



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Transmisi^[1]

Sistem transmisi adalah suatu sistem penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat yang lain, seperti dari stasiuan pembangkit ke gardu induk (*substasion*). Pemakaian sistem transmisi didasarkan atas besarnya daya yang harus disalurkan dari pusat-pusat pembangkit ke pusat beban dan jarak penyaluran yang cukup jauh antara sistem pembangkit dengan pusat beban tersebut. Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi akibat jatuh tegangan.

Sistem transmisi dapat dibedakan menjadi sistem transmisi tegangan tinggi (*High Voltage, HV*), sistem transmisi tegangan ekstra tinggi (*Extra High Voltage, EHV*), dan sistem transmisi ultra tinggi (*Ultra High Voltage, UHV*). Besarnya tegangan nominal saluran transmisi tegangan tinggi ataupun ekstra tinggi berbeda-beda untuk setiap Negara atau perusahaan listrik di Negara tersebut, tergantung kepada kemajuan tekniknya masing-masing. Di Indonesia tegangan tinggi yang digunakan adalah 70 kV dan 150 kV dan tegangan ekstra tinggi adalah tegangan 500kV yang terinterkoneksi antara Jawa dan Bali. Sistem interkoneksi ekstra tinggi ini merupakan bagian terpenting dari penyaluran daya di Indonesia sehingga kelangsungan dan keandalan sistem ini harus selalu di jaga.

Sistem Penyaluran pada transmisi menggunakan jenis kawat penghantar fase jenis ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yang spesifikasinya secara teknis sesuai dengan SPLN 41-7 : 1981 tentang Hantaran Aluminium Berpenguat Baja (ACSR).^[2]

Saluran transmisi merupakan suatu sistem yang kompleks yang mempunyai karakteristik yang berubah-ubah secara dinamis sesuai keadaan

¹ Cristof Naek Halomoan Tobing, “*Relai Jarak Sebagai Proteksi Saluran Transmisi*”, Wordpress, diakses dari <https://qtop.files.wordpress.com/2008/04/relai-jarak-di-saluran-transmisi1.pdf>, pada tanggal 17 Maret 2020 pukul 21.33 WIB

² SPLN 41-7 : 1981, *Hantaran Aluminium Berpenguat Baja*.



sistem itu sendiri. Adanya perubahan karakteristik ini dapat menimbulkan masalah jika tidak segera dapat diantisipasi. Dalam hubungannya dengan sistem pengaman suatu sistem transmisi, adanya perubahan tersebut harus mendapat perhatian yang besar mengingat saluran transmisi memiliki arti yang sangat penting dalam proses penyaluran daya. Masalah-masalah yang timbul pada saluran transmisi, diantaranya yang utama adalah :

2.1.1 Pengaruh perubahan frekuensi sistem

Frekuensi dari suatu sistem daya berubah secara terus menerus dalam suatu nilai batas tertentu. Pada saat terjadi gangguan perubahan frekuensi dapat merugikan baik terhadap peralatan ataupun sistem transmisi itu sendiri. Pengaruh yang disebabkan oleh perubahan frekuensi ini terhadap saluran transmisi adalah pengaruh pada reaktansi. Dengan perubahan frekuensi dari $\omega 1$ ke $\omega 1'$ dengan kenaikan $\Delta \omega 1$, reaktansi dari saluran akan berubah dari X ke X' dengan kenaikan ΔX . Perubahan reaktansi ini akan berpengaruh terhadap pengukuran impedansi sehingga impedansi yang terukur karena adanya perubahan pada nilai komponen reaktansinya akan berbeda dengan nilai sebenarnya.

2.1.2 Pengaruh dari ayunan daya pada sistem

Ayunan daya terjadi pada sistem parallel pembangkitan (generator) akibat hilangnya sinkronisasi salah satu generator, sehingga sebagian generator menjadi motor dan sebagian berbeban lebih dan ini terjadi bergantian atau berayun, adanya ayunan daya ini dapat menyebabkan kestabilan sistem terganggu. Ayunan daya ini harus segera diatasi dengan melepaskan generator yang terganggu. Pada saluran transmisi adanya ayunan daya ini tidak boleh membuat kontinuitas pelayanan terganggu, tetapi perubahan arus yang terjadi pada saat ayunan daya bisa masuk dalam jangkauan sistem pengaman sehingga memutuskan aliran arus pada saluran transmisi. Suatu sistem proteksi harus dapat membedakan adanya ayunan daya ini dengan adanya gangguan.

2.1.3 Pengaruh gangguan pada sistem transmisi

Saluran transmisi mempunyai resiko paling besar bila mengalami



gangguan, karena itu akan berarti terputusnya kontinuitas penyaluran beban. Terputusnya penyaluran listrik dari pusat pembangkitan ke beban tentu sangat merugikan bagi pelanggan terutama industri, karena berarti terganggunya kegiatan operasi di industri tersebut. Gangguan penyediaan listrik tidak dikehendaki oleh siapa pun, tetapi ada kalanya gangguan tersebut tidak bisa dihindari. Oleh karena itu diperlukan usaha untuk mengurangi akibat adanya gangguan tersebut atau memisahkan bagian yang terganggu dari sistem. Gangguan pada saluran transmisi merupakan 50% dari seluruh gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Diantara gangguan tersebut gangguan yang terbesar frekuensi terjadinya adalah gangguan hubung singkat satu fasa ketanah, yaitu sekitar 85% dari total gangguan pada transmisi saluran udara. Suatu sistem proteksi harus dapat mendeteksi semua gangguan apakah itu gangguan antar fasa atau gangguan satu fasa ketanah. Karena sifat-sifat gangguan tersebut berbeda maka untuk mendapatkan pengukuran yang betul adalah dengan mengukur impedansi yang berbeda-beda untuk setiap gangguan.

2.2 Gardu Induk^[3]

Gardu induk di sebut juga gardu unit pusat beban yang merupakan gabungan dari transformer dan rangkaian switchgear yang tergabung dalam satu kesatuan melalui system kontrol yang saling mendukung untuk keperluan operasional. Pada dasarnya gardu induk bekerja mengubah tegangan yang dibangkitkan oleh pusat pembangkit tenaga listrik menjadi tenaga listrik menjadi tegangan tinggi atau tegangan transmisi dan sebaliknya mengubah tegangan menengah atau tegangan distribusi.

Gardu Induk juga merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub - sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub

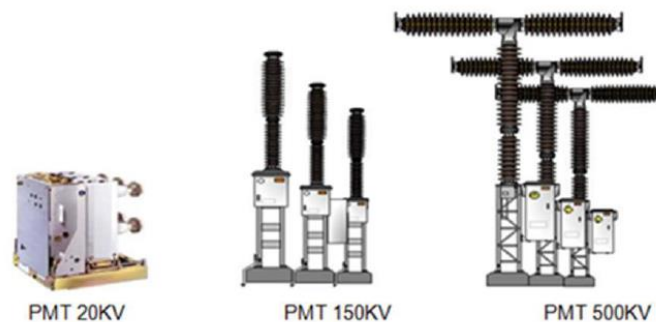
³ Sapri Ani, "Gardu Induk", academia, diakses https://www.academia.edu/27891347/GARDU_INDUK_2.1._TINJAUAN_UMUM_GARDU_INDUK_2.1.1._Definisi_Umum pada tanggal 18 Maret 2020 pukul 21.02 WIB



sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan. Pengaturan daya ke gardu - gardu induk lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu - gardu induk distribusi melalui feeder tegangan menengah.

2.2.1 Pemutus Tenaga (PMT)/ *Circuit Breaker* (CB) ^[4]

Definisi PMT berdasarkan IEEE C37.100:1992 (Standard definitions for power switchgear) adalah merupakan peralatan saklar/ switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya.



Gambar 2.1 Macam- macam PMT

(Sumber : Buku Pedoman PMT Final, PT. PLN (Persero) Hlm.1)

2.2.2 Pemisah (PMS)^[5]

Disconnecting switch atau pemisah (PMS) suatu peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai saklar pemisah rangkaian listrik dalam kondisi bertegangan atau tidak bertegangan tanpa arus beban.

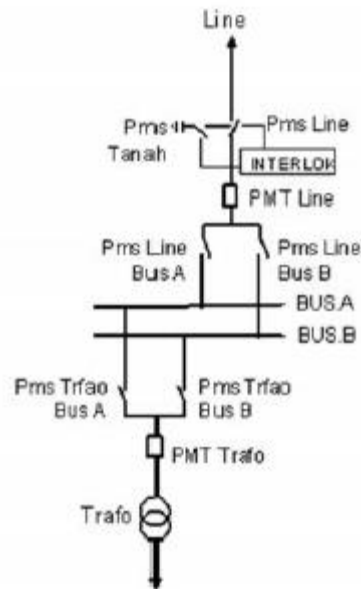
Penempatan PMS terpasang di antara sumber tenaga listrik dan PMT (PMS *Bus*) serta di antara PMT dan beban (PMS *Line/ Kabel*) dilengkapi dengan PMS Tanah (*Earthing Switch*). Untuk tujuan tertentu PMS *Line/ Kabel* dilengkapi

⁴ Buku Pedoman PMT Final, PT. PLN (Persero), 2014, Hlm.1

⁵ Buku Pedoman PMS Final, PT. PLN (Persero), 2014, Hlm.1



dengan PMS Tanah. Umumnya antara PMS *Line/ Kabel* dan PMS Tanah terdapat alat yang disebut *interlock*.



