

# **ANALISIS ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT SATU FASA KETANAH PADA SISTEM TENAGA LISTRIK BERBASIS KOMPUTER**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Ujian Sarjana**

**Oleh :**

**TENGGU NANDA PUTRA UTAMA  
NIM : 078120005**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

**2012**

Document Accepted 14/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)14/9/23

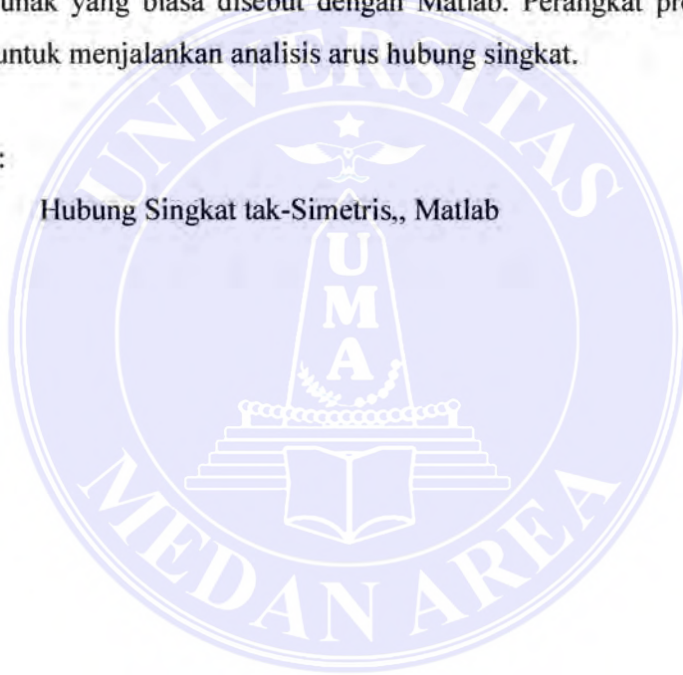
## ABSTRAK

Sistem tenaga modern skala besar dan kompleks biasanya rentan terhadap gangguan, Gangguan biasanya mengubah besaran arus nominal menjadi lebih besar.

Penelitian ini menyajikan analisis arus hubung singkat simetris dari pembangkit listrik yang terhubung ke saluran interkoneksi pada sistem 3 bus. Arus hubung singkat tak-simetris yang dihitung dengan menggunakan sebuah perangkat lunak yang biasa disebut dengan Matlab. Perangkat program Matlab digunakan untuk menjalankan analisis arus hubung singkat.

Kata Kunci:

Hubung Singkat tak-Simetris,, Matlab



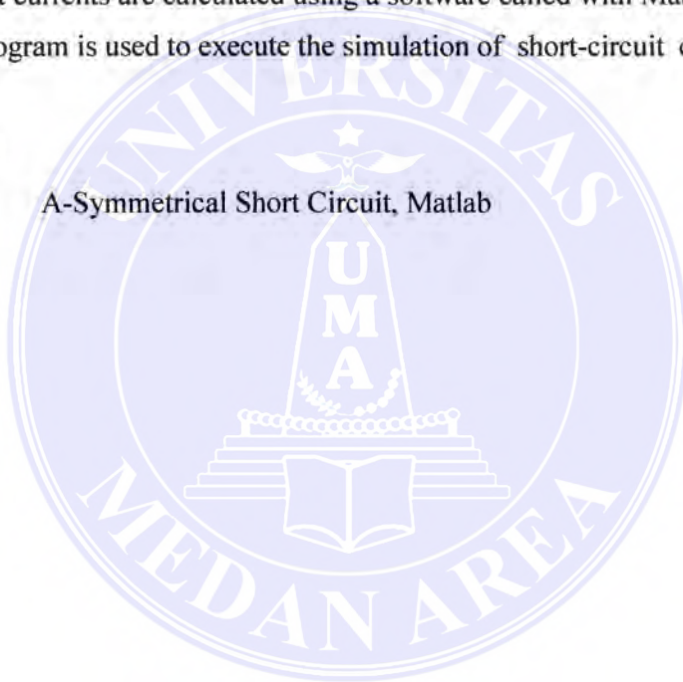
## ABSTRACT

Modern power system are large scale and complex usually susceptible to fault, disturbances typically change the nominal current magnitudes becomes larger.

