

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keselamatan Ketenagalistrikan (K2)

Keselamatan ketenagalistrikan merupakan segala upaya atau langkah-langkah pengamanan instalasi tenaga listrik dan pengamanan pemanfaat tenaga listrik untuk mewujudkan kondisi andal bagi instalasi dan kondisi aman dari bahaya bagi manusia, serta kondisi akrab lingkungan, dalam arti tidak merusak lingkungan hidup di sekitar instalasi tenaga listrik.



Gambar 2. 1 Batas Lingkup K2 PLN

2.1.1 Dasar Hukum K2

Dasar Hukum K2 (Keselamatan dan Ketenagakerjaan) sebagai berikut:

1. UU No.1 / 1970 Penjelasan tentang Keselamatan Kerja
2. UU No.15 / 1985 Penjelasan tentang Ketenagalistrikan

3. PP No.3 / 2005 Penjelasan tentang Instalasi Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik
4. PP No.26/2006 Penjelasan tentang Instalasi Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik
5. Keppres No.22 / 1993 Penjelasan tentang Penyakit Yang Timbul Karena Hubungan Kerja
6. Kep Menaker No.5/Men/1996 Penjelasan tentang Sistem Manajemen K3 (SMK3)

Setiap usaha ketenagalistrikan wajib memenuhi ketentuan keselamatan ketenagalistrikan, adapun Keselamatan ketenagalistrikan meliputi :

- a. Standarisasi
- b. Pengamanan instalasi dan pemanfaat TL untuk mewujudkan kondisi Andal dan aman bagi instalasi (Keselamatan Instalasi), Aman dari bahaya bagi manusia yaitu Tenaga Kerja (Keselamatan Kerja) dan Masyarakat Umum (Keselamatan Umum), Akrab lingkungan (Keselamatan Lingkungan)
- c. Sertifikasi meliputi Sertifikasi laik operasi bagi instalasi penyediaan TL, Sertifikasi kesesuaian dengan standar PUIL untuk instalasi pemanfaatan TL (instalasi pelanggan), Tanda keselamatan bagi pemanfaat TL (alat kerja/rumah tangga), serta Sertifikasi kompetensi bagi tenaga teknik ketenagalistrikan

2.2 Penelitian Terdahulu

(Ade Putra, 2017), Gardu Induk Godean transformator memiliki beberapa *rele* proteksi yang berfungsi sebagai instrument pemutus arus gangguan yang terjadi yang dapat merusak komponen kelistrikan khususnya transformator daya. Rele ada beberapa jenis namun pada gardu induk godean menggunakan sistem *Overcurrent* rele dan *groundfault relay* yang berfungsi untuk memutus arus hubung singkat yang terjadi di jaringan agar tidak meluas. Untuk mengukur kepekaan *relay* yang terpasang pada jaringan menggunakan software, yaitu *ETAP 12.60* dengan menggunakan 2 buah fitur yang terdapat pada aplikasi tersebut, yaitu *star protective device coordination* dan juga *short circuit analysis*, yang digunakan untuk menganalisis proteksi yang bekerja pada jaringan bekerja dengan

baik atau tidak. Hasil dari analisis ini memperlihatkan kondisi dari rele-*relay* yang terpasang serta waktu kerja rele, apakah *relay* bekerja secara normal atau tidak.

(Zakaria, 2016), Penyulang *MCCB FGD 380 V* memperoleh daya dari penyulang *380 V FGD A / B* melalui “bus PMT kopel”. PMT kopel ini didesain untuk otomatis kontak saat salah satu bus A / B terjadi gangguan *undervoltage*. Saat PMT Kopel/Bus Tie yang menghubungkan bus A dan B (close/kontak), *overcurrent relay* tidak mendeteksi adanya gangguan *overcurrent*, sehingga mengakibatkan *relay* yang berada di sisi sumber open untuk mengamankan trafo sumber. Sehingga berdampak pada peralatan penting yang harusnya selalu beroperasi menjadi terhenti, dan mengakibatkan unit trip. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung besar gangguan arus hubung singkat dan menyetel ulang *overcurrent relay*. Dengan seting *overcurrent relay* baru untuk kerja *relay PMT kopel (ABB SACE EMAX 1)*, yaitu $I_{n} = I_{set\ primer} = 2000\ A$ atau $I_{set\ sekunder} = 2,5\ A$. Kurva kerja *relay* arus menggunakan delay 0,2 detik pada arus gangguan $2 \times I_{main}$ untuk fungsi kurva short time delay dan delay 6 detik pada arus gangguan $3 \times I_{set\ primer}$ untuk fungsi kurva long time delay.

(Taufiq Wal Hidayat, 2015), Menganalisis dan mencari solusi kasus selalu tripnya circuit breaker pada sisi *incoming busbar 10 kV unit board 1A* atau *B* saat *energize transformator 6000 kVA* pada 3 kV unit board 2B atau A, menghitung arus residual pada *incoming CB* di 10 kV unit board 1B yang trip akibat terdeteksinya *overcurrent* dan *groundfault* pada kasus, menghitung dan menganalisis setting releproteksi pada 10 kV unit board 2B pada penyulang menuju transformator 10/3 kV untuk menganalisis permasalahan yang terjadi.

(Bagus Ibnu Pratama, Moch.Dhofir, dan Hery Purnomo), Proses produksi PT. Ajinomoto terhenti selama dua setengah jam. Setelah dilakukan penyelidikan, kejadian tersebut disebabkan oleh gangguan hubung singkat pada *motor induksi tiga fasa (1000 kW)* yang berfungsi sebagai penggerak compressor pada *feeder 2F*. *Overcurrent relay* sebagai pengaman utama tidak bekerja, dan *relay* pada sisi upstream bekerja lebih dahulu. Hal ini menyebabkan terjadi kegagalan lokalisir gangguan. Akibatnya sistem yang harusnya beroperasi normal menjadi terganggu (*trip*). Tujuan penelitian ini adalah menghitung besar arus gangguan hubung

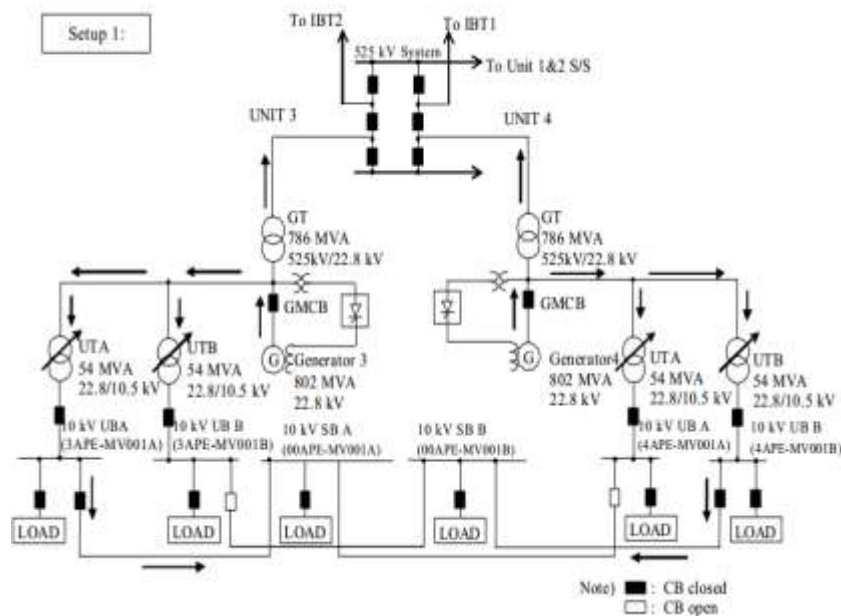
singkat tersebut dan menyetel ulang overcurrent *relay*. Dengan setelan *overcurrent relay* yang baru yaitu $I_{set\ primer} = 262\ A$, $I_{set\ sekunder} = 3.28\ A$ dan untuk setelan $OCR\ M = 0.75$, $t = 0.25\ s$, setelan $GFR\ M = 1$, $t = 0.25\ s$ diharapkan dapat meningkatkan selektifitas sistem proteksi dan memperbaiki koordinasi *relay* pengaman utama dengan pengaman cadangan. Untuk menampilkan grafik kerja *relay* digunakan *software ETAP*.

