

# BAB 13

## ANALISIS GANGGUAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI

### A. Pendahuluan

Tenaga listrik disalurkan ke masyarakat melalui jaringan distribusi. Oleh sebab itu jaringan distribusi merupakan bagian jaringan listrik yang paling dekat dengan masyarakat. Jaringan distribusi dikelompokkan menjadi dua, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 kV, 12 kV, 6 kV. Pada saat ini, tegangan distribusi primer yang cenderung dikembangkan oleh PLN adalah 20 kV. Tegangan pada jaringan distribusi primer, diturunkan oleh gardu distribusi menjadi tegangan rendah yang besarnya adalah 380/220 V, dan disalurkan kembali melalui jaringan tegangan rendah kepada konsumen.

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

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

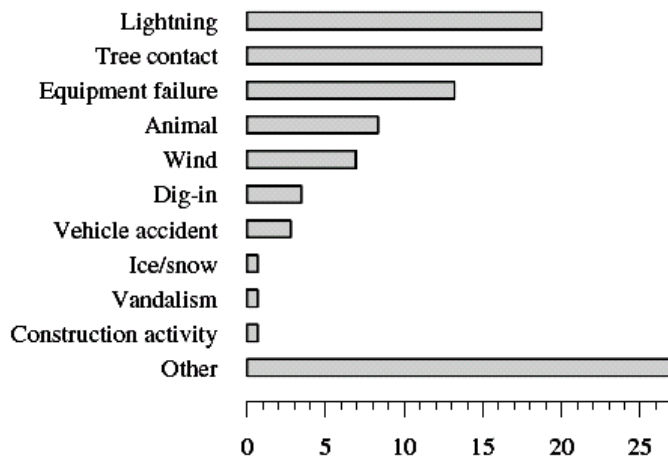
Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. Istilah gangguan atau gangguan hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu hubungan singkat.

Tujuan menganalisis gangguan pada jaringan distribusi adalah :

1. Untuk menentukan arus maksimum dan minimum hubung singkat tiga fasa
2. Untuk menentukan arus gangguan tak simetris bagi gangguan satu dan dua line ke tanah, gangguan line ke line, dan rangkaian terbuka.

3. Penyelidikan operasi rele-rele proteksi
  4. Untuk menentukan kapasitas pemutus dari circuit breaker
  5. Untuk menentukan distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan busbar selama gangguan.
- (Weedy, 1988 : 299)

Berdasarkan studi yang telah dilakukan EPRI (Burke and Lawrence, 1984; EPRI 1209-1, 1983) bahwa penyebab terjadinya gangguan permanen pada jaringan distribusi seperti gambar 167 berikut.



Gambar 167. Persentase gangguan berdasarkan sebab

Hampir 40% dari gangguan yang diteliti, terjadi pada priode cuaca yang tidak menguntungkan seperti : cuaca hujan, dingin dan salju. Gangguan distribusi terjadi pada satu fase, dua fase atau ketiga fasenya.

Hal ini sebabkan bahwa hampir sebagian besar dari panjang saluran distribusi adalah saluran satu fase, setiap gangguan satu fasa hanya mencakup bagian satu fase. Begitu juga bagian tiga fase, beberapa jenis gangguan cenderung terjadi dari fase ke tanah. Gangguan yang disebabkan oleh peralatan dan hewan cenderung terjadi dari fase ke tanah. Pohon juga dapat menyebabkan gangguan satu fase ke tanah pada sistem tiga fase, tetapi gangguan fase-fase lebih sering terjadi. Gangguan petir cenderung menyebabkan gangguan dua atau tiga fase ke tanah pada sistem tiga fase.

Gangguan-gangguan tersebut menyebabkan terjadinya :

1. Menginterupsi kontinuitas pelayanan daya kepada para konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian (sircuit) atau menyebabkan keluarnya satu unit pembangkit .
2. Penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik dan merintanginya kerja normal pada peralatan konsumen.

3. Pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan jatuhnya generator.
4. Merusak peralatan pada daerah terjadinya gangguan itu.

Gangguan terdiri dari gangguan temporer atau permanent, rata-rata jumlah gangguan temporer lebih tinggi dibandingkan gangguan permanent. Kebanyakan gangguan temporer di amankan dengan *circuit breaker* (CB) atau pengaman lainnya.

Gangguan permanent adalah gangguan yang menyebabkan kerusakan permanent pada sistem. Seperti kegagalan isolator, kerusakan penghantar, kerusakan pada peralatan seperti transformator atau kapasitor. Pada saluran bawah tanah hampir semua gangguan adalah gangguan permanen. Kebanyakan gangguan peralatan akan menyebabkan hubung singkat. Gangguan permanen hampir semuanya menyebabkan pemutusan/gangguan pada konsumen. Untuk melindungi jaringan dari gangguan digunakan fuse, *recloser* atau CB.

## **B. Jenis Gangguan**

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari luar sistem disebabkan oleh sentuhan daun/pohon pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Sedangkan gangguan yang datang dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan pemutus beban dan kesalahan pada alat pendeteksi.

Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi (*Hutauruk, 1987 : 4*) adalah :

- a. Dari jenis gangguannya :
  - 1) Gangguan dua fasa atau tiga fasa melalui hubungan tanah
  - 2) Gangguan fasa ke fasa
  - 3) Gangguan dua fasa ke tanah
  - 4) Gangguan satu fasa ke tanah atau gangguan tanah
- b. Dari lamanya gangguan
  - 1) Gangguan permanen
  - 2) Gangguan temporer

### **a. Gangguan yang bersifat temporer**

Gangguan yang bersifat temporer ini apabila terjadi gangguan, maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat normal kembali. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutus sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Kemudian disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila

gangguan temporer sering terjadi dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

Salah satu contoh gangguan yang bersifat temporer adalah gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat binatang seperti burung kelelawar, ular dan layangan.

Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi maka hal tersebut akan menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

#### **b. Gangguan yang bersifat permanen**

Gangguan permanen tidak akan dapat hilang sebelum penyebab gangguan dihilangkan terlebih dahulu. Gangguan yang bersifat permanen dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan ini diperbaiki atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen. Untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Terjadinya gangguan ditandai dengan jatuhnya pemutus tenaga, untuk mengatasinya operator memasukkan tenaga secara manual. Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus, terjadinya gangguan hubung singkat, dahan yang menimpa kawat fasa dari saluran udara, adanya kawat yang putus, dan terjadinya gangguan hubung singkat.

### **C. Penyebab Gangguan**

Gangguan biasanya diakibatkan oleh kegagalan isolasi di antara penghantar fasa atau antara penghantar fasa dengan tanah. Secara nyata kegagalan isolasi dapat menghasilkan beberapa efek pada sistem yaitu menghasilkan arus yang cukup besar, atau mengakibatkan adanya impedansi diantara konduktor fasa atau antara penghantar fasa dan tanah.

Penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi disebabkan karena (*Hutauruk, 1987 : 3*):

- a. kesalahan mekanis
- b. kesalahan termis
- c. karena tegangan lebih
- d. karena material yang cacat atau rusak
- e. gangguan hubung singkat
- f. konduktor putus

Faktor-faktor penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi adalah karena (*Hutauruk, 1987 : 4*):

- a. Surja petir atau surja hubung
- b. Burung atau daun-daun

- c. Polusi debu
- d. Pohon-pohon yang tumbuh di dekat jaringan
- e. Keretakan pada isolator
- f. Andongan yang terlalu kendor

Secara umum gangguan dibedakan pada dua kondisi tegangan saat terjadinya gangguan, yaitu gangguan terjadi pada tegangan normal dan gangguan terjadi pada tegangan lebih.

