

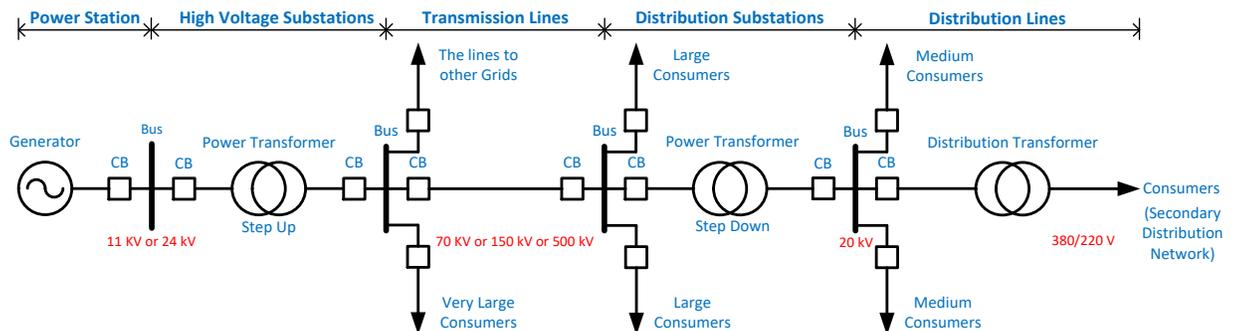
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Distribusi Tenaga Listrik

Distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 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 dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 150kV, 220 kV atau 500 kV 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 ($I^2.R$). Pada daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.



Gambar 2.1 Sistem tenaga listrik yang didistribusikan ke konsumen.

Setelah dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380Volt. Selanjutnya, disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen seperti ditunjukkan pada gambar 4.1.

2.1.1 Bagian Jaringan Distribusi²

Jaringan didistribusi pada umumnya terdiri dari dua bagian yang paling utama, yaitu sebagai Jaringan Distribusi Primer dan Jaringan Distribusi Sekunder.

A. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer adalah jaringan distribusi daya listrik yang bertegangan menengah (20 kV). Jaringan distribusi primer tersebut merupakan jaringan penyulang. Jaringan distribusi primer berawal dari sisi sekunder trafo daya yang terpasang pada gardu induk hingga ke sisi primer trafo distribusi yang terpasang pada tiang-tiang saluran. Pola konfigurasi jaringan pada distribusi terdiri dari 5 tipe yaitu sistem radial, sistem *loop*, sistem *spindle*, sistem *spot network*, dan sistem interkoneksi.

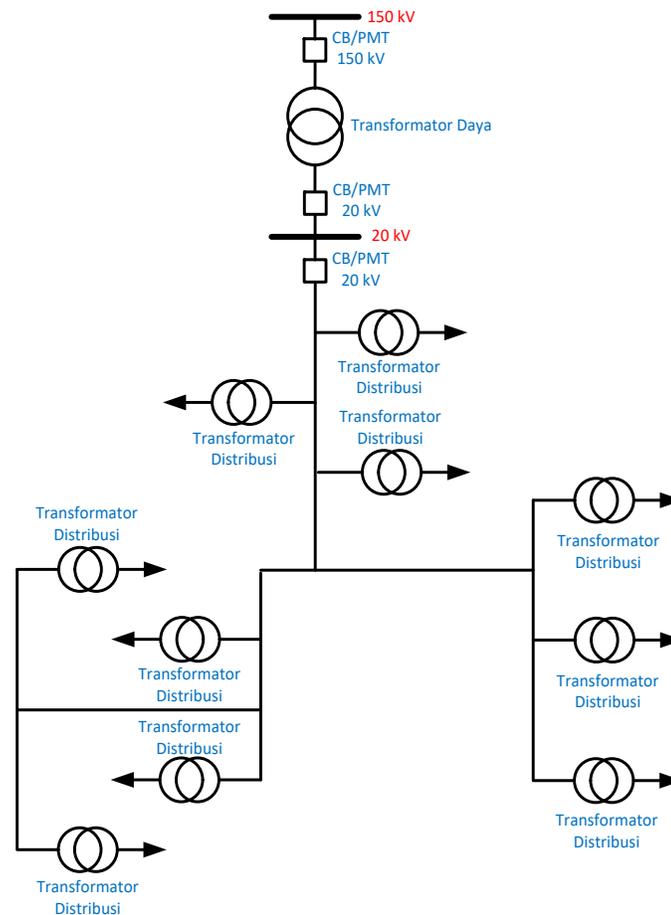
Jaringan distribusi primer adalah jaringan distribusi daya listrik yang bertegangan menengah (20 kV). Jaringan distribusi primer tersebut merupakan jaringan penyulang. Jaringan distribusi primer berawal dari sisi sekunder trafo daya yang terpasang pada gardu induk hingga ke sisi primer trafo distribusi yang terpasang pada tiang-tiang saluran. Pola konfigurasi jaringan pada distribusi primer terdiri dari 5 tipe yaitu sistem radial, sistem *loop*, sistem *spindle*, sistem *spot network*, dan sistem interkoneksi.

A.1 Jaringan Distribusi Radial

Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang

dilayani. Sistem radial terdiri atas fider (*feeders*) atau penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Konfigurasi jaringan sistem radial terbagi atas 2 (dua) bagian yaitu sistem radial terbuka dan sistem radial paralel.

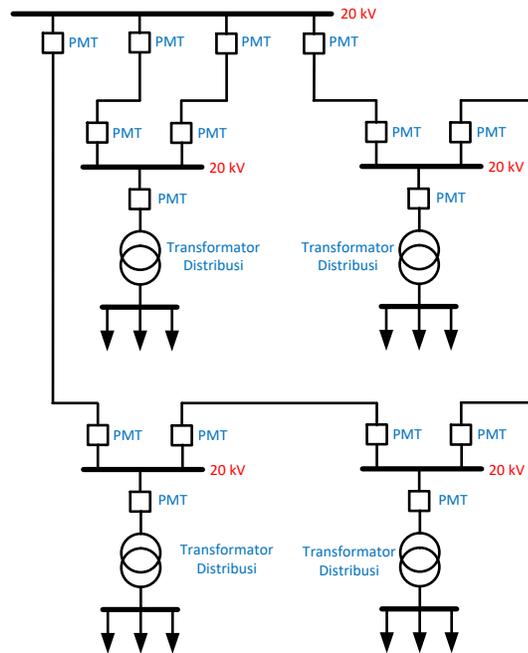
Sistem radial terbuka ini paling tidak dapat diandalkan, karena penyaluran tenaga listrik hanya dilakukan dengan menggunakan satu saluran saja. Jaringan model ini sewaktu mendapat gangguan akan menghentikan penyaluran tenaga listrik cukup lama sebelum gangguan tersebut diperbaiki kembali. Oleh sebab itu kontinuitas pelayanan pada sistem radial terbuka ini kurang bisa diandalkan. Selain itu makin panjang jarak saluran dari gardu induk ke konsumen, kondisi tegangan makin tidak bisa diandalkan, justru bertambah buruk karena rugi-rugi tegangan akan lebih besar. Berarti kapasitas pelayanan untuk sistem radial terbuka ini sangat terbatas. Konfigurasi sistem distribusi jaringan radial terbuka ditampilkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Distribusi Radial Terbuka