Pada penelitian ini akan membahas tentang koordinasi seting proteksi *overcurrent relay* dengan *groundfault relay*, Mereview ulang seting multi *relay* proteksi *MCR26* pada *feeder MBFP 10 kV unit board A* di PLTU tanjung jati B unit 3. Kemudian membandingkan dengan seting *relay* hasil perhitungan sesuai standar *IEC* dan *Toshiba*. Seting *relay* proteksi yang benar akan sangat berdampak pada keandalan unit, sehingga saat terjadi gangguan pada *feeder motor* maka proteksi akan bekerja melokalisasi gangguan pada motor saja (CB yang lepas hanya sisi motor saja tidak sampai mempengaruhi CB peralatan lain apalagi sampai mempengaruhi *CB Transformer*). Seting *relay* proteksi yang sudah diaplikasikan pada *OCR* seting $I_{nominal} = 379\ A$, $I_{skunder} = 3.5\ A$ dan untuk time dial $0.3\ detik$, seting *OCG* yang diaplikasikan $I_{set} = 0.4\ A$ waktu kerjs $1\ detik$. Setelah direview ulang hasil setingan untuk *OCR* untuk *Inominal* adalah $I_{skunder} = 3.47\ A$ dan untuk *time dial* $0.25\ detik$. Untuk menampilkan hasil analisa *overcurrent relay* dan *groundfault relay* serta kurva kerja *relay* menggunakan *software ETAP 12.6*.

2.3 Sistem Kelistrikan PLTU Tanjung Jati B Unit 3

Sumber daya listrik yang dikirim melalui Generator Transformer unit 3 dan 4 terhubung ke masing masing *GMCB* dan outputnya menuju ke sistem jaringan jawa bali 500 kV sehingga terhubung ke pembangkit pembangkit lain. Disamping menuju ke sistem 500 kV, PLTU tanjung Jati unit 3&4 juga mensuplai pasokan listrik ke 150 kV malalui *IBT 1* dan *IBT 2*. Adapun untuk pemakaian sendiri, output generator melalui *GMCB* kemudian masuk ke Unit Transformer 10 kV. Kemudian ditransferkan menuju ke beban. Dalam hal ini PLTU tanjung jati B disamping mensupali pasokan listrik keluar juga dapat menyerap listrik dari

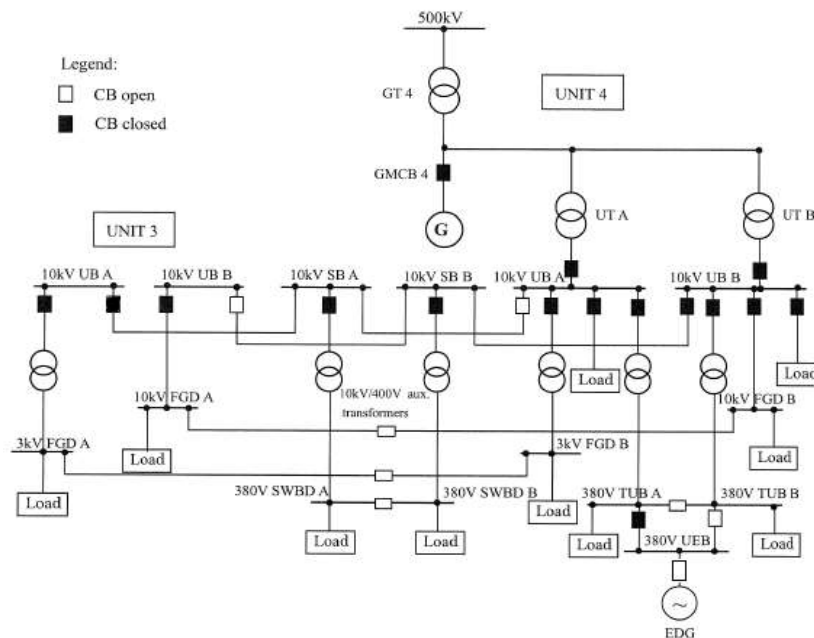
jaringan itu sendiri jika diperlukan, tetapi hal itu hanya dilakukan saat terjadi gangguan dan sifatnya darurat bila unit pembangkit sebelah tidak bisa membantu pasokan listriknya ke unit yang bermasalah, karena Masing - masing bus 10 kV unit 3 dan unit 4 saling terhubung sehingga apabila ada gangguan pada unit 3 yang mengakibatkan trip unit maka daya pemakaian sendiri dapat diambilkan dari unit 4 atau sebaliknya. Dengan catatan unit yang membantu masih dalam kapasitas produksinya (tidak *overload*). Ketika kedua unit sama – sama dalam kondisi gangguan maka daya pemakaian sendiri diambilkan dari jaringan PLN melalui Generator Transformer. Untuk lebih jelas terlihat pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 Sistem Kelistrikan PLTU Tanjung Jati B Unit 3&4

Sumber daya listrik dari Generator (G) unit 4 outputnya melalui *GMCB* (*Generator Main Circuit Breaker*) menuju ke *Generator Transformer (GT)* kemudian ke sistem jaringan 500 kV disamping itu juga Generator mensuplai ke pemakaian sendiri melalui *GMCB* masuk ke Unit Transformer (UT) A&B 10 kV kemudian turun lagi ke Transformer 3 kV, Transformer 380 V dan Transformer 220V serta terhubung juga ke *EDG (Emergency Diesel Generator)*. Masing masing bus terdapat sisi A dan B serta terdapat bus Tie, sehingga apabila ada

gangguan satu sisi A dapat di suplai dari sisi B dan berlaku sebaliknya. Untuk pasokan daya pemakaian sendiri yang bersifat umum seperti daya untuk proses air laut dan proses bahan bakar (batu bara dan solar), daya yang digunakan malalui *station Board (SB)* 10kV yang disuplai *split* dari masing – masing unit yaitu *station board A* disuplai dari unit 3 maka *station Board B* disuplai dari unit 4. Jika kondisi salah satu unit mengalami gangguan maka suplai untuk *station board A* dan B dapat diambilkan dari 1 unit saja, dan melewati station Board ini pula unit yang mengalami gangguan dapat mendapatkan pasokan listriknya dari unit yang aman (tidak mengalami gangguan). Seperti terlihat pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3 Sistem KelistrikanDi PLTU Tanjung Jati B

2.4 Dasar Teori Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik tidak selamanya berjalan ideal, karena dalam kenyataannya dapat terjadi suatu kondisi abnormal (seperti adanya gangguan atau terjadinya *short circuit*). Kondisi abnormal tersebut dapat membahayakan sistem secara keseluruhan, sehingga diperlukan adanya sistem proteksi yang dapat meminimalisi efek dari kondisi abnormal tersebut. Sistem proteksi tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan peralatan yang terpasang pada sistem

tenaga listrik, seperti generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut. Fungsi dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan, yang hampir seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih normal (tidak terganggu) serta sekaligus mengamankan bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Semakin besar sistemnya maka akan semakin besar pula arus gangguannya, bila tidak segera dihilangkan maka arus gangguan ini akan merusak peralatan yang dilaluinya.

2.4.1 Tujuan sistem proteksi:

1. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal
2. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
3. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
4. Memperkecil bahaya bagi manusia.