### **1. Gangguan Terjadi Pada Kondisi Tegangan Normal.**

Gangguan pada kondisi tegangan normal terjadi dikarenakan pemerosotan dari isolasi dan kejadian-kejadian tak terduga dari benda asing. Pemerosotan isolasi dapat terjadi karena polusi dan penuaan. Saat ini batas ketahanan isolasi tertinggi (*high insulation level*) sekitar 3-5 kali nilai tegangan nominalnya. Tapi dengan adanya pengotoran (*pollution*) pada isolator yang biasanya disebabkan oleh penumpukan jelaga (*soot*) atau debu (*dust*) pada daerah industri dan penumpukan garam (*salt*) karena angin yang mengandung uap garam menyebabkan kekuatan isolasi akan menurun. Hal inilah yang menyebabkan penurunan resistansi dari isolator dan menyebabkan kebocoran arus. Kebocoran arus yang kecil ini mempercepat kerusakan isolator. Selain itu pemuatan dan penyusutan yang berulang-ulang dapat juga menyebabkan kemerosotan resistansi dari isolator.

### **2. Gangguan Terjadi Pada Kondisi Tegangan Lebih**

Gangguan pada kondisi tegangan lebih salah satunya disebabkan sambaran petir yang tidak cukup teramankan oleh alat-alat pengamanan petir. Petir menghasilkan surja tegangan yang sangat tinggi pada sistem tenaga listrik, besarnya tegangan dapat mencapai jutaan volt dan ini tidak dapat ditahan oleh isolasi. Surja ini berjalan secepat kilat pada jaringan listrik, faktor yang membatasinya adalah impedansi dan resistansi dari saluran. Untuk mengatasi surja petir ini sehingga tidak mengakibatkan kerusakan pada isolasi dan peralatan sistem tenaga lainnya, diperlukan suatu peralatan proteksi khusus untuk dapat mengatasi surja petir ini.

### **3. Akibat dari Gangguan**

Akibat yang paling serius dari gangguan adalah kebakaran yang tidak hanya akan merusak peralatan dimana gangguan terjadi tetapi bisa berkembang ke sistem dan akan mengakibatkan kegagalan total dari sistem. Berikut ini akibat-akibat yang disebabkan oleh gangguan:

- a. Penurunan tegangan yang cukup besar pada sistem daya sehingga dapat merugikan pelanggan atau mengganggu kerja peralatan listrik.

- b. Bahaya kerusakan pada peralatan yang diakibatkan oleh *arcing* (busur api listrik).
- c. Bahaya kerusakan pada peralatan akibat *overheating* (pemanasan berlebih) dan akibat tekanan mekanis (alat pecah dan sebagainya).
- d. Terganggunanya stabilitas sistem dan ini dapat menimbulkan pemadaman menyeluruh pada sistem tenaga listrik.
- e. Menyebabkan penurunan tegangan sehingga koil tegangan relai gagal bertahan.

#### 4. Statistik Gangguan

Pada sistem tenaga listrik terjadinya gangguan hampir sebagian besar dialami pada saluran udara. Dalam sistem tiga fasa kegagalan isolasi antara satu fasa dengan tanah disebut gangguan saluran ke tanah atau gangguan satu fasa ke tanah, sedangkan kegagalan isolasi di antara dua fasa disebut gangguan saluran ke saluran, kegagalan isolasi dua fasa ke tanah disebut gangguan dua saluran ke tanah, menurunnya isolasi di antara tiga fasa disebut gangguan tiga fasa.

Frekuensi timbulnya gangguan dari sistem tenaga listrik berbeda-beda. Informasi ini akan membantu dalam menentukan disain dan aplikasi suatu proteksi. Berbagai macam frekuensi gangguan dapat dilihat pada tabel 18 berikut ini.

Tabel 18. Jumlah fase yang mengalami gangguan

Fault	Percentage
One phase to neutral	63%
Phase to phase	11%
Two phases to neutral	2%
Three phase	2%
One phase on the ground	15%
Two phases on the ground	2%
Three phases on the ground	1%
Other	4%

Gangguan yang terjadi pada sistem distribusi biasanya merupakan gangguan – gangguan yang terkait dengan saluran penghantar dan peralatan – peralatan gardu distribusi seperti trafo distribusi, kawat pentanahan dan sebagainya. Seperti pada sistem tenaga umumnya, maka gangguan yang terjadi pada sistem distribusi dapat dikategorikan sebagai berikut:

## 5. Gangguan hubung singkat

- a. Gangguan hubung singkat dapat terjadi antar fase (3 fase atau 2 fase) atau 1 fase ketanah dan sifatnya bisa temporer atau permanen.
- b. Gangguan permanen : Hubung singkat pada kabel, belitan trafo, generator, (tembusnya isolasi).
- c. Gangguan temporer : Flashover karena sambaran petir, flashover dengan pohon, tertiup angin.

## 6. Gangguan beban lebih

Gangguan beban lebih terjadi karena pembebanan sistem distribusi yang melebihi kapasitas sistem terpasang. Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan.

Beban lebih adalah sejumlah arus yang mengalir yang lebih besar dari arus nominal. Hal ini terjadi karena penggunaan daya listrik oleh konsumen melampaui kapasitas nominal mesin. Hal ini tidaklah segera merusak perlengkapan listrik tetapi mengurangi umur peralatan listrik.

Untuk waktu yang singkat arus lebih tidaklah membawa akibat yang jelek terhadap perlengkapan listrik, umpamanya pada waktu menjalankan motor-motor, arus mulanya cukup besar dalam waktu yang singkat tetapi tidak banyak berpengaruh terhadap peralatan listrik.

## 7. Gangguan tegangan lebih

Gangguan tegangan lebih termasuk gangguan yang sering terjadi pada saluran distribusi. Berdasarkan penyebabnya maka gangguan tegangan lebih ini dapat dikelompokkan atas 2 hal:

### a. Tegangan lebih power frekwensi.

Pada sistem distribusi hal ini biasanya disebabkan oleh kesalahan pada AVR atau pengatur tap pada trafo distribusi.

### b. Tegangan lebih surja

Gangguan ini biasanya disebabkan oleh surja hubung atau surja petir.

Dari ketiga jenis gangguan tersebut, gangguan yang lebih sering terjadi dan berdampak sangat besar bagi sistem distribusi adalah gangguan hubung singkat. Sehingga istilah gangguan pada sistem distribusi lazim mengacu kepada gangguan hubung singkat dan peralatan proteksi yang dipasang cenderung mengatasi gangguan hubung singkat ini.

## D. Analisis Gangguan

### 1. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat dapat juga terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir).

Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan agak lama pada suatu sistem daya, akan banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang akan terjadi. Berikut ini akibat yang ditimbulkan gangguan hubung singkat antara lain:

- a. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.
- b. Rusaknya perlengkapan-perlengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat dapat terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir). Gangguan hubung singkat adalah suatu kondisi pada sistem tenaga dimana penghantar yang berarus terhubung dengan penghantar lain atau dengan tanah.

