

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Agar proses pembuatan Proyek Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik yaitu penelitian tentang Kejenuhan Trafo Arus, maka dibutuhkan referensi yang dapat membantu dan menjadi acuan dalam melakukan penelitian ini:

Standar IEEE C37.110, 2011 yang merupakan panduan untuk aplikasi transformator arus berisi langkah-langkah dalam menghindari pengaruh kejenuhan CT, akan tetapi banyak dari langkah-langkah yang disajikan tersebut menghasilkan CT dengan ukuran besar yang secara praktis dan ekonomis tidak bisa diterima. Pada umumnya, beban kecil yang terhubung ke suatu bus dengan arus hubung singkat yang tinggi biasanya mempunyai CT dengan ratio yang rendah.

PT.PLN (Persero) Buku Pedoman Trafo Arus, 2014 Dalam buku pedoman tersebut menjelaskan bagian-bagian trafo arus, prinsip kerja trafo arus yang mengubah arus primer menjadi arus sekunder dengan ratio yang tertentu serta menjelaskan peran trafo arus sebagai proteksi dan pengukuran.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Umum

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang menjelaskan suatu proses listrik dari pembangkitan hingga menuju beban yang saling berhubungan untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Sehingga didalam sistem tenaga listrik terdiri dari 3 komponen utama yaitu Pembangkit, Transmisi dan Distribusi, beban. Skema dari sistem tenaga listrik dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1. Skema Sistem Tenaga Listrik

Pada Gambar 2.1. merupakan contoh skema karena jika ditinjau dari level tegangan pada sisi transmisi tidak harus 150 kV, bisa 70 kV, 275 kV hingga 500 kV untuk di Indonesia. Pada Gambar 2.1. dapat dijelaskan bahwa sistem tenaga listrik diawali dengan pembangkitan, transmisi, distribusi hingga menuju beban. Fungsi dari 3 hal tersebut sebagai berikut.

1. Pembangkit

Pembangkit merupakan suatu proses konversi energi lain menjadi energi listrik. Pada dasarnya listrik dibangkitkan oleh Generator yang digerakkan oleh beberapa jenis energi penggerak salah satunya adalah air, batu bara, panas bumi, angin dan lain sebagainya. Pada sistem pembangkitan, level tegangan disesuaikan dengan spesifikasi generator pembangkit yang digunakan, biasanya berkisar antara 11 s/d 24 kV. Untuk pembangkit yang berkapasitas lebih besar biasanya menggunakan level tegangan yang lebih tinggi. Tenaga listrik yang dihasilkan di pembangkit, tegangannya akan dinaikkan oleh trafo step-up untuk dikirimkan ke sistem interkoneksi transmisi.

2. Transmisi

Transmisi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa sejumlah konduktor yang dipasang membentang sepanjang jarak antara pusat pembangkit sampai pusat beban. Secara ringkas fungsi dari transmisi adalah menyalurkan tenaga listrik. Pada transmisi diperlukan efisiensi yang tinggi agar daya yang disalurkan tidak banyak hilang maka dipilih level tegangan yang lebih tinggi untuk disalurkan dikarenakan untuk mengurangi rugi-rugi daya dan turun tegangan kecil pada saat penyaluran. Pada umumnya, level tegangan pada transmisi ≥ 70 kV.

3. Distribusi dan Beban

Setelah proses penyaluran, maka tegangan kembali diturunkan sesuai kebutuhan untuk didistribusikan ke beban di Gardu Induk (GI). Sehingga jaringan distribusi dalam operasinya tidak bisa dipisahkan dari GI sisi distribusi yang berada di ujung transmisi yang berfungsi mengatur level tegangan transmisi sesuai dengan level tegangan distribusi untuk disalurkan ke beban. Beban adalah peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut. Beban dari konsumen terbagi atas beberapa klasifikasi tegangan mulai konsumen tegangan rendah (KTR), konsumen tegangan menengah (KTM) dan konsumen tegangan tinggi (KTT). Proses dimulai dari tegangan keluaran dari GI sisi distribusi sebesar 20 kV yang kemudian menuju beban konsumen 20 kV atau diturunkan oleh trafo pada tiang distribusi untuk konsumen 380V/220V. Namun untuk KTT, tegangan dari transmisi langsung disalurkan melalui TLB (*Transmission Line Bay*) penghantar pada Gardu Induk apabila tegangan sudah sesuai dengan beban KTT.