2.4.2 Persyaratan sistem proteksi

Relay proteksi sebagai komponen utama pada Sistem Tenaga Listrik terutama pada Gardu Induk mempunyai persyaratan yang harus terpenuhi, antara lain :

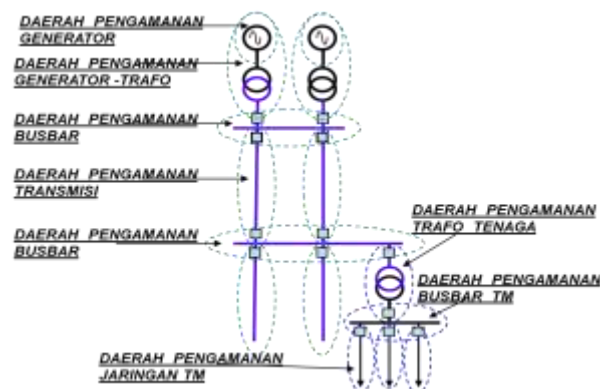
1. *Reliability* (keandalan) mempunyai 3 aspek dasar yaitu:
 - a). *Dependability* dimaksudkan sebagai derajat kepastian bahwa releakan beroperasi dengan benar atau kata lain, dependability menunjukkan kemampuan sistem untuk tidak beroperasi saat kondisi normal atau gangguan di luar zona operasinya.
 - b). *Security*, dimaksudkan sebagai derajat kepastian bahwa reletidak salah kerja.

c). *Availability*, dimaksudkan sebagai perbandingan antara waktu pengaman dalam keadaan siap kerja dan waktu total operasinya.

2. *Selectivity* (selektivitas).

Selektivitas dikenal sebagai koordinasi relay yaitu proses penggunaan dan penyetelan releproteksi yang bekerja *over-reach* terhadap relain, sehingga releharus beroperasi secepat mungkin pada zona utama, tapi harus menunda operasinya di daerah cadangan operasi, kecuali proteksi utama dari daerah tersebut tidak beroperasi. Sifat penundaan dapat dicapai dengan metode *time graded* sistem dan unit sistem.

Untuk dapat menerapkan prinsip *selectivity*, suatu sistem tenaga listrik yang terdiri dari banyak pemutus tenaga harus diatur dan dikoordinasikan, sehingga pada saat terjadinya kondisi abnormal, *relay* dapat membuka hanya pemutus tenaga yang diperlukan saja, hal inilah yang disebut dengan *selective fault clearance*. *Relay* proteksi harus diberi informasi yang memungkinkannya untuk membedakan antara kondisi abnormal yang berada di dalam zona proteksinya (dimana harus terjadi tripping), dan gangguan eksternal atau arus beban normal (dimana tidak boleh terjadi tripping). Informasi ini diperoleh dari sistem tenaga listrik, seperti arus, tegangan dan sudut fasa antara keduanya yang diukur pada saat terjadi gangguan.



Gambar 2. 4 Daerah Pengamanan Sistem Tenaga Listrik

3. *Speed of Operation* (kecepatan operasi)

Ketika terjadi gangguan, komponen proteksi harus dapat memberikan respon waktu yang tepat, sesuai dengan koordinasi yang diinginkan. Untuk menciptakan selektifitas yang baik, suatu *relay* diberi waktu tunda (*time delay*). Antara pengaman yang terpasang namun waktu tunda itu harus secepat mungkin, setelah waktu minimum yang di setkan ke *relay* untuk menghindari *thermal stress* adalah

$$T_{total} = t_{start} + t_{CT} + t_{PMT} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

T_{total} = Waktu total pelepasan gangguan

t_{start} = Waktu start rele (Waktu Kerja Tanpa Waktu Tunda)

t_{CT} = Waktu CT menerima arus besar

t_{PMT} = Waktu pemutusan arus gangguan PMT

Dengan peralatan proteksi yang terpasang pada sistem tegangan menengah kondisi saat ini yang mempunyai

$t_{start} = 20$ s/d 30 milidetik

$t_{CT} = 10$ milidetik

$t_{PMT} = 40$ s/d 60 milidetik

Maka total pengaman utama dengan waktu, biasa kurang dari 100 milidetik. Setelah ini adalah setelan untuk pengaman dengan waktu *instantaneous* (cepat), yang diseting untuk pengaman listrik bila terjadi gangguan listrik dengan arus besar.

4. Kepekaan (*sensitivity*)

Relay harus peka untuk dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamannya, termasuk kawasan pengaman cadangan jauh, meskipun dalam kondisi yang memberikan *deviasi* yang minimum. Untuk *overcurrent relay* bertugas pula sebagai pengaman cadangan jauh bagi seksi berikutnya dalam kondisi pembangkitan minimum. Sebagai pengaman peralatan seperti motor, generator atau trafo, releyang peka dapat mendeteksi gangguan pada tingkatan yang masih dini sehingga dapat membatasi kerusakan. Bagi peralatan tersebut hal ini sangat

penting karena jika gangguan itu sampai merusak besi laminasi stator atau inti trafo, maka perbaikannya akan sangat sukar dan mahal.

5. Ekonomis (economic)

Sistem proteksi pada sistem distribusi kajian ekonomis hampir mengalahkan aspek teknis, oleh karena jumlah feeder, trafo dan sebagainya yang begitu banyak, asal sajabersyarat keamanan yang pokok dipenuhi. Dalam suatu sistem transmisi justru aspek teknis yang penting. Proteksi relatif mahal, namun demikian pula sistem atau peralatan yang dilindungi dan jaminan terhadap kelangsungan peralatan sistem adalah vital. Biasanya digunakan dua sistem proteksi yang terpisah, yaitu proteksi primer atau proteksi utama dan proteksi pendukung (*backup*).

2.4.3 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Sistem tegangan menengah salah satu bagian sistem tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan. Adapun gangguan tersebut dikarenakan adanya kejadian secara acak dalam sistem yang tidak dapat dihindarkan, dapat berupa berkurangnya kemampuan peralatan, peningkatan beban dan lepasnya peralatan-peralatan yang tersambung ke sistem SUTM atau SKTM, sehingga masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah mengatasi gangguan, seperti gangguan hubung singkat fasa-fasa atau satu fasa tanah. Seringnya gangguan hubung singkat di jaringan menyebabkan *relay* proteksi bekerja dan sesering itu pula trafo daya menderita pukulan hubung singkat yang dapat memperpendek umur trafo daya tersebut.

Ketidaknormalan dalam sistem tenaga yang mengakibatkan mengalirnya alur tidak normal dalam sistem tiga fasa merupakan definisi dari gangguan. Definisi lain dari gangguan adalah semua ketidaknormalan/ kecacatan yang mengganggu aliran arus normal ke beban. Arus yang mengalir pada penghantar tidak boleh melebihi pengaturan maksimum arus yang melalui pemutus tenaga serta tidak melebihi kemampuan hantar dari suatu konduktor penghantar.

Adapun tujuan dari analisa gangguan adalah sebagai berikut ;

- a. Untuk mengetahui kapasitas maksimum dari pemutus tenaga.
- b. Untuk menyelidiki unjuk kerja dari suatu *relay* proteksi.
- c. Untuk mengetahui distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan sistem pada saat terjadi gangguan.

1. Gangguan berdasarkan kesimetrisannya antara lain :

1.1 Gangguan Asimetris

Merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang.