Untuk memperbaiki kekurangan dari sistem radial terbuka diatas maka dipakai konfigurasi sistem radial paralel, yang menyalurkan tenaga listrik melalui dua saluran yang diparalelkan. Pada sistem ini titik beban dilayani oleh dua saluran, sehingga bila salah satu saluran mengalami gangguan, maka saluran yang satu lagi dapat menggantikan, dengan demikian pemadaman tak perlu terjadi. Kontinuitas pelayanan sistem radial paralel ini lebih terjamin dan kapasitas pelayanan bisa lebih besar dan sanggup melayani beban puncak (*peak load*) dalam batas yang diinginkan. Kedua saluran dapat dikerjakan untuk melayani titik beban bersama-sama. Biasanya titik beban hanya dilayani oleh salah satu saluran saja. Hal ini dilakukan untuk

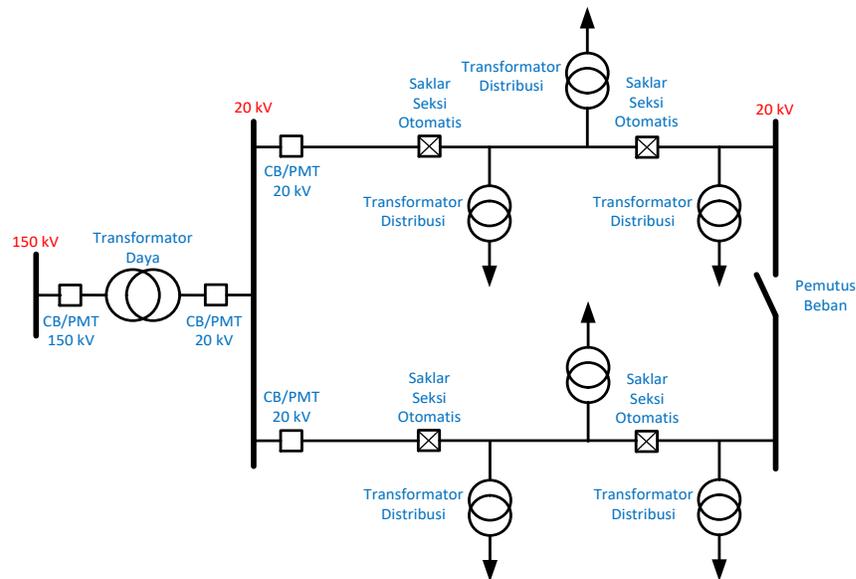
menjaga kontinuitas pelayanan pada konsumen. Konfigurasi sistem distribusi jaringan radial paralel ditampilkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Distribusi Radial Paralel.

A.2 Jaringan Distribusi *Loop*

Sistem jaringan *loop* merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan *ring*. Susunan rangkaian saluran membentuk *ring* yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik. Bentuk sistem jaringan *loop* diperlihatkan pada gambar 2.4.

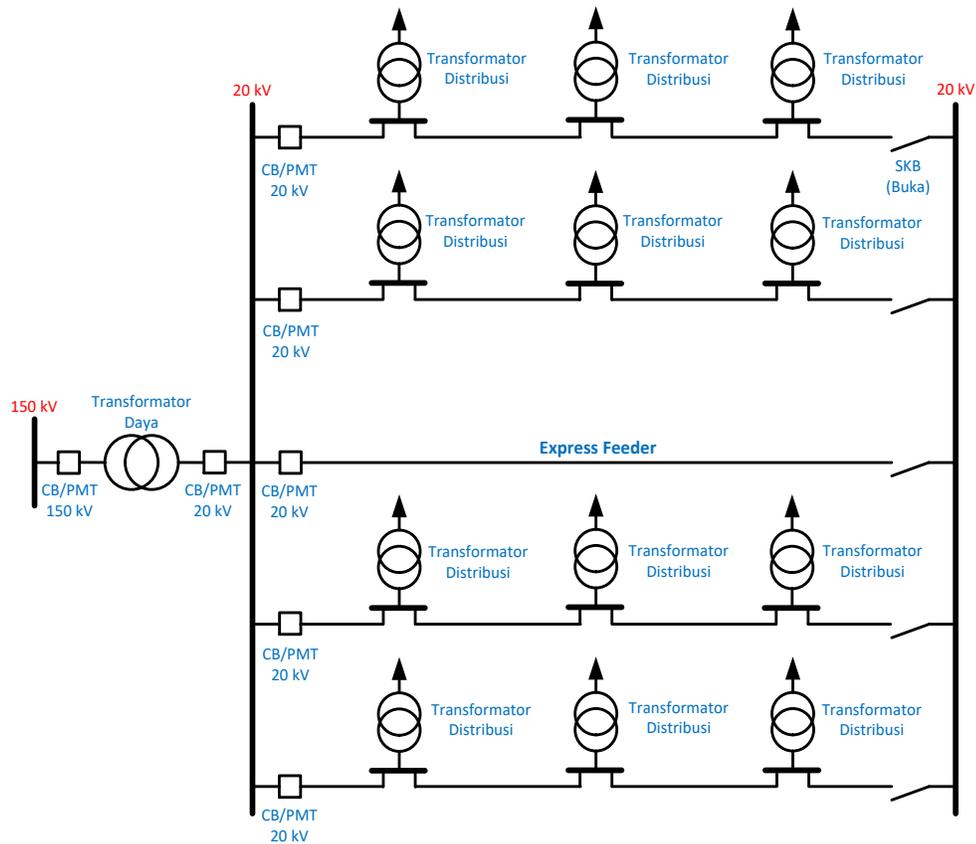


Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Distribusi *Loop*.