2.2.2. Sistem Distribusi

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen, Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

1. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan).
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang di hasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11kV sampai 24kV dinaikan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran

transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I^2R). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahal harganya perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.

2.2.3. Sistem Proteksi Saluran Distribusi

Pengertian proteksi transmisi tenaga listrik adalah adalah proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik pada suatu transmisi tenaga listrik sehingga proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga Saluran

distribusi listrik (*substation distribution*) dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik dengan aman. Proteksi transmisi tenaga listrik diterapkan pada transmisi tenaga listrik agar jika terjadi gangguan peralatan yang berhubungan dengan transmisi tenaga listrik tidak mengalami kerusakan. Ini juga termasuk saat terjadi perawatan dalam kondisi menyala. Jika proteksi bekerja dengan baik, maka pekerja dapat melakukan pemeliharaan transmisi tenaga listrik dalam kondisi bertegangan. Jika saat melakukan pemeliharaan tersebut terjadi gangguan, maka pengaman-pengaman yang terpasang harus bekerja demi mengamankan sistem dan manusia yang sedang melakukan perawatan.

Tujuan dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan, memisahkan bagian instalasi yang terganggu dari bagian lain yang masih normal dan sekaligus mengamankan instalasi dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar, serta memberikan informasi / tanda bahwa telah terjadi gangguan, yang pada umumnya diikuti dengan membukanya PMT.

Pemutus Tenaga (PMT) untuk memisahkan / menghubungkan satu bagian instalasi dengan bagian instalasi lain, baik instalasi dalam keadaan normal maupun dalam keadaan terganggu. Batas dari bagian-bagian instalasi tersebut dapat terdiri dari satu PMT atau lebih. Sedangkan untuk syarat yang harus dimiliki oleh sebuah sistem proteksi adalah sensitif yaitu mampu merasakan gangguan sekecil apapun. Andal yaitu akan bekerja bila diperlukan (*dependability*) dan tidak akan bekerja bila tidak diperlukan (*security*). Selektif yaitu mampu memisahkan jaringan yang terganggu saja. Cepat yaitu mampu bekerja secepat-cepatnya.

2.2.4. Syarat Penting Untuk Pengaman

Dalam perencanaan sistem proteksi, maka untuk mendapatkan suatu sistem proteksi yang baik diperlukan persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

1. Sensitif

Suatu relay proteksi bertugas mengamankan suatu alat atau suatu bagian tertentu dari suatu sistem tenaga listrik, alat atau bagian sistem yang termasuk dalam jangkauan pengamanannya. Relay proteksi mendeteksi adanya gangguan yang terjadi di daerah pengamanannya 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. Relay dikatakan sensitif apabila dapat bekerja dengan masukan dari besaran yang dideteksi kecil. Jadi relay dapat bekerja pada awal kejadian. Hal ini memberikan keuntungan dimana kerusakan peralatan yang diamankan akibat gangguan menjadi kecil. Namun demikian relai harus stabil artinya, relai harus dapat memberikan antara arus gangguan atau arus beban maksimum.

2. Selektif

Selektivitas dari relay proteksi adalah suatu kualitas kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan. Bagian yang terbuka dari suatu sistem oleh karena terjadinya gangguan harus sekecil mungkin, sehingga daerah yang terputus menjadi lebih kecil. Relay proteksi hanya akan bekerja selama kondisi tidak normal atau gangguan yang terjadi di daerah pengamanannya dan tidak akan bekerja pada kondisi normal atau pada keadaan gangguan yang terjadi diluar daerah pengamanannya.