Gangguan ini terdiri dari ;

- a. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
- b. Gangguan hubung singkat dua fasa
- c. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah

1.2 Gangguan simetris

Merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang pada saat terjadi gangguan. Gangguan ini terdiri dari ;

- a. Gangguan hubung singkat tiga fasa
- b. Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah

2. Gangguan berdasarkan durasinya

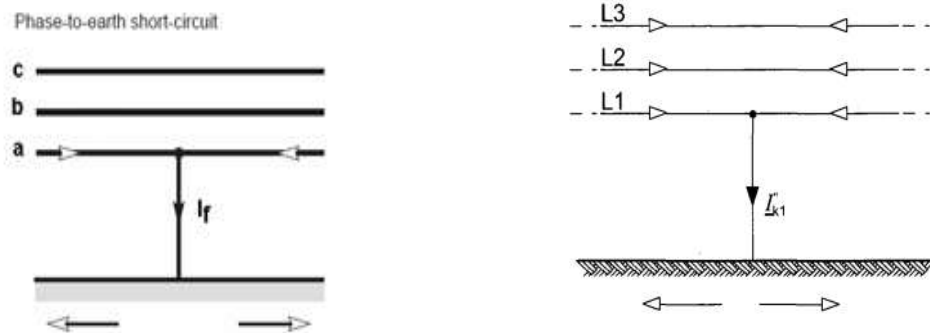
a. Gangguan transient

Merupakan gangguan yang akan hilang setelah pemutus tenaga dibuka, kemudian di hubungkan lagi.

b. Gangguan permanen

Merupakan gangguan yang tetap ada meskipun pemutus tenaga di putus dan disambung kembali.

2.4.3.1 Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

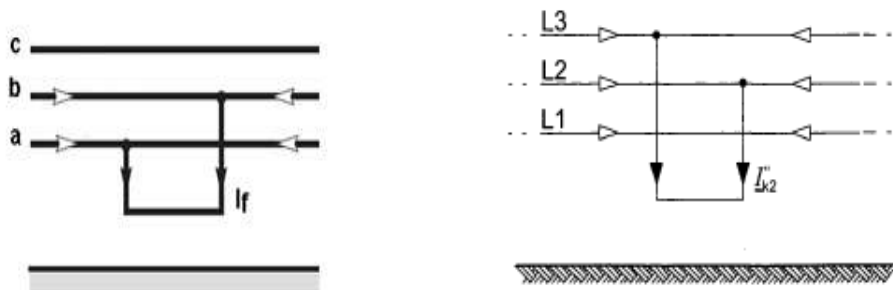


Gambar 2. 5 Hubung Singkat Satu Fasa

Hubung singkat satu fasa ke tanah diakibatkan oleh *flashover* antara penghantar fasa dengan tanah (tiang *travers* atau kawat tanah pada SUTM). Gangguan ini bersifat temporer, tidak ada kerusakan yang permanen di titik gangguan. Setelah arus gangguannya terputus, misalnya karena terbukanya *circuit breaker* oleh *relay* pengamannya peralatan, saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah, arus gangguannya hampir selalu lebih kecil daripada arus hubung singkat tiga fasa. Adapun formula perhitungan arus hubung singkatnya adalah :

$$I_{1\phi - tanah} = 3 \cdot E / (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_f) \dots\dots\dots(2.2)$$

2.4.3.2 Hubung Singkat Dua Fasa

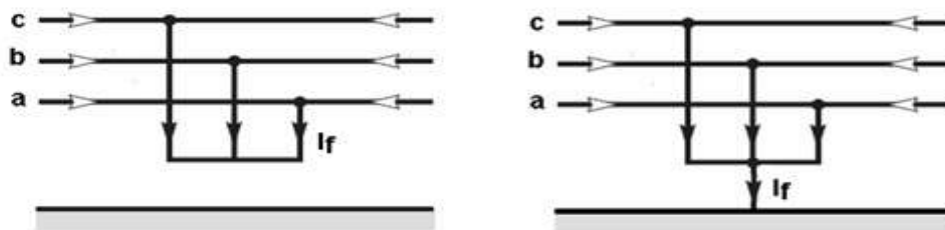


Gambar 2. 6 Gangguan Dua Fasa

Hubung singkat dua fasa terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fasa yang satu dengan satu penghantar fasa yang lainnya sehingga overcurrent. 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 daripada arus hubung singkat tiga fasa. Adapun formula perhitungan arus hubung singkatnya adalah :

$$I_{\phi - \phi} = E \cdot \sqrt{3} / (Z_1 + Z_2 + Z_f) \dots \dots \dots (2.3)$$

2.4.3.1 Hubung Singkat Tiga Fasa



Gambar 2. 7 Gangguan 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. Adapun formula perhitungan arus hubung singkatnya adalah :

$$I_{3\phi} = E / (Z_1 + Z_f) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

$I_{3\phi}$ = Arus hubung singkat 3 fasa satuan amper

$I_{\phi - \phi}$ = Arus Hubung Singkat fasa-fasa satuan amper

$I_{1\phi - tanah}$ = Arus Hubung Singkat fasa-tanah satuan amper

E = Tegangan fasa = Tegangan fasa-fasa / $\sqrt{3}$ satuan Volt

Z_1 = Impedansi urutan positif rangkaian satuan Ohm

Z_2 = Impedansi urutan Negatif rangkaian satuan Ohm

Z_0 = Impedansi urutan Nol rangkaian satuan Ohm

Z_f = Impedansi Gangguan satuan Ohm

Dari ketiga macam gangguan Hubung Singkat diatas,dengan mengetahui besarnya Tegangan Sumber dan besarnya nilai Impedansi tiap komponen jaringan serta bentuk konfigurasi jaringan didalam sistem maka besarnya Arus Gangguan Hubung singkat dapat dihitung menggunakan rumus umum (Hukum Ohm) yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

I =Arus yang mengalir pada hambatan Z

V =Tegangan Sumber

Z=Impedansi Jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi didalam dari Sumber tegangan sampai titik gangguan.

Yang membedakan antara Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa, 2 Fasa dan 1 Fasa ketanah adalah Impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri, dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan, impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut ini :

Z untuk gangguan 3 Fasa $Z = Z1$

Z untuk gangguan 2 Fasa $Z = Z1 + Z2$

Z untuk gangguan 1 Fasa ketanah $Z = Z1 + Z2 + Z0$

Tabel 2. 1 Faktor Koreksi Tegangan Menurut Standar IEC 60909-0

Tegangan Nominal	Hubung singkat	Hubung singkat minimum c min
	Maksimum cmax	
Tegangan rendah 100V---1000V (IEC 60038)	Tegangan rendah 1,05 ¹⁾ 1,05 ²⁾	0,95
Tegangan Menengah >1kV hingga 35kV Tegangan tinggi >35 kV	1,1	1
1) Untuk tegangan rendah dengan toleransi + 6% sebagai contoh dari 380V ke 400V.		
2) Untuk tegangan Rendah dengan toleansi +10%		

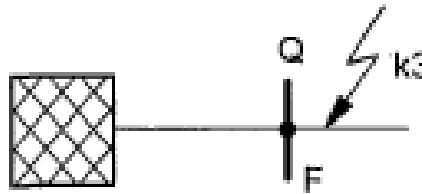
Pada table 2.1 menjelaskan standar koreksi tegangan menurut standar IEC, untuk tegangan 100-1000V koreksi tegangan maksimum 1.05% dan untuk minimum 0,95%, untuk tegangan menengah sampai tegangan tinggi menggunakan standar koreksi tegangan maksimumnya 1.1% dan untuk koreksi minimum sebesar 1%.

2.4.4 Perhitungan Impedansi dan arus hubung singkat pada peralatan dengan standar IEC

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka data data impedansi dari suatu peralatan haruslah diketahui terlebih dahulu impedansi dari tiap komponen yang terllibat dalam rangkaian yang akan dihitung. Untuk memperoleh besaran impedansi, maka perhitungan berdasarakan standar *IEC 60909* adalah sebagai berikut;

2.4.4.1 Impedansi Penyulang

Pada jaringan tiga fasa, impedansi sumber / jaringan sebagaimana terlihat pada gambar 2.8 ditentukan dengan rumus;



Gambar 2. 8 Hubung Singkat Pada Feeder

$$Z_Q = \frac{c U_{nQ}}{\sqrt{3} I''_{kQ}} \cdot \frac{1}{t_r^2} \dots \dots \dots \quad (2.6)$$

Ketterangan;

Z_Q = Impedansi di titik Q

U_{nQ} = Tegangan Nominal di feeder Q (kv)

I''_{kQ} = Initial symmetrical short circuit current

t_r^2 = Rasio CT

c = Factor tegangan (IEC 60909 : 2001 tabel 1)

2.4.4.2 Impedansi Trafo

Untuk perhitungan impedansi trafo tipe dua belitan, maka formula yang digunakan adalah

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Setelah diketahui besaran impedansi peralatan, maka hasil yang diperoleh di kalikan dengan faktor koreksi K_T .

