

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI

Sistem tenaga listrik terdiri atas tiga bagian utama yaitu, sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Dari ketiga sistem tersebut sistem distribusi merupakan bagian yang letaknya paling dekat dengan konsumen, fungsinya adalah menyalurkan energi listrik dari suatu Gardu Induk distribusi ke konsumen. Adapun bagian-bagian dari sistem distribusi tenaga listrik adalah:

- a. Gardu Induk Distribusi
- b. Jaringan Primer (JTM)
- c. Transformator Distribusi
- d. Jaringan Sekunder (JTR)

2.1. Klasifikasi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Jaringan distribusi dikategorikan kedalambeberapa jenis, sebagai berikut:

2.1.1. Berdasarkan Tegangan Pengenal

Berdasarkan tegangan pengenalnya sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

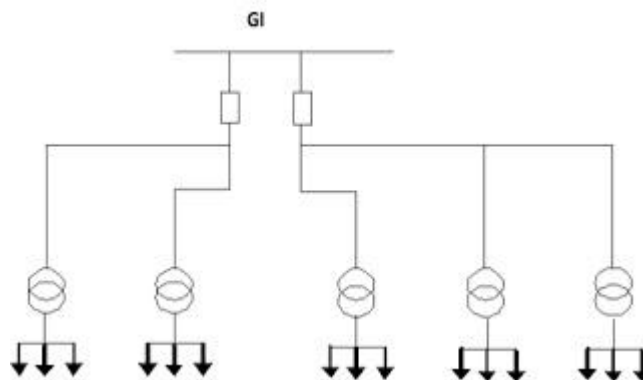
- a. Sistem jaringan tegangan primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yaitu berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Jaringan ini menghubungkan sisi sekunder trafo daya di Gardu Induk menuju ke Gardu Distribusi, besar tegangan yang disalurkan adalah 6 kV, 12 kV atau 20 kV.
- b. Jaringan tegangan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR), salurannya bisa berupa SKTM atau SUTM yang menghubungkan Gardu Distribusi/sisi sekunder trafo distribusi ke konsumen. Tegangan sistem yang digunakan adalah 220 Volt dan 380 Volt.

2.1.2. Berdasarkan Konfigurasi Jaringan Primer

Konfigurasi jaringan distribusi primer pada suatu sistem jaringan distribusi sangat menentukan mutu pelayanan yang akan diperoleh khususnya mengenai kontinuitas pelayanannya. Adapun jenis jaringan primer yang biasa digunakan adalah:

a. Jaringan Distribusi Pola Radial.

Pola radial adalah jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Jaringan ini biasa dipakai untuk melayani daerah dengan tingkat kerapatan beban yang rendah. Keuntungannya ada pada kesederhanaan dari segi teknis dan biaya investasi yang rendah. Adapun kerugiannya apabila terjadi gangguan dekat dengan sumber, maka semua beban saluran tersebut akan ikut padam sampai gangguan tersebut dapat diatasi.

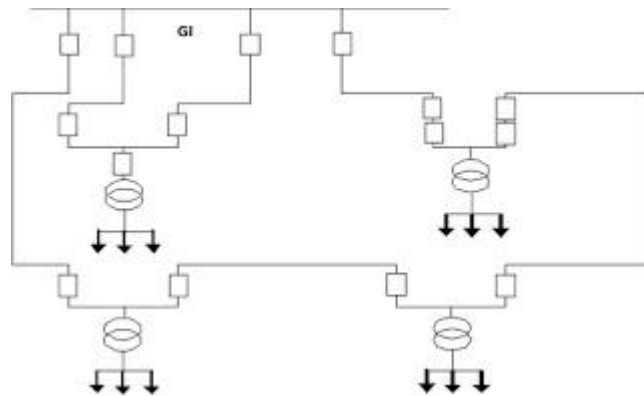


Gambar 2.1 Pola jaringan radial

b. Jaringan Distribusi Pola Loop

Jaringan pola loop adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula. Pola ini ditandai pula dengan adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan. Jika salah satu sumber

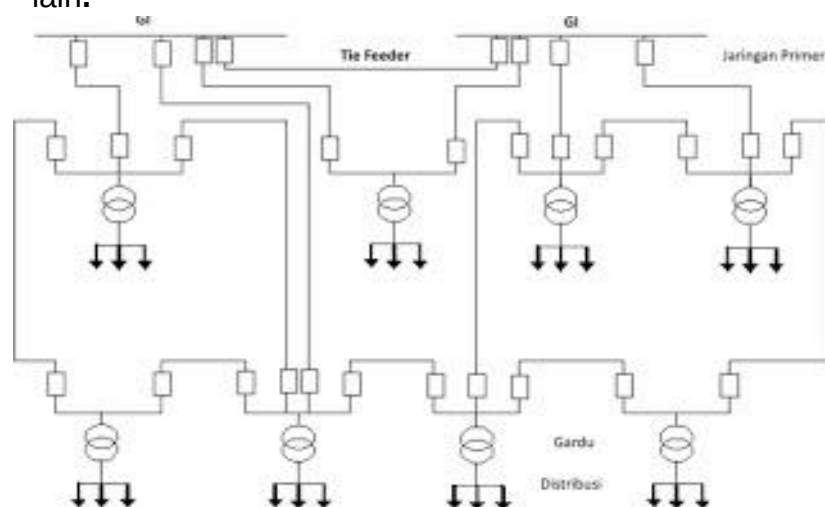
pengisian (saluran utama) mengalami gangguan, akan dapat digantikan oleh sumber pengisian yang lain (saluran cadangan). Jaringan dengan pola ini biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayanan yang baik (lebih baik dari pola radial).