Gambar 2.2 Single Line Penempatan PMS

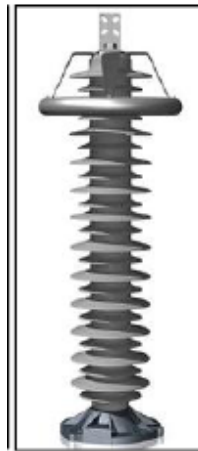
(Sumber : Buku Pedoman PMS Final, PT. PLN (Persero) Hlm.1)

2.2.3 Lightning Arrester (LA)^[6]

Lightning Arrester (LA) merupakan peralatan yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir). Surja mungkin merambat di dalam konduktor saat peristiwa sebagai berikut:

- a) Kegagalan sudut perlindungan petir, sehingga surja petir mengalir di dalam konduktor fasa.
- b) Backflashover akibat nilai pentanahan yang tinggi, baik di gardu induk ataupun di saluran transmisi.
- c) Proses switching CB/ DS (surja hubung).
- d) Gangguan fasa-fasa, ataupun fasa-tanah baik di saluran transmisi maupun di gardu induk.

⁶ Buku Pedoman LA Final, PT. PLN (Persero), 2014, Hlm.1

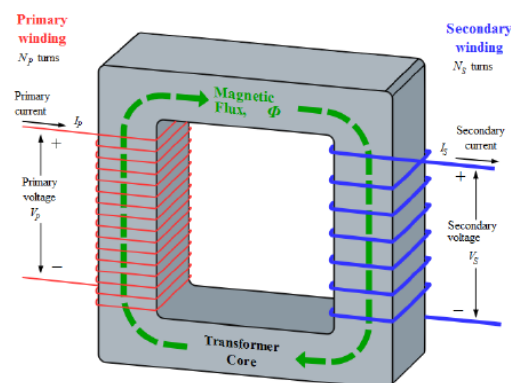


Gambar 2.3 Lightning Arrester

(Sumber : Buku Pedoman LA Final, PT. PLN (Persero) Hlm.1)

2.2.4 Trafo Tenaga^[7]

Trafo merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC 60076 -1 tahun 2011). Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi.



Gambar 2.4 Elektromagnetik pada Trafo

(Sumber : Buku Pedoman Trafo Tenaga Final, PT. PLN (Persero) Hlm.1)

⁷ Buku Pedoman Trafo Tenaga Final, PT. PLN (Persero), 2014, Hlm.1

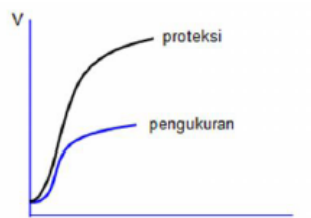


2.2.5 Trafo Arus^[8]

Trafo Arus (*Current Transformator - CT*) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

Secara fungsi, trafo arus dibedakan menjadi dua yaitu:

- Trafo arus pengukuran
 - a) Trafo arus pengukuran untuk metering memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja (daerah pengenalnya) 5% - 120% arus nominalnya tergantung dari kelasnya dan tingkat kejenuhan yang relatif rendah dibandingkan trafo arus untuk proteksi.
 - b) Penggunaan trafo arus pengukuran untuk Amperemeter, Watt-meter, VARh-meter, dan $\cos \alpha$ meter.
- Trafo arus proteksi
 - a) Trafo arus untuk proteksi, memiliki ketelitian tinggi pada saat terjadi gangguan dimana arus yang mengalir beberapa kali dari arus pengenalnya dan tingkat kejenuhan cukup tinggi.
 - b) Penggunaan trafo arus proteksi untuk relai arus lebih (OCR dan GFR), relai beban lebih, relai diferensial, relai daya dan relai jarak.
 - c) Perbedaan mendasar trafo arus pengukuran dan proteksi adalah pada titik saturasinya seperti pada kurva saturasi dibawah

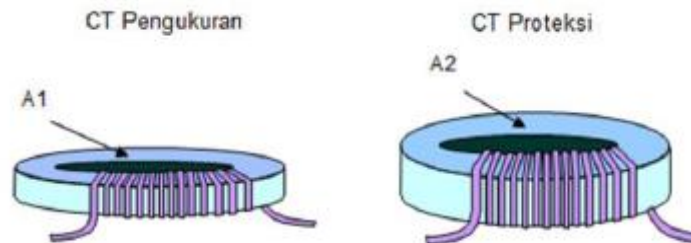


Gambar 2.5 Kurva Kejenuhan CT untuk Proteksi dan Pengukuran

⁸ Buku Pedoman Trafo Arus Final, PT. PLN (Persero), 2014, Hlm.1

(Sumber : Buku Pedoman Trafo Arus Final, PT. PLN (Persero) Hlm.4)

Trafo arus untuk pengukuran dirancang supaya lebih cepat jenuh dibandingkan trafo arus proteksi sehingga konstruksinya mempunyai luas penampang inti yang lebih kecil.



Gambar 2.6 Luas Penampang Inti Trafo Arus

(Sumber : Buku Pedoman Trafo Arus Final, PT. PLN (Persero) Hlm.4)

2.2.6 Trafo Tegangan^[9]

Trafo tegangan adalah peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk kebutuhan peralatan indikator, alat ukur/meter dan relai.

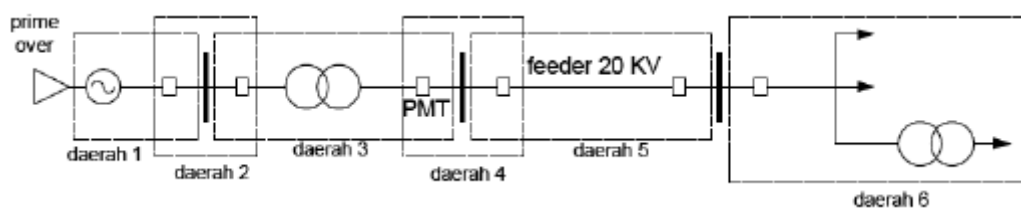
Fungsi dari trafo tegangan yaitu:

- Mentransformasikan besaran tegangan sistem dari yang tinggi ke besaran tegangan listrik yang lebih rendah sehingga dapat digunakan untuk peralatan proteksi dan pengukuran yang lebih aman, akurat dan teliti.
- Mengisolasi bagian primer yang tegangannya sangat tinggi dengan bagian sekunder yang tegangannya rendah untuk digunakan sebagai sistem proteksi dan pengukuran peralatan dibagian primer.
- Sebagai standarisasi besaran tegangan sekunder (100, $100/\sqrt{3}$, $110/\sqrt{3}$ dan 110 volt) untuk keperluan peralatan sisi sekunder.
- Memiliki 2 kelas, yaitu kelas proteksi (3P, 6P) dan kelas pengukuran (0,1; 0,2; 0,5;1;3).

⁹ Buku Pedoman Trafo Tegangan Final, PT. PLN (Persero), 2014, Hlm.1

2.3 Sistem Proteksi^[10]

Sistem proteksi adalah sekumpulan/ beberapa peralatan/ komponen yang saling berhubungan dan bekerjasama untuk tujuan pengamanan. Sistem proteksi bertujuan untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Sistem proteksi terdiri dari Relai Proteksi, Transformator Arus (CT), Transformator Tegangan (PT/CVT), PMT, Catu daya AC/DC yang terintegrasi dalam suatu rangkaian. Untuk efektifitas dan efisiensi, maka setiap peralatan proteksi yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan dan ancaman ketahanan peralatan yang dilindungi sehingga peralatan proteksi digunakan sebagai jaminan pengamanan.



Gambar 2.7 Pembagian daerah Proteksi pada Sistem Tenaga Listrik

(Sumber : Buku Proteksi dan Kontrol Transformator Final, PT. PLN

(Persero) Hlm.1)

Pada gambar 2.7 Dapat dilihat bahwa daerah proteksi pada sistem tenaga listrik dibuat bertingkat dimulai dari Pembangkit, Gardu Induk, Saluran Distribusi Primer hingga ke beban. Garis putus putus menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik ke dalam beberapa daerah proteksi. Masing-masing daerah memiliki satu atau beberapa komponen sistem daya disamping dua unit pemutus rangkaian. Setiap pemutus dimasukkan ke dalam dua daerah proteksi berdekatan. Batas setiap daerah menunjukkan bagian sistem yang bertanggung jawab untuk memisahkan gangguan yang terjadi pada daerah tersebut dengan sistem lainnya. Aspek penting lain yang harus diperhatikan dalam pembagian daerah proteksi adalah bahwa daerah yang saling berdekatan harus saling tumpang tindih

¹⁰ *Buku Proteksi dan Kontrol Transformator Final, PT. PLN (Persero), 2014, Hlm.1*



(*overlap*), hal ini dimaksudkan agar tidak ada sistem yang dibiarkan tanpa perlindungan. Pembagian daerah ini bertujuan agar daerah yang tidak mengalami gangguan dapat tetap beroperasi dengan baik sehingga dapat mengurangi daerah terjadinya pemadaman.