Faktor koreksi pada trafo diperoleh dengan formula sebagai berikut;

$$K_T = 0.95 \frac{c_{max}}{1+0.6X_T} \dots \dots \dots (2.8)$$

keterangan ;

c = faktor tegangan (IEC 60909-0 : 2001 tabel ;1)

X_T = $X_T / (\frac{U_{rT}^2}{S_{rT}})$

Z_T = impedansi trafo

u_{kr} = impedansi hubung singkat trafo

U_{rT}^2 = tegangan nominal trafo

S_{rT} = daya nominal trafo

2.4.4.3 Impedansi Motor Induksi Tak Serempak

Untuk perhitungan impedansi motor tak serempak, maka formula yang digunakan adalah

$$Z_M = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} I_{rM}} = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan ;

U_{rM} = Tegangan running motor

I_{LR}/I_{rM} = Rasio arus rotor saat berhenti dan saat rotor berputar pada beban penuh

S_{rM} = Daya semu motor/ MVA motor

Dalam perhitungan menggunakan standar *IEC* sesuai dengan standar *IEC(60909-4)*. Apabila arus hubung singkat melalui trafo, maka persamaan impedansi motor menjadi;

$$Z_{Mt} = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \cdot \frac{U_{rTHV}^2}{U_{rTLV}^2} \quad (2.10)$$

$$Z_{THV} = \frac{u_{kr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rTHV}}{S_{rT}} \quad (2.11)$$

Keterangan;

Z_{THV} = Impedansi hubung singkat motor dilihat dari sisi tegangan tinggi

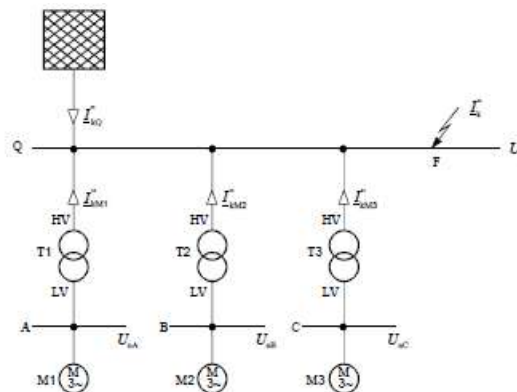
Z_{Mt} = Impedansi motor dilihat dari sisi tegangan tinggi trafo

U_{rTHV} = Tegangan nominal trafo pada sisi tegangan tinggi

U_{rTLV} = Tegangan nominal trafo pada sisi tegangan rendah

2.4.4.4 Impedansi Grup Motor

Apabila dalam rangkaian terdapat trafo maupun motor, maka arus hubung singkat dipengaruhi oleh arus *feedback* dari motor serta trafo yang terhubung. Arus ini disebut dengan arus kontribusi atau *decay current*.



Gambar 2. 9 Impedansi Pada Group Motor

Pada rangkaian seperti terlihat pada gambar 2.9, maka perhitungan arus hubung singkatnya adalah arus hubung singkat dari sumber ditambah jumlah arus dari beban, seperti terlihat pada persamaan berikut;

$$\sum I''_{KM} = I''_{KM1} + I''_{KM2} + I''_{KM3} \quad (2.12)$$

Keterangan;

$\sum I''_{KM}$ = Jumlah arus hubung singkat kontribusi dari motor dan transformator

I''_{KM1} = Arus kontribusi dari motor dan trafo

2.4.4.5 Rasio Transformasi Tegangan

Dalam setiap perhitungan hubung singkat menggunakan standar *IEC* perbedaan level tegangan karena adanya transformator adalah

$$Tr = U_{rHV}/U_{rLV} \quad (2.13)$$

Keterangan ;

U_{rHV} = Tegangan nominal Pada sisi tegangan tinggi

U_{rLV} = Tegangan nominal padasisi tegangan rendah

2.4.5 Komponen Simetris

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik umumnya merupakan gangguan tak seimbang, dimana arus maupun tegangan pada tiap fasanya menjadi tidak seimbang satu sama lain atau disebut gangguan asimetris. Menurut teorema Fortesque, suatu sistem tidak seimbang yang terdiri dari arus dan tegangan yang tidak seimbang dapat dipecah meenjadi tiga komponen simetris dari sistem tig fasa yang seimbang. Komponen simetris tersebut adalah ;

1. Komponen Urutan Positif

Merupakan komponen yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang sama besar seperti fasor aslinya (umunya ditandai dengan *subscript* 1). Saat sistem pada kondisi normal, hanya terdapat arus dan tegangan positif saja, sehingga impedansi sistem pada kondisi normal adalah impedansi urutan positif. Ketika terjadi gangguan, cabang yang terganggu pada sistem dapat digantikan dengan perubahan tegangan $\Delta V = V - V_1$ dan semua sumber tegangan yang ada pada sistem dihubung singkat, sehingga akan diperoleh arus gangguan ΔI yang mengalir ke dalam sistem yaitu ;

$$\Delta I = \frac{(V - V_1)}{Z_1} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dan

$$\Delta I = I - I_1 \dots\dots\dots (2.15)$$

Karena arus awal sistem sebelum terjadi gangguan adalah nol ($I = 0$) maka arus yang mengalir di cabang yang mengalami gangguan $I1 = -\Delta I$ sehingga di dapat

$$V1 = V - I1.Z1.....(2.16)$$

Persamaan diatas merupakan persamaan komponen urutan positif arus dan tegangan pada cabang yang mengalami gangguan. Komponen Urutan Negatif (*Negative Sequence Component*) Merupakan komponen yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dngan fasor aslinya (umunya ditandai dengan subscript 2). Jika pada kondisi normal hanya terdapat komponen urutan positif, maka urutan negatif hanya ada pada kondisi gangguan. Karena tidak ada komponen negatif sebelum terjadi gangguan, maka apabila terjadi gangguan akan timbul perubahan tegangan sebesar $-V2$ dan arus sebesar $I2$ yang mengalir dari sistem ke gangguan adalah

$$I2 = \frac{V2}{Z2} \dots(2.17)$$

$$V2 = -I2.Z2.....(2.18)$$

$Z2$ merupakan impedansi urutan negatif dan umumnya sama dengan arus urutan positif.