Gambar 2.2 Pola Jaringan Loop

c. Jaringan Distribusi Pola Grid

Pola jaringan ini mempunyai beberapa rel daya dan antara rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut tie feeder. Dengan demikian setiap gardu distribusi dapat menerima atau mengirim daya dari atau ke rel lain.



Gambar 2.3 Pola Jaringan Grid

Keuntungan dari jenis jaringan ini adalah:

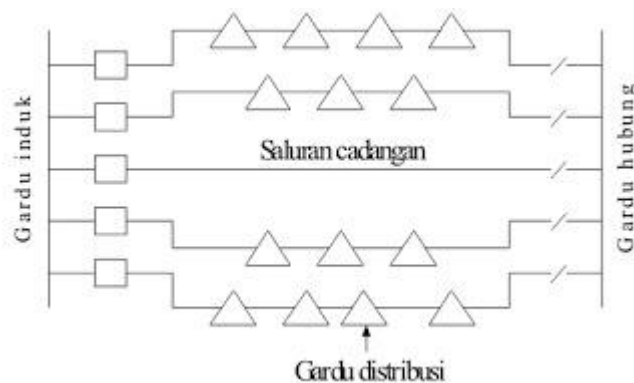
- Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pola radial atau loop.
- Fleksibel dalam menghadapi perkembangan beban.
- Sesuai untuk daerah dengan kerapatan beban yang tinggi.

Adapun kerugiannya terletak pada sistem proteksi yang rumit dan mahal dan biaya investasi yang juga mahal.

d. Jaringan Distribusi Pola Spindel

Jaringan primer pola spindel merupakan pengembangan dari pola radial dan loop terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari gardu induk diarahkan menuju suatu tempat yang disebut gardu hubung (GH), kemudian antara GI dan GH tersebut dihubungkan dengan satu saluran yang disebut express feeder.

Sistem gardu distribusi ini terdapat disepanjang saluran kerja dan terhubung secara seri. Saluran kerja yang masuk ke gardu dihubungkan oleh saklar pemisah, sedangkan saluran yang keluar dari gardu dihubungkan oleh sebuah saklar beban. Jadi sistem ini dalam keadaan normal bekerja secara radial dan dalam keadaan darurat bekerja secara loop melalui saluran cadangan dan GH. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar (2.4)



Gambar 2.4 Sistem Jaringan Spindel

Keuntungan pola jaringan ini adalah :

- Sederhana dalam hal teknis pengoperasiannya seperti pola radial.
- Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pada pola radial maupun loop.
- Pengecekan beban masing-masing saluran lebih mudah dibandingkan dengan pola grid.
- Penentuan bagian jaringan yang terganggu akan lebih mudah dibandingkan dengan pola grid. Dengan demikian pola proteksinya akan lebih mudah.
- Baik untuk dipakai di daerah perkotaan dengan kerapatan beban yang tinggi.

2.1.3. Konfigurasi Penghantar Jaringan Primer

- a. Konfigurasi penghantar segitiga
- b. Konfigurasi penghantar vertikal
- c. Konfigurasi penghantar Horizontal

2.2. Sistem Jaringan Tegangan Menengah

a. Pasokan daya distribusi 20 KV

Pasokan daya listrik pada sistem distribusi 20 KV PLN didapat dari sistem penyaluran 150 KV atau 70 KV melalui trafo tenaga yang berfungsi sebagai trafo step down 150/20 KV atau 70/20 KV yang terpasang di Gardu Induk dengan kapasitas yang bervariasi antara 5, 10, 20, 30 s/d 60 MVA. Dengan berkembangnya sistem kelistrikan, sistem penyaluran 150 KV PLN menjadi sudah besar sekali terinterkoneksi antara area satu dengan area lainnya. Khusus di pulau Jawa, kapasitas saluran 150 KV sudah sampai pada level 1000 s/d 2000 A per sirkit dan kapasitas hubung singkat di Bus 150 KV sudah mencapai ribuan MVA.

b. Sistem distribusi 20 KV

Keluaran dari trafo daya dikumpulkan dulu pada Bus 20 KV di kubikel Gardu Induk untuk kemudian di distribusikan melalui beberapa penyulang 20 KV ke konsumen dengan jaringan berupa Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) atau Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM). Khusus SUTM, jaringan bisa ditarik sepanjang puluhan sampai ratusan Km termasuk percabangannya dan biasanya ada diluar kota besar. Seperti diketahui di Indonesia, jaringan dengan konduktor telanjang yang digelar di udara bebas banyak mengandung resiko terjadi gangguan hubung singkat fasa-fasa atau satu fasa-tanah. Disepanjang SUTM terdapat percabangan yang dibentuk didalam Gardu Distribusi atau Gardu Tiang. Sementara jaringan SKTM relatif lebih pendek dan berada di dalam kota besar dengan jumlah gangguan relatif sedikit. Bila terjadi gangguan itu biasanya pada sambungan yang akan merupakan gangguan permanen. Seperti halnya di jaringan SUTM, di jaringan SKTM juga terdapat Gardu Distribusi untuk percabangan ke beban konsumen atau percabangan SKTM.