Gangguan yang mengakibatkan hubung singkat dapat menimbulkan arus yang jauh lebih besar dari pada arus normal. Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya, banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi. (Stevenson, 1982: 317) :

- a. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.
- b. Rusaknya perlengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.
- c. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya suatu hubung singkat, dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan – peralatan yang lain.
- d. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem – sistem pengamanan yang berbeda – beda; kejadian ini dikenal sebagai “*cascading*”.



Perhitungan hubung singkat adalah suatu analisa kelakuan suatu sistem tenaga listrik pada keadaan gangguan hubung singkat, dimana dengan cara ini diperoleh nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut.

Analisa gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik waktu perencanaan maupun setelah beroperasi kelak. Analisa hubung singkat digunakan untuk menentukan setting relai proteksi yang digunakan untuk melindungi sistem tersebut dari kemungkinan adanya gangguan tersebut.

Tujuan dari perhitungan gangguan hubung singkat adalah untuk menghitung arus maksimum dan minimum gangguan, dan tegangan pada lokasi yang berbeda dari sistem tenaga untuk jenis gangguan yang berbeda sehingga rancangan pengaman, relai dan pemutus yang tepat bisa dipilih untuk melindungi sistem dari kondisi yang tidak normal dalam waktu yang singkat.

Salah satu relai proteksi yang digunakan adalah relai gangguan tanah *Ground Fault Relai (GFR)*. Relai ini digunakan sebagai pengaman dimana fungsinya nanti adalah untuk membantu relai diferensial dalam mengamankan busbar dari gangguan hubung tanah di dalam daerah pengaman busbar. Karena diketahui relai differensial tidak terlalu sensitif dalam mendeteksi terjadinya gangguan hubung singkat ke tanah tetapi relai diferensial ini cukup efektif untuk mengatasi gangguan hubung singkat antara fasa dengan fasa karena biasanya arus gangguan untuk hubung singkat antara fasa dengan fasa adalah tidak terhitung.

Perhitungan hubung singkat adalah suatu analisa kelakuan suatu sistem tenaga listrik pada keadaan gangguan hubung singkat, dimana dengan cara ini diperoleh nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut.

Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan. Analisa gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik waktu perencanaan maupun setelah beroperasi kelak.

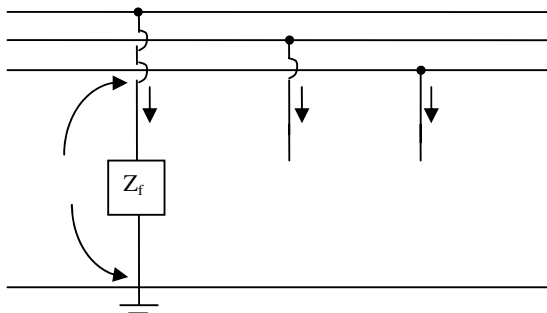
Kegunaan dari analisis gangguan hubung singkat antara lain adalah (B. M. Weedy, 1988: 299):

- a. Untuk menentukan arus maksimum dan minimum hubung singkat tiga-fasa.
- b. Untuk menentukan arus gangguan.
- c. Penyelidikan operasi relai-relai proteksi.
- d. Untuk menentukan kapasitas pemutus daya.

- e. Untuk menentukan distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan busbar selama gangguan.

## 2. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah Untuk Netral Tidak Diketanahkan

Pada jaringan distribusi tenaga dengan tegangan yang tidak terlalu tinggi antara 3 kV sampai 35 kV titik netralnya tidak diketanahkan seperti gambar 168. Karena adanya kapasitansi antara kawat dan tanah maka kalau ada hubungan singkat arus  $I_A = 0$  karena adanya arus kapasitive antara kawat dan tanah.



Gambar 168. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah Untuk Netral Tidak Diketanahkan

Pada titik K gambar 168 dianggap timbul tegangan  $V_o = E_A$

$$V_A = E_A - E_A = 0 \quad (1)$$

$$V_B = E_B - E_A = \sqrt{3} V_{ph} \quad (2)$$

$$V_C = E_C - E_A = \sqrt{3} V_{ph} \quad (3)$$

Karena adanya kapasitansi antara kawat penghantar dengan tanah, maka walaupun titik netral tidak ditanahkan arus akan mengalir relatif kecil pada waktu terjadi hubung singkat kawat ke tanah.

$$I_B = \frac{UB}{X_o} = j CUB \quad (4)$$

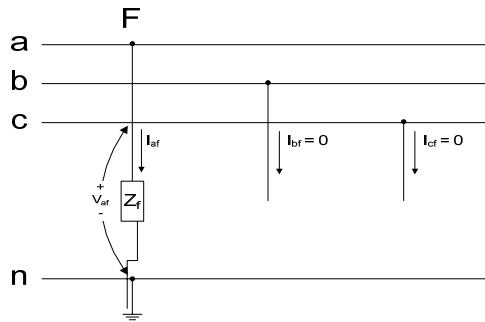
$$I_C = \frac{UC}{XC} = j CUC \quad (5)$$

$$I_A = -(I_B + I_C) = j\sqrt{3} Uph \quad (6)$$

$C$  = Total Capasitansi dari kawat yang tidak mendapat gangguan.

## 3. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Untuk gangguan ini dianggap phasa  $a$  mengalami gangguan. Gangguan ini dapat digambarkan pada gambar di bawah:



Gambar 169. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Kondisi terminalnya sebagai berikut:

$$I_b = 0 ; I_c = 0 ; V_a = I_a Z_f$$

Untuk persamaan arus yang digunakan diperoleh dari komponen simetris arus:

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{V_{\text{phasa}}}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} I_{af} \\ I_{bf} \\ I_{cf} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Arus gangguan untuk fasa a didapatkan

$$I_{af} = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}$$

$$I_{af} = 3I_{a0} = 3I_{a1} = 3I_{a2} \quad (9)$$

Dengan kata lain semua arus urutan sama dari persamaan dan dari gambar diatas

$$V_{af} = 3Z_f \times I_{a1}$$

$$V_{af} = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = 3Z_f \times I_{a1} \quad (10)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa masing-masing arus urutan sama.

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$V_{a0} = -I_{a0} \cdot Z_0$$

$$V_{a1} = V_f - I_{a1} Z_1$$

$$V_{a2} = -I_{a2} Z_2$$

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (12)$$

Jika pada fasa b atau c terjadi gangguan satu fasa ketanah, maka tegangan dari fasa a dapat dilihat dari komponen

$$\begin{bmatrix} V_{af} \\ V_{bf} \\ V_{cf} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (13)$$

seterusnya

$$V_{bf} = V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2} \quad (14)$$

$$V_{cf} = V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2} \quad (15)$$

$$I_{1\text{phasa}} = 3 \times I_0 = \frac{3xV_{\text{phasa}}}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)} \quad (16)$$