2.3.1 Pembagian Tugas Dalam Sistem Proteksi

Dalam sistem proteksi pembagian tugas dapat diuraikan sebagai berikut :

- a) Proteksi utama, berfungsi untuk mempertinggi keandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas sistem proteksi dalam melakukan proteksi terhadap sistem tenaga.
- b) Proteksi pengganti, berfungsi jika proteksi utama mengalami kerusakan untuk mengatasi gangguan yang terjadi.
- c) Proteksi tambahan, berfungsi untuk pemakaian pada waktu tertentu sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan.

2.3.2 Komponen Peralatan Proteksi^[11]

Seperangkat peralatan/komponen proteksi utama berdasarkan fungsinya dapat dibedakan menjadi :

- a) Relai Proteksi
- b) Pemutus Tenaga (PMT) : sebagai pemutus arus untuk mengisolir sirkuit yang terganggu.
- c) Transduser yang terdiri dari sumber daya pembantu
 - Trafo Arus : mentransformasikan arus ke sirkuit relai
 - Trafo Tegangan : mentransformasikan tegangan ke sirkuit relai
- d) Baterai : sebagai sumber tegangan untuk penggerak/mentripan PMT dan catu daya untuk relai statis dan alat bantu.

¹¹ SPLN T5.002-1 Pola Proteksi Saluran Transmisi, Bagian 1 Tegangan Tinggi 66 kV dan 150 kV, PT. PLN (Persero), 2010, Hlm 7



2.3.3 Dasar Pemilihan Pola Proteksi Saluran Transmisi

2.3.3.1 Faktor Kinerja Sistem Proteksi

Penyediaan tenaga listrik memerlukan kinerja sistem proteksi yang dapat dipercaya (andal dan aman), yang dapat memberi jaminan bahwa setiap ketidaknormalan sekecil apapun (sensitif) pada sistem akan dapat diatasi dengan cepat (kecepatan) dan tepat (selektif). Kelambatan atau kegagalan dalam memisahkan bagian yang terganggu secara umum dapat menimbulkan kerusakan yang lebih parah pada peralatan yang terganggu, kerusakan pada bagian yang sehat, atau gangguan baru pada sistem tenaga listrik.

Pemilihan pola proteksi harus memenuhi unsur berikut:^[12]

a) Sensitif

Suatu relai proteksi bertugas mengamankan suatu alat atau suatu bagian tertentu dari suatu sistem tenaga listrik, alat atau bagian sistem yang termasuk dalam jangkauan pengamannya. Relai proteksi mendeteksi adanya gangguan yang terjadi didaerah pengamannya dan harus cukup sensitif untuk mendeteksi gangguan tersebut dengan rangsangan minimum dan bila perlu hanya mentriapkan pemutus tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu, sedangkan bagian sistem yang sehat dalam hal ini tidak boleh terbuka.

b) Selektif

Selektifitas dari relai proteksi adalah suatu kualitas kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengaman. Bagian yang terbuka dari suatu sistem oleh karena terjadinya gangguan harus sekecil mungkin, sehingga daerah yang terputus menjadi lebih kecil. Relai proteksi hanya akan bekerja selama kondisi tidak normal atau gangguan yang terjadi didaerah pengamannya dan tidak akan bekerja pada kondisi normal atau pada keadaan gangguan yang terjadi diluar daerah pengamannya.

¹² Aslimeri, Ganefri, dan Zaedel Hamdi, *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 3*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2008, hlm.375



c) Cepat

Cepat yaitu sistem proteksi dapat memberikan respons sesuai waktu yang diinginkan oleh sistem tenaga listrik. Semakin cepat relai proteksi bekerja, tidak hanya dapat memperkecil kemungkinan akibat gangguan, tetapi dapat memperkecil kemungkinan meluasnya akibat yang ditimbulkan oleh gangguan.

d) Andal

Andal berarti sistem proteksi akan bekerja bila diperlukan dan tidak akan bekerja bila tidak diperlukan. Untuk tetap menjaga keandalannya, maka relai proteksi harus dilakukan pengujian secara periodik.

e) Ekonomis

Ekonomis disini berarti sistem proteksi yang harganya lebih murah belum tentu lebih ekonomis. Perhitungan terhadap masalah ini perlu ditinjau dari segi aspek yang lebih luas, misalnya faktor resiko (karena tidak andal), pemeliharaan dan lain sebagainya. Sistem proteksi pertimbangan besar biaya dari peralatan sistem yang dilindungi dan biaya harus dikeluarkan atau hilang akibat gangguan, maka sistem proteksi akan lebih murah.

2.3.3.2 Faktor Teknis Pemilihan Pola Proteksi^[13]

Pemilihan pola proteksi saluran harus mempertimbangkan beberapa faktor teknis sebagai berikut :

a) Waktu pembebasan Gangguan

Waktu pembebasan gangguan terdiri dari waktu kerja relai, waktu kerja relai bantu, waktu buka pemutus tenaga, dan waktu kirim- terima sinyal teleproteksi.

¹³ SPLN T5.002-1 Pola Proteksi Saluran Transmisi, Bagian 1 Tegangan Tinggi 66 kV dan 150 kV, PT. PLN (Persero), 2010, Hlm 5



b) Kekuatan pasokan sistem

Kekuatan pasokan sistem menentukan level hubung singkat dan berpengaruh pada kemampuan selektifitas proteksi. Jika kekuatan pasokan sistem sangat dipengaruhi oleh perubahan kondisi operasi maka diperlukan proteksi yang fleksibel atau mudah menyesuaikan dengan kondisi operasi.

c) Panjang saluran transmisi

Panjang saluran transmisi dapat dikelompokkan berdasarkan perbandingan impedansi sumber terhadap impedansi saluran yang diproteksi (*Source to Impedance Ratio = SIR*). SIR menunjukkan kekuatan sistem yang akan diproteksi, semakin kuat sumber yang memasok saluran transmisi tersebut, dan sebaliknya.

d) Sistem pembumian

Saat ini di sistem PLN dikenal beberapa sistem pembumian yaitu : pembumian langsung (solid) dan pembumian dengan resistansi. Pemilihan sistem pembumian harus berdasarkan studi untuk mempertimbangkan antara lain : keamanan peralatan, keamanan sistem, dan kemampuan peralatan proteksi.

e) Jenis saluran

Saluran Transmisi dapat berupa saluran udara atau saluran kabel maupun kombinasi dari keduanya. Sebagian besar gangguan pada saluran udara diakibatkan oleh gangguan petir, maupun pohon/tegakan yang umumnya gangguan satu fasa bersifat temporer, sedangkan pada saluran kabel gangguan yang terjadi didominasi oleh gangguan yang bersifat permanen. Hal ini menjadi pertimbangan dalam penutup balik otomatis (autorecloser).

f) Konfigurasi jaringan

Konfigurasi jaringan seperti busbar satu setengah PMT, double busbar, sirkit tunggal, sirkit ganda, sirkit radial, sirkit *loop*, dan *T-connection* akan membedakan pola proteksi yang diterapkan.

Demikian juga untuk meningkatkan ketersediaan saluran transmisi maka dalam menerapkan *autorecloser* harus mempertimbangkan jenis konfigurasi di atas.

g) Pembebanan saluran transmisi

Besar beban yang tersambung menjadi pertimbangan untuk penerapan fitur-fitur dari sistem proteksi, seperti menambahkan *load-blinding* untuk membatasi jangkauan settingsupaya tidak *overlap* dengan beban.

h) Saluran telekomunikasi

Media telekomunikasi yang digunakan untuk sistem proteksi harus disesuaikan dengan kebutuhan sistem proteksi pada saluran transmisi yang bersangkutan. Saluran telekomunikasi yang digunakan untuk keperluan proteksi adalah *Power line carrier(PLC)*, *Fibre Optic*, atau kabel pilot.

- PLC dapat digunakan untuk *Distance Relay*, relai *directional comparison*, dan relai *phase compharison*.
- *Fibre Optic* dapat digunakan untuk *Distance relay*, relai *directional compharison*, relai *phase comparison*, dan relai *current differential*
- Kabel pilot dapat digunakan untuk relai pilot differensial.

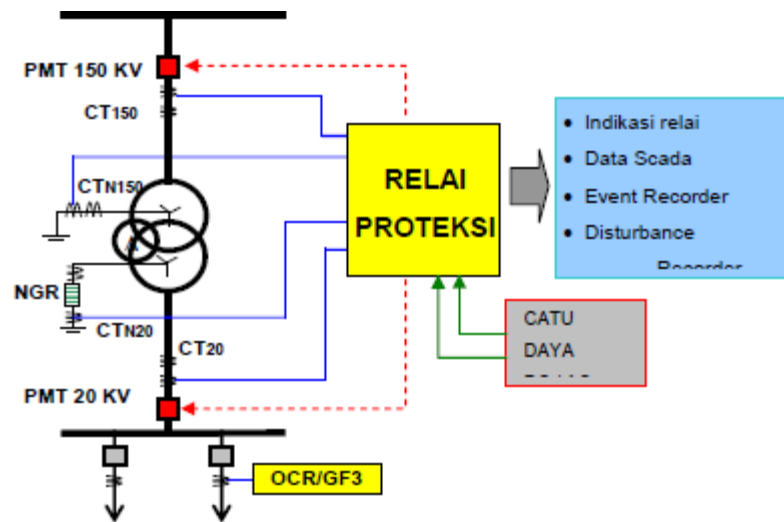
Media komunikasi *Fiber Optic* secara teknis lebih andal dibandingkan dengan media lainnya.