Seringnya gangguan hubung singkat di jaringan menyebabkan sering pula relay proteksi bekerja dan sesering itu pula trafo daya menderita pukulan hubung singkat yang dapat memperpendek umur trafo daya tersebut. Dengan sudah besarnya kapasitas sistem 150 KV, boleh dikatakan hubung singkat di Bus 20 KV tergantung dan dibatasi oleh besarnya kapasitas trafo daya.

a. Saluran Udara

Saluran udara digunakan pada pemasangan di luar bangunan, diregangkan pada isolator-isolator diantara tiang-tiang sepanjang beban yang dilalui suplai tenaga listrik, mulai gardu induk sampai ke pusat beban ujung akhir. Jaringan udara direncanakan untuk kawasan dengan kepadatan beban rendah atau sangat rendah, misalnya pinggiran kota, kampung/kota1kota kecil, dan tempat

tempat-tempat yang jauh serta luas dengan beban tersebar. Seringkali digunakan untuk melayani daerah yang sedang berkembang sebagai tahapan sementara. Kota-kota besaar dengan mayoritas perumahan kebanyakan menggunakan jaringan udara. Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar adalah tembaga dan alumunium. Secara teknis, tembaga lebih baik daripada aluminium, karena memiliki daya hantar arus yang lebih tinggi. Namun karena harga tembaga yang tinggi, lagipula memiliki kecenderungan untuk senantiasa naik, kian lama pemakaian kawat alumunium lebih banyak dipakai. Apalagi, kawat tembaga sering menjadi sasaran pencurian karena dapat diolah untuk pembuatan barang-barang laian yang laku di pasaran. Karenanya kawat alumunium berinti baja (ASCR atau Alumunium Cable Steel Reinforced) banyak dipakai untuk saluran udara tegangan tinggi maupun tegangan menengah. Sedangkan untuk saluran tegangan rendah banyak dipakai kawat alumunium telanjang (AAC atau All Alumunium Cable). Kini untk saluran udara banyak juga dipakai kawat udara alumunium punter berisolasi. Beberapa pertimbangan untuk saluran udara dapat disebut seperti berikut

Keuntungan atau kelebihan berupa :

- Investasi atau biaya untuk membangun aluran udara jauh lebih rendah dibanding dengan kabel tanah, yaitu berbanding sekitar 1 :516, bahkan lebih tinggi untuk tegangan yang lebih tinggi.
- Kawat untuk daerah-daerah yang lahannya merupakan batu, lebih mudah membuat lubang untuk tiang listrik daripada membuat jalur lubang bagi kabel tanah.
- Terutama untuk tegangan extra tingi, masing1masing fase dapat diletakkan cukup jauh terpisah.
- Pemeliharaan lebih mudah dan mencari tempat saluran terganggu juga jauh lebih mudah.

Kerugian atau kekurangan pada saluran udara berupa:

- Lebih mudah terganggu karena angin ribut, hujan, petir, maupun anak-anak yang main layang-layang.
- Mengganggu pemandangan dan bahkan dianggap mengganggu lingkungan.
- Bilamana terjadi kawat putus, dapat membahayakan manusia.
- Khusus untuk tegangan tinggi, medan elektromagnetik yang berasal dari saluran udara, sering dianggap berbahaya untuk keselamatan manusia.

b. Saluran Bawah Tanah

Untuk saluran bawah tanah sistem penyaluran tenaga listriknya akan dilakukan di bawah tanah sepanjang saluran yang digunakan adalah kabel tanah yang direntangkan sepanjang daerah beban yang dilaluinya. Bahan untuk kabel tanah pada umumnya terdiri atas tembaga dan aluminium. Sebagai isolasi dipergunakan bahan bahan berupa kertas serta perlindungan mekanikal berupa timah hitam. Untuk tegangan menengah sering juga dipakai minyak sebagai isolasi. Jenis kabel yang sering digunakan adalah GPLK (Gewapend Papier Lood Kabel) atau NKBA (Normalkabel mit Bleimantel Ausenumheüllung). Kabel ini jenis kabel minyak dengan bahan isolasi XLPE (Cross Linked Polyethylene). Jaringan bawah tanah direncanakan untuk kawasan dengan padat beban lebih tinggi, misalnya kota metropolitan atau kota kota besar. Untuk kawasan dengan padat beban sedang atau tidak seragam biasanya menggunakan jaringan campuran. Bagian bagian kabel untuk melayani daerah industri, perdagangan dan kantor kantor. Penanaman kabel dapat dilakukan secara langsung atau memakai pipa pelindung. Pemakaian kabel tanah dengan pipa pelindung dilakukan untuk keperluan setempat, misalnya jaringan menyebrang sungai, instalasi didalam gedung dan lain lain. Selain itu penanaman dan perentangan

kabel tanah didalam lubang yang telah digali perlu penanganan khusus, karena hal ini akan mempengaruhi umur maupun kemampuan kabel dalam penyaluran tenaga. Beberapa pertimbangan untuk kabel tanah dapat disebut seperti berikut.