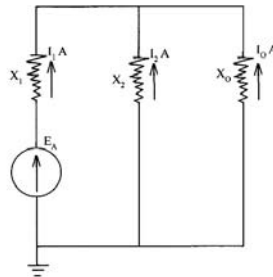
Menurut Turan Gonen (1986 : 549 ) rumus untuk gangguan satu fasa ke tanah, yaitu:

$$I_{f \text{ 1phasa ke tanah}} = \frac{V_{\text{phasa}}}{Z_G} \quad (17)$$

$$\text{Dimana } Z_G = \frac{2Z_1 + Z_0}{3} \quad (18)$$

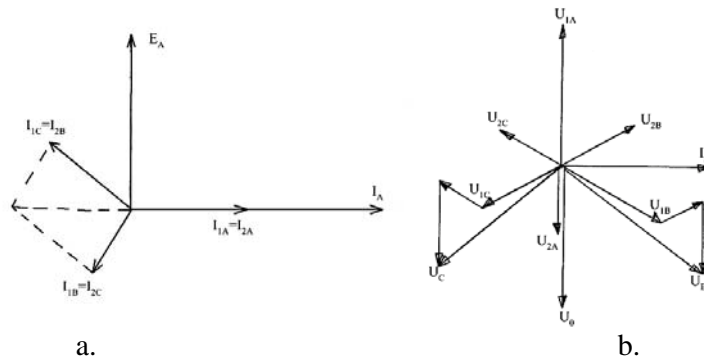
$$I_{f \text{ 1 phasa ke tanah}} = \frac{3V_{\text{phasa}}}{2Z_1 + Z_0} \quad (19)$$

Pada arus dapat digambarkan dengan rangkaian ekuivalen sebagai berikut :



Gambar 170. Rangkaian ekuivalen gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Dari persamaan-persamaan di atas kita dapat melukiskan vector diagram untuk arus dan tegangan sebagai berikut:



Gambar 171. Vektor diagram arus dan tegangan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

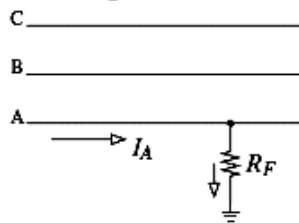
Sehingga diperoleh:

$$I_{a1} = 1/3 I_a = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_f} \quad (20)$$

$$I_a = I_f = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (21)$$

Sebagian besar saluran distribusi adalah jenis radial, dengan hanya satu sumber dan satu jalur untuk arus gangguan. Gambar berikut menunjukkan persamaan untuk menghitung arus gangguan pada saluran distribusi.

#### Line-to-ground fault



$$I_A = \frac{V_{LN}}{(2Z_1 + Z_0)/3 + R_F}$$

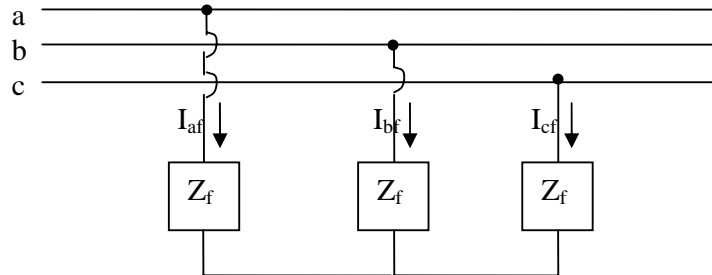
Gambar 172. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

#### 4. Gangguan hubung singkat tiga fasa

Kondisi saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa (Turan Gonen, 1986: 284):

$$I_a + I_b + I_c = 0$$

$$V_a = V_b = V_c$$

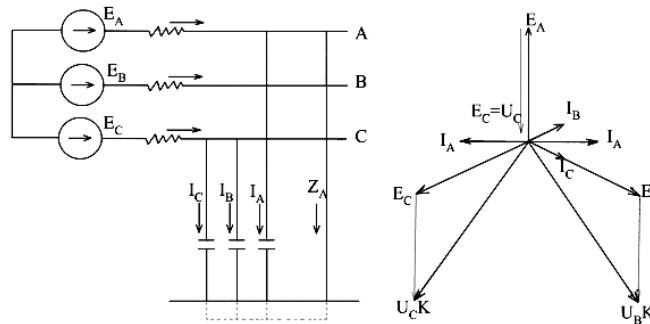


Gambar 173. Gangguan hubung singkat tiga fasa

Karena sistemnya seimbang maka urutan negatif dan urutan nol tidak ada, sehingga diperoleh:

$$V_a = V_f - I_{a1}Z_{a1} = 0 \quad (22)$$

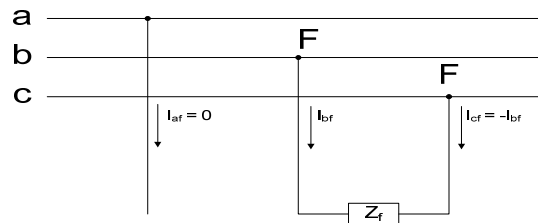
$$I_{a1} = I_a = I_f = \frac{V_f}{Z_1} \quad (23)$$



Gambar 174. Gangguan hubung singkat tiga fasa dengan vektor diagramnya

## 5. Gangguan hubung singkat dua fasa

Gangguan terjadi pada fasa b dan fasa c Kondisi pada saat gangguan



Gambar 175. Gangguan hubung singkat dua fasa

$$I_a = 0 ; I_b = -I_c ; V_b - V_c = Z_f I_b$$

Dari komponen-komponen simetris (Turan Gonen, 1986:275)

$$I_{a0} = 0 \quad (24)$$

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{V_{\text{phasa}}}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (25)$$

Jika  $Z_f = 0$

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{V_{\text{phasa}}}{Z_1 + Z_2} \quad (26)$$

Substitusikan persamaan (14) dan (15) ke persamaan (2) maka didapat

$$I_{bf} = -I_{cf} = \sqrt{3} I_{a1} \angle -90^\circ \quad (27)$$

Menurut Gonen ( 1986 : 548 ) rumus untuk gangguan dua phasa adalah:

$$I_{f.L-L} = \frac{j\sqrt{3} \times V_{L-N}}{Z_1 + Z_2} \quad (28)$$

Dari komponen-komponen simetris (Turan Gonen, 1986: 275):

$$I_{a0} = 1/3 (I_a + I_b + I_c) \\ = 1/3 (0 + -I_c + I_c) = 0 \quad (29)$$

$$I_{a1} = 1/3 (I_a + a I_b + a^2 I_c) \\ = 1/3 (0 + a I_b - a^2 I_b) = 1/3 (a - a^2) I_b \quad (30)$$

$$I_{a2} = 1/3 (I_a + a^2 I_b + a I_c) \\ = 1/3 (0 + a^2 I_b - a I_b) = 1/3 (a^2 - a) I_b \quad (31)$$

Sehingga :

$$I_{a1} = -I_{a2} \\ V_b - V_c = Z_f I_b \\ V_b - V_c = (a^2 - a) (V_{a1} - V_{a2}) \quad (32)$$

$$(a^2 - a) [ V_f - (Z_1 + Z_2) I_{a1} ] = Z_f I_b$$

Substitusikan  $I_b$  ke persamaan (8), maka :

$$V_f - (Z_1 + Z_2) I_{a1} = Z_f \frac{3I_{a1}}{(a - a^2)(a^2 - a)} \quad (33)$$

$$(a - a^2) (a^2 - a) = 3$$

Sehingga diperoleh :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (34)$$

Jadi arus gangguan antar fasa adalah :

$$I_{bf} = -j \sqrt{3} I_{a1} \quad (35)$$

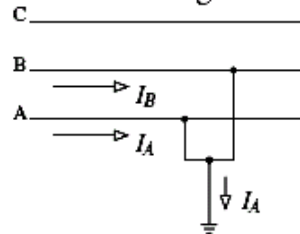
$$I_{a0} = - \frac{V_f - Z_1 I_{a1}}{Z_0 + 3Z_f} \quad (36)$$