A.3 Jaringan Distribusi Spindel

Jaringan distribusi *spindel* merupakan saluran kabel bawah tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya cocok di kota-kota besar. Sistem jaringan spindel biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Saluran penyulang yang beroperasi dalam keadaan berbeban dinamakan "*working feeder*" atau saluran kerja, sedangkan saluran yang dioperasikan tanpa beban dinamakan "*express feeder*".

Fungsi "*express feeder*" dalam hal ini selain sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada salah satu "*working feeder*", juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya drop tegangan pada sistem distribusi bersangkutan pada keadaan operasi normal. Konfigurasi jaringan sistem spindel ditunjukkan pada gambar 2.5.

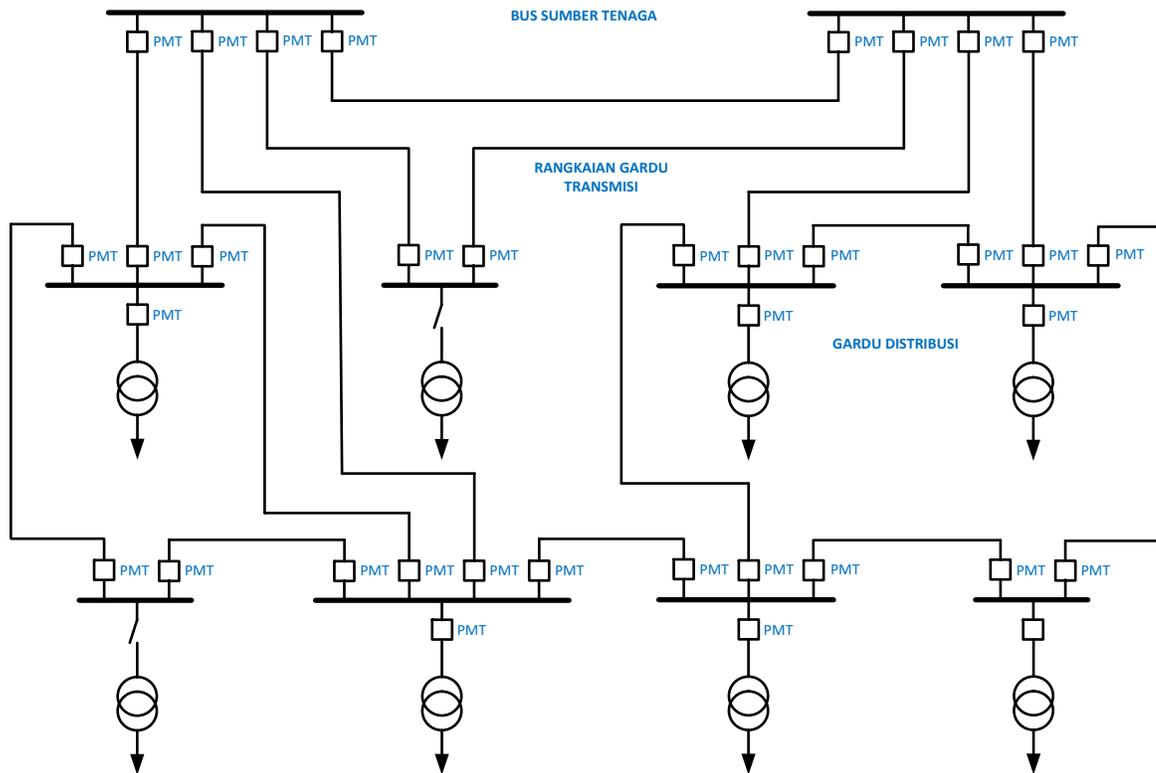


Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Distribusi Spindel.

A.4 Jaringan Distribusi *Spot Network*

Untuk pelanggan yang tidak boleh padam (pelanggan VVIP) misalkan: Istana Presiden, Gedung MPR, bandar udara dan rumah sakit maka tenaga listrik disuplai dengan pola jaringan *spot network* dengan minimal 2 penyulang sekaligus plus *Automatic Change Over*. Sistem *Spot network* merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara terus-menerus oleh dua atau lebih *feeder* pada gardu-gardu induk dari beberapa pusat pembangkit tenaga listrik yang bekerja secara paralel. Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem-sistem yang terdahulu dan merupakan sistem yang paling baik serta dapat diandalkan, mengingat sistem ini dilayani oleh dua atau lebih sumber tenaga listrik. Selain itu jumlah cabang lebih

banyak dari jumlah titik *feeder*. Konfigurasi distribusi jaringan *spot network* digambarkan pada gambar 2.6.