2.4 Proteksi Transformator

Proteksi transformator harus dapat mengamankan transformator dari gangguan internal maupun gangguan eksternal. Untuk gangguan internal, transformator memiliki proteksi mekanik dan proteksi elektrik, sedangkan untuk gangguan eksternal transformator hanya memiliki proteksi elektrik.

Proteksi transformator tenaga umumnya menggunakan relai *Differensial* dan relai *Restricted Earth Fault* (REF) sebagai proteksi utama. Sedangkan proteksi cadangan menggunakan relai arus lebih (OCR) relai gangguan ke tanah

(GFR). Sedangkan *Standby Earth Fault* (SBEF) umumnya hanya dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor, dan fungsinya lebih mengamankan NGR. Umumnya skema proteksi disesuaikan dengan kebutuhan. [14]



Gambar 2.8 Peralatan Sistem Proteksi Trafo Tenaga 150/20 kV

(Sumber : Dasar- Dasar Sistem Proteksi, PT.PLN (Persero) Hlm.2)

Untuk memperoleh efektifitas dan efisien dalam menentukan sistem proteksi trafo tenaga, maka setiap peralatan proteksi yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan dan prediksi gangguan yang akan terjadi yang mengancam ketahanan trafo itu sendiri.

2.4.1 Gangguan Pada Trafo Tenaga

2.4.1.1 Gangguan Internal

Gangguan yang terjadi di daerah proteksi trafo, baik didalam trafo maupun diluar trafo sebatas lokasi CT. Penyebab gangguan internal biasanya akibat:

- a) Kegagalan isolasi pada belitan, lempengan inti atau baut pengikat inti atau Penurunan nilai isolasi minyak yang dapat disebabkan oleh kualitas minyak buruk, tercemar uap air dan adanya dekomposisi karena overheating, oksidasi akibat sambungan listrik yang buruk;

¹⁴ Buku Proteksi dan Kontrol Transformator Final, PT. PLN (Persero), 2014, Hlm.1



- b) Kebocoran minyak;
- c) Ketidaktahanan terhadap arus gangguan (electrical dan mechanical stresses);
- d) Gangguan pada tap changer;
- e) Gangguan pada sistem pendingin;
- f) Gangguan pada bushing.

2.4.1.2 Gangguan Eksternal

Gangguan yang terjadi diluar daerah proteksi trafo. Umumnya gangguan ini terjadi pada jaringan yang akan dirasakan dan berdampak terhadap ketahanan kumparan primer maupun sekunder/tersier Trafo. Fenomena gangguan eksternal seperti:

- a) Hubung singkat pada jaringan sekunder atau tersier (penyulang) yang menimbulkan through fault current. Frekuensi dan besaran arus gangguan diprediksi akan mengurangi umur operasi trafo;
- b) Pembebanan lebih (Overload);
- c) Overvoltage akibat surja hubung atau surja petir;
- d) Under atau over frequency akibat gangguan system;
- e) External system short circuit.

2.4.2 Tujuan Pemasangan Relai Proteksi Trafo Tenaga^[15]

Maksud dan tujuan pemasangan relai proteksi pada transformator daya adalah untuk mengamankan peralatan /sistem sehingga kerugian akibat gangguan dapat dihindari atau dikurangi menjadi sekecil mungkin dengan cara :

- a) Mencegah kerusakan transformator akibat adanya gangguan/ketidaknormalan yang terjadi pada transformator atau gangguan pada bay transformator.
- b) Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya yang dapat membahayakan peralatan atau sistem.

¹⁵ Aslimeri, Ganefri, dan Zaedel Hamdi, *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 3*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2008, hlm.397



- c) Melepaskan (memisahkan) bagian sistem yang terganggu atau yang mengalami keadaan abnormal lainnya secepat mungkin sehingga kerusakan instalasi yang terganggu atau yang dilalui arus gangguan dapat dihindari atau dibatasi seminimum mungkin dan bagian sistem lainnya tetap dapat beroperasi.
- d) Memberikan pengamanan cadangan bagi instalasi lainnya.
- e) Memberikan pelayanan keandalan dan mutu listrik yang terbaik kepada konsumen.
- f) Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

2.5 Relai Proteksi

Relai proteksi merupakan sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk mendeteksi bila terjadi gangguan atau sistem tenaga listrik dalam keadaan tidak normal. Relai pengaman merupakan kunci kalangsungan kerja dari suatu sistem tenaga listrik, dimana gangguan segera dapat dilokalisir dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas.



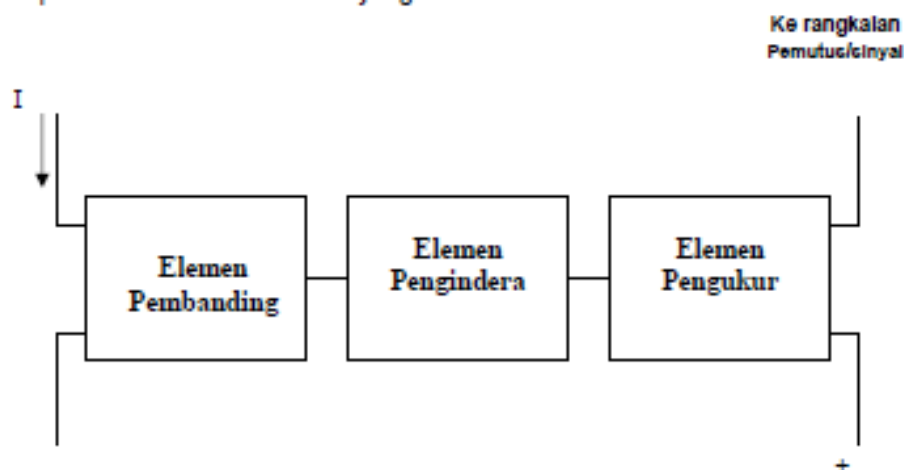
Gambar 2.9 Diagram Blok Urutan Kerja Relai Pengaman
(Sumber : Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 3 hlm.373)

Relai pengaman mempunyai tiga elemen dasar yang bekerja saling terkait untuk memutuskan arus gangguan, ketiga elemen dasar tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Elemen Pengindera (*Sensing Element*)
Berfungsi untuk merasakan atau mengukur besaran arus, tegangan, frekuensi, atau besaran lainnya yang akan diproteksi.
- b. Elemen Pembanding (*Comparison Element*)
Berfungsi untuk membandingkan arus yang masuk ke relai pada saat ada gangguan dengan arus setting tersebut.

c. Elemen Kontrol (*Control Element*)

Berfungsi mengadakan perubahan dengan cepat pada besaran ukurnya dan akan memberikan isyarat untuk membuka PMT atau memberikan sinyal.



Gambar 2.10 Diagram Blok Elemen Relai Pengaman

(Sumber : Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 3 hlm.373)

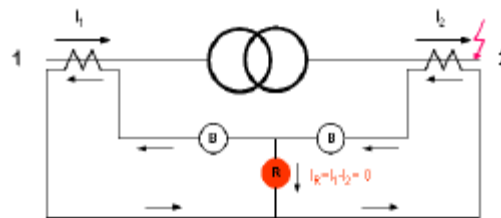
Maksud dan tujuan pemasangan relai proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat serta sekaligus mengamankan bagian yang lebih besar, dengan cara :

- a. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya yang dapat membahayakan peralatan atau sistem.
- b. Melepaskan (memisahkan) bagian sistem yang terganggu atau yang mengalami keadaan abnormal lainnya secepat mungkin sehingga kerusakan instalasi yang terganggu atau yang dilalui arus gangguan dapat dihindari atau dibatasi seminimum mungkin dan bagian sistem lainnya tetap beroperasi.
- c. Memberikan pengaman cadangan bagi instalasi lainnya.
- d. Memberikan pelayanan keandalan dan mutu listrik yang terbaik kepada konsumen.

- e. Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

2.6 Relai Differensial (*Differential Relay*)

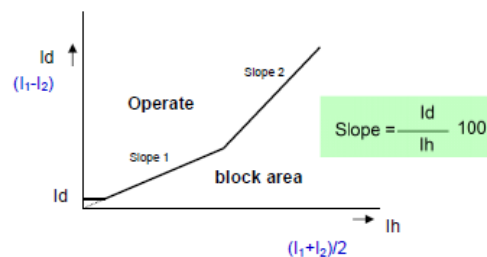
Differential Relay adalah relai yang bekerja berdasarkan Hukum Kirchof, dimana arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut. Yang dimaksud titik pada proteksi differensial ialah daerah pengamanan, dalam hal ini dibatasi oleh 2 buah trafo arus. Relai differensial arus membandingkan arus yang melalui daerah pengamanan.