$$I_{a2} = - \frac{V_f - Z_1 I_{a1}}{Z_2} \quad (37)$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2(Z_0 + 3Z_f)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_f}} \quad (38)$$

$$I_f = I_b + I_c = 3 I_{a0} \quad (39)$$

**Line-to-line-to-ground fault**



$$I_A = -j\sqrt{3} \frac{Z_0 - aZ_1}{Z_1(Z_1 + 2Z_0)} V_{LN}$$

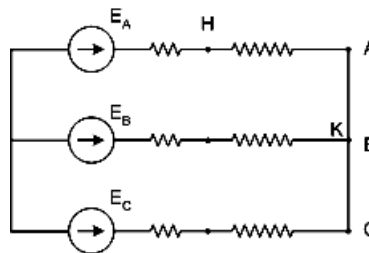
$$I_B = j\sqrt{3} \frac{Z_0 - a^2Z_1}{Z_1(Z_1 + 2Z_0)} V_{LN}$$

$$I_G = \frac{-V_{LN}}{(Z_1 + 2Z_0)/3}$$

Gambar 175. Gangguan hubung singkat dua fasa

**6. Hubung Singkat Fasa ke Fasa**

Hubungan singkat antara 2 kawat penghantar dengan titik netral sistem tidak ditanahkan seperti Gambar 5.



Gambar 176. Persentase gangguan berdasarkan sebab

Kita misalkan pada fasa B dan C terjadi hubungan singkat titik K. Dari kejadian ini kita membuat 3 persamaan.

$$I_A = 0 \quad (\text{Arus beban diabaikan}) \quad (40)$$



$$I_B = I_C \quad (41)$$

$$U_{BK} = U_{CK} \quad (42)$$

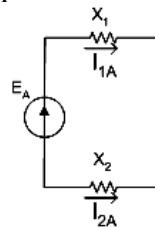
Dengan mempergunakan analisa komponen simetris untuk arus kita memperoleh hubungan berikut :

$$I_{0A} = 1/3(I_A + I_B + I_C) = 1/3(0 + I_B - I_C) = 0 \quad (43)$$

$$I_{2A} = 1/3(I_A + aI_B + a^2I_C) = j \frac{I_B}{3} \quad (44)$$

$$I_{1A} = 1/3(I_A + a^2I_B + aI_C) = 1/3(0 + a^2I_B - aI_C) = j \frac{I_B}{3} \quad (45)$$

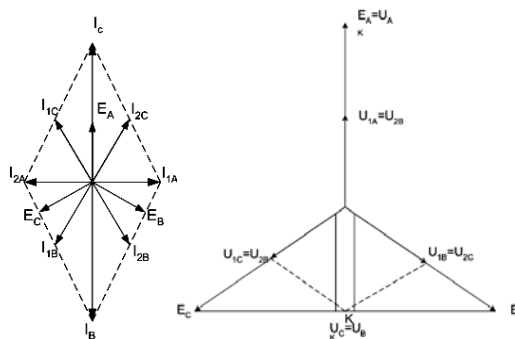
Kita nyatakan dengan equivalent sebagai berikut :



Gambar 177. Rangkaian equivalent hubungan singkat fasa-fasa

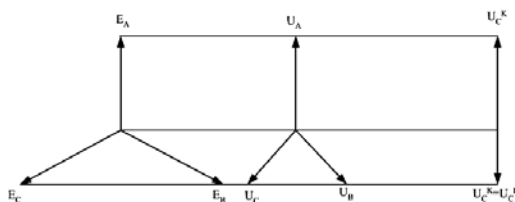
$$I_{1A} = \frac{E_A}{j(X_1 + X_2)} \quad (46)$$

Berdasarkan persamaan diatas hasil dari analisa kamponen simetris kita dapat melukiskan diagram vektor untuk arus dan tegangan.



Gambar 178. Diagram vektor arus dan tegangan untuk gangguan hubung singkat fasa ke fasa

Tegangan sepanjang kawat penghantar dapat digambarkan sebagai berikut :

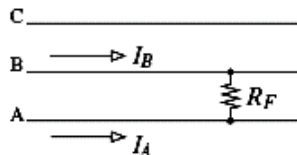


Gambar 179. Persentase gangguan berdasarkan sebab

Dari hubungan singkat phasa-phasa diatas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. sangat mengganggu simetris dari arus dan tegangan
2. hubungan phasa antara arus dan tegangan sangat berbeda.

**Line-to-line fault**

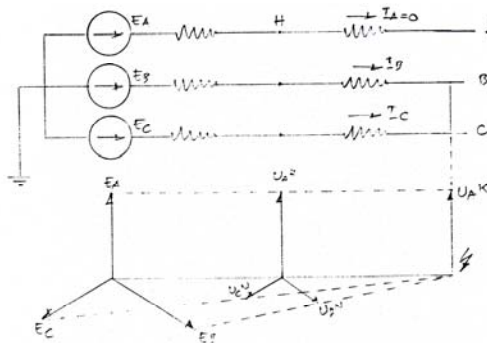


$$I_A = -I_B = -j \frac{\sqrt{3}V_{LN}}{2Z_1 + R_F}$$

Gambar 180. Gangguan hubung singkat fasa ke fasa

**7. Hubung Singkat Fasa-Fasa ke Tanah**

Hubungan galvanis phasa-phasa penghantar pada satu titik ketanah dengan titik netralnya ketanah. Dapat dilukiskan dengan rangkaian ekuivalent gambar 181.



Gambar 181. Gangguan hubung singkat fasa-fasa ke tanah

Dari peristiwa hubungan singkat diatas kita menetapkan 3 persamaan sebagai berikut :

$$I_A = 0 \quad (47)$$

$$U_{BK} = 0 \quad (48)$$

$$U_{CK} = 0 \quad (49)$$

Dengan analisa komponen simetris untuk tegangan kita mendapatkan

$$U_{1A} = 1/3 U_A \quad (50)$$

$$U_{2A} = 1/3 U_A \quad (51)$$

$$U_{0A} = 1/3 U_A \quad (52)$$

$$U_{1A} = U_{2A} = U_{0A} = 1/3 U_A \quad (53)$$

Dari analisa komponen simetris untuk arus kita mendapatkan :

$$I_{1A} = \frac{EA}{j(X_1 + \frac{X_2 + X_0}{X_2 + X_0})} \quad (54)$$

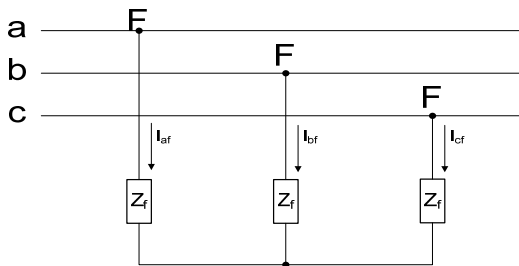
$$I_{2A} = -I_{1A} \frac{X_0}{X_2 + X_0} \quad (55)$$

$$I_0 = -I_{1A} \frac{X_2}{X_2 + X_0} \quad (56)$$

### 8. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Kondisi saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa.