3. Cepat

Makin cepat relay proteksi bekerja, tidak hanya dapat memperkecil kemungkinan akibat gangguan, tetapi dapat memperkecil kemungkinan meluasnya akibat yang ditimbulkan oleh gangguan.

4. Handal

Dalam keadaan normal atau sistem yang tidak pernah terganggu relay proteksi tidak bekerja selama berbulan-bulan mungkin bertahun-tahun, tetapi relay proteksi bila diperlukan harus dan pasti dapat bekerja, sebab apabila relay gagal bekerja dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih parah pada peralatan yang diamankan atau mengakibatkan bekerjanya relay lain sehingga daerah itu mengalami pemadaman yang lebih luas. Untuk tetap menjaga keandalannya, maka relay proteksi harus dilakukan pengujian secara periodik.

5. Ekonomis

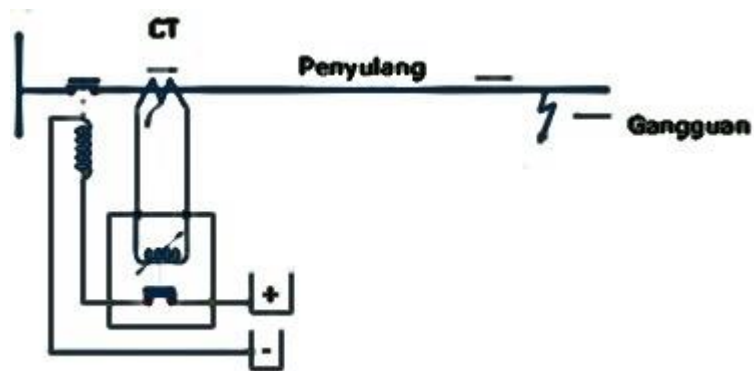
Dalam menentukan relai pengaman yang akan digunakan harus ditinjau tehnologi ekonomisnya. Misalkan untuk sistem distribusi tegangan menengah yang radial tidak diperlukan relai rumit dan sangat cepat bekerjanya, atau misalnya trafo distribusi yang hanya 1000 kVA menggunakan relai diferensial. Dengan biaya yang sekecilnya-kecilnya diharapkan relay proteksi mempunyai kemampuan pengamanan yang sebesar-besarnya.

6. Sederhana

Perangkat relay proteksi diisyaratkan mempunyai bentuk yang sederhana dan fleksibel. Misalkan pengaman untuk sistem tegangan ekstra tinggi tidak boleh hanya dengan pengaman yang sederhana, misalnya hanya dengan relai arus lebih saja, tetapi harus menggunakan relai jarak dengan intertripping dan ganda.

2.2.5. Sistem Kerja Relai Arus Lebih

Rele ini bekerja dengan membaca input berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai setting, apabila nilai arus yang terbaca oleh rele melebihi nilai setting, maka rele akan mengirim perintah trip (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan pada setting.



Gambar 2.2. Sistem Kerja Relai Arus Lebih

Rele arus lebih – OCR memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa. Sedangkan untuk memproteksi terhadap gangguan fasa tanah digunakan rele Rele Arus Gangguan tanah atau Ground Fault Relay (GFR). Prinsip kerja GFR sama dengan OCR, yang membedakan hanyalah pada fungsi dan elemen sensor arus. OCR biasanya memiliki 2 atau 3 sensor arus (untuk 2 atau 3 fasa) sedangkan GFR ahnya memiliki satu sensor arus (satu fasa).

Waktu kerja rele OCR maupun GFR tergantung nilai setting dan karakteristik waktunya. Elemen tunda waktu pada rele ini pada 2, yaitu elemen low set dan elemen high set. Elemen low set bekerja ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang relatif kecil, sedangkan elemen high set bekerja ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang cukup besar.