2. Komponen Urutan Nol

Merupakan komponen yang terdiri dari fasor yang besarnya sama dan tidak ada pergeseran fasa antara fasor yang satu dengan yang lainnya (umumnya ditandai dengan *subscript 0*). Persamaan untuk komponen arus urutan nol saat terjadi gangguan yaitu ;

$$I0 = \frac{V0}{Z0}.....(2.19)$$

$$V0 = -I0.Z0.....(2.20)$$

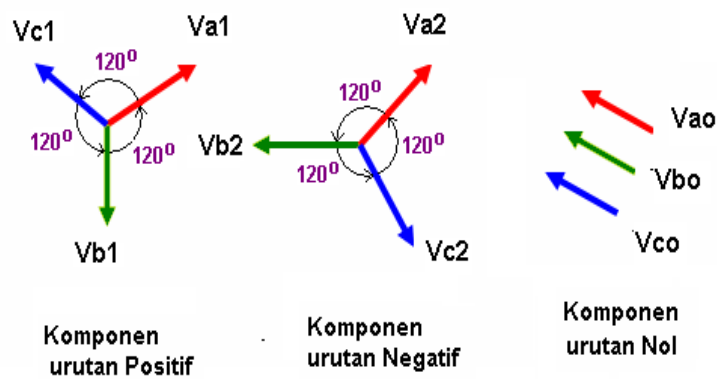
Arus dan tegangan pada komponen urutan nol adalah sefasa, oleh karena itu arus urutan nol untuk dapat mengalir kembali ke sistem memerlukan jalan balik (*return connection*) melalui *groundfault* netral sistem. Impedansi urutan nol pada umumnya tidak sama dengan impedansi urutan positif dan tergantung dari

beberapa faktor seperti jenis peralatan sistem, cara menghubungkan belitan (Δ atau Y) dan cara *groundfault* titik netral

Komponen – komponen simetris dari masing – masing fasa adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \\ V_b &= V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} \\ V_c &= V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} \dots \dots \dots \end{aligned} \quad (2.21)$$

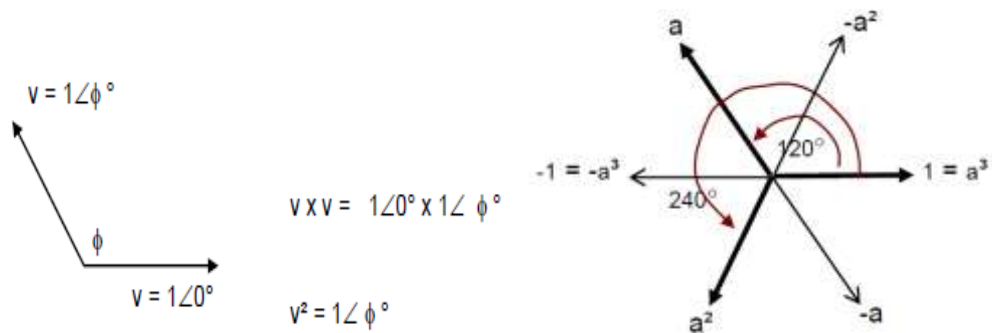
dengan : subkrit 0, 1, dan 2 masing-masing menunjukkan urutan nol, positif dan negatif



Gambar 2. 10 Fasor Seimbang Komponen Simetris Dari 3 Fasor Tak Seimbang

2.4.6 Operator-Operator Komponen Simetris

Yang dimaksud operator dalam komponen simetris adalah gradien arah dari suatu vektor arus maupun tegangan. Karena adanya pergeseran fasa pada komponen – komponen simetris, maka akan lebih mudah jika digunakan suatu operator yang menunjukkan perputaran 120° untuk keperluan analisa pada sistem tenaga yang berkaitan dengan ketidakseimbangan sistem. Untuk memudahkan perhitungan dipakai notasi "a" dalam perhitungan. Notasi "a" adalah gradient vektor untuk pergeseran sudut fasor 120° . Dalam operasi arimatik 2 besaran vektor yang sama dan mempunyai pergeseran fasa Θ° adalah

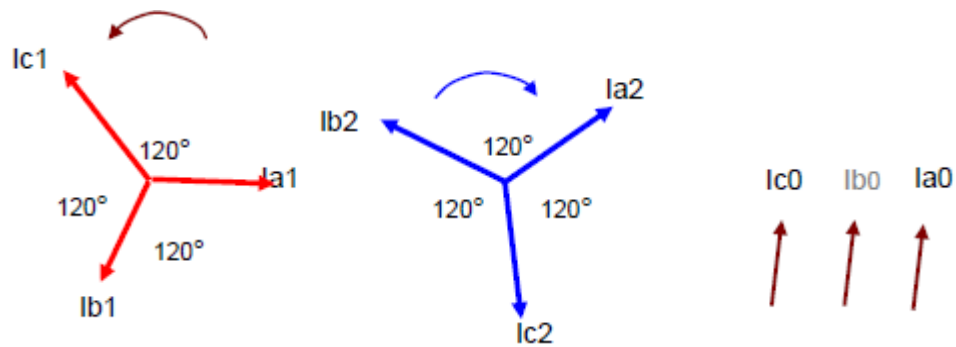


Gambar 2. 11 Vektor Bila Digambarkan Dalam Gafik

$$a = 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j0,866$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0,5 - j0,866$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 \dots\dots\dots(2.22)$$



a. Arus urutan positif b. arus urutan negative c. arus urutan nol

Gambar 2. 12 Komponen Simetris Fasor Arus

Dengan memperhatikan gambar diagram fasor pada gambar 2.12, maka komponen – komponen vector b dan vector c dapat ditransfer ke verktor a dengan bantuan operator a yaitu :

$$\begin{aligned} V_{b1} &= a^2 V_{a1} & V_{c1} &= a V_{a1} \\ V_{b2} &= a V_{a2} & V_{c2} &= a^2 V_{a2} \\ V_{bo} &= V_{ao} & V_{co} &= V_{ao} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad (2.23)$$

Apabila persamaan – persamaan tersebut disubsitusikan maka diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_a &= V_{ao} + V_{a1} + V_{a2} \\ V_b &= V_{ao} + a^2V_{a1} + aV_{a2} \\ V_c &= V_{ao} + aV_{a1} + a^2V_{a2} \dots\dots\dots (2.24) \end{aligned}$$

Dapat juga persamaan diatas dituliskan dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ao} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.25)$$

Untuk lebih sederhana dituliskan kembali ;

$$A = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \text{ dan}$$

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

Sehingga diperoleh persamaan :

$$\begin{bmatrix} V_{ao} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\begin{aligned} V_{ao} &= 1/3(V_a + V_b + V_c) \\ V_{a1} &= 1/3(V_a + aV_b + a^2 V_c) \\ V_{a2} &= 1/3(V_a + a^2 V_b + aV_c) \dots\dots\dots (2.27) \end{aligned}$$

Hubungan fasor tegangan diatas berlaku juga bagi komponen simetris fasor arus.

$$\begin{aligned} I_a &= I_{ao} + I_{a1} + I_{a2} \\ I_b &= I_{bo} + I_{b1} + I_{b2} = I_{ao} + a^2I_{a1} + aI_{a2} \\ I_c &= I_{co} + I_{c1} + I_{c2} = I_{ao} + aI_{a1} + a^2I_{a2} \dots\dots\dots (2.28) \end{aligned}$$

Dalam bentuk matriks,

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.30)$$

Dalam sistem tiga fasa dengan kawat netral, arus netral adalah arus kembali yang besarnya adalah :

$$I_n = I_a + I_b + I_c \dots \dots \dots (2.31)$$

Dari persamaan (2.27) diperoleh :

$$I_{a0} = 1/3 (I_a + I_b + I_c) \dots \dots \dots (2.32)$$

Jikapersamaan diatas a disubsitusikan, maka :

$$I_n = 3 I_{a0} \dots \dots \dots (2.33)$$

Jika tidak ada saluran netral dalam sistem tiga fasa, maka arus netral adalah Nol dan arus saluran tidak dapat mengandung komponen urutan Nol. Hal ini berarti apabila suatu beban hubungan Δ ataupun hubung Y tidak menyediakan jalur ke Netral, maka arus salurannya tidak dapat mengandung komponen urutan Nol.

