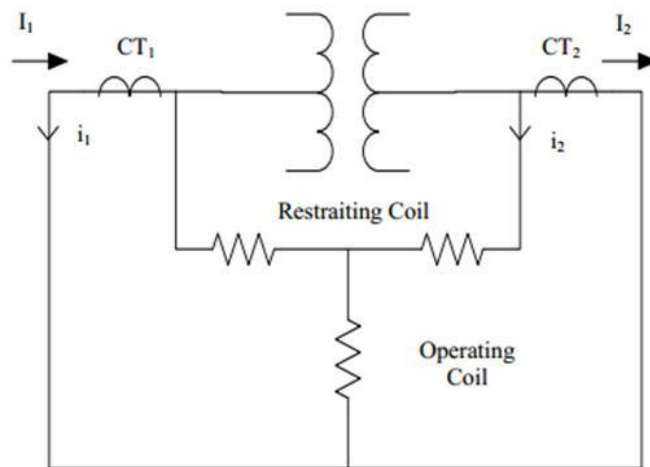


(sumber :Liem Ek Biem dan Dita Helna, 2007)

Gambar 2.4 Rele Diferensial saat gangguan eksternal

2.2.3.4 Karakteristik Rele diferensial

Karakteristik rele diferensial dibuat dengan prinsip keseimbangan arus untuk menghindari kesalahan kerja. Kesalahan kerja yang diakibatkan oleh trafo arus (CT), yaitu terjadi pergeseran fasa yang diakibatkan oleh belitan trafo daya hubungan Y – (*star – delta*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.

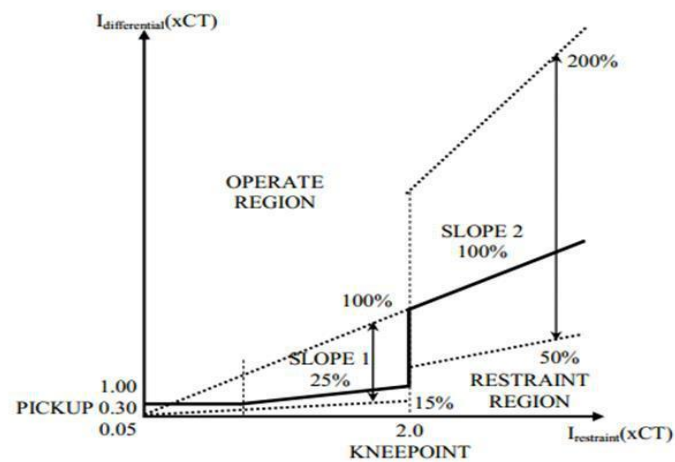


(sumber :Liem Ek Biem dan Dita Helna, 2007)

Gambar 2.5 Prinsip pengoperasian rele diferensial

Trafo arus (CT) juga dapat berubah dikarenakan posisi *tap changer* pada trafo daya oleh *on load tap changer (OLTC)*. Ketidakseimbangan arus (I_{μ}) yang bersifat transient disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya, kesalahan akurasi CT (*Current Transformer*), *Inrush current* pada saat *transformator energize* dan perbedaan kesalahan CT di daerah jenuh (saturasi CT).

Pada Gambar 2.6. halaman berikut merupakan karakteristik rele diferensial. Daerah dibawah yang mengakibatkan rele diferensial tidak akan bekerja, sedangkan daerah diatas adalah daerah rele diferensial.



(sumber :Liem Ek Biem dan Dita Helna, 2007)

Gambar 2.6 Karakteristik rele diferensial

2.2.4 Teori Perhitungan Matematis *Setting Differential Rele*

2.2.4.1 Perhitungan Rasio CT

Rumus arus rating dan arus nominal:

$$I_{rating} = 110\% \times I_{nominal} \quad (2.1)$$

$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2.2)$$

I_n = arus nominal (A)

S = daya tersalur (MVA)

V = tegangan pada sisi primer dan sekunder (kV)

Arus nominal merupakan arus yang mengalir pada tegangan tinggi dan tegangan rendah.

2.2.4.2 Error Mismatch

Error mismatch merupakan suatu kesalahan dalam pembacaan arus disisi tegangan tinggi dan tegangan rendah. Cara menghitung besarnya arus mismatch yaitu dengan cara membandingkan antara rasio CT ideal dengan rasio CT yang ada di pabrikan atau pasaran, dengan ketentuan error tidak boleh lebih dari 5% dari rasio CT yang dipilih. Perhitungan besarnya mismatch menggunakan rumus :

$$Error\ Mismatch = \frac{CT\ Ideal}{CT\ Terpasang} \% \quad (2.3)$$

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.4)$$

CT (Ideal) = trafo arus ideal

V1 = tegangan sisi tinggi

V2 = tegangan sisi rendah

2.2.4.3 Arus Sekunder CT

Arus sekunder CT merupakan arus yang terbaca oleh trafo arus.

$$I_{sekunder} = \frac{1}{rasio\ CT} \times I_n \quad (2.5)$$

2.2.4.4 Arus Diferensial

Arus diferensial merupakan selisih arus pada sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah.

Rumus arus diferensial :

$$I_{dif} = I_2 - I_1 \quad (2.6)$$

I_{dif} = arus diferensial

I_1 = arus sekunder CT1

I_2 = arus sekunder CT2

2.2.4.5 Arus Penahan (restrain)

Arus penahan (*restrain*) merupakan arus yang didapat dari arus sekunder trafo arus di sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah.

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (2.7)$$

I_r = Arus penahan (A)

I_1 = Arus sekunder CT1 (A)

I_2 = Arus sekunder CT2 (A)

2.2.4.6 Slope

Slope 1 akan menentukan kesensitifan arus diferensial untuk bekerja mentriapkan jaringan apabila terjadi gangguan internal Sedangkan *slope 2* yang menentukan rele diferensial tidak akan bekerja apabila terjadi gangguan eksternal.

$$slope_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \quad (2.8)$$

$$slope_2 = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100\% \quad (2.9)$$

slope1 : *setting* kecuraman 1

slope2 : *setting* kecuraman 2

I_d : Arus *Differential* (A)

I_r : Arus *Restrain* (A)

2.2.4.7 Arus *Setting*

Arus *setting* didapatkan dengan cara mengalikan antara *slope* dan arus *restrain*. Arus *setting* inilah yang nantinya akan dibandingkan dengan arus *differential*.

$$I_{set} = \%slope \times I_{restrain} \quad (2.10)$$

I_{set} : Arus *Setting*

$\% slope$: *Setting* Kecuraman (%)

$I_{restrain}$: Arus Penahan