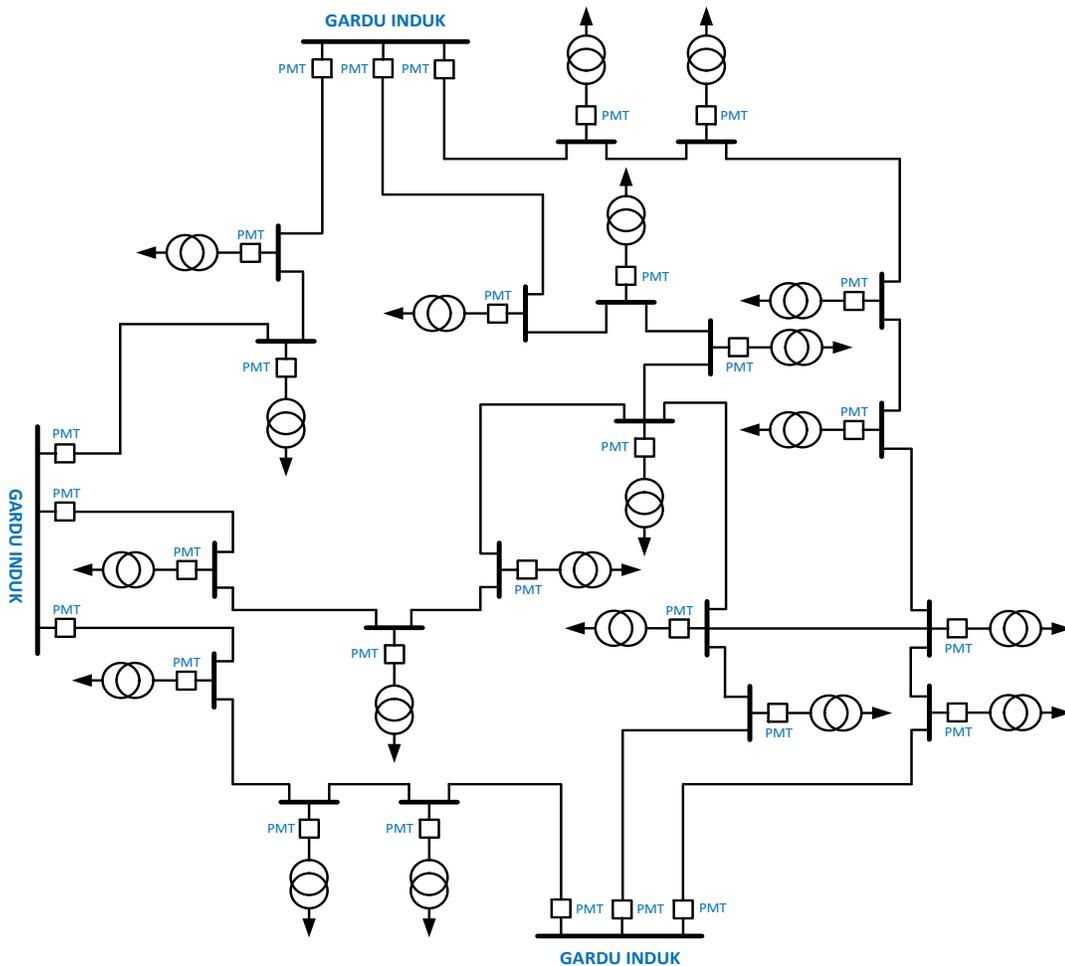


Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan Distribusi *Spot Network*.

A.5 Jaringan Distribusi Interkoneksi

Distribusi interkoneksi ini merupakan perkembangan dari sistem *spot network*. Sistem ini menyalurkan tenaga listrik dari beberapa pusat pembangkit tenaga listrik yang dikehendaki bekerja secara paralel. Sehingga penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung terus menerus (tak terputus), walaupun daerah kepadatan beban cukup tinggi dan luas. Hanya saja sistem ini memerlukan biaya yang cukup mahal dan perencanaan yang cukup matang. Untuk perkembangan dikemudian hari, sistem interkoneksi ini sangat baik, bisa diandalkan dan merupakan sistem yang

mempunyai kualitas yang cukup tinggi. Konfigurasi jaringan distribusi interkoneksi ditunjukkan pada gambar 2.7.

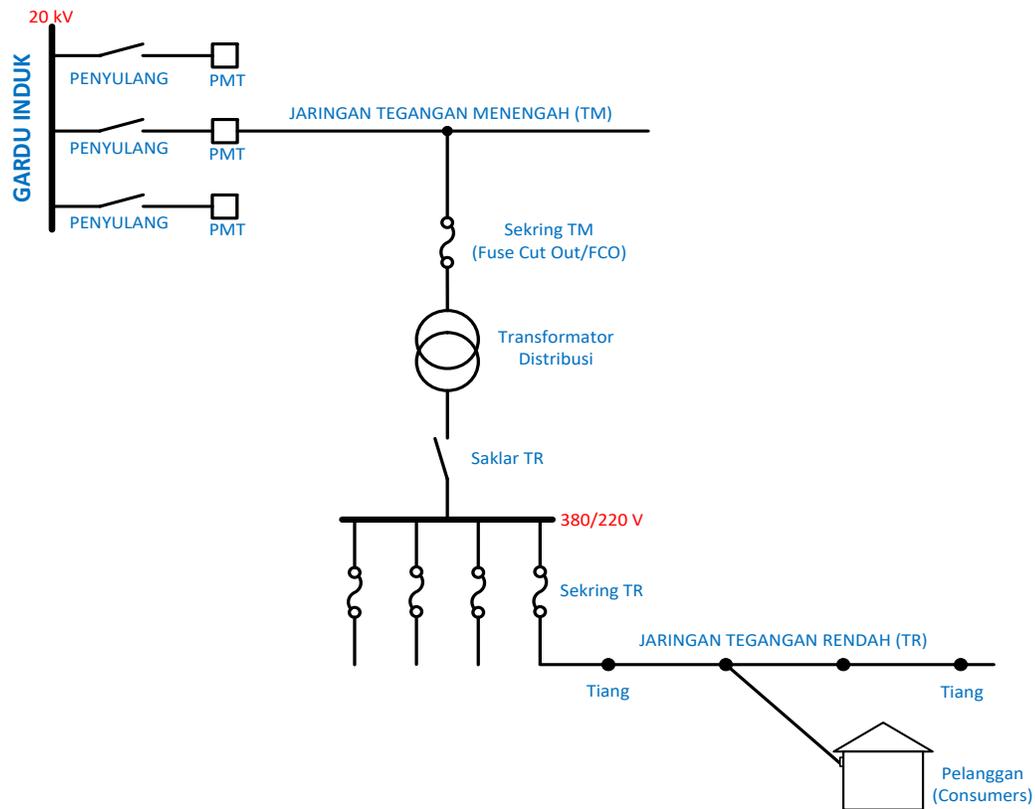


Gambar 2.7 Konfigurasi Jaringan Distribusi Interkoneksi.

B. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder adalah jaringan daya listrik yang termasuk dalam kategori tegangan rendah (sistem 380/220 volt), yaitu rating yang sama dengan tegangan peralatan yang dilayani. Jaringan distribusi sekunder bermula dari sisi sekunder trafo distribusi dan berakhir hingga ke alat ukur (meteran) pelanggan.

Sistem jaringan distribusi sekunder disalurkan kepada para pelanggan melalui kawat berisolasi. Jaringan distribusi sekunder ditampilkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Konfigurasi Jaringan Distribusi Sekunder.