2.5 Peralatan Proteksi Tegangan Menengah

Peralatan sistem proteksi pada tegangan menengah ada beberapa macam antara lain: *OCR, OCG, Recloser, Fuse*, Saklar otomatis, PMT

2.5.1 Overcurrent Relay (OCR)

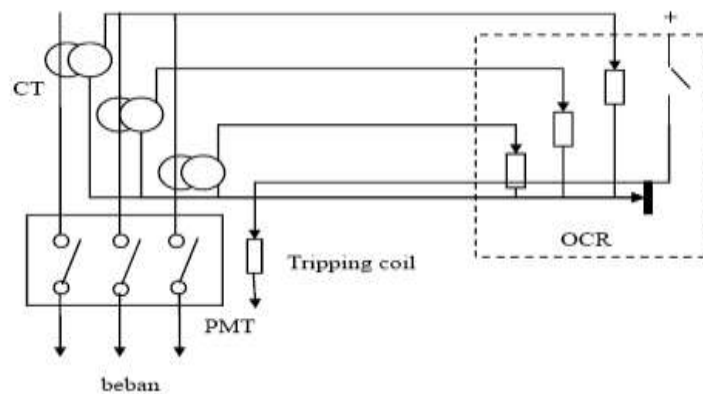
Overcurrent relay atau yang lebih dikenal dengan (*OCR*) merupakan peralatan yang mendeteksi adanya overcurrent, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat (*short circuit*) atau *overload* yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya. *Overcurrent relay* ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut releini dapat digunakan sebagai pengaman utama ataupun cadangan. Pada transformator tenaga, *overcurrent relay* hanya berfungsi sebagai pengaman cadangan (*back up protection*) untuk gangguan eksternal atau sebagai back up

bagi outgoing feeder. *Overcurrent relay* dapat dipasang pada sisi tegangan tinggi, pada sisi tegangan menengah dan pada sisi tegangan tinggi serta tegangan menengah sekaligus.

Overcurrent relay bekerja dengan membaca input berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai setting, apabila nilai arus yang terbaca oleh relemelebihi nilai setting, maka releakan mengirim perintah trip (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker (CB)* kedua sisi transformator tenaga, setelah tunda waktu yang diterapkan pada nilai settingnya (I set). *Overcurrent relay* jenis *definite time* ataupun *inverse time* dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap overcurrent.



Gambar 2. 13 Proteksi *Overcurrent Relay*



Gambar 2. 14 Rangkaian Proteksi *Overcurrent Relay*

Cara kerja dari *overcurrent relay* berdasarkan gambar 2.14 adalah :

1. Pada kondisi normal arus beban (I_b) mengalir pada SUTM atau SKTM dan oleh transformator arus besaran arus ini ditransformasikan ke besaran sekunder (I_r). Arus (I_r) mengalir pada kumparan *relay* tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada suatu harga yang ditetapkan (seting), maka *relay* tidak bekerja.
2. Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus (I_b) akan naik dan menyebabkan arus (I_r) naik pula, apabila arus (I_r) naik melebihi suatu harga yang telah ditetapkan (di atas seting), maka *relay* akan bekerja dan memberikan perintah trip pada tripping coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM atau SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

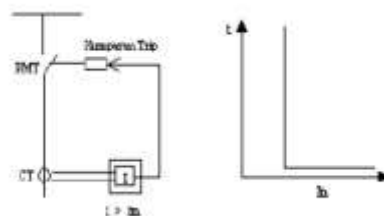
Overcurrent relay (OCR) memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa. Sedangkan untuk memproteksi terhadap gangguan fasa tanah digunakan *groundfault relay* atau lebih dikenal *Overcurrent Ground (OCG)*.

2.5.2 Jenis *Overcurrent Relay* (OCR)

Ada beberapa jenis *relay OCR* menurut karakteristik waktu kerjanya yaitu:

a. *Relay waktu seketika (Instantaneous rele)*

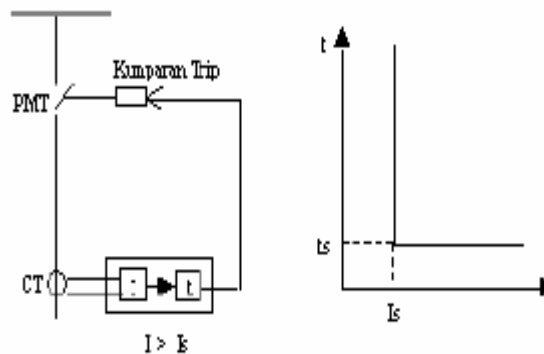
Relay yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda), ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, *relay* akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). *Relay* ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan *overcurrent relay* dengan karakteristik yang lain, seperti pada gambar dibawah ini ;



Gambar 2. 15 Karakteristik *Relay* Waktu Seketika

b. Overcurrent relay waktu tertentu (*Definite time rele*)

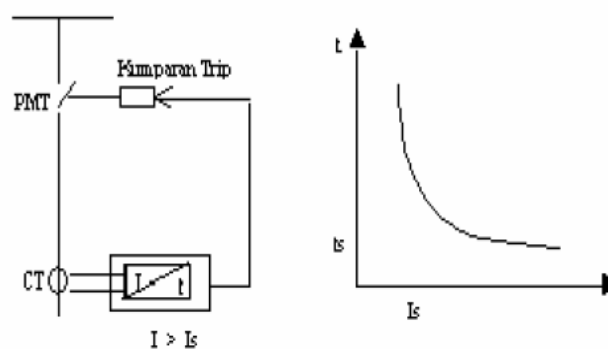
Relay ini akan memberikan perintah pada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_{set}), dan jangka waktu kerja relemulai pick up sampai kerja *relay* diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele, dapat kita lihat pada gambar 2.16 berikut



Gambar 2. 16 Karakteristik *Relay* Waktu Definite

c. Overcurrent relay waktu terbalik (*Inverse time*)

Relay ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik, makin besar arus makin kecil waktu tundanya.



Gambar 2. 17 Karakteristik ReleWaktu Inverse

Karakteristik ini bermacam-macam, setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik waktunya dibedakan dalam beberapa kelompok antara lain:

1. *Short Time Delay*

Sebagai differential protection dimana bila CT tidak boleh menjadi saturasi atau bila membutuhkan penundaan waktu trip. Juga dapat sebagai proteksi *overcurrent* untuk fasa atau *groundfault* dimana tidak dikoordinasikan dengan peralatan di *downstream*-nya.

2. *Long Time Delay*

Digunakan untuk proteksi motor lock rotor dimana waktu yang diijinkan untuk lock rotor antara 1-70 detik.

3. *Definite Time*

Digunakan sebagai proteksi *overcurrent* yang dikoordinasikan dengan proteksi pada peralatan down stream yang tidak menggunakan short time delay yang bekerja sangat cepat. Waktu kerja rele ini tidak bervariasi sebesar variasi arus.

4. *Moderate Inverse, Inverse dan Very Inverse*

Sebagai proteksi *Overcurrent* bilamana membutuhkan koordinasi dengan peralatan lainnya dengan berbagai variasi dapat juga sebagai backup proteksi untuk *relay* pada rangkaian lainnya.

5. *Extremely Inverse*

Sebagai proteksi motor dimana waktu untuk *lock rotor* yang diijinkan adalah selama 1 detik, dapat juga sebagai proteksi *overcurrent* yang dikoordinasikan dengan fuse dan recloser atau bilamana *cold load pickup* dan *inrush current transformer* ikut diperhitungkan.

a. **Setting Overcurrent Relay (OCR)**

Penyetelan *overcurrent relay* pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk *overcurrent relay* baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah :

$$I_{set} (\text{Primer}) = 1,05 \times I_{\text{nominal Trafo}} \dots \dots \dots (2.34)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setting sekunder yang dapat disetkan pada *relay OCR*, maka harus dihitung dengan menggunakan

ratio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I_{set} (\text{Sek}) = I_{set} (\text{Pri}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots \dots \dots (2.35)$$

e. Seting Waktu (*TMS*)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (*Time Multiplier Setting*), rumus untuk penentuan nilai setelan waktu bermacam-macam sesuai dengan desian pabrik pembuat rele.