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad I_a = 0 \quad E = E_b = E_c$$



Gambar 182. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

$$I_{a0} = 0; \quad I_{a2} = 0; \quad I_{a1} = \frac{1,0 \angle 0^\circ}{Z_1 + Z_f} \quad \dots \quad (57)$$

Subtitusikan Persamaan (20) ke Persamaan (2)

$$I_{af} = I_{a1} = \frac{1,0 \angle 0^\circ}{Z_1 + Z_f} \quad \dots \quad (58)$$

$$I_{bf} = a^2 I_{a1} = \frac{1,0 \angle 240^\circ}{Z_1 + Z_f} \quad \dots (59)$$

$$I_{cf} = a I_{a1} = \frac{1,0 \angle 120^\circ}{Z_1 + Z_f} \quad \dots (60)$$

$$V_{a0} = 0; \quad V_{a2} = 0; \quad V_{a1} = Z_f \cdot I_{a1} \quad \dots (61)$$

$$V_{af} = Z_f \cdot I_{a1} \quad \dots (62)$$



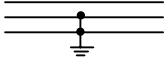

$$V_{bf} = Z_f \cdot I_{a1} \angle 240^\circ \quad \dots (63)$$

$$V_{cf} = Z_f \cdot I_{a1} \angle 120^\circ \quad \dots (64)$$

Menurut Gonen ( 1986 : 547 ) rumus untuk gangguan tiga fasa adalah:

$$I_{f \text{ 3 fasa}} = I_{fa} = I_{fb} = I_{fc} = \frac{V_{L-N}}{Z_1} \quad \dots (65)$$

Tabel 19. Frekuensi gangguan yang terjadi pada saluran udara

Tipe gangguan	Gambar	% Kejadian
L-G		70 %
L-L		0.15 %
L-L-G		0.1 %
L-L-L		0.5 %

Sumber: (Gonen 1988 : 545 )

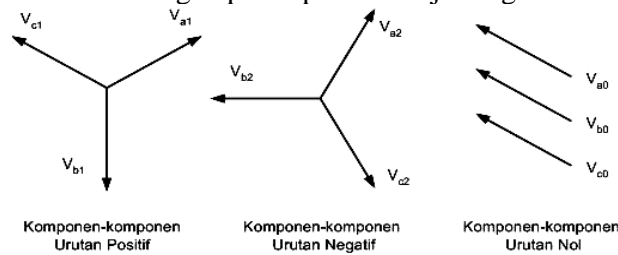
## E. Komponen Simetris

Komponen simetris digunakan untuk menganalisis terutama sistem yang tidak seimbang, misalnya saat terjadi hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah. Dimana sebuah sistem tak seimbang diubah menjadi tiga rangkaian persamaan yaitu rangkaian urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol.

Menurut teorema Fortescue, tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga sistem fasor yang seimbang. Himpunan seimbang komponen itu adalah (Stevenson, 1982: 260):

- Komponen urutan positif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam fasa sebesar  $120^0$ , dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
- Komponen urutan negatif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam fasa sebesar  $120^0$ , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
- Komponen urutan nol, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

Tujuan lain adalah untuk memperlihatkan bahwa setiap fasa dari sistem tiga fasa tak seimbang dapat di pecah menjadi tiga set komponen.



Gambar 183. Vektor Diagram Untuk Komponen Simetris

Cara yang biasa dilakukan dalam menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada komponen simetris adalah memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut.

Impedansi saluran suatu sistem tenaga listrik tergantung dari jenis konduktornya yaitu dari bahan apa konduktor itu dibuat yang juga tentunya pula dari besar kecilnya penampang konduktor dan panjang saluran yang digunakan jenis konduktor ini

Suatu komponen urutan arus menyebabkan tegangan jatuh sesuai dengan urutan arusnya dan tidak mempengaruhi urutan arus lainnya, berarti tiap urutan yang seimbang akan terdiri dari suatu jaringan. Ketidakseimbangan arus atau tegangan ini akan menimbulkan pula impedansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol.

Impedansi urutan dapat didefinisikan sebagai suatu impedansi yang dirasakan arus urutan bila tegangan urutannya dipasang pada peralatan atau pada sistem tersebut.

Seperti juga tegangan dan arus didalam metode komponen simetris dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu :

- Impedansi urutan positif ( $Z_1$ )

Impedansi urutan positif adalah impedansi tiga fasa simetris yang terukur bila dialiri oleh arus urutan positif.

b. Impedansi urutan negatif ( $Z_2$ )

Impedansi urutan negatif adalah impedansi tiga fasa simetris yang terukur bila dialiri oleh arus urutan negatif

c. Impedansi urutan nol ( $Z_0$ )

Impedansi urutan nol adalah impedansi tiga fasa simetris yang terukur bila dialiri arus urutan nol.

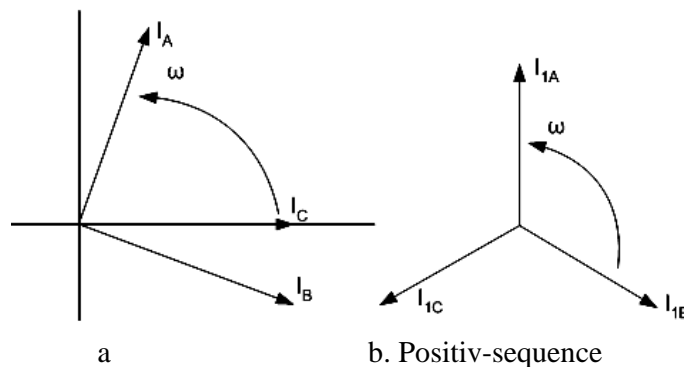
Metoda komponen simetris yang digunakan dalam perhitungan yang berhubungan dengan keadaan yang tidak seimbang pada perangkat listrik tiga fasa, dan secara khusus untuk perhitungan hubung singkat yang tidak seimbang pada perangkat listrik.

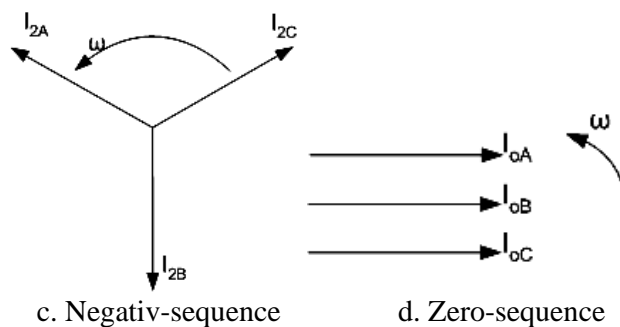
Cara yang biasa dilakukan dalam menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada komponen simetris adalah memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut.

Untuk suatu transformator, impedansi urutan positifnya sama dengan impedansi bocor transformator tersebut. Begitu juga dengan impedansi urutan negatifnya. Sedangkan besar impedansi urutan nol transformator tergantung dari hubungan transformator dengan impedansi pentanahannya. Sedangkan pada busbar impedansi yang dihitung adalah impedansi pada saluran yang digunakan.

Impedansi saluran suatu sistem tenaga listrik tergantung dari jenis konduktornya yaitu dari bahan apa konduktor itu dibuat yang juga tentunya pula dari besar kecilnya penampang konduktor dan panjang saluran yang digunakan jenis konduktor ini.

Metode komponen simetris di dalam perhitungan tak seimbang dari sistem 3 fasa dan khususnya pada keadaan hubungan singkat. Arus 3 fasa tak seimbang  $I_A$ ,  $I_B$ , dan  $I_C$  seperti gambar 184 di bawah ini.