Gambar 2.11 Prinsip Kerja Relai Differensial

(Sumber : Dasar- Dasar Sistem Proteksi, PT.PLN (Persero) hlm.5)

Fungsi relai differensial pada trafo tenaga adalah mengamankan transformator dari gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam transformator, antara lain hubung singkat antara kumparan dengan kumparan atau antara kumparan dengan tangki. Relai ini harus bekerja kalau terjadi gangguan di daerah pengamanan, dan tidak boleh bekerja dalam keadaan normal atau gangguan di luar daerah pengamanan. Relai ini merupakan unit pengamanan dan mempunyai selektifitas mutlak.



Gambar 2.12 Karakteristik Kerja Relai Differensial

(Sumber : Dasar- Dasar Sistem Proteksi, PT.PLN (Persero) hlm.6)

Parameter diferensial yang umumnya dipergunakan adalah:^[16]

- a. Nilai arus kerja minimum, merupakan setelan arus minimal yang akan mengerjakan relai pada nilai arus restrain = 0
- b. Nilai arus kerja *high set*, merupakan setelan arus kerja *high set* untuk arus gangguan yang besar (bila dilengkapi).
- c. Nilai *slope*, merupakan perbandingan pertambahan nilai arus diferensial terhadap pertambahan nilai arus *restraint*.
- d. *2nd harmonic restraint*, merupakan nilai minimal harmonisa ke-2 yang akan memblok kerja diferensial relai. Harmonisa ke-2 ini merupakan parameter ada tidaknya *inrush current*. Karena sifatnya memblok kerja diferensial maka, harus diperhatikan nilai setelan akan memblok kerja diferensial ketika terjadi gangguan.
- e. *5th harmonic restraint*, merupakan nilai minimal harmonisa ke-5 yang akan memblok kerja diferensial relai. Harmonisa ke-5 ini merupakan parameter ada tidaknya *over* eksitasi pada transformator.

Pengujian relai diferensial terdiri dari beberapa pengujian yaitu:

- a. Pengujian arus kerja minimum.
- b. Pengujian arus kerja high set (bila diaktifkan)
- c. Pengujian slope.
- d. Pengujian waktu kerja.
- e. Pengujian harmonic blocking.
- f. Pengujian Zero sequence compensation blocking.

2.6.1 Prinsip Kerja Relai Diferensial

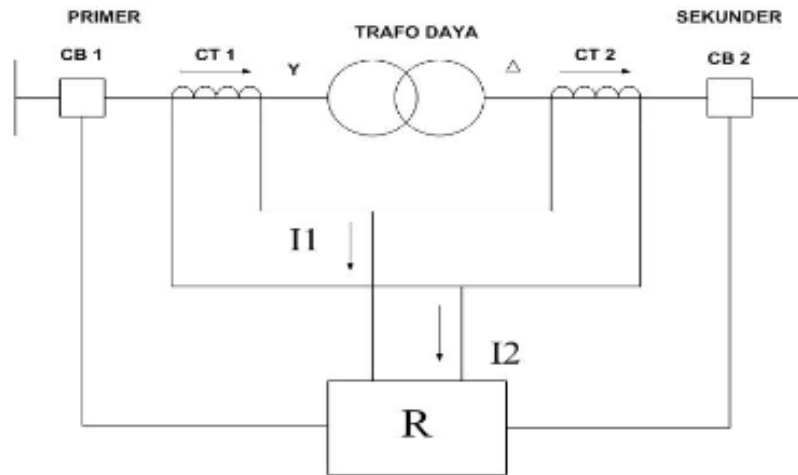
Adapun prinsip kerja relai diferensial ini terjadi dalam tiga keadaan sebagai berikut :

2.6.1.1 Keadaan Normal

Dalam keadaan normal, arus mengalir melalui peralatan/instalasi listrik yang diproteksi yaitu transformator daya dan arus-arus transformator arus, yaitu I_1

¹⁶ Buku Proteksi dan Kontrol Transformator Final, PT. PLN (Persero), 2014, Hlm. 8

dan I_2 bersirkulasi, jika rele differensial di pasang antara terminal 1 dan terminal 2. Maka dalam kondisi normal tidak akan ada arus yang mengalir melaluinya.



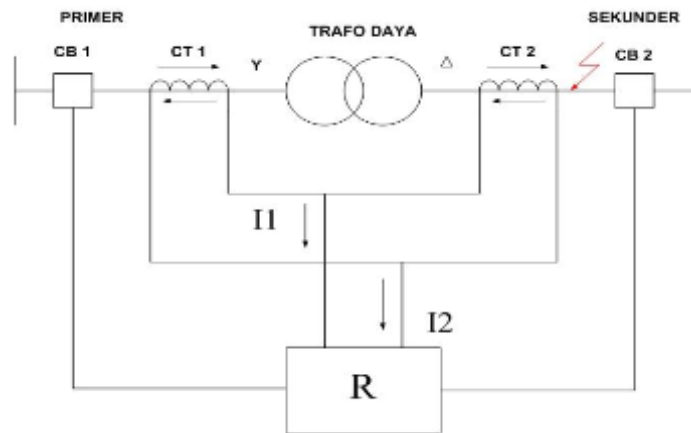
Gambar 2.13 Prinsip Kerja Rele Differensial Pada Keadaan Normal
(Sumber : Analisa Penggunaan Relai Differensial Sebagai Proteksi Transformator Daya, hlm. 30)

Dimana :

- CB1 : circuit breaker pada sisi primer
- CT1 : current transformer pada sisi primer
- Y : kumparan trafo hubungan
- Y (bintang) : kumparan trafo hubungan (segitiga)
- CB2 : circuit breaker pada sisi sekunder
- CT2 : current transformer pada sisi sekunder
- I_1 : arus sisi primer
- I_2 : arus sisi sekunder
- R : rele differensial

2.6.1.2 Pada Gangguan Diluar Daerah Proteksi

Bila dalam keadaan gangguan diluar dari transformator daya yang di proteksi (external fault), maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirkulasi tetap sama dengan pada kondisi normal dengan demikian rele differensial tidak akan bekerja.

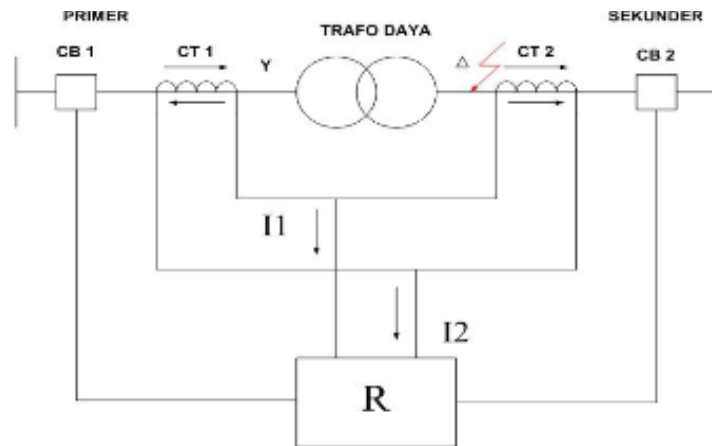


Gambar 2.14 Prinsip Kerja Rele Differensial Pada gangguan diluar daerah proteksi

(Sumber : Analisa Penggunaan Relai Differensial Sebagai Proteksi Transformator Daya, hlm. 31)

2.6.1.3 Pada Gangguan Di Dalam Daerah Proteksi

Jika gangguan terjadi didalam daerah proteksinya pada transformator daya yang di proteksinya internal fault maka arah sirkulasi arus di salah satu sisi akan terbalik, menyebabkan keseimbangan pada kondisi normal terganggu, akibatnya arus I_d akan mengalir melalui rele differensial dari terminal 1 menuju ke terminal 2 maka terjadi selisih arus didalam rele, selanjutnya rele tersebut akan mengoperasikan CB untuk memutus. Selama arus-arus sekunder transformator arus sama besar, maka tidak akanada arus yang mengalir melalui operating coil rele differensial, tetapi setiap gangguan yang mengakibatkan arus yang mengalir melalui operating coil rele differensial, maka rele differensial akan bekerja dan memberikan komando trapping kepada circuit breaker sehingga transformator daya yang terganggu dapat diisolir dari sistem tenaga listrik.



Gambar 2.15 Prinsip Kerja Relai Differensial Pada gangguan didalam daerah proteksi

(Sumber : Analisa Penggunaan Relai Differensial Sebagai Proteksi Transformator Daya, hlm. 31)

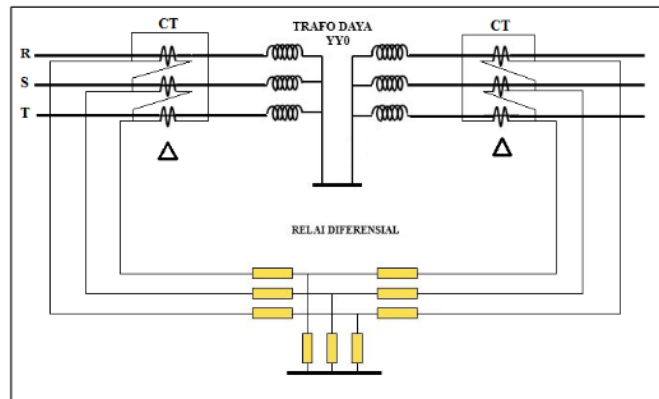
2.6.2 Perhitungan Relai Differensial¹⁷

Perhitungan Relai Differensial ini berupa perhitungan arus nominal dan arus rating untuk menentukan rasio CT terpasang pada transformator daya. Pada perhitungan relai differensial terdapat beberapa hal yang perlu dihitung seperti : menghitung besar error mismatch dan menghitung parameter relai berupa arus diferensial, arus restrain (penahan), arus slope dan arus setting relai diferensial. Setelah itu akan dilakukan perhitungan arus yang di keluarkan CT pada saat gangguan dan pengaruh terhadap relai diferensial.