2.2.6. Trafo Arus

1. Pengertian

Transformator Arus adalah suatu alat yang berfungsi merubah suatu besaran arus yang masuk (primer) menjadi keluaran yang lebih kecil (sekunder) yang digunakan untuk keperluan proteksi maupun pengukuran. Transformator arus digunakan untuk mengukur arus beban pada sebuah rangkaian. Dengan

penggunaan transformator arus, maka arus beban yang besar dapat diukur hanya dengan menggunakan amperemeter yang rangenya tidak terlalu besar. Bila sebuah transformator arus mempunyai perbandingan 100/5 A, artinya transformator mengubah arus primer dari 100 A menjadi 5 A di sisi sekunder. Karena pada sisi primer selalu mengalir arus yang besar, maka sisi sekunder harus selalu dalam keadaan tertutup, bila terbuka maka transformator akan mengalami kerusakan, hal tersebut disebabkan karena tidak adanya fluks yang berasal dari sisi sekunder. Jadi pada dasarnya defenisi serta fungsi dari transformator arus ini yaitu sebagai media pengukuran serta penurunan yang dilakukan pada sebuah arus untuk tolak ukur sebagai dasarnya yang berdasarkan perbandingan yang tertentu saja dilakukan. Transformator arus ini termasuk dalam bagian dari transformator khusus yang disebut transformator pengukuran (instrumen).

2. Fungsi Trafo Arus (CT)

Mengkonversi besaran arus pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan pengukuran sistem metering dan proteksi. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, sebagai pengamanan terhadap manusia atau operator yang melakukan pengukuran. Standarisasi besaran sekunder, untuk arus nominal 1 Amp dan 5 Amp. Secara fungsi trafo arus dibedakan menjadi dua yaitu:

a. Trafo Arus Pengukuran

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. Penggunaan trafo arus pengukuran untuk Amperemeter, Watt-meter, VARh-meter, dan cos phi meter.

b. Trafo Arus Proteksi

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. Penggunaan trafo arus proteksi untuk relai arus lebih (OCR dan GFR), relai beban lebih, relai diferensial, relai daya dan relai jarak. Perbedaan mendasar trafo arus pengukuran dan proteksi adalah pada titik saturasinya.

Gambar 2.3 kurva kejenuhan CT untuk proteksi dan pengukuran

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

Gambar 2.4. Luas Penampang Inti Trafo Arus

3. Prinsip Kerja Trafo Arus

Kumparan primer yang dihubungkan seri dengan suatu rangkaian daya, dan rangkaian sekundernya membentuk suatu rangkaian tertutup 11 bersama ampere meter atau peralatan lain seperti kumparan arus dari relai pengaman. Keadaan sesungguhnya pada kumparan sekunder dililit secara uniform agar supaya kebocoran fluksi di antara kumparankumparan tetap rendah. Prinsip kerja dari transformator arus tidak berbeda dengan transformator daya. Hal-hal utama yang membedakan hanya terletak pada kondisi kerjanya. Perbedaan-perbedaan tersebut adalah :

- a. Transformator arus bekerja pada kondisi hampir mendekati keadaan hubung singkat, karena beban sekunder (burden) merupakan impedansi yang sangat rendah.
- b. Arus sekunder ditentukan oleh arus primer dan bukan oleh impedansi rangkaian sekunder. Arus primer ditentukan oleh beban rangkaian daya dari sistem arus bolak-balik dan perbandingan besarnya arus primer, dan arus sekunder hampir sama dengan perbandingan kumparan sekunder dengan kumparan primer.

4. Jenis trafo arus berdasarkan pemasangan

Berdasarkan lokasi pemasangannya, trafo arus dibagi menjadi dua kelompok, yaitu :

- a. Trafo arus pemasangan luar ruangan (*outdoor*)

Trafo arus pemasangan luar ruangan memiliki konstruksi fisik yang kokoh, isolasi yang baik, biasanya menggunakan isolasi minyak untuk rangkaian elektrik internal dan bahan keramik/porcelin untuk isolator eksternal.