2.1.2 Sistem Proteksi Jaringan Distribusi

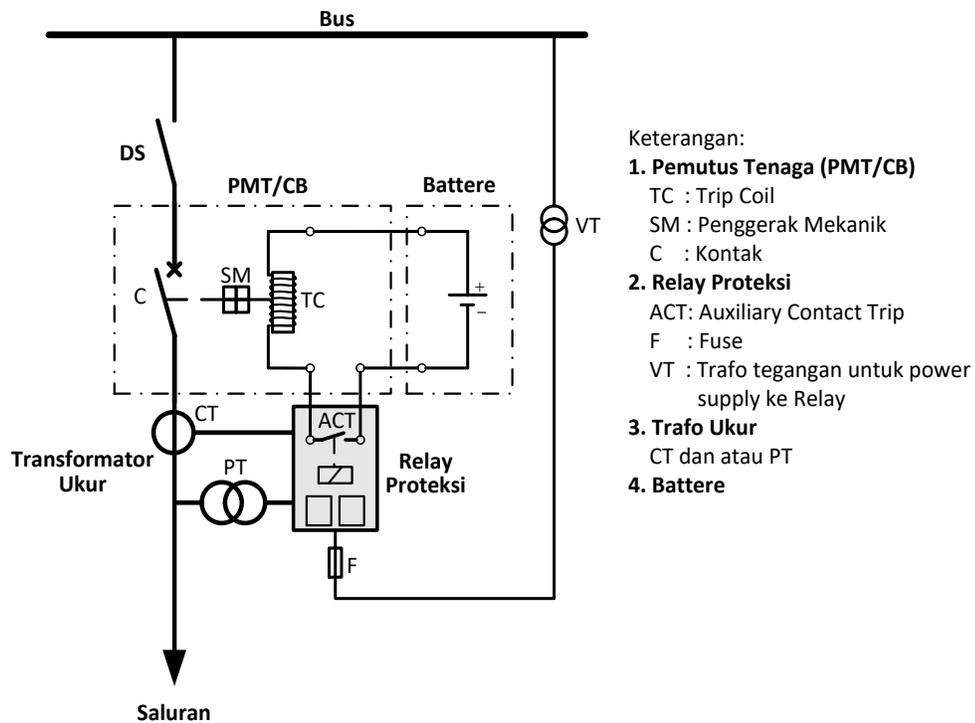
Sistem Proteksi dapat didefinisikan sebagai, beberapa peralatan atau komponen yang saling berhubungan dan bekerjasama untuk tujuan pengamanan. Sistem proteksi dirancang untuk menjamin pengamanan dan skema pengamanan yaitu pengaturan perangkat dan aksesoris yang terkoordinasi. Sistem proteksi merupakan suatu sistem yang bertanggung jawab untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan dengan mengisolasi bagian yang rusak dari sisa sistem, sehingga daya tidak terputus dari bagian yang sehat dan ini meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem. Oleh karena itu sistem proteksi harus dapat diandalkan (beroperasi

saat diperlukan), aman (tidak beroperasi jika tidak diperlukan), selektif (hanya jumlah minimum perangkat yang harus beroperasi) dan secepat yang diperlukan. Tanpa persyaratan utama ini, sistem proteksi sebagian besar tidak akan efektif dan bahkan dapat menjadi suatu kekurangan.

Perangkat yang digunakan untuk mengimplementasikan skema pengamanan disebut perangkat sistem proteksi dan peran masing-masing perangkat sebagai berikut:

1. Rele Proteksi (*protection relays*): sebagai elemen perasa yang mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya (*fault detection*).
2. Pemutus Tenaga/Circuit Breaker (PMT/CB): sebagai pemutus arus gangguan di dalam rangkaian tenaga listrik untuk melepaskan bagian sistem yang terganggu. Dengan perkataan lain “membebaskan sistem dari gangguan” (*fault clearing*). PMT menerima perintah (sinyal trip) dari rele proteksi untuk membuka.
3. Transformator Ukur (Trafo Arus dan/atau Trafo Tegangan): untuk meneruskan arus dan/atau tegangan dengan perbandingan tertentu dari rangkaian primer (rangkaiannya tenaga) ke rangkaian sekunder (rangkaiannya rele) dan memisahkan rangkaian sekunder dari rangkaian primernya.
4. Batere (aki) : sebagai sumber tenaga untuk menginterupsi PMT dan catu daya untuk relay (relay digital/ relay statik) dan relay bantu (*auxiliary relay*).

Hubungan antara perangkat proteksi sebagai suatu sistem proteksi yang sederhana ditampilkan pada gambar 2.9 untuk sistem tegangan menengah (TM) atau tegangan tinggi (TT).



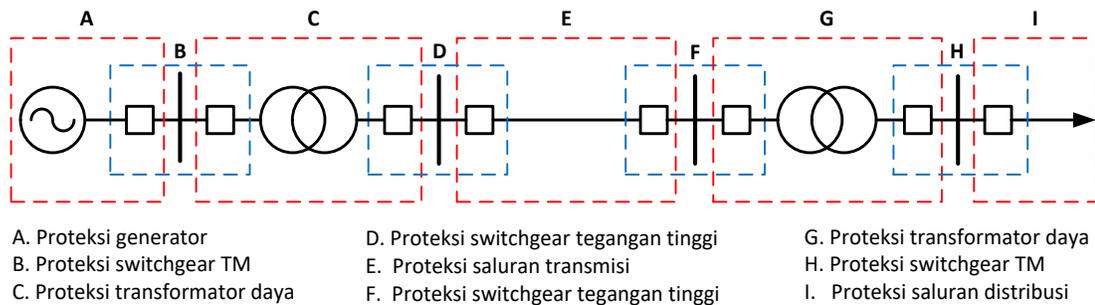
Gambar 2.9 Rangkaian sistem proteksi.

Sistem proteksi pada sistem tenaga listrik adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan pada sistem tenaga listrik karena adanya gangguan sistem, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab lainnya. Fungsi Sistem Proteksi adalah memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi dengan cara:

1. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya (*fault detection*).
2. Melepaskan bagian sistem yang terganggu (*fault clearing*).
3. Memberitahu operator adanya gangguan dan lokasinya (*annunciation*)

Suatu sistem tenaga listrik dibagi kedalam seksi-seksi yang dibatasi oleh Pemutus Tenaga (PMT/CB). Tiap seksi memiliki rele proteksi dan memiliki daerah pengamanan (*Zone of Protection*). Bila terjadi gangguan, maka relay akan bekerja

mendeteksi gangguan dan PMT akan memutuskan bagian yang terganggu. Gambar 2.10 menjelaskan tentang konsep pembagian daerah proteksi.



Gambar 2.10 Pembagian daerah proteksi pada sistem tenaga listrik.