Keuntungan atau kelebihan berupa:

- Kabel tanah tidak terlihat, maka tidak mengganggu pemandangan atau lingkungan. Hal ini penting untuk kota yang padat penduduknya seta padat lalu1lintas kendaraan.
- Pengoperasiannya lebih mudah karena tidak terpengaruh oleh hujan, petir, atau angin rebut.

Sedangkan kerugian atau kekurangan adalah :

- Harganya yang tinggi, lebih lebih untuk tegangan yang tinggi.
- Bilamana terjadi gangguan, tidak mudah untuk menemukan tempat gangguan terjadi. Lagipula, melakukan reparasi pada kabel yang rusak, sangat sulit karena mengganggu lalu1lintas kendaraan, sehingga menambah masalah kemacetan lalu1lintas.

2.3. Gangguan Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya rele pengaman penyulang bekerja untuk membuka circuit breaker di gardu induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik. Hal ini untuk mengamankan peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut untuk dari kerusakan. Sehingga fungsi dari peralatan pengaman adalah untuk mencegah kerusakan peralatan dan tidak meniadakan gangguan. Gangguan pada jaringan distribusi lebih banyak terjadi pada saluran distribusi yang dibentangkan di udara bebas (SUTM) yang umumnya tidak memakai isolasi dibanding dengan saluran distribusi yang ditanam dalam tanah (SKTM) dengan menggunakan isolasi pembungkus

Sumber gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam sistem maupun dari luar sistem distribusi.

Gangguan dari dalam sistem antara lain :

- a. Tegangan lebih atau arus lebih
- b. Pemasangan yang kurang tepat
- c. Usia pemakaian

Gangguan dari luar sistem antara lain :

- a. Dahan/ranting pepohonan yang mengenai SUTM
- b. Sambaran petir
- c. Hujan atau cuaca
- d. Kerusakan pada peralatan
- e. Binatang ataupun layang-layang
- f. Penggalian tanah
- g. Gagalnya isolasi karena kenaikan temperature
- h. Kerusakan sambungan

Macam-Macam Gangguan Pada JTM

- a. Gangguan hubung singkat 3 fasa
- b. Gangguan hubung singkat 2 fasa
- c. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah
- d. Gangguan simpatik
- e. Gangguan tegangan lebih sambaran petir (*lightning surge*)
- f. Gangguan tegangan lebih pemutusan (*switching surge*)

Berdasarkan sifatnya gangguan pada sistem distribusi dibagi menjadi :

- a. Gangguan Temporer

Gangguan yang bersifat sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, baik secara otomatis (autorecloser) maupun secara manual oleh operator. Bila gangguan tidak dapat dihilangkan dengan sendirinya atau dengan bekerjanya alat pengaman (recloser) dapat menjadi gangguan tetap dan dapat

menyebabkan pemutusan tetap. Bila gangguan sementara terjadi terjadi berulang-ulang dapat menyebabkan gangguan permanen, dapat menyebabkan kerusakan peralatan.

b. Gangguan Permanen

Gangguan bersifat tetap, sehingga untuk membebaskannya perlu tindakan perbaikan atau penghilangan penyebab gangguan. Hal ini ditandai dengan jatuhnya (trip) kembali pemutus daya setelah operator memasukkan sistem kembali setelah terjadi gangguan. Untuk mengatasi gangguan gangguan sebuah peralatan harus dilengkapi dengan sistem pengaman relay, dimana sistem pengaman ini diharapkan dapat mendeteksi adanya gangguan sesuai dengan fungsi dan daerah pengamannya.

2.4. Sistem Proteksi dan Pentanahan

Pada dasarnya semua konstruksi jaringan distribusi tidak ada yang benar-benar aman dari gangguan yang datangnya dari dalam sistem itu sendiri maupun dari dari luar sistem. Gangguan tersebut merupakan potensi yang merugikan ditinjau dari beberapa hal, maka perlunya dipasang sistem proteksi yang berfungsi sebagai berikut:

- Mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya
- Menjaga keselamatan umum
- Meningkatkan kontinuitas pelayanan

Pada sistem distribusi 20 kV hal yang terpenting pada sistem proteksi selain alat proteksi itu sendiri, sistem pentanahan juga merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam sistem proteksi itu sendiri. Misalnya ada gangguan fasa yang bocor ke tanah, maka bila sistem pentanahan tidak sesuai dengan sistem distribusi yang diproteksi, maka alat proteksi tidak akan bekerja dengan benar, sehingga dapat merusak peralatan jaringan maupun membahayakan keselamatan manusia.

Sistem pentanahan pada kenyataan di PLN terdapat beberapa pola, sehingga sistem proteksinya juga berbeda-beda.