Gambar 2.5 Trafo arus luar ruangan

- b. Trafo arus pemasangan dalam ruangan biasanya memiliki ukuran yang lebih kecil dari pada trafo arus pemasangan luar ruangan, menggunakan isolator dari bahan resin.

Gambar 2.6 Trafo Arus dalam ruangan

5. Karakteristik trafo arus

Umumnya hubungan dari trafo arus terdiri dari 3 (tiga) hubungan, yaitu:

- a. Hubungan ini terdiri dari sebuah lilitan primer dan lilitan sekunder, yang mempunyai rasio, misalnya : 50 / 5 A, 150 / 5 A dan 300 / 5 A.
- b. Hubungan trafo arus dengan 2 buah lilitan sekunder
Hubungan ini terdiri dari sebuah lilitan primer dan 2 buah lilitan sekunder yang bekerja masing – masing lilitannya dengan inti ganda (double core). Satu lilitan sekundernya untuk alat pengaman dan satu lagi untuk alat – alat pengukur, misalnya trafo arus rasio : 50 / 5-5 A, 200 / 5-5 A dan 300 / 5-5 A.
- c. Hubungan trafo arus dengan dua buah lilitan primer dan dua buah lilitan sekunder.

Hubungan ini terdiri dari dua buah lilitan primer yang sama dan dapat dihubungkan seri atau paralel sedangkan masing – masing lilitan sekundernya terpisah. Bilamana lilitan primernya dihubungkan seri (klem a dan b dihubungkan) sehingga didapat batas ukur yang lebih rendah kalau lilitan primernya dihubungkan paralel (klem P1 dengan a dan P2 dengan b) dihubungkan sehingga didapat batas ukur yang besar. Sistem ini lebih menguntungkan karena jika diadakan perluasan elektrifikasi maka tidak perlu mengganti trafo arus lagi, misalnya trafo arus dengan rasio : 150 - 300 / 5-5 A, 250 - 500 / 5-5 A dan 500 – 1000 / 5-5 A.

6. Pengenal Burden

Pengenal burden adalah pengenal dari beban trafo dimana akurasi trafo arus masih bisa dicapai dan dinyatakan dalam satuan VA. Umumnya bernilai 2,5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30 dan 40 VA

7. Kelas Akurasi

Kelas ketelitian transformator arus untuk proteksi dibedakan dari kejenuhan transformator arus tersebut.

a. Batas Kesalahan Untuk Pengukuran

Untuk pengukuran diusahakan cepat jenuh karena penggunaannya hanya di daerah kerja atau dibawah pengenal arus primernya, dalam hal ini diperlukan ketelitian yang tinggi.

Tabel 2.1 Batas Kesalahan Arus dan Kesalahan Sudut Untuk Kelas 0,1 –1,0 sesuai IEC 60044-1

Kelas ketelitian	+/- % kesalahan ratio arus pada % dari arus pengenal				+/- % pergeseran fasa pada % dari arus pengenal, menit (centiradians)			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10

0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60

Tabel 2.2 Batas Kesalahan Sudut Untuk Transformator Arus Keperluan Khusus

Klas ketelitian	+/- % kesalahan rasio arus pada % dari arus pengenal					+/- pergeseran fasa pada % dari arus pengenal menit (1/60°)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10
0,5S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30

b. Batas Kesalahan Untuk Proteksi

Untuk proteksi harus mempunyai kejenuhan yang tinggi karena bekerjanya jauh diatas arus pengenal primernya, sebab arus gangguan pada umumnya jauh lebih besar dari arus gangguan pada umunya jauh lebih besar dari arus pengenal primernya.