Gambar 184. Vektor Diagram Untuk Komponen Simetris

Dengan mempergunakan operator  $a$  persamaan-i dapat ditulis sebagai berikut

$$I_A = I_{1A} + I_{2A} + I_0 \quad (66)$$

$$I_B = a^2 I_{1A} + a I_{2A} + I_0 \quad (67)$$

$$I_C = a I_{1A} + a^2 I_{2A} + I_0 \quad (68)$$

Dari persamaan di atas kita dapatkan

$$I_{1A} = 1/3 (I_A + a I_B + a^2 I_C) \quad (69)$$

$$I_{2A} = 1/3 (I_A + a^2 I_B + a I_C) \quad (70)$$

$$I_0 = 1/3 (I_A + I_B + I_C) \quad (71)$$

Komponen urutan positif, negatif, dan urutan nol dari arah dan tegangan dihubungkan satu dengan yang lainnya dengan impedansi yang sesuai dengan urutan positif, negatif, dan nol.

Pada perhitungan arus hubungan singkat dengan metode komponen simetris biasanya aktif resistance sangat kecil sehingga sering diabaikan, sehingga yang dipandang adalah reactance yang dinyatakan berturut—turut  $X_1$ ,  $X_1$ , dan  $X_0$  (urutan positif, negatif, dan nol).

Urutan fasa positif reactance  $X_1$  adalah reactance dari keadaan rangkaian seimbang 3 fasa. Urutan fasa negatif reactance  $X_2$  untuk semua sistem elemen listrik tanpa perputaran medan magnet adalah sama, dengan urutan positif.

Jadi, untuk transformator, reactor, kawat penghantar daya =  $X_2 = X_1$ . Untuk mesin sinkron  $X_2 = X_1$  tergantung dari perencanaan. Urutan fasa nol reactance pada umumnya berbeda dasarnya dengan urutan positif dan negatif. Setiap arus sistim ini dapat dipecahkan menjadi penjumlahan vektor yang membentuk sistim 3 fasa yang simetris yaitu urutan fasa positif, fasa negatif, dan fasa nol.

$$I_A = I_{1A} + I_{2A} + I_{0A} \quad (72)$$

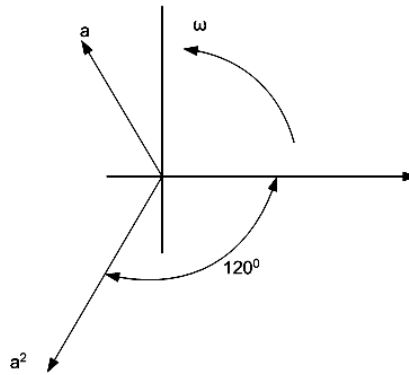
$$I_B = I_{1B} + I_{2B} + I_{0B} \quad (73)$$

$$I_C = I_{1C} + I_{2C} + I_{0C} \quad (74)$$

Phasa urutan positif ditandai dengan indeks 1, urutan phasa negatif ditandai dengan indeks 2, urutan nol dengan indeks 0. Semua urutan phasa reactor arus dimisalkan mempunyai kecepatan dan arah putaran yang sama. Arah putaran positif diambil berlawanan dengan arah jarum jam.

Pada analisa simetrical hubungan singkat sering bahwa komponen phasa B dan C dinyatakan dengan komponen phasa A dengan mempergunakan phasa operator a.

Operator a adalah unit vektor yang membentuk sampai dengan  $120^0$  dengan nyala positif.



Gambar 185. Vektor Diagram Untuk Komponen Simetris

$$a = e^{j120} = -0,5 + j \frac{3}{2} \quad (75)$$

$$a^2 = e^{j240} = -0,5 - j \frac{3}{2} \quad (76)$$

$$a^4 = 1a \quad (77)$$

$$a^2 + a + 1 = 0 \quad (78)$$

Mengalikan vektor dengan a menghasilkan putaran  $120^0$ , mengalikan dengan  $a^2$  menghasilkan putaran  $240^0$  untuk urutan positif.

$$I_{1B} = a^2 I_{1A}$$

$$I_{1C} = a I_{1A}$$

$$\text{Untuk urutan negatif : } I_{2B} = a I_{2A}$$

$$\text{Untuk urutan nol : } I_{0A} = I_{0B} = I_{0C} = I_0$$

Dengan adanya operator a cukup menghitung arus dan tegangan untuk 1 phasa pada hubungan singkat.

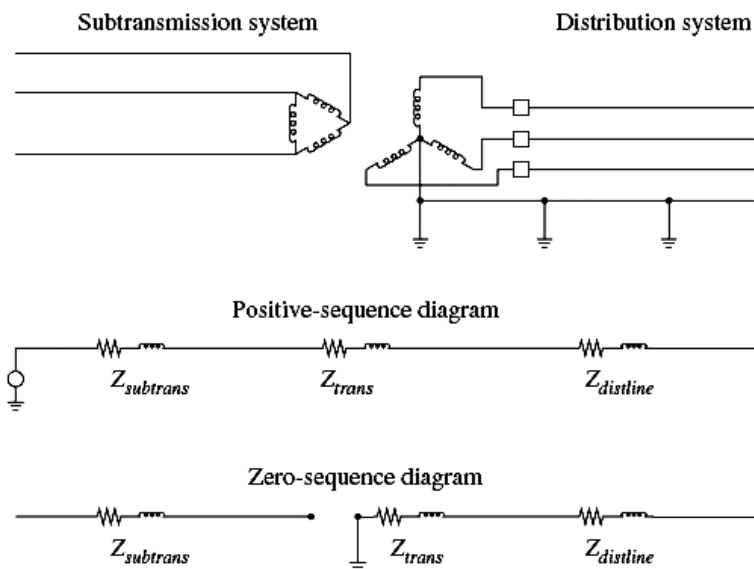
Persamaan pada gambar 2. diasumsikan bahwa impedansi urutan positif sama dengan impedansi urutan negatif. Impedansi untuk kedua komponen urutan pada gangguan fase ke fase adalah  $Z_1 + Z_2$  dapat disederhanakan menjadi  $2Z_1$ . Arus maksimum terjadi jika  $R_F = 0$ .

Arus maksimum pada gangguan fase-fase 86,6% dari arus maksimum gangguan tiga fase. Pada kebanyakan kasus arus beban diabaikan, hal ini disebabkan karena arus beban tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil perhitungan.



Arus gangguan tiga fase hampir selalu mempunyai magnitude yang lebih besar. Pada beberapa jaringan, impedansi urutan nol lebih signifikan dibandingkan komponen urutan positif. Pada lokasi tertentu arus gangguan fase ke tanah dapat menjadi lebih besar, misalnya pada gardu induk. Alasannya adalah :

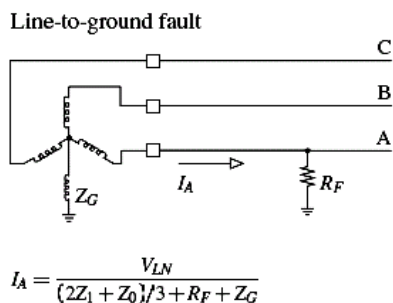
1. Hubungan delta-*wye* transformator adalah sumber komponen urutan nol. Komponen urutan positif merupakan impedansi saluran sistem subtransmisi atau sistem transmisi, komponen urutan nol tidak. Gambar 3. berikut menunjukkan diagram komponen urutan positif dan nol.
2. Jika transformator gardu jenis *three-legged*, komponen urutan nol lebih rendah dibandingkan komponen urutan positif, impedansi urutan nol 85% dari komponen urutan positif. Jika terjadi gangguan fase tanah meningkat 2,5%.