Pada perencanaan konstruksi jaringan distribusi untuk menentukan komponen jaringan, misalnya penghantar, harus dipertimbangkan besarnya arus gangguan hubung singkat ke tanah dan selanjutnya sistem proteksi yang sesuai, sehingga tujuan membangun konstruksi jaringan distribusi yang aman dan menguntungkan dapat tercapai.

a. PRINSIP KERJA SISTEM PROTEKSI

- Melakukan koordinasi dengan tegangan sistem tegangan tinggi (GI, Transmisi, Pembangkitan)
- Mengamankan peralatan dari kerusakan dan gangguan
- Menghindari kemungkinan terjadinya kecelakaan
- Melokalisir gangguan
- Secepatnya membebaskan pemadaman karena gangguan (manuver)
- Mengurangi frekwensi pemutusan

b. Syarat-Syarat Sistem Proteksi

- Peka (sensitif)
- Cermat (selektivitas)
- Andal (reliability)
- Cepat

Macam-Macam Alat Proteksi pada Saluran Distribusi TM

a. Proteksi arus lebih:

- Pengaman: fco, hrc fuse
- Relai arus lebih dipasang pada pmt, pbo, sso
- Relai hubung tanah
- Relai arus lebih terarah

b. Proteksi tegangan lebih:

- Kawat tanah
- Sela batang
- *Rod gap*
- *Arrester*

2.4.1. Proteksi Terhadap Gangguan Arus Lebih

Arus lebih terjadi disebabkan terjadinya hubung singkat antara konduktor fasa dengan fasa, atau antara fasa dengan tanah. Faktor yang mempengaruhi besar arus lebih adalah:

- a. Tegangan
- b. Impedansi
- c. Jenis gangguan
- d. Tahanan pentanahan
- e. Saat mulai gangguan
- f. Faktor daya

2.4.1.1. Hubungan sistem pentanahan dan pola proteksi arus lebih

Yang dimaksud dengan hubungan sistem pentanahan di atas adalah hubungan antara titik netral sisi skunder trafo (20 kV) terhadap pentanahan. Pada saat ini di PLN hubungan sistem pentanahan ada 3 (tiga) macam, dimana masing-masing mempunyai karakteristik yang berbeda terhadap besarnya arus gangguan hubung tanah, sehingga pola pengamanan yang dilakukan berbeda juga.

a. Sistem pentanahan tahanan rendah

Sistem ini terdapat pada sistem distribusi yang ada di banyak tempat di Indonesiakecuali Jatim dan Jateng. Besar tahanan yang dihubungkan seri dengan pentanahan adalah 40 untuk SUTM dan 12 untuk SKTM atau gabungan SUTM dan SKTM. Pengaruh dari sistem ini terhadap pola pengamanan arus lebih adalah sebagai berikut:

- Arus gangguan hubung singkat antara fasa dan tanah cukup besar (max :1000 A untuk SUTM dan 300 A untuk SKTM)
- Karakteristik relai arus yang digunakan pada PMT utama adalah jenis waktu tetap (*definite time*)

- PMT saluran utama dilengkapi dengan relai gangguan tanah dan penutup balik bagi saluran udara
- Pelebur boleh dipasang sebagai pengaman saluran percabangan atau pengamanan trafo distribusi
-

b. Sistem pentanahan tahanan tinggi

Sistem seperti ini terdapat pada sistem distribusi di Jatim. Besar tahanan yang dihubungkan seri dengan pentanahan adalah 500 untuk SUTM maupun SKTM. Pengaruh dari sistem ini terhadap pola pengamanan arus lebih adalah sebagai berikut:

- Lebih kebal terhadap gangguan fasa dengan tanah yang sifatnya sementara, karena arus gangguan kecil ($< 25 \text{ A}$)
- Pengaman arus lebih pada PMT harus dilengkapi relai gangguan tanah terarah
- Pelebur dapat dipasang pada titik percabangan saluran utama, saluran cabang tanpa SSO dan sisi primer trafo
-

c. Sistem pentanahan langsung

Sistem seperti ini terdapat pada sistem distribusi di Jateng. Pentanahan dihubungkan langsung tanpa melalui tahanan. Pada jaringan terdapat hantaran netral yang sekaligus merupakan hantaran netral sistem tegangan rendah (disebut *multi grounded*). Pengaruh dari sistem ini terhadap pola pengamanan arus lebih adalah sebagai berikut:

- Arus gangguan hubung tanah relatif sangat besar, sehingga dapat digunakan pmt + relai (berpengamanan sendiri yang bekerja cepat)
- Pada saluran kabel tanah, PMT tidak dilengkapi penutup balik
- Karakteristik relai arus yang digunakan adalah jenis waktu terbalik (*inverse time*)

- Dapat dilakukan koordinasi proteksi antara PMT + relai atau PBO dengan fuse
- Pengaman gangguan tanah dengan menggunakan PBO, SSO dan fuse
- PBO dipasang pada saluran utama sebagai pengaman utama jaringan, maupun sebagai alat memutus tetap atau sesaat
- SSO dapat dipasang sepanjang saluran utama atau percabangan
- Pelebur dipakai sebagai pengaman saluran percabangan dan trafo

2.4.1.2. Koordinasi proteksi

Yang dimaksud dengan koordinasi pengamanan adalah mengatur/menyetel agar alat pengaman yang dipasang dengan tujuan mengamankan peralatan dapat bekerja memutus arus gangguan sebelum peralatan yang diamankan mengalami kerusakan (percepatan penuaan). Kondisi yang aman, adalah bila selisih waktu antara bekerjanya alat pengaman dengan alat yang diamankan adalah 25 %.