This research presents analysis unsymmetrical short-circuit from power plant connect to interconnection transmission of 3 bus system. A Asymmetrical short circuit currents are calculated using a software called with Matlab. A Matlab package program is used to execute the simulation of short-circuit current.

Keywords:

A-Symmetrical Short Circuit, Matlab





LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL .....	ix

<b>BAB I : PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3

<b>BAB II : LANDASAN TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Umum .....	5
2.1.1 Gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik .....	5
2.1.2 Pengertian dan sebab gangguan tanah .....	5
2.1.3 Komponen simetris .....	7
2.1.4 Impedansi urutan transformator .....	14
2.1.5 Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah pada sistem	

UNIVERSITAS MEDAN AREA.....	15
-----------------------------	----



2.1.6 Kuantitas per unit .....	19
2.1.7 Mengubah dasar kuantitas per unit .....	22
2.2 Teori MATLAB .....	24
2.2.1 Ruang kerja MATLAB .....	25
2.2.2 Variabel .....	25
2.2.3 Fungsi – fungsi matematika umum .....	25
2.2.4 Komentar dan tanda baca .....	26
2.2.5 Operasi Array .....	26
2.2.6 Kontrol program .....	26
<b>BAB III : METODE ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT SATU</b>	
<b>FASA KE TANAH .....</b>	<b>27</b>
3.1 Metode hubung singkat dengan rangkaian listrik .....	27
3.2 Metode dengan menggunakan matriks .....	30
<b>BAB IV : ANALISIS GANGGUAN HUBUNGAN SINGKAT SATU FASA</b>	
<b>KE TANAH MENGGUNAKAN MATLAB .....</b>	<b>32</b>
4.1 Sistem tenaga listrik yang digunakan .....	32
4.2 Perhitungan menggunakan MATLAB .....	38
4.2.1 Arus gangguan .....	43
<b>BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>46</b>
5.1 Kesimpulan .....	46
5.2 Saran .....	46

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Suatu sistem tenaga listrik merupakan satu kesatuan elemen seperti Generator, Transformator, Saluran Transmisi/Distribusi dan Beban yang dihubungkan secara sistematis untuk pelayanan kebutuhan energi listrik kepada konsumen. Kondisi operasional sistem tenaga listrik saat penyaluran energi listrik kekonsumen melalui saluran udara tegangan tinggi rentan terhadap gangguan baik bersifat alamiah atau bersifat teknis. Pelayanan beban suatu operasi sistem tenaga listrik dari suatu pembangkit ke konsumen sering mengalami berbagai macam-macam gangguan yang mengakibatkan terputusnya penyaluran daya ke konsumen. Gangguan-gangguan ini dapat disebabkan oleh sambaran petir, pohon, hubung singkat, rusaknya isolator, dan lain sebagainya. Gangguan tersebut dapat menyebabkan kenaikan tegangan yang berlebihan, aliran arus yang sangat besar bunga api listrik, dan kegagalan sistem untuk beroperasi keseluruhannya.

Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga diakibatkan oleh gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik diklasifikasi menjadi (a). Gangguan simetris yakni gangguan hubung singkat tiga fasa dan (b) Gangguan tak-simetris, terdiri atas gangguan hubung singkat antara satu kawat ke tanah (satu fasa ke tanah), dua kawat ke tanah (dua fasa ke tanah) dan gangguan antara fasa (dua fasa). Akibatnya gangguan ini menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya yang melewati batas kestabilan dari sistem sehingga sistem tersebut kehilangan kestabilan dan dapat merusak peralatan, serta kegagalan kerja dari seluruh sistem yang dapat mengganggu kontinuitas pelayanan beban. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu suatu analisa kestabilan tenaga yang sangat berpengaruh terhadap analisa besarnya arus gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik.