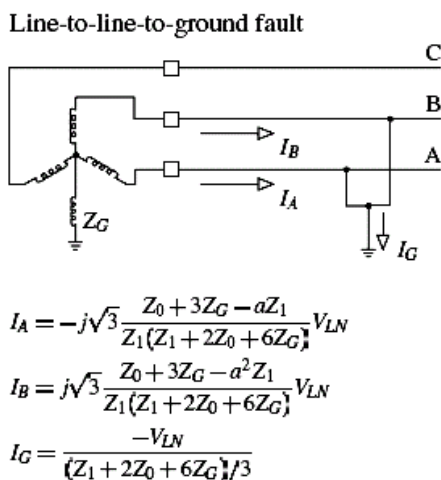
Gambar 186. Diagram urutan positif dan urutan nol pada teransformator terhubung delta-*wye*

Pada beberapa kasus dimana impedansi urutan nol lebih kecil dibandingkan impedansi urutan positif, gangguan fase ke tanah mengakibatkan arus fase yang lebih tinggi. Gangguan dua fase ke tanah menghasilkan arus tanah yang lebih tinggi.

Untuk mengurangi arus gangguan pada gangguan fase ketanah, dapat digunakan reaktor netral pada transformator. Gambar 4 menunjukkan persamaan rangkaian dengan netral reaktor.



Gambar 176. Penyebab terjadinya gangguan pada saluran udara



Gambar 177. Persentase gangguan berdasarkan sebab  
 Gambar 4. perhitungan arus gangguan dengan netral reaktor pada transformator gardu induk

## F. Gangguan Pada Jaringan Distribusi 20 kV

Suatu gangguan didalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam sirkuit listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya. Gangguan ini umumnya disebabkan oleh putusnya kawat saluran transmisi sehingga terjadi hubung singkat ke tanah, pecahnya isolator atau rusaknya isolasi. Impedansi gangguan umumnya rendah, sehingga arus gangguan menjadi besar.

Selama gangguan, tegangan tiga fasa menjadi tidak seimbang dan suplai ke sirkuit tiga fasa yang berdekatan akan terpengaruhi. Arus gangguan yang besar dapat merusak tidak hanya peralatan yang terganggu, tetapi juga instalasi yang dilalui arus gangguan. Gangguan dalam peralatan

yang penting dapat mempengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik. Sebagai contoh, suatu gangguan pada daerah suatu pusat pembangkit yang dapat mempengaruhi stabilitas sistem interkoneksi.

Ada beberapa penyebab terjadinya gangguan dalam suatu pembangkit listrik tertentu. Gangguan ini dapat dibuat sekecil mungkin dengan cara antara lain:

1. Memperbaiki desain sistem
2. Memperbaiki kualitas komponen
3. Mempergunakan relai proteksi yang lebih baik
4. Pengoperasian dan pemeliharaan yang lebih baik.

Tetapi gangguan yang terjadi tidak dapat seluruhnya dihilangkan. Gangguan dapat diperkecil lagi beberapa tingkat dengan mengambil langkah-langkah sebagai berikut:

1. Perbaiki kuantitas mesin, peralatan, instalasi dan lain-lain, dengan perbaikan dalam desain teknik pembuatan material, *quality control* dan testing yang memadai.
2. Perbaiki desain tata letak yang betul, pemilihan peralatan.
3. Keandalan pengaman sistem yang memadai
4. Sumber daya manusia yang terlatih untuk mengoperasikan dan memasang pusat pembangkit.

Gangguan-gangguan yang mungkin dapat terjadi pada saluran distribusi antara lain petir, angin kencang dan kerusakan isolator. Untuk gangguan petir, arus yang di induksikan sangat besar dan dapat merusak perlengkapan instalasi listrik atau alat-alat pemakai listrik. Sedangkan gangguan angin kencang dapat juga merusak peralatan listrik seperti robohnya tiang distribusi, tertimpunya kawat saluran karena pohon tumbang, berayun berlebihan kawat-kawat saluran sehingga bisa putus. Semua gangguan ini dapat menyebabkan terjadinya hubung singkat antar fasa dan hubung singkat fasa ke tanah.

Permasalahan yang sering dijumpai pada sistem distribusi antara lain pemadaman pada penyulang 20 kV, yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat. Jika penyetelan *overcurrent relay* (OCR) dan *ground fault relay* (GFR) yang berada di *Incoming* atau di *outgoing* kurang baik, dapat menyebabkan pemadaman total (*black out*) atau jika salah satu penyulang terkena gangguan, dapat mengakibatkan penyulang lain yang berada pada satu bus juga ikut trip, karena gangguan hubung singkat dapat mentripkan relai yang ada pada *incoming feeder*.

Tabel 20. Data Gangguan pada Gardu Induk Simpang Haru

Penyulang 20 kV/6,3 kV	Jenis Gangguan							
	Bulan Desember 2008				Bulan Januari 2009			
	OCR	Lama (menit)	GFR	Lama (menit)	OCR	Lama (menit)	GFR	Lama (menit)
Gor Agus Salim	-	-	2	15	-	-	1	24
Teluk Bayur 2	-	-	1	-	2	367	5	144
Wahidin	1	191	2	2	1	2	0	-
Cokroaminoto	-	-	-	-	1	1	1	1
Jati	1	185	-	-	-	-	1	1
Matahari	-	-	-	-	-	-	-	-
RSUP	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Marapalam</b>	<b>3</b>	<b>161</b>	<b>5</b>	<b>55</b>	<b>3</b>	<b>129</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Metro	-	-	-	-	-	-	2	53
Andalas	2	201	1	1	1	1	-	-
Pauh Limo 1	-	-	-	-	-	-	-	-
Pauh Limo 2	1	38	1	1	-	-	2	2
Polamas	-	-	-	-	-	-	1	1
BRI	1	33	-	-	1	46	-	-
Kandis 2	-	-	-	-	-	-	-	-
Sudirman	1	163	1	1	1	4	-	-
Sutan Syahrir	5	301	2	2	2	223	-	-
Kandis 1	-	-	-	-	-	-	-	-
Imam Bonjol 1	-	-	-	-	-	-	-	-
Imam Bonjol 2	-	-	-	-	-	-	1	20
<b>Jumlah</b>	<b>31</b>	<b>84</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>21</b>	<b>64</b>	<b>4</b>	<b>-</b>

Sumber. Data gangguan GI Simpang Haru

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa frekuensi terjadinya gangguan pada umumnya mengalami peningkatan. Feeder yang paling sering mengalami gangguan adalah feeder Marapalam. Hal ini dapat dilihat pada jenis gangguan tanah, dimana frekuensi gangguan pada jaringan distribusi 20 kV GIS Simpang Haru, pada bulan Januari 2009 di penyulang Marapalam terjadi 7 kali gangguan relai GFR selama 8 menit, sedangkan bulan Desember 2008 terjadi 5 kali gangguan selama 55 menit. Dengan adanya fluktuasi jumlah gangguan tiap bulannya pada feeder Marapalam, maka perlu diupayakan penanggulangan terhadap kondisi tersebut. Dari tabel dapat juga dilihat bahwa gangguan sering terjadi pada sisi *outgoing feeder*, hal ini dapat dilihat pada tabel bahwa pemadaman pada masing- masing feeder tidak bersamaan.