Batas ketahanan penghantar, menurut **SPLN 64 : 1985 (lampiran)**:

- a. Batas ketahanan penghantar telanjang:
Kurva pelunakan untuk penghantar AAC dan AAAC dengan persamaan:

- $A = 7,972 I \sqrt{t}$ (untuk penghantar AAC)
- $A = 8,940 I \sqrt{t}$ (untuk penghantar AAAC)

- b. Kurva saat leleh untuk penghantar ACSR

- $A = 6,406 I \sqrt{t}$

dimana: A = luas penampang penghantar

I = arus hubung singkat (kA)

T = lamanya hubung singkat (detik)

c. Batas ketahanan penghantar berisolasi (kabel):

Untuk penghantar berisolasi (kabel), maka batas ketahanan penghantar yang dimaksud adalah kurva batas ketahanan isolasi nya

Tabel 2.1. Persamaan Kurva ketahanan kabel untuk bermacam-macam jenis isolasi

Jenis Penghantar	Jenis Isolasi	Persamaan Kurva ketahanan Kabel
Aluminium	- Kertas, karet, kain yang dipernis	$A = 11,702 I \sqrt{t}$
	- PVC	$A = 14,623 I \sqrt{t}$
	- XLPE, ethylenepropylene rubber	$A = 10,772 I \sqrt{t}$
Tembaga	- Kertas, karet, kain yang dipernis	$A = 7,654 I \sqrt{t}$
	- PVC	$A = 9,571 I \sqrt{t}$
	- XLPE, ethylenepropylene rubber	$A = 7,042 I \sqrt{t}$

2.4.1.3. Kegagalan proteksi gangguan arus lebih dan penyebabnya

- a. Kurva arus waktu ketahanan peralatan jaraknya kurang dari 25 % dari kurva pengaman
- b. Kurva ketahanan peralatan tidak sesuai standar/data dari pabrik
- c. Terjadi perubahan kurva peralatan atau pengaman:
 - Relai: terlalu banyak beroperasi, tua, kotor atau rusak
 - Pelebur: tua, kotor atau rusak
 - PMT: banyak beroperasi, tua, tahanan isolasi turun
 - Trafo: pendinginan kurang baik, sambungan kumparan kurang baik
- d. Sambungan terminal bushing kurang kencang, sering kena surja petir, beban lebih, mutu inti/kumparan jelek, kotor

- e. Penghantar: kotor karena polusi, perubahan penampang, sering kena surja petir, arus lebih/hubung singkat, mutu penghantar kurang baik

2.4.2. Proteksi terhadap Gangguan Tegangan Lebih

2.4.2.1. Timbulnya tegangan lebih

Ditinjau dari asal gangguan terhadap sistem:

- a. Dari dalam sistem dengan jenis gangguan surya hubung (*switching surge*) terjadi karena:
 - Transient: mempunyai frekwensi yang tidak ada hubungannya dengan frekwensi sistem; penyebabnya:
 - o operasi PMT dengan beban induktif/kapasitif
 - o hubung singkat satu fasa – bumi pada sistem
 - o pentanahan mengambang
 - Dinamis: mempunyai frekwensi yang sama dengan frekwensi sistem berlangsung beberapa detik; penyebabnya: pelepasan/penambahan tiba-tiba generator hingga terjadi putaran lebih
 - Statis: mempunyai frekwensi yang sama dengan frekwensi sistem berlangsung sampai waktu yang lama dengan penyebabnya hubung singkat satu fasa – bumi

Tegangan lebih hubung dapat terjadi karena:

- a. Penutupan / penutupan kembali saklar pada hantaran panjang yang terbuka
- b. Penutupan saklar pada saluran dengan trafo hantaran dengan beban atau tidak
- c. Pelepasan beban tiba-tiba pada ujung hantaran yang diikuti dengan pelepasan beban pada ujung pengirim
- d. Pelepasan trafo tanpa beban
- e. Pelepasan beban induktif trafo gangguan tersier
- f. Pelepasan gardu antara
- g. Gangguan satu fasa ke bumi

- b. Dari luar sistem dengan jenis gangguan surya petir (*lightning surge*): Terjadi karena adanya pelepasan muatan-muatan di atmosfer, contohnya adalah sambaran petir ke konduktor SUTM.

Akibat dari terjadiya tegangan lebih

Peninggian tegangan yang melebihi tingkat ketahanan isolasi peralatan, menyebabkan rusaknya isolasi dan akhirnya mengakibatkan terjadinya hubung singkat.