Karena kendala kendala ini maka harus dilakukan pengaturan kembali terhadap rencana pemeliharaan dan alokasi beban. Semakin besar suatu sistem tenaga listrik maka semakin banyak unsur yang harus dikoordinasikan serta yang



harus diamati. Sehingga diperlukan perencanaan, pelaksanaan, pengendalian serta analisa operasi sistem yang cermat. Dari permasalahan yang diuraikan maka dilakukan penelitian tentang kajian gangguan hubung singkat satu fasa ketanah sistem tenaga listrik yang dihitung berbantuan perangkat lunak Matlab 6.1.

## 1.2. RUMUSAN MASALAH

Agar tujuan penelitian dapat dicapai, maka beberapa rumusan masalah penelitian tugas akhir ini antara lain Bagaimana memanfaatkan perangkat lunak MATLAB dapat menganalisis gangguan hubung singkat satu fasa ketanah sebagai alat untuk membantu mempermudah perhitungan.

## 1.3. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui besar arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang terjadi pada jaringan sistem tenaga listrik.
2. Dapat menggunakan program Matlab untuk menghitung dan menganalisis arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah pada jaringan sistem tenaga listrik.

## 1.4. BATASAN MASALAH

Masalah gangguan hubung singkat sistem tenaga listrik cukup luas sehingga perlu pembatasan agar penelitian tugas akhir yang dilakukan lebih fokus, batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Gangguanyang dianalisis hanya gangguan satu fasa ke tanah.
2. Model sistem tenaga listrik yang digunakan terdiri atas dua generator terhubung 3 bus melalui saluran
3. Data yang digunakan hanya nilai reaktansi saja, nilai resistansi diabaikan karena pada saat terjadi gangguan hubung singkat nilai resistansi dapat diabaikan tanpa mempengaruhi hasil analisis gangguan hubung singkat satu fasa ketanah (referensi: Analisis sistem tenaga listrik oleh Stevenson Jr)

4. Perangkat lunak yang digunakan adalah Matlab versi 6.1

## 1.5. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penulisan tugas akhir ini, dilakukan beberapa cara untuk mendapatkan data dan hasil analisis dengan mekanisme sebagai berikut:

- a) Penelusuran literature yang relevan dengan penelitian tugas akhir ini pada sumber-sumber literatur ilmiah di perpustakaan dan internet.
- b) Konsultasi dengan pembimbing tugas akhir dalam penyelesaian analisis gangguan yang digunakan
- c) Membuat diagram segaris sistem tenaga listrik dengan parameter data ditentukan dari sumber literature yang relevan
- d) Menyelesaikan analisis gangguan tenaga listrik dengan perhitungan berdasarkan diagram segaris dengan rangkaian urutan positif, negative dan rangkaian urutan nol
- e) Membuat model perhitungan analisis gangguan hubung singkat satu fasa ketanah pada M.File Matlab
- f) Uji coba perangkat lunak matlab melalui M.File dalam menganalisis gangguan hubung singkat satu fasa ketanah
- g) Mengamati hasil analisis yang telah diuji menggunakan perangkat lunak matlab 6.1.

## 1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Tugas akhir ini dibuat dengan dengan urutan sesuai dengan topic pembahasan yang dimuat dalam uraian terdiri atas lima BAB antara lain:

**Bab I Pendahuluan**, pada Bab ini membahas Latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, Batasan masalah, Metodologi dan Sistematika penulisan.



**Bab II Landasan Teori** Pada bab ini berisikan tentang teori-teori pendukung yang berhubungan dengan teori hubung singkat sistem tenaga listrik

**Bab III Metodologi Penelitian** Membahas tentang perhitungan impedansi dan perhitungan arus gangguan hubung singkat.

**Bab IV Analisis Perhitungan,** Membahas tentang arus gangguan hubung singkat dengan bantuan program Matlab.

**Bab V Kesimpulan dan Saran,** Bab ini berisikan kesimpulan-kesimpulan dari seluruh pembahasan.





## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Umum

Gangguan-gangguan hubung singkat yang terjadi pada peralatan-peralatan sistem tenaga listrik seperti generator ataupun transformator lebih jarang terjadi, dan umumnya disebabkan oleh kegagalan-kegagalan isolasi. Gangguan-gangguan pada jaringan sistem tenaga listrik lebih sering terjadi jika dibandingkan dengan gangguan pada generator ataupun transformator. Hal ini dapat terjadi karena jaringan tersebut mempunyai jarak yang panjang.