Daerah proteksi pada sistem tenaga listrik dibuat bertingkat dimulai dari pembangkitan, gardu induk, saluran transmisi, gardu hubung, saluran distribusi sampai 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 buah 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 di 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 (*overlap*), hal ini dimaksudkan agar tidak ada sistem yang dibiarkan tanpa perlindungan. Pembagian daerah proteksi ini bertujuan agar daerah yang tidak mengalami gangguan tetap dapat beroperasi dengan baik sehingga dapat mengurangi daerah pemadaman.

Berdasarkan daerah pengamanannya sistem proteksi dibedakan menjadi:

- a. Proteksi pada Generator
- b. Proteksi pada Transformator
- c. Proteksi pada Transmisi
- d. Proteksi pada Distribusi

Sistem proteksi penyulang tegangan menengah atau jaringan distribusi ialah pengamanan yang terdapat pada sel-sel tegangan menengah di Gardu Induk dan pengamanan yang terdapat pada jaringan tegangan menengah. Penyulang tegangan menengah ialah penyulang tenaga listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik tegangan menengah (6 kV – 20 kV), yang terdiri dari:

- a. Saluran udara tegangan menengah (SUTM)
- b. Saluran kabel tegangan menengah (SKTM)

2.2.1 Tujuan Sistem Proteksi

Gangguan pada jaringan distribusi tenaga listrik hampir seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat, yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Semakin besar sistemnya semakin besar gangguannya. Arus yang besar bila tidak segera dihilangkan akan merusak peralatan yang dilalui arus gangguan. Untuk melepaskan daerah yang terganggu itu maka diperlukan suatu sistem proteksi, yang pada dasarnya adalah alat pengamanan yang bertujuan untuk melepaskan atau membuka sistem yang terganggu, sehingga arus gangguan ini akan padam. Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain:

- a. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
- b. Untuk melokalisir (mengisolir) daerah gangguan menjadi sekecil mungkin
- c. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen serta memperkecil bahaya bagi manusia.

2.2.2 Persyaratan Sistem Proteksi

Tujuan utama sistem proteksi adalah mendeteksi kondisi abnormal atau terjadi gangguan dan mengisolir peralatan yang terganggu dari sistem. Untuk mencapai tujuan tersebut maka persyaratan penting dari sistem proteksi harus dipenuhi yaitu:

a. Kepekaan (sensitivity)

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

Sensitivitas pada rele elektromekanikal terdahulu biasanya dikaitkan dengan kepekaan dari perangkat Bergeraknya terhadap daya yang diserap dalam bentuk *Volt-Ampere* di mana rele bekerja. Semakin kecil VA yang dibutuhkan maka rele elektromekanik tersebut semakin sensitif. Pada rele-rele numerik, sensitivitas tidak dikaitkan lagi pada perangkat kerasnya tetapi lebih pada aplikasi dan parameter trafo arus (*CT-current transformer*) atau trafo tegangan (*VT-voltage transformer*) yang digunakan.³

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya, termasuk kawasan pengamanan cadangan-jauhnya, meskipun dalam kondisi yang memberikan deviasi yang minimum.

Untuk relay arus-lebih hubung-singkat yang bertugas pula sebagai pengamanan cadangan jauh bagi seksi berikutnya, rele itu harus dapat mendeteksi arus gangguan hubung singkat dua fasa yang terjadi diujung akhir seksi berikutnya dalam kondisi pembangkitan minimum.

Sebagai pengamanan peralatan seperti motor, generator atau transformator, relay yang peka dapat mendeteksi gangguan pada tingkatan yang masih dini sehingga dapat membatasi kerusakan. Bagi peralatan seperti diatas hal ini sangat penting karena jika gangguan itu sampai merusak besi laminasi stator atau inti trafo, maka perbaikannya akan sangat sukar dan mahal.

Sebagai pengamanan gangguan tanah pada SUTM, rele yang kurang peka menyebabkan banyak gangguan tanah, dalam bentuk sentuhan dengan pohon yang tertiuip angin, yang tidak bisa terdeteksi. Akibatnya, busur apinya berlangsung lama dan dapat menyambar ke fasa lain, maka rele hubung-singkat yang akan bekerja.

Gangguan sedemikian bisa terjadi berulang kali di tempat yang sama yang dapat mengakibatkan kawat cepat putus. Sebaliknya, jika terlalu peka, rele akan terlalu sering trip untuk gangguan yang sangat kecil yang mungkin bisa hilang sendiri atau risikonya dapat diabaikan atau dapat diterima.

b. Keandalan (*Reliability*)

Terdapat tiga aspek dalam syarat keandalan pada sistem proteksi yang harus dipenuhi antara lain:

b.1 *Dependability*

Tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya), pada prinsipnya sistem proteksi harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan kata lain perkataan *dependability*-nya harus tinggi.

b.2 *Security*

Tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan di luar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah kerja, dengan lain perkataan *security*-nya harus tinggi.

b.3 *Availabilty*

Perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya. Dengan relay elektromekanis, jika rusak/tak berfungsi, tak diketahui segera. Baru diketahui dan diperbaiki atau diganti. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga juga dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sirkit trip, sirkit sekunder arus, dan sirkit sekunder tegangan serta hilangnya tegangan serta hilangnya tegangan searah (*DC voltage*), dan memberikan alarm sehingga bisa diperbaiki, sebelum

kegagalan proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya, benar-benar terjadi. Jadi *availability* dan keandalannya tinggi.

c. Selektifitas (*Selectivity*)

Selektivitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan tripping secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain sistem proteksi tersebut. Dalam pengertian lain, suatu sistem proteksi sistem tenaga harus bisa kerja secara selektif sesuai klasifikasi dan jenis gangguan yang harus diamankan.⁴ Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi atau peralatan yang terganggu saja yang termasuk dalam kawasan pengamanan utamanya, pengamanan sedemikian disebut pengamanan yang selektif.

Jadi rele harus dapat membedakan apakah:

- a) Gangguan terletak di kawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat.
- b) Gangguan terletak di seksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda (sebagai pengaman cadangan) atau menahan diri untuk tidak trip.
- c) Gangguannya diluar daerah pengamanannya, atau sama sekali tidak ada gangguan, dimana ia tidak harus bekerja sama sekali.