2.4.2.2. Alat proteksi terhadap gangguan tegangan lebih

- a. Kawat tanah (*over head statics*): Cara ini banyak digunakan pada saluran transmisi dan sebagian di SUTM tujuannya menghindari sambaran petir secara langsung, dipasang diatas kawat fasa
- b. Sela batang (*spark gap*) atau *Arcing Horn*: Dipasang pada *bushing* trafo sisi tegangan menengah dan isolator gantung
- c. *Lightning arrester*: Cara ini paling banyak digunakan baik saluran transmisi dan SUTM yang dipasang seluruh fasa

2.4.2.3. Pemasangan pengaman tegangan lebih

- a. *Arrester* pada trafo GI sisi 20 kV
- b. *Arrester* pada trafo Gardu Distribusi sisi 20 kV
- c. *Arrester* pada kapasitor distribusi
- d. *Arrester* pada SUTM pada titik percabangan SUTM
- e. *Arrester* pada ujung saluran yang panjang
- f. *Arrester* pada SKTM yang digabung dengan SUTM

2.4.2.4. Kegagalan proteksi tegangan lebih dan penyebab-penyebabnya

Kerusakan pada *arrester*:

- Sambungan-sambungan kawat fasa, jaringan dengan terminal *arrester* serta pentanahan

- Sambungan kawat pentanahan dengan elektrode kurang baik
- Tahanan pentanahan *arrester* terlalu tinggi ($> 1 \text{ ohm}$)
- Jarak *arrester* satu dengan yang lain terlalu jauh
- *Arrester* tidak bekerja optimal

Gangguan pada *rod gap* / *spark gap*:

- Jarak antara *rod gap* / *spark gap* tidak tepat
- *Rod gap* / *spark gap* kotor

Isolator:

- Kotor
- Retak/pecah

Trafo:

- Sudah tua, isolasi kumparan turun
- Minyak trafo kotor, mengandung endapan karbon, uap atau air

Kawat tanah:

- Jarak antara kawat tanah dan fasa terlalu besar
- Tarikannya kendur, tiang miring

2.5. Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti .

Akibat terjadinya rugi tegangan pada saluran maka tegangan ditempat pelanggan yang paling jauh dari sumber (gardu distribusi) akan lebih kecil dari tegangan nominal. Mengapa hal ini terjadi???

Hal ini terjadi dikarenakan rugi tegangan pada saluran yang menyebabkan adanya tegangan jatuh (ΔV). Tegangan jatuh dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

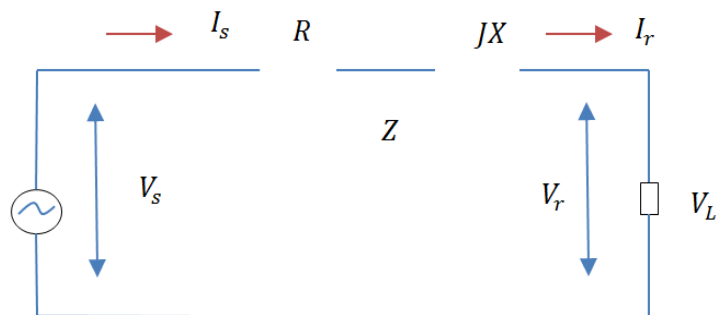
$$\Delta V = V_s - V_r \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

V_s = tegangan pengiriman disisi sumber

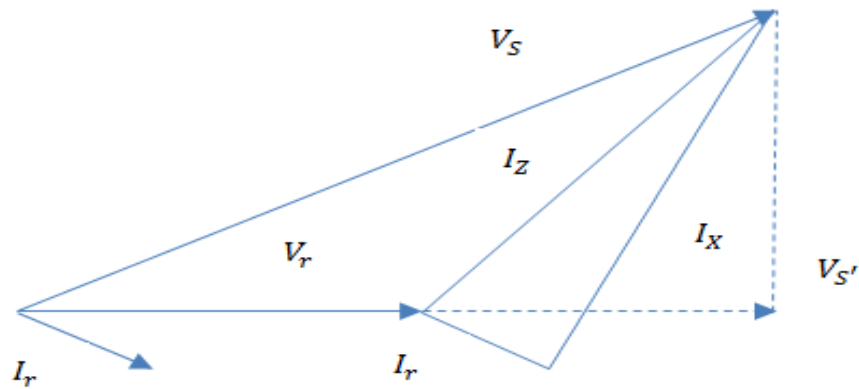
V_r = tegangan penerimaan disisi beban

Rangkaian Pengganti Distribusi Listrik



$I_s = I_r = I$ = arus pada saluran

$Z = R + jX$ = impedansi saluran



Dengan rumus pendekatan :

$$V_S = V_{S'} \text{ maka}$$

$$\Delta V = V_{S'} - V_r$$

$$\Delta V = I R \cos \theta + I j X \sin \theta$$

$$\Delta V = I (R \cos \theta + j X \sin \theta) \dots \dots \dots (2.2)$$

Secara Vektor $\Delta V = V_r - V_{S'}$

Dimana :

ΔV = Tegangan Jatuh (Volt)

V_r = Tegangan reaktif (Volt)

I = arus penghantar phasa (Ampere)

R = resistansi/tahanan penghantar phasa (Ω/km)

jX = reaktansi saluran (Ω/km)