##### 2.1.1. Gangguan Hubung Singkat Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat berbentuk salah satu dari keempat bentuk gangguan hubung singkat dibawah ini:

- (a). Gangguan hubung singkat simetris: yaitu gangguan yang terjadi pada hubungan tiga fasa
- (b). Gangguan Hubung singkat tidak-simetris, terdiri dari:
  1. Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah.
  2. Gangguan hubung singkat dua fasa ketanah.
  3. Gangguan hubung singkat antara dua fasa.

Secara umum menunjukkan 70% sampai 80% gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan satu fasa ketanah, dan kira-kira 15% adalah gangguan fasa ke fasa, dua fasa ketanah (10%), dan gangguan yang jarang terjadi adalah gangguan tiga fasa (5%).

##### 2.1.2. Pengertian dan Sebab Gangguan Tanah

Terjadinya kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal. Sebagian dari gangguan yang terjadi menyebabkan sistem tidak seimbang. Salah satu diantaranya adalah gangguan hubung singkat satu fasa ketanah.

Yang dimaksud dengan gangguan satu fasa ketanah dalam tugas ini adalah suatu sistem distribusi tenaga pada industri yang mendapat suplai dari sumber tiga fasa, dimana salah satu dari fasanya terhubung ketanah diakibatkan oleh berbagai hal, yakni:

#### **2.1.2.1. Pengaruh tegangan lebih**

Umumnya penghantar yang dipergunakan pada sistem jaringan dalam industri memakai penghantar / kawat yang berisolasi. Rating tegangan dari suatu kabel tergantung dari ketahanan isolasi kabel tersebut.

Apabila terjadi tegangan yang melebihi tegangan kerjanya, maka akan mengakibatkan kegagalan isolasi. Bila gangguan tersebut bersifat temporer, pada umumnya tidak begitu berbahaya bila besarnya terbatas sebab isolasi-isolasi masih sanggup menahannya.

Akan tetapi bila gangguan ini sering terjadi, maka hal ini akan mempercepat proses penuaan isolasi. Bila gangguan bersifat magnetik, maka hal ini akan merusak mesin-mesin dan rangkaian sistem sehingga membahayakan kelangsungan produksi industri.

#### **2.1.2.2. Pengaruh lingkungan**

Yang dimaksud dengan pengaruh lingkungan dalam hal ini adalah tempat pemasangan kabel tenaga tersebut. Pengaruh lingkungan yang sering terjadi antara lain :

1. Terjadinya reaksi kimia terhadap bahan isolasi.
2. Terjadinya perembesan air dan minyak kedalam bahan isolasi.
3. Terjadinya/tertimpunya kabel dengan peralatan industri sehingga mengakibatkan rusaknya isolasi.



Terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, menurut lamanya waktu gangguan dibedakan atas :

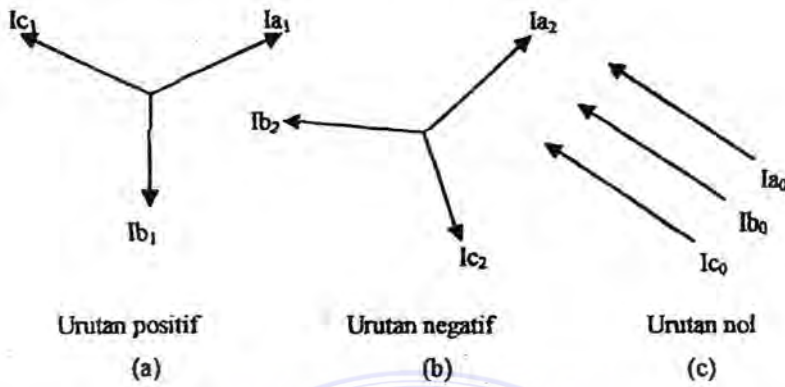
- a. Gangguan temporer, yaitu apabila gangguan terjadi maka dalam waktu yang singkat sistem akan kembali pada keadaan normal.
- b. Gangguan permanen yaitu gangguan yang dapat dihilangkan/diperbaiki setelah bagian yang terganggu itu diisolir dengan bekerjanya pemutus daya.