2.6.2.1 Perhitungan Rasio CT Ideal

Untuk menghitung rasio CT, terlebih dahulu menghitung arus rating. Arus rating berfungsi sebagai batas pemilihan rasio CT.

¹⁷ Yuniarto, Arkhan Subari, dan Dinda Hapsari Kusumastuti. *Setting Relay Diferensial pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi*. UNIVERSITAS DIPONEGORO. Jurnal Transmisi. 2015. hal. 3



Gambar 2.16 Rangkaian Transformator YnYn0

(Sumber : Setting Relay Diferensial pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi, hlm. 3)

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

Arus nominal pada transformator daya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_n = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

- I_n : arus nominal (A)
- S : Daya yang tersalur (MVA)
- V : Tegangan pada sisi primer dan sekunder (kV)

2.6.2.2 Perhitungan *Error Mismatch*

Error mismatch merupakan kesalahan dalam membaca perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder transformator serta pergeseran fasa di trafo tersebut. Menghitung besarnya arus *mismatch* yaitu dengan cara membandingkan CT yang dipilih atau CT yang digunakan dan dengan rasio CT ideal yang berasal dari pabrikan yang sering dijumpai dipasaran. Perbandingan kedua CT tersebut boleh dilakukan dengan pertimbangan tidak lebih dari 5% dari besar rasio yang akan digunakan.

$$Error\ mismatch = \frac{CT\ ideal}{CT\ terpasang} \% \dots \dots \dots (2.3)$$



Dimana :

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

CT : trafo arus ideal

V₁ : tegangan sisi primer

V₂ : tegangan sisi rendah

2.6.2.3 Arus Sekunder CT

Arus sekunder CT merupakan arus yang dikeluarkan CT.

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_n \dots\dots\dots(2.4)$$

2.6.2.4 Arus Diferensial

Arus diferensial merupakan arus selisih antara arus sekunder CT sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah. Rumus untuk menentukan arus diferensial yaitu :

$$I_{\text{dif}} = I_2 - I_1 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

I_{dif} : Arus Diferensial

I₁ : Arus Sekunder CT1

I₂ : Arus Sekunder CT2

2.6.2.5 Arus *Restrained* (penahan)

Arus *restrained* diperoleh dengan cara menjumlahkan arus sekunder CT1 dan CT2 kemudian dibagi 2. Rumus yang digunakan untuk menghitung arus *restrained* yaitu :

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

I_r : Arus penahan (A)

I₁ : Arus sekunder CT1 (A)

I₂ : Arus sekunder CT2 (A)



2.6.2.6 Percent Slope (*setting* kecuraman)

Slope didapat dengan cara membagi antara arus diferensial dengan arus restrain. Slope₁ akan menentukan arus diferensial dan arus restrain pada saat kondisi normal dan memastikan sensitifitas rele pada saat gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil, sedangkan slope₂ berguna supaya rele diferensial tidak bekerja oleh gangguan eksternal dengan arus gangguan yang besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi

Rumus yang digunakan untuk mencari % slope₁ dan % slope₂ yaitu :

$$\text{slope}_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{slope}_2 = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- Slope₁ : *Setting* kecuraman 1
- Slope₂ : *Setting* kecuraman 2
- I_d : Arus Diferensial (A)
- I_r : Arus *Restrain* (A)

2.6.2.7 Arus Setting (I_{set})

Arus setting didapat dengan mengalikan antara slope dan arus restrain. Arus setting inilah yang nanti akan dibandingkan dengan arus diferensial.

$$I_{\text{setting}} = \% \text{slope} \times I_{\text{restrain}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

- I_{setting} : Arus Setting (A)
- I_{restrain} : Arus Penahan (A)
- %slope : Setting Kecuraman (%)

2.7 ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*)^[18]

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk

¹⁸ ETAP 12.6.0



pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.



Gambar 2.17 Icon Bar Elemen-Elemen pada ETAP 12.6.0

(Sumber : ETAP 12.6.0)

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, *transient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.



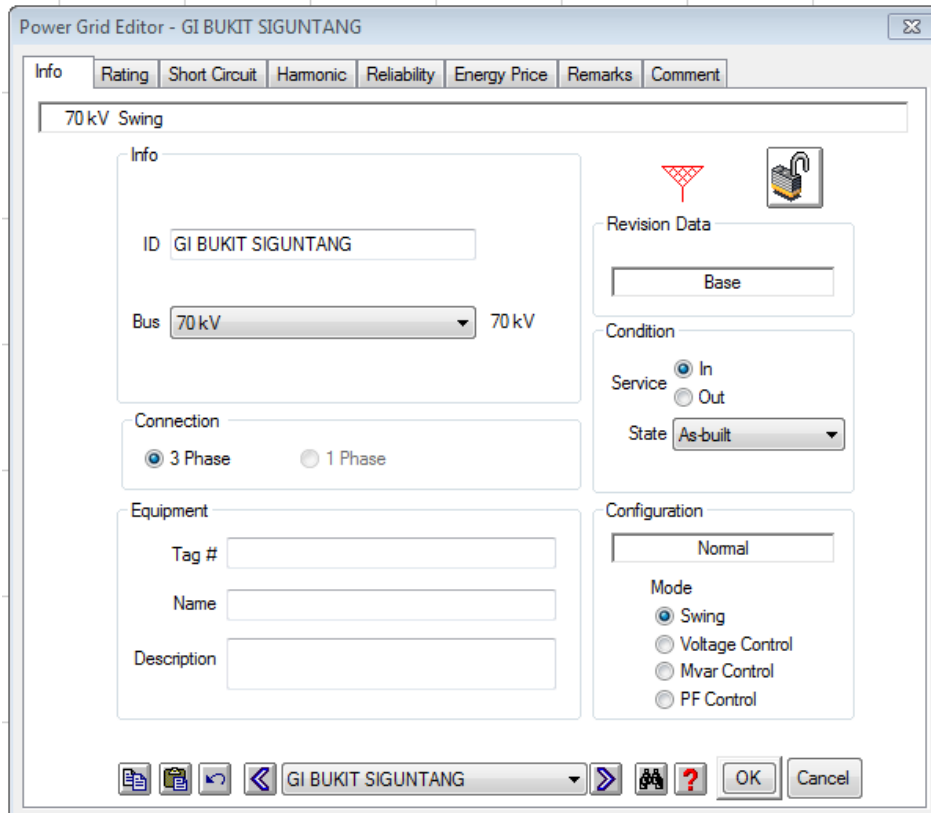
Dalam menganalisis jaringan terutama untuk mengetahui tegangan dan arus yang mengalir digunakan analisis *load flow*. Pada fitur analisis ini, dapat diketahui besar tegangan, arus daya dan rugi-rugi dari suatu jaringan yang disimulasikan dengan memasukkan data asli jaringan yang disimulasikan dalam bentuk *single line diagram* pada lembar kerja ETAP 12.6.0.

Komponen yang biasa digunakan dalam menganalisis suatu jaringan pada ETAP adalah generator, *high volage circuit breaker*, transformer, *current transformator* (CT), bus, relay, beban static dan/atau beban *lump*.

Berikut cara penggunaan ETAP untuk menganalisis jaringan dengan sistem *load flow* :

1. Jalankan aplikasi etap
2. Buat lembar kerja baru dengan memilih menu *file* kemudian memilih *new project*
3. Masukkan nama proyek untuk *file* kemudian pilih standar sistem *metric*
4. Klik ok
5. Membuat *single line diagram* pada lembar kerja ETAP yang pertama-tama dimulai dari sumber, transformer, CB, bus, *current transformator* (CT), relay kemudian ke beban. Pembuatan *single line diagram* pada ETAP 12.6.0 berdasarkan *single line diagram* asli jaringan yang ingin dianalisis
6. Memasukkan data dan parameter setiap elemen
 - a. Pengisian data untuk *power grid*
 - 1) *Double* klik simbol *power grid* pada lembar kerja ETAP 12.6.0
 - 2) Pada jendela info masukkan nama atau ID grid, sesuai dengan data dan pilih mode konfigurasi *swing*
 - 3) Pilih jendela '*rating*', masukkan nominal tegangan
 - 4) Kemudian pilih jendela '*short-circuit*', masukan data hubung singkat grid sesuai dengan hasil pengukuran asli

5) Klik OK.