θ = sudut daya (beda sudut antara I dan E)

Maka :

Untuk saluran 1 phasa

$$\Delta V = I \cdot L (R \cos \theta + j X \sin \theta) \dots \dots \dots (2.3)$$

Untuk saluran 3 phasa

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot L (R \cos \theta + j X \sin \theta) \dots \dots \dots (2.4)$$

Bila beban terpusat diujung

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot L (R \cos \theta + j X \sin \theta) \dots\dots\dots(2.5)$$

Bila beban merata sepanjang saluran

Sesuai SPLN No. 72 ; tahun 1987 $\Delta V_{\max}$ sebagai berikut :

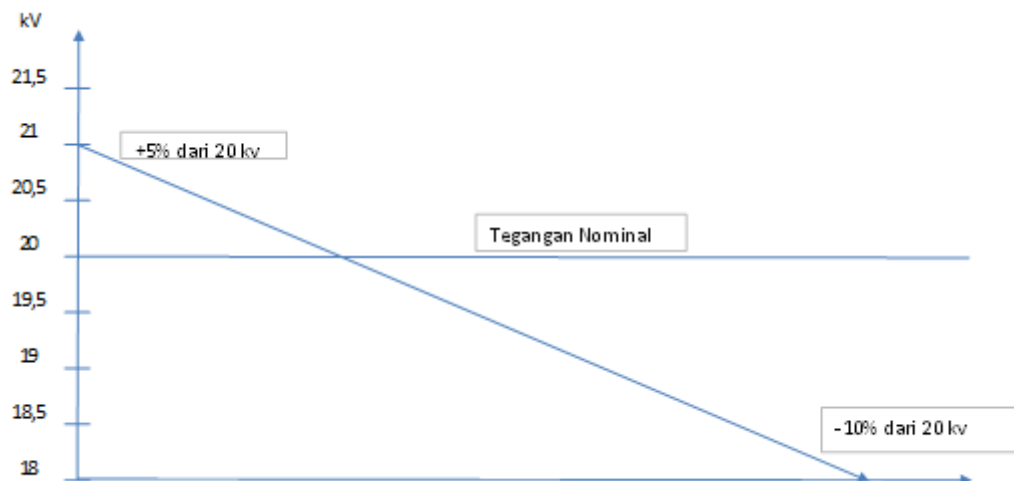
JTM = 5%

Trafo = 3%

JTR = 4%

saluran Pelayanan = 1%

Secara Real Nilai ΔV biasa berubah-ubah tergantung fluktuasi beban.



Gambar 2.5 Grafik Jatuh Tegangan

2.6. Operasi Sistem Distribusi

Pengertian dari Operasi Sistem Distribusi adalah segala kegiatan yang mencakup pengaturan, pembagian, pemindahan, dan penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit kepada konsumen dengan efektif serta menjamin kelangsungan penyalurannya / pelayanannya.

Sebagai tolok ukur pada kegiatan operasi terdapat beberapa parameter, yaitu :

a. Mutu listrik

Ada 2 hal yang menjadi ukuran mutu listrik yaitu tegangan dan frekuensi. Batas toleransi tegangan pelayanan yaitu pada konsumen TM adalah $\pm 5\%$, dan pada konsumen TR adalah maksimum 5% dan minimum

10 %. Sedangkan untuk batas toleransi frekuensi adalah ± 1 % dari frekuensi standar 50 Hz.

b. Keandalan penyaluran tenaga listrik

Sebagai indikator keandalan penyaluran adalah angka lama pemadaman / gangguan atau yang disebut Sistem Average Interruption Duration Index (SAIDI) dan angka seringnya pemadaman / gangguan atau yang disebut Sistem Average Interruption Frequency Index (SAIFI). Rumus perhitungannya yaitu :

$$a. \quad SAIDI = \frac{\sum (\text{jam} \times \text{pelanggan padam})}{\text{jumlah pelanggan total}} \left(\frac{\text{jam}}{\text{pelanggan}} / \text{tahun} \right)$$

$$b. \quad SAIFI = \frac{\text{jumlah pelanggan padam}}{\text{jumlah pelanggan total}} \left(\frac{\text{kali}}{\text{pelanggan}} / \text{tahun} \right)$$

c. Keamanan dan keselamatan

Sebagai indikator dari keamanan dan keselamatan adalah jumlah angka kecelakaan akibat listrik pada personel dan kerusakan pada instalasi / peralatan serta pada lingkungan.

d. Biaya pengoperasian

Sebagai indikatornya adalah angka susut jaringan, yaitu selisih antara energi yang dikeluarkan oleh pembangkit dengan energi yang digunakan oleh pelanggan. Penyebab susut jaringan antara lain yaitu pencurian listrik, kesalahan alat ukur, jaringan yang terlalu panjang, faktor daya rendah serta konfigurasi jaringan yang kurang tepat.

e. Kepuasan pelanggan

Sebagai indikator akan kepuasan pelanggan adalah apabila kebutuhan akan listrik oleh konsumen baik kualitas, kuantitas serta kontinuitas pelayanan terpenuhi.