### 2.1.3. Komponen Simetris

Menurut teori Fortescue, tiga fasa tidak seimbang dari sistem tenaga dapat diuraikan menjadi tiga sistem tiga phasor yang seimbang. Komponen-komponen itu adalah :

1. Komponen urutan positif, yang terdiri dari tiga phasor yang sama besar, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti phasor aslinya.
2. Komponen urutan negatif, yang terdiri dari tiga phasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar  $120^\circ$ , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan arah phasor aslinya.
3. Komponen urutan nol, yang terdiri dari tiga phasor yang sama besarnya dan pergeseran fasa nol antara fasa yang satu dengan yang lain.

Agar lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.1. berikut ini :

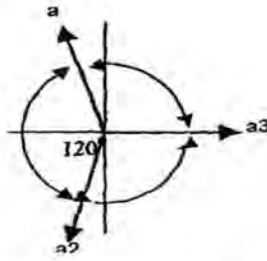


**Gambar 2.1.** Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen simetris dari tiga fasor tidak seimbang.



**Gambar 2.2.** Penjumlahan secara grafis komponen-komponen simetris untuk mendapatkan tiga fasor tidak seimbang.

Dalam analisa gangguan hubung singkat tidak simetris, untuk menggambarkan komponen fasa B dan C dalam bentuk komponen-komponen fasa A, yang biasa disebut fasa utama dengan bantuan operator “a” adalah vektor (besarnya=1) yang membentuk sudut  $120^\circ$  seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.3. berikut :



**Gambar 2.3.** Vektor fasa “a”

Sifat-sifat utama operator “a” adalah :

$$\begin{aligned}
 a &= e^{j120} = 1 \angle 120^\circ = \cos 120^\circ + j \sin 120^\circ = -0,5 + j 0,866 \\
 a^2 &= e^{j240} = 1 \angle 240^\circ = -0,5 - j 0,866 \\
 a^3 &= e^{j360} = 1 \angle 360^\circ = 1 \angle 0^\circ = 1 \dots\dots\dots(2.1)
 \end{aligned}$$

**2.1.3.1. Arus Urutan**

Tiap-tiap arus dalam sistem ini dapat dipisahkan kedalam jumlah tiga vektor yang membentuk sistem tiga fasa seimbang, masing-masing komponen simetris urutan positif, negatif, dan nol.

Jadi :

$$\begin{aligned}
 I_a &= I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \\
 I_b &= I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} \\
 I_c &= I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} \dots\dots\dots(2.2)
 \end{aligned}$$



Dari gambar 2.1.a, komponen urutan utama positif dapat ditulis :

$$\begin{aligned}
 I_{b1} &= a^2 \cdot I_{a1} \\
 I_{c1} &= a \cdot I_{a1} \dots\dots\dots(2.3)
 \end{aligned}$$

Dari gambar 2.1.b, komponen urutan negatif dapat ditulis :

$$\begin{aligned}
 I_{b2} &= a \cdot I_{a2} \\
 I_{c1} &= a^2 \cdot I_{a2} \dots\dots\dots(2.4)
 \end{aligned}$$

Dari gambar 2.1.c, komponen urutan nol dapat ditulis :

$$I_{a0} = I_{b0} = I_{c0} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan bantuan persamaan (2.2) sampai (2.5), maka dapat digambarkan arus-arus sistem tiga fasa (lihat persamaan 2.1) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_a &= I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \\
 I_b &= a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} + I_{a0} \\
 I_c &= a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots(2.6)
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.6) diatas, maka dengan mudah dapat diturunkan rumus untuk menentukan komponen-komponen simetris dari arus-arus yang diketahui didalam fasa.

$$\begin{aligned}
 I_{a1} &= \frac{1}{3} (I_a + a \cdot I_b + a^2 \cdot I_c) \\
 I_{a2} &= \frac{1}{3} (I_a + a^2 \cdot I_b + a \cdot I_c) \\
 I_{a0} &= \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \quad \dots\dots\dots(2.7)
 \end{aligned}$$

### 2.1.3.2. Tegangan urutan

Persamaan-persamaan untuk tegangan sistem tiga fasa tidak seimbang dan komponen-komponen urutan fasanya mempunyai bentuk yang sama dengan yang berlaku pada arus.