Untuk itu relay, yang didalam sistem terletak secara seri, di koordinir dengan mengatur peningkatan waktu (*time grading*) atau peningkatan *setting* arus (*current grading*), atau gabungan dari keduanya. Sehingga relay dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik relay yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan *setting* rele yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik dapat diperoleh.

Pengaman utama yang memerlukan kepekaan dan kecepatan yang tinggi, seperti pengaman transformator tenaga, generator, dan busbar pada sistem tegangan ekstra tinggi (TET) dibuat berdasarkan prinsip kerja yang mempunyai kawasan

pengamanan yang batasnya sangat jelas dan pasti, dan tidak sensitif terhadap gangguan diluar kawasannya, sehingga sangat selektif, tapi tidak bisa memberikan pengamanan cadangan bagi seksi berikutnya. Contohnya pengaman differensial.

d. Kecepatan (*speed*)

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Waktu total pembebasan sistem dari gangguan adalah waktu sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya.

Kecepatan penting untuk:

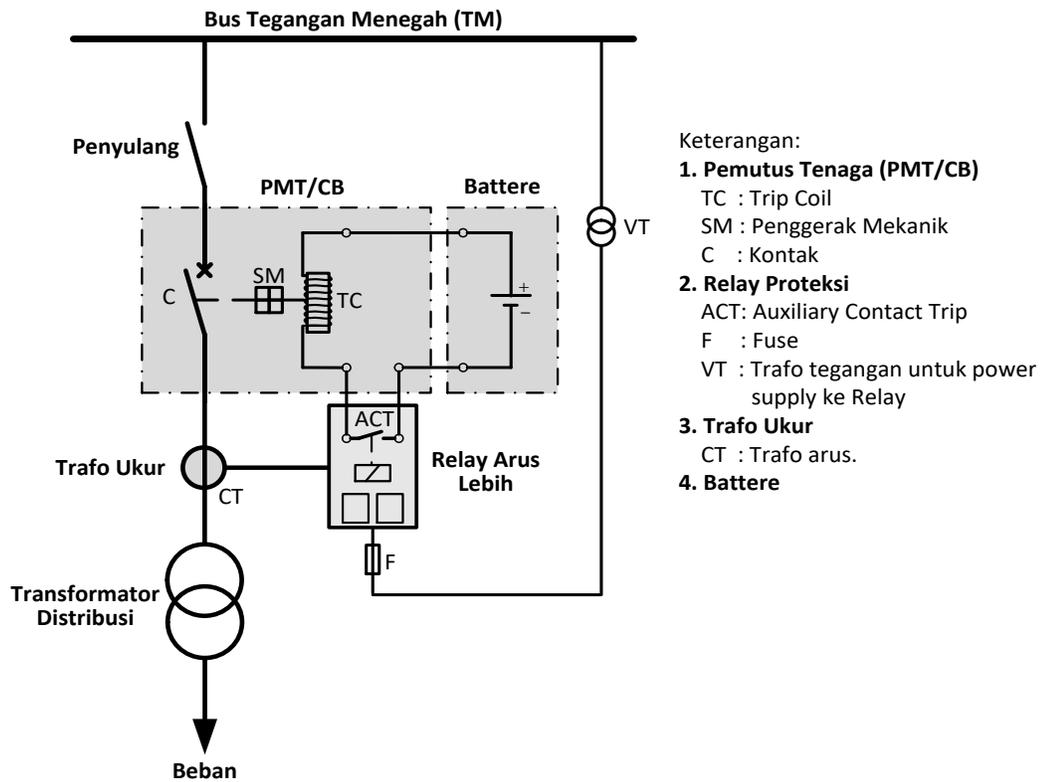
- a) Menghindari kerusakan secara thermis pada peralatan yang dilalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu.
- b) Mempertahankan kestabilan sistem.
- c) Membatasi ionisasi (busur api) pada gangguan disaluran udara yang akan berarti memperbesar kemungkinan berhasilnya penutupan balik PMT (*reclosing*) dan mempersingkat *dead timenya* (interval waktu antara buka dan tutup).

Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (t_d) namun waktu tunda tersebut harus sesingkat mungkin (seperlunya saja) dengan memperhitungkan risikonya.

2.3 Relay Arus Lebih

Relay arus lebih adalah suatu relay yang bekerja berdasarkan kenaikan besaran arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai pola pengamanan arus lebih atau hubung singkat. Relay arus lebih tidak hanya bekerja karena adanya kenaikan arus tetapi yang terpenting adalah kemampuan relay untuk mendeteksi atau memonitor kenaikan arus bila telah melampaui batas arus dan waktu yang telah ditentukan. Unjuk kerja

(*performance*), rele dipengaruhi oleh konstruksinya yaitu dengan prinsip elektromekanik atau elektronik dengan saklar statis.



Gambar 2.11. Hubungan relay arus lebih pada jaringan distribusi.

Pengukuran arus gangguan pada jaringan oleh relay arus lebih ditransformasikan dengan nilai arus yang lebih kecil melalui perbandingan lilitan menggunakan transformator arus (*current transformer/CT*). Hubungan relay arus lebih, transformator arus dan pemutus tenaga pada jaringan distribusi ditunjukkan pada gambar 2.11.

2.4 Operasi Relay Arus Lebih

Relay arus lebih beroperasi untuk pengamanan jaringan apabila arus jaringan atau arus gangguan (I_F) dari hasil pengukuran transformator arus melebihi arus

penyetelan relay (I_S), bila $I_F < I_S$, relay arus lebih tidak bekerja, sedangkan bila $I_F > I_S$, relay arus lebih akan bekerja. Beberapa nilai arus penting saat relay arus lebih beroperasi:

I_{ST} = nilai arus dimana relay arus lebih akan bekerja dan menutup kontak bantu relay untuk mengoperasikan CB/PMT, disebut juga sebagai arus kerja (*pick up*) atau arus penghasutan (*start*).

I_{RE} = nilai arus dimana relay arus lebih berhenti bekerja dan kontak bantu relay membuka kembali, disebut juga arus kembali atau arus pelepasan (*drop off*) atau *release current*.

Perbandingan arus kembali dengan arus kerja dinyatakan sebagai faktor arus kembali (faktor penyetelan ulang),

$$K_d = \frac{I_{RE}}{I_{ST}} \quad (2.1)$$

Faktor arus kembali (K_d) untuk relay arus lebih karakteristik waktu tertentu mempunyai nilai 0,7 sampai 0,9 sedangkan untuk relay arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik nilainya 0,9 sampai 1,0.