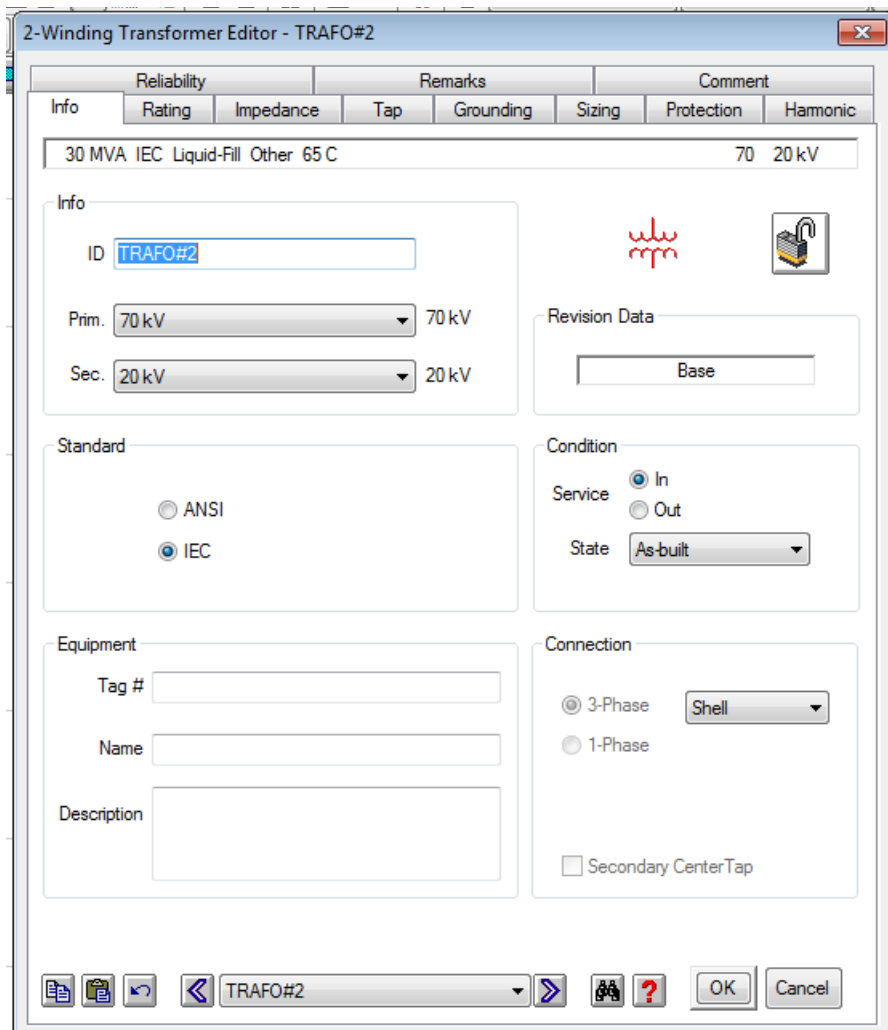


Gambar 2.18 Pengaturan Power Grid ETAP 12.6.0

(Sumber : ETAP 12.6.0)

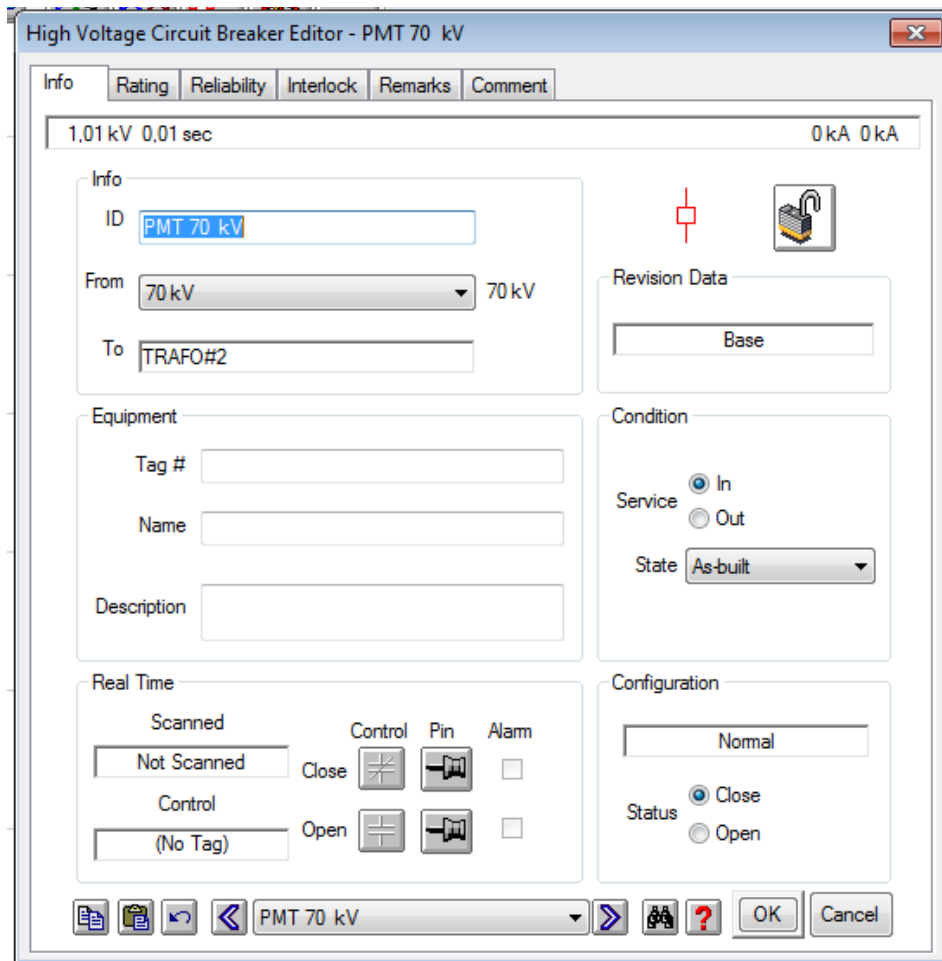
b. Pengisian data untuk transformator

- 1) *Double* klik simbol transformator pada lembar kerja ETAP 12.6.0
- 2) Pada jendela info masukkan nama atau ID transformator
- 3) Pilih jendela '*rating*', masukkan *rating* daya dan tegangan primer serta tegangan sekundernya sesuai dengan data pada *single line diagram*
- 4) Pilih jendela '*Impedansi*', Klik *Typical Z & X/R*.
- 5) Klik Ok



Gambar 2.19 Pengaturan *Transformator* ETAP 12.6.0
(Sumber : ETAP 12.6.0)

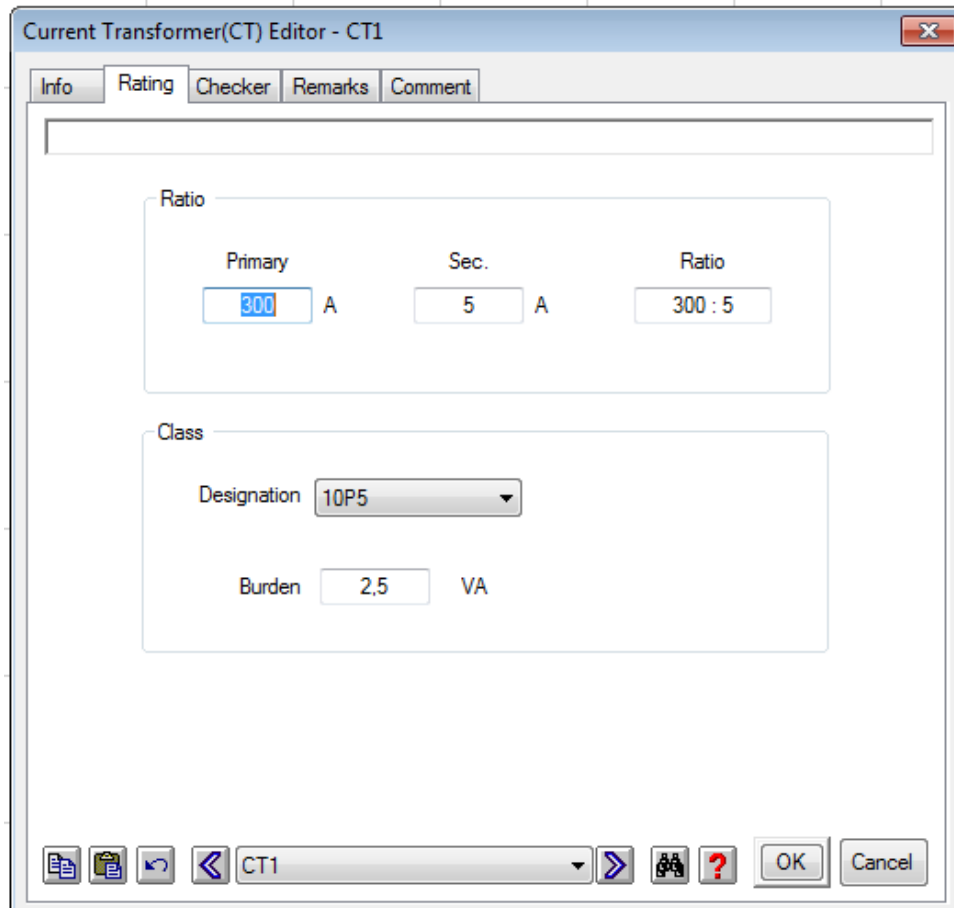
- c. Pengisian data untuk *High Voltage Circuit Breaker*
 - 1) *Double* klik symbol *High Voltage Circuit Breaker* pada lembar kerja ETAP 12.6.0
 - 2) Pada jendela info masukkan nama atau ID *High Voltage Circuit Breaker*, from dan to *High Voltage Circuit Breaker*.
 - 3) Klik Ok
 - 4) Lakukan hal yang sama untuk semua *High Voltage Circuit Breaker* lainnya sesuai dengan data pada single line diagram.