Jadi :

$$\begin{aligned}
 V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \\
 V_b &= a^2 \cdot V_{a1} + a \cdot V_{a2} + V_{a0} \\
 V_c &= a \cdot V_{a1} + a^2 \cdot V_{a2} + V_{a0} \quad \dots\dots\dots(2.8)
 \end{aligned}$$

Dan :

$$\begin{aligned}
 V_{a1} &= \frac{1}{3} (V_a + a \cdot V_b + a^2 \cdot V_c) \\
 V_{a2} &= \frac{1}{3} (V_a + a^2 \cdot V_b + a \cdot V_c) \\
 V_{a0} &= \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \quad \dots\dots\dots(2.9)
 \end{aligned}$$

### 2.1.3.3. Impedansi urutan

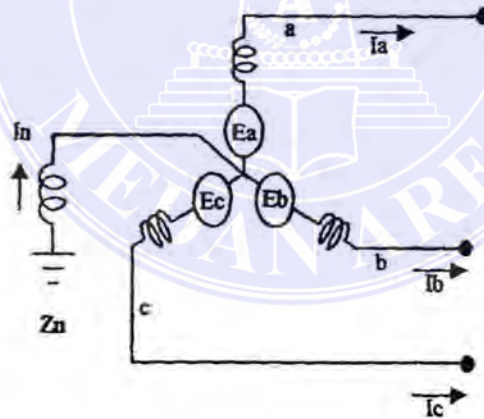
Dari analisa komponen simetris selain arus dan tegangan urutan, dikenal juga adanya impedansi urutan positif, negatif dan nol. Impedansi urutan dapat didefinisikan sebagai suatu impedansi yang ditimbulkan oleh arus urutan bila tegangan urutannya dipasang pada peralatan atau sistem tersebut.

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

1. Impedansi urutan positif ( $Z_1$ ), yaitu impedansi yang hanya ditimbulkan oleh arus urutan positif.
2. Impedansi urutan negatif ( $Z_2$ ), yaitu impedansi yang hanya ditimbulkan oleh arus urutan negatif.
3. Impedansi urutan nol ( $Z_0$ ), yaitu impedansi yang ditimbulkan oleh arus urutan nol.

Penyusunan jala-jala urutan dari komponen-komponen simetris untuk arus atau tegangan fasa terhadap netral sistem dalam bentuk impedansi urutan adalah sebagai berikut :

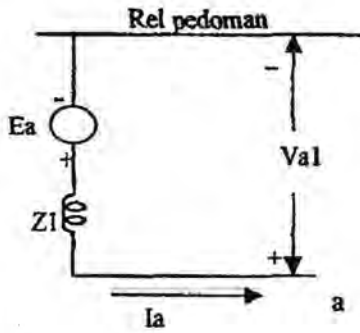
a. Rangkaian jala-jala urutan positif



**Gambar 2.4.a.** Diagram rangkaian suatu generator tanpa beban yang digrounding melalui suatu reaktansi.



Rangkaian jala-jala urutan positif untuk satu fasa adalah sebagai berikut :