Tabel 2.3 Batas Kesalahan Accuracy Kelas Proteksi

Klas Ketelitian	Pada Arus Pengenal		Kesalahan Komposit pada batas ketelitian arus primer Pengenal (%)
	kesalahan		
	Ratio	Sudut	
5p	+/- 1%	+/- 60	5%
10p	+/- 3%	-	10%

8. Pengaruh Kejenuhan CT Terhadap Rele Arus Lebih

Banyak makalah yang telah menyelidiki penyimpanan bentuk gelombang yang berhubungan dengan kejenuhan CT dan pengaruh nya terhadap rele arus lebih, akan tetapi rele jenis ini dianggap telah using dan tidak di produksi lagi. Sebagai alternatifnya, untuk instalasi listrik baru dilakukanlah instalasinya dengan menggunakan rele yang berbasis *microprocessor*. Hanya sedikit makalah yang telah memperhitungkan pengaruh dari kejenuhan CT terhadap rele berbasis *microprocessor*. Operasi dari

rele berbasis *microprocessor* ini belum dipahami sepenuhnya terhadap pengaruh CT jenuh pada saat terjadi arus gangguan yang besar. Hal ini menyebabkan kebutuhan untuk melakukan penelitian terhadap perilaku transien dari pada rele tersebut selama CT jenuh. Kojovic telah mempertimbangkan pengaruh penyimpanan bentuk gelombang, terhadap rele proteksi, termasuk rele berbasis *microprocessor*. Makalah tersebut berusaha menunjukkan, secara teoritis dan melalui tes laboratorium, terhadap pengaruh dari pada harmonisa terhadap berbagai jenis rele proteksi. Ditunjukkan pula bahwa kinerja rele tersebut dipengaruhi oleh DC offset dan kejenuhan CT. Selain itu, tidak ada panduan yang menyediakan dalam suatu literatur dengan jelas dan praktis dalam memilih CT, untuk memastikan kinerja suatu rele arus lebih.

Dalam banyak kasus, CT yang telah jenuh dapat gagal dalam mengirim suatu reproduksi sesungguhnya dari arus primer selama tingkat gangguan yang tinggi, oleh karena itu dapat menyebabkan suatu operasi yang tidak diinginkan. Salah satu dari bahasan yang paling penting mencakup CT berasio rendah dalam suatu area sistem tegangan rendah, terutama sekali dalam aplikasi penggunaan rele pada *metal enclosed switchgear* 2.4-13.8 kV. Operasi dari rele digital dengan elemen proteksi *instantaneous* dan *time delay* perlu untuk dipelajari lebih lanjut guna menyelidiki perilaku transien rele selama CT jenuh.

9. Pengaruh Beban Terhadap Kejenuhan CT

Beban suatu transformator arus, seperti dijelaskan dalam standar IEEE C37-110 adalah property dari rangkaian yang terhubung ke rangkaian sekunder dan terhubung ke lilitan sekunder sehingga dapat menentukan daya aktif dan reaktif pada terminal sekunder. Beban dapat dinyatakan, baik sebagai total ohm impedansi bersama dengan komponen efektif dari resistansi dan reaktansi, maupun sebagai total volt-ampere dan factor daya peralatan sekunder. Tingkat akurasi CT didefinisikan oleh standar IEE C37-

110-196, sejauh mana arus pada rangkaian sekunder melakukan reproduksi arus rangkaian primer dalam proporsi yang dinyatakan oleh rasio, dan merepresentasikan hubungan fasa dari arus primer. Kelas akurasi dapat diperoleh dengan cara perhitungan atau melalui penyelidikan. Penyelidikan akan menentukan tegangan terminal sekunder minimum dimana trafo akan menghasilkan 20 kali ranting arus sekunder dengan beban standar tanpa melebihi batas kelas ketelitian (%).

Gambar 2.7 Kurva arus sekunder CT ideal dan jenuh

2.2.7. Gangguan Hubung Singkat

Tenaga Listrik disalurkan ke konsumen melalui Sistem Tenaga Listrik. Sistem Tenaga Listrik terdiri dari beberapa subsistem, yaitu Pembangkitan, Transmisi, dan Distribusi. Tenaga listrik disalurkan ke masyarakat melalui jaringan distribusi. Oleh karena itu, jaringan distribusi merupakan bagian jaringan listrik yang paling dekat dengan masyarakat.