2.5.3 *Groundfault Relay (OCG)*

Relay gangguan ke tanah (*Groundfault Relay/OCG*) adalah pengaman terhadap gangguan tanah. Gangguan tanah terjadi karena terhubungnya konduktor fasa dengan beban atau tempat yang terhubung dengan tanah sehingga beban tersebut bertegangan dan menyebabkan mengalirnya arus ke tanah. OCG memproteksi gangguan antar fasa atau 3 fasa dan hanya bekerja pada satu arah saja. OCG dapat membedakan arah arus gangguan. Arus atau tegangan urutan nol (*residu*) merupakan penggerak OCG, kondisi ini memanfaatkan titik netral diketanahkan, baik *groundfault* langsung (*Solid Grounded*) maupun melalui impedansi.



Gambar 2. 18 Proteksi Groundfault Relay (OCG)

Groundfault titik netral adalah hubungan titik netral dengan tanah, baik langsung maupun melalui tahanan reaktansi ataupun kumparan Petersen. Di Indonesia sistem *groundfault* meliputi empat macam, yaitu ;

1. Sistem distribusi tanpa *Groundfault*.
2. Sistem distribusi *groundfault* tak langsung (dengan tahanan).
3. Sistem distribusi *groundfault* langsung (solid).
4. Sistem distribusi *groundfault* dengan kumparan Petersen.

2.5.4 Recloser

Pemutus balik otomatis (*Automatic circuit recloser = Recloser*) ini secara fisik mempunyai kemampuan seperti pemutus beban yang dapat bekerja secara otomatis untuk mengamankan sistem dari *overcurrent* yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat.

2.5.5 Saklar Seksi Otomatis (sectionaliser)

Sectionaliser adalah alat perlindungan terhadap *overcurrent*, hanya dipasang bersama-sama dengan PBO yang berfungsi sebagai pengaman back-up nya. Alat ini menghitung jumlah operasi pemutusan yang dilakukan oleh perlindungan back-up nya secara otomatis disisi hulu dan SSO ini membuka pada saat peralatan pengaman disisi hulunya sedang dalam posisi terbuka.

2.5.6 Pelebur (fuse cut out)

Fuse cut out adalah suatu alat pemutus, dengan meleburnya bagian dari komponen yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian dimana pelebur tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai dalam waktu tertentu. Oleh karena pelebur ditujukan untuk menghilangkan gangguan permanen, maka pelebur dirancang meleleh pada waktu tertentu pada nilai arus gangguan tertentu.

2.5.7 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* merupakan suatu saklar mekanik yang secara otomatis akan memutuskan rangkaian listrik apabila terjadi ketidaknormalan pada suatu sistem tenaga listrik tanpa ada kerusakan. Hampir semua sinyal keluaran dari rele-*relay* pengaman di tujukan pada pemutus tenaga. Pemutus tenaga terdiri dari kontak-kontak yang dialiri arus listrik atau lebih dikenal dengan elektroda. Pada kondisi abnormal maka elektroda-elektroda akan terpisah dan memutuskan hubungan listrik dari satu sisi ke sisi lainnya. Pada saat pemutusan tenaga akan terjadi busur api yang mengakibatkan kerusakan, baik pada PMT sendiri maupun sistem secara keseluruhan. Masalah terpenting dalam PMT adalah bagaimana menghilangkan busur api dengan segera sebelum busur api mencapai harga yang dapat merusak peralatan. adapun syarat-syarat pemutus tenaga antara lain :

- a. Kemampuan menutup dan dialiri arus beban penuh dalam jangka waktu lama.
- b. Bekerja secara otomatis untuk memutuskan beban atau beban lebih
- c. Bekerja cepat memutus rangkaian, jika terjadi hubung singkat, sampai dengan gangguan hilang.
- d. Mampu memutuskan arus magnetisasi transformator atau jaringan dan arus pemuatan.
- e. Tahan terhadap situasi dan kondisi, seperti menahan efek busur kontak, gaya elektromagnet atau kondisi panas yang tinggi akibat hubung singkat.

2.6 Rancangan Setting Proteksi *Overcurrent relay* Menggunakan Standar

IEC

Apabila standar yang digunakan untuk penyetingan *relay* adalah standar IEC (*International Electrical Cooperation*). Waktu tunda kerja antar CB (pemutus tenaga) adalah 0,4 detik. Standar IEC untuk kurva invers ditunjukkan oleh rumus

$$t_{op} = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times TMS \quad \dots\dots\dots(2.36)$$

$$I_r = \frac{I}{I_s} \quad \dots\dots\dots(2.37)$$

$$T = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1 \right]}{k} \quad \dots\dots\dots(2.38)$$

Keterangan ;

T = Waktu Kerja Rele

I = Arus gangguan dengan satuan Amper

I_s = setingan arus *relay* satuan Amper

TMS = *Time Multiple Setting*

(karakteristik kerja *relay* yang diinginkan sesuai dengan perhitungan)

α, κ = Konstanta standar IEC

Tabel 2. 2 Konstanta setelan *Relay* Menurut IEC

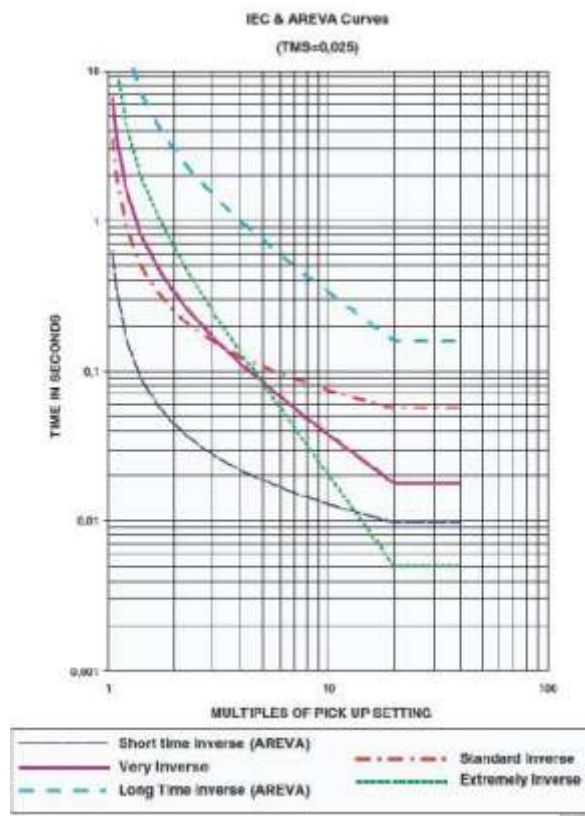
Deskripsi	k	c	α
Definite time	0	0-100	1
Standar Inverse	0.14	0	0.02
Very inverse	13.5	0	1
Extremely inverse	80	0	2
Long time inverse	120	0	1
Moderately inverse	0.103	0.228	0.02

Pada table 2 menjelaskan nilai konstanta untuk seting *relay* proteksi sesuai standar karakteristik inverse yang diinginkan.

Tabel 2. 3 Perhitungan Setelan *Relay* Menurut IEC

Relay Characteristic	Equation (IEC 60255)
Standard Inverse (SI)	$t = TMS \times \frac{0.14}{I_r^{0.02} - 1}$
Very Inverse (VI)	$t = TMS \times \frac{13.5}{I_r - 1}$
Extremely Inverse (EI)	$t = TMS \times \frac{80}{I_r^2 - 1}$
Long time standby earth fault	$t = TMS \times \frac{120}{I_r - 1}$

Pada table 2.3 menjelaskan standar perhitungan untuk seting TMS (*Time Multi Seting*) pada *relay* proteksi sesuai standar karakteristik inverse yang diinginkan.



Gambar 2. 19 Kurva TMS menurut standar IEC sesuai karakteristiknya

Pada gambar 2.19 menjelaskan standar busur kurva menurut karakteristik waktu yang ditentukan.