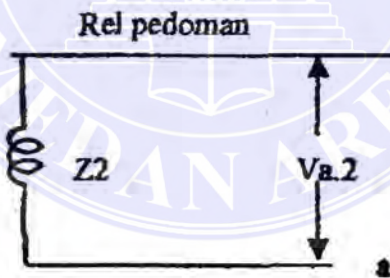


**Gambar 2.4.b.** Jala-jala urutan positif sistem satu fasa.

Dari gambar 2.4.b diperoleh suatu persamaan tegangan urutan positif adalah :

$$V_{a1} = E_a - I_{a1} \cdot Z_1 \dots\dots\dots(2.10)$$

b. Rangkaian jala-jala urutan negatif

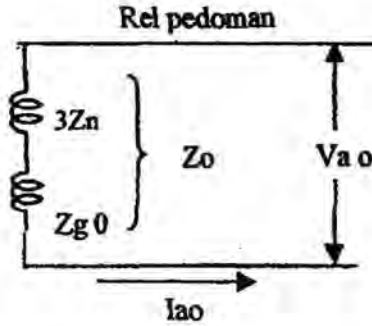


**Gambar 2.5.** Jala-jala urutan negatif sistem satu fasa.

Dari gambar 2.5 diperoleh suatu persamaan sebagai berikut :

$$V_{a2} = - I_{a2} \cdot Z_2 \dots\dots\dots(2.11)$$

c. Rangkaian jala-jala urutan nol



Gambar 2.6. Jala-jala urutan nol sistem satu fasa.

Dari gambar 2.6 diperoleh suatu persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{a0} &= - I_{a0} \cdot Z_0 \\
 &= - I_{a0} (Z_{go} + 3Z_n) \dots\dots\dots(2.12)
 \end{aligned}$$

Dimana :

$Z_{go}$  = impedansi urutan nol dari generator

$Z_n$  = impedansi netral (grounding system)

2.1.4. Impedansi Urutan Transformator

Tranformator tiga fasa dapat pula dibentuk dari transformator satu fasa. Pada transformator, ketiga impedansi urutannya dapat diambil berharga sama, yaitu sama dengan reaktansi transformator itu sendiri :

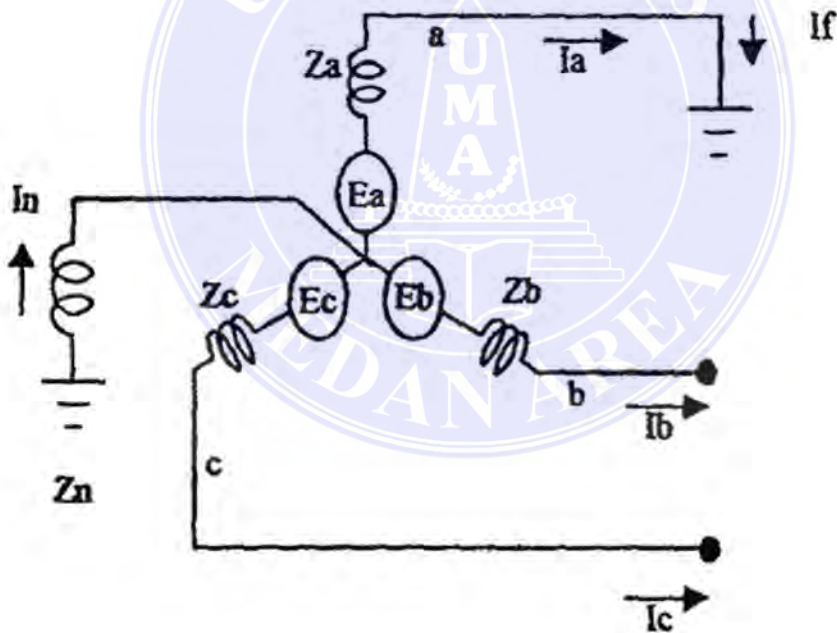
$$X_0 = X_1 = X_2 = X_{trafo} \dots\dots\dots(2.13)$$

Pada transformator, karena terdiri dari dua sisi belitan yaitu sisi primer dan sisi sekunder maka arus urutan nol yang keluar hanya terjadi bila titik netral kedua sisi belitan tersebut digrounding yaitu pada hubungan  $Y_{Nyn}$ , sedangkan pada hubungan delta arus urutan nol hanya berputar dalam isi belitan itu.

Beberapa jaringan impedansi urutan nol transformator dapat dilihat pada lampiran 1 dan lampiran 2 berikut.