Gambar 2.20 Pengaturan *High Voltage Circuit Breaker* ETAP 12.6.0
(Sumber : ETAP 12.6.0)

- d. Pengisian untuk *Current Transformator* (CT)
 - 1) *Double* klik simbol *Current Transformator* (CT) pada lembar kerja ETAP 12.6.0
 - 2) Pada jendela info masukkan nama atau ID *Current Transformator* (CT).
 - 3) Pilih jendela 'rating', rasio *Current Transformator* (CT) primer serta sekundernya sesuai dengan data pada *single line diagram*.
 - 4) Klik Ok

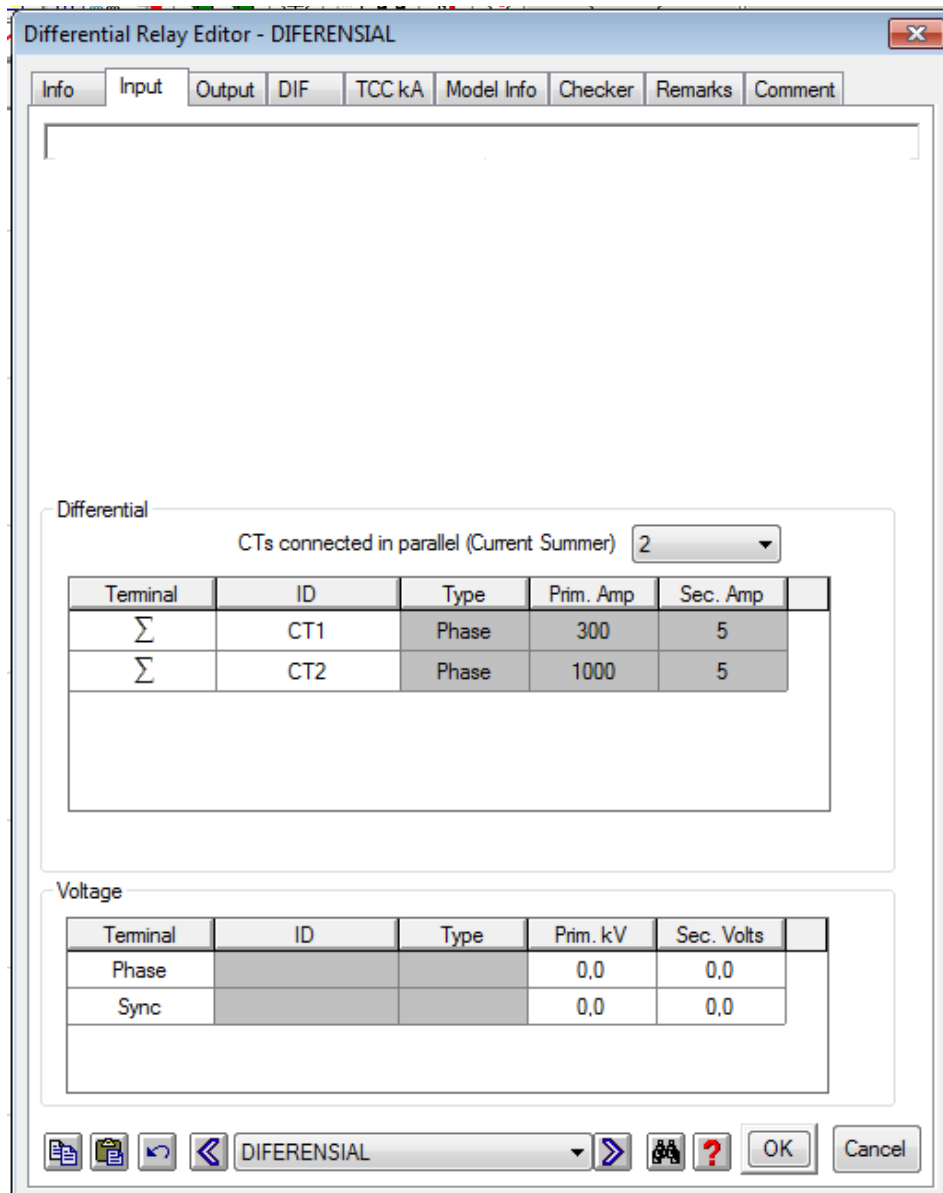
- 5) Lakukan hal yang sama untuk semua *Current Transformer* (CT) lainnya sesuai dengan data pada single line diagram.



Gambar 2.21 Pengaturan *Current Transformer* (CT) ETAP 12.6.0
(Sumber : ETAP 12.6.0)

- e. Pengisian untuk Relay Differensial
- 1) *Double* klik simbol Relay Differensial pada lembar kerja ETAP 12.6.0.
 - 2) Pada jendela info masukkan nama atau ID Relay Differensial.
 - 3) Pilih jendela input, masukkan ID *Current Transformer* (CT) sesuai dengan data pada *single line diagram*.

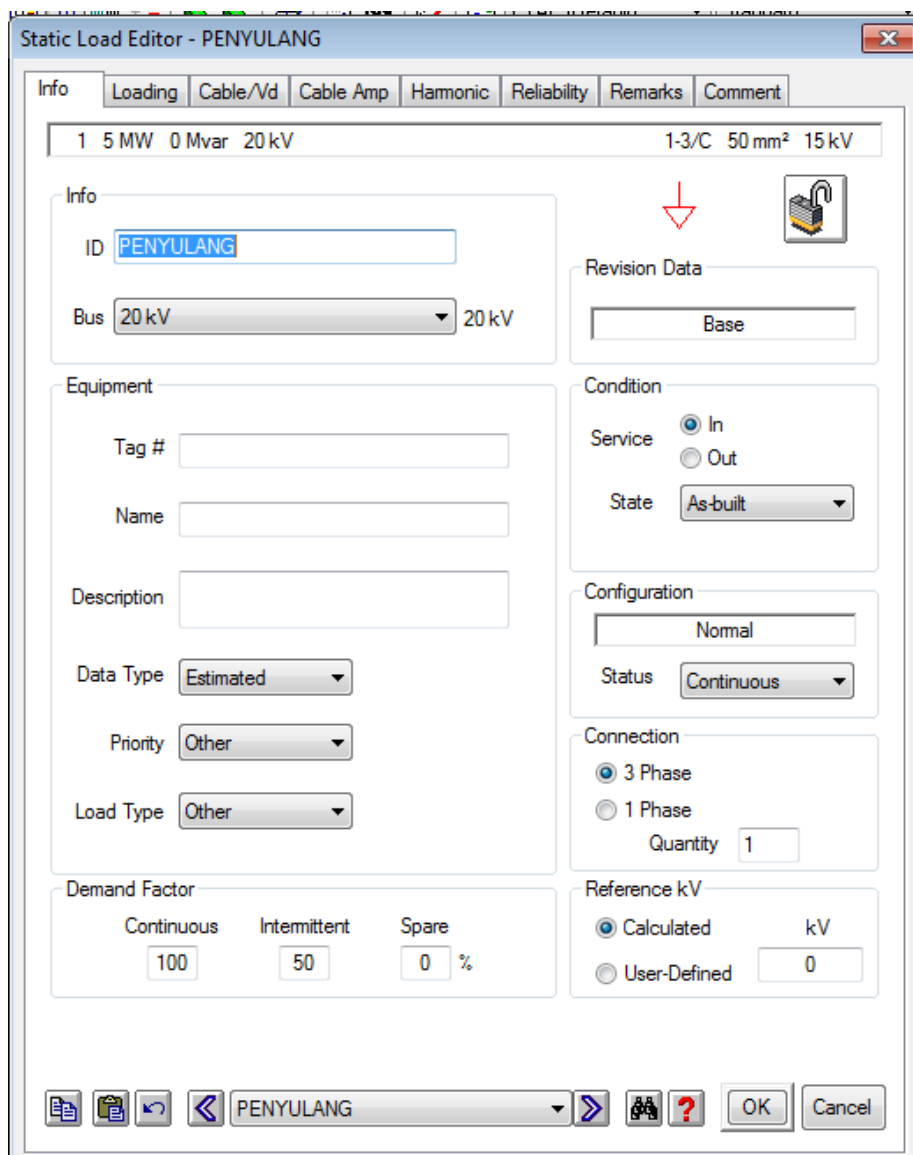
- 4) Pilih jendela output, masukkan *Interlock* sesuai dengan data pada *single line diagram*.
- 5) Pilih jendela DIF, masukkan *Operation Time* sesuai dengan data pada buku setting proteksi.
- 6) Klik Ok.



Gambar 2.22 Pengaturan Relay Differential ETAP 12.6.0
(Sumber : ETAP 12.6.0)

f. Pengisian untuk *Static Load*

- 1) *Double* klik simbol *Static Load* pada lembar kerja ETAP 12.6.0.
- 2) Pada jendela info masukkan nama atau ID *Static Load*.
- 3) Pada jendela *loading*, masukkan *rating* sesuai dengan data pada *single line diagram*.
- 4) Klik Ok.



Gambar 2.23 Pengaturan *Static Load* ETAP 12.6.0

(Sumber : ETAP 12.6.0)