Jaringan distribusi dikelompokkan menjadi dua, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 kV, 12 kV, 6 kV. Pada saat ini, tegangan distribusi primer yang cenderung dikembangkan oleh PLN adalah 20 kV. Tegangan pada jaringan distribusi primer, diturunkan oleh gardu distribusi menjadi tegangan rendah yang besarnya adalah

380/220 V, dan disalurkan kembali melalui jaringan tegangan rendah kepada konsumen.

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan – gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Suatu gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya.

Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen, atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah. Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi. Istilah gangguan identik dengan hubung singkat, sesuai standart ANSI/IEEE Std. 100-1992.

Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. Istilah gangguan atau gangguan hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu hubungan singkat. Untuk mengatasi gangguan tersebut, perlu dilakukan analisis hubung singkat sehingga sistem Proteksi yang tepat pada Sistem Tenaga Listrik dapat ditentukan. Analisis hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang didalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau dari pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik.

Analisis Hubung Singkat memiliki tujuan, yaitu sebagai berikut.

1. Untuk menentukan arus maksimum dan minimum hubung singkat.

2. Untuk menentukan arus gangguan tak simetris bagi gangguan satu dan dua line ke tanah, gangguan line ke line, dan rangkaian terbuka
3. Penyelidikan operasi rele-rele proteksi.
4. Untuk menentukan kapasitas pemutus dari circuit breaker.
5. Untuk menentukan distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan busbar selama gangguan.

Hubung singkat terjadi akibat dari faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal dari gangguan adalah rusaknya peralatan listrik. Faktor eksternal adalah antara lain cuaca buruk, seperti badai, hujan, dingin; bencana, seperti gempa bumi, angin ribut, kecelakaan kendaraan; runtuhnya pohon; petir; aktivitas konstruksi, ulah manusia, dan lain-lain. Sebagian besar gangguan terjadi karena cuaca buruk, yaitu hujan atau badai, dan pohon.

Gangguan hubung singkat menyebabkan terjadinya interupsi kontinuitas pelayanan daya kepada para konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian (*circuit*) atau menyebabkan keluarnya satu unit pembangkit, penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik dan merintangi kerja normal pada peralatan konsumen, pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan jatuhnya generator, dan merusak peralatan pada daerah terjadinya gangguan tersebut.

1. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena flashover antara penghantar fasa dan tanah (tiang travers atau kawat tanah pada SUTM). Gangguan ini bersifat temporer, tidak ada kerusakan yang permanen dititik gangguan. Pada gangguan yang tembusnya (*breakdown*) adalah isolasi udaranya, oleh karena itu tidak ada kerusakan yang permanen. Setelah arus gangguannya terputus, misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh relay pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali.

Jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah, arus gangguannya hamper selalu lebih kecil daripada arus hubung singkat tiga fasa.

2. Hubung singkat dua fasa

Hubung singkat dua fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fasa yang satu dengan satu penghantar fasa lainnya sehingga terjadi arus lebih (*over current*). Gangguan ini dapat diakibatkan oleh flashover dengan pohon-pohon yang tertiuip oleh angin. Jika terjadi gangguan hubung singkat dua fasa, arus hubung singkatnya biasanya lebih kecil dari pada arus hubung singkat tiga fasa.

3. Hubung singkat tiga fasa

Hubung singkat tiga fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersatunya semua ketiga penghantar fasa. Gangguan ini dapat diakibatkan oleh tumbangnya pohon kemudian menimpa kabel jaringan.

2.3. Kerangka Pemikiran

Berdasarkan dukungan landasan teori yang diperoleh dari eksplorasi teori yang dijadikan suatu konsep dari penelitian, maka dapat disusun kerangka pemikiran sebagai berikut:

Gambar 2.8. Alir Kerangka Pemikiran