Perbandingan antara arus gangguan pada jaringan dengan arus penyetelan relay disebut factor keamanan,

$$K_{fk} = \frac{I_F}{I_S} \quad (2.2)$$

dimana:

I_F = arus gangguan pada sekunder CT (A)

I_S = arus penyetelan rele (A)

Faktor keamanan (K_{fk}) pada relay arus lebih untuk karakteristik waktu terbalik pada umumnya 1,1 tetapi secara keseluruhan relay arus lebih berkisar 1,1 sampai 1,2.

2.5 Arus Penyetelan

Batas penyetelan minimum relay arus lebih tidak boleh bekerja pada saat terjadi beban maksimum (nilai nominal) dari peralatan jaringan yang dilindungi, seperti pembangkit, bus, transformator daya, dan penghantar.

Batas penyetelan maksimum relay arus lebih diperhitungkan saat terjadi hubung singkat. Arus hubung singkat dipilih saat pembangkitan minimum dan gangguan hubung singkat dua fasa. Relay arus lebih dinyatakan sebagai pengaman gangguan hubung singkat antar fasa. Untuk hubung singkat fasa ke tanah ditinjau tersendiri. Penyetelan arus pada relay arus lebih waktu terbalik diformulasikan,

$$I_S = \frac{K_{fk}}{K_d} \times I_n \times \left(\frac{1}{\text{Rasio CT}} \right) \quad (2.3)$$

dimana:

K_{fk} = factor keamanan

K_d = factor arus kembali

I_n = arus nominal perfasa peralatan yang diamankan (A)

Arus nominal atau arus maksimum peralatan merupakan arus maksimum yang diijinkan melalui peralatan sistem tanpa mengalami kerusakan. Peralatan sistem merupakan peralatan yang digunakan pada jaringan sistem tenaga listrik diantaranya; generator, transformator, busbar, penghantar, dan beban. Arus nominal atau maksimum peralatan ditentukan berdasarkan kapasitas daya peralatan dan dapat dituliskan,

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2.4)$$

dimana:

S = kapasitas daya peralatan atau beban (kVA)

V = tegangan sistem (kV)

2.6 Waktu Operasi Relay

Waktu operasi pada relay arus lebih berdasarkan penyetelan batas minimumnya, sehingga adanya gangguan hubung singkat di beberapa bagian berikutnya relay arus lebih akan bekerja. Untuk mendapatkan pengamanan yang selektif maka waktu operasinya dibuat bertingkat. Waktu operasi relay arus lebih harus memenuhi persyaratan yang baik yaitu pengamanan secara keseluruhan harus bekerja secepat mungkin tetapi harus selektif.

Waktu operasi rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik di formulasikan sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left(\frac{I_F}{I_S}\right)^{0,02} - 1} \quad (2.5)$$

dimana:

tms = faktor penyetelan waktu dari relay (*time dial* atau *time multiple setting*)

I_F = arus gangguan pada sekunder CT (A)

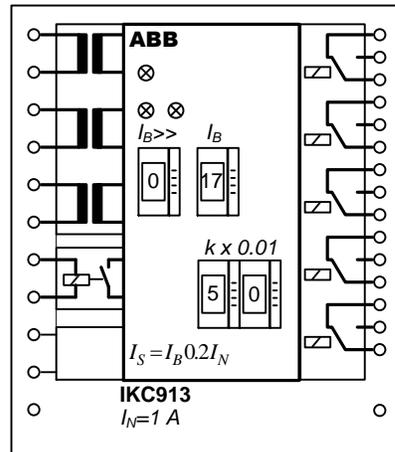
I_S = arus penyetelan relay (A)

Ketentuan penyetelan arus pada relay waktu tertentu berlaku juga pada relay ini, yaitu bahwa pada waktu kerja relay keseluruhan harus cepat tetapi harus tetap selektif, sehingga waktu relay untuk dua bagian yang berurutan pada lokasi gangguan yang sama harus mempunyai beda waktu (Δt) minimum 0,4 - 0,5 detik.

2.7 Relay Arus Lebih ABB-IKC913

Relay arus lebih IKC913 merupakan relay arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time*) yang diproduksi oleh ABB Cooperation Ltd. Relay arus lebih IKC913 dapat juga beroperasi dengan karakteristik waktu seketika (*instantaneous time*) jika diperlukan. Untuk operasi waktu terbalik, nilai penyetelan

arus waktu terbalik (I_B) diberikan sesuai dengan yang diinginkan atau I_B tidak sama dengan 0 dan penyetelan arus waktu seketika ($I_B \gg$) dengan nilai 0 atau $I_B \gg$ sama dengan 0 sedangkan untuk operasi seketika nilai $I_B \gg$ tidak sama dengan 0, seperti ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Relay arus lebih ABB-IKC913.

Penyetelan arus (I_B) pada relay arus lebih IKC913 dilakukan dengan memutar pemilih nilai (*dial gear*) setelah dihasilkan arus penyetelan (I_S) dari persamaan (2.3) dan arus nominal relay (I_N) penyetelan arus pada relay dapat ditentukan,

$$I_B = \frac{I_S}{0,2 \times I_N} \quad (2.6)$$

Pada relay arus lebih IKC913 nilai penyetelan arus adalah 2 sampai 17 ($I_B = 2 \sim 17$) sehingga batas arus penyetelan relay (I_S) adalah 0,4 A sampai 3,4 A ($I_S = 0,4 \sim 3,4$ A).

Waktu operasi relay merupakan waktu yang dibutuhkan relay untuk memutuskan pemutus tenaga setelah arus gangguan yang masuk ke relay melalui transformator arus melebihi arus penyetelannya. Penyetelan waktu operasi pada relay dapat dilakukan dengan melakukan menentukan faktor perkalian waktu (*tms*) berdasarkan persamaan (2.5) dan dapat dituliskan,

$$tms = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_F}{I_S} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} \quad (2.7)$$

Pada relay arus lebih IKC913 tertera nilai faktor perkalian waktu, $tms = k \times 0,01$ sehingga penyetelan waktu operasi dapat ditentukan,

$$k = \frac{tms}{0,01} \quad (2.8)$$

Cara penyetelan arus dan waktu operasi relay arus lebih berbeda untuk masing masing tipe, tetapi prosedur penyetelan relay tetap sama.