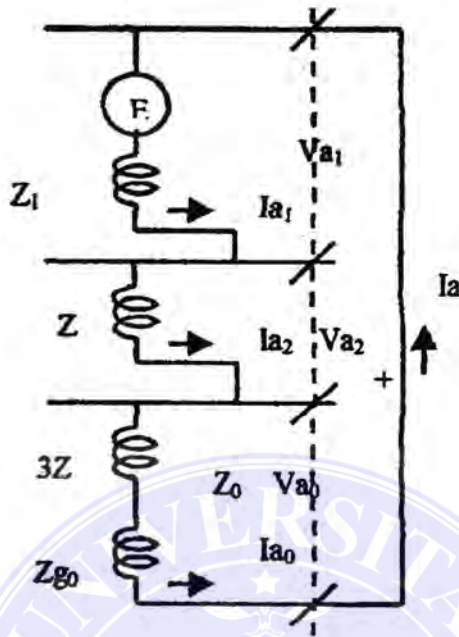
### 2.1.5. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketahan Pada Sistem Tenaga Listrik

Yang dimaksud gangguan satu fasa ke tanah dalam penulisan ini adalah suatu kondisi operasi normal sistem tenaga listrik yang mendapat suplai dan sumber tiga fasa, yakni dan salah satu fasanya terhubung ke tanah yang diakibatkan oleh berbagai hal yang telah dibahas sebelumnya. Sebagai contoh bentuk gangguan satu fasa ke tanah adalah seperti gambar sebagai berikut:



**Gambar 2.7.a.** Diagram rangkaian untuk gangguan tunggal dan saluran ke tanah pada fasa "a" pada terminal generator tanpa beban yang netralnya diketankan melalui reaktansi.





**Gambar 2.7.b.** Hubungan jaringan urutan generator tanpa beban untuk gangguan tunggal dan saluran ke tanah pada fasa “a”

Dari gambar 2.9. diperoleh:

$$I_b = I_c = 0 \quad \text{dan} \quad V_a = 0 \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

Dari persamaan 2.7 diperoleh:

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

Sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}
 I_{a0} &= \frac{1}{3} I_a \\
 I_{a1} &= \frac{1}{3} I_a \\
 I_{a2} &= \frac{1}{3} I_a \quad \dots\dots\dots(2.16)
 \end{aligned}$$

Dengan menggantikan  $E_a$  menjadi  $V_f$ , maka persamaan (2.10), (2.11), dan (2.12) dapat dituliskan menjadi:

$$\begin{aligned}
 V_{a1} &= V_f - I_{a0} \cdot Z_0 \\
 V_{a2} &= - I_{a0} \cdot Z_2 \\
 V_{a0} &= - I_{a0} (Z_{g0} + 3Z_n) \quad \dots\dots\dots(2.17)
 \end{aligned}$$

Dari persamaan (2.8) diperoleh:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

Substitusi persamaan (2.14) kedalam persamaan (2.17), maka diperoleh:

$$V_{a1} = - (V_{a2} + V_{a0}) \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.16) kedalam persamaan (2.18) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 V_{a1} &= - [-I_{a1} \cdot Z_2 - I_{a1} (Z_{g0} + 3Z_n)] \\
 &= I_{a1} \cdot Z_2 + I_{a1} (Z_{g0} + 3Z_n) \\
 &= I_{a1} (Z_2 + Z_{g0} + 3Z_n) \dots\dots\dots(2.20)
 \end{aligned}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.19) kedalam persamaan (2.16), maka akan diperoleh:

$$V_f - I_{a1} \cdot Z_1 = I_{a1} (Z_2 + Z_{G0} + 3 \cdot Z_n)$$

Sehingga diperoleh :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_{GO} + 3 \cdot Z_n} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dari persamaan sebelumnya diperoleh:

$$I_{a1} = \frac{1}{3} I_a$$

Maka dapat dituliskan menjadi:

$$I_a = 3 \cdot I_{a1}$$

Sehingga diperoleh besarnya arus hubung singkat satu fasa ketanah pada fasa yang terganggu adalah:

$$I_a = 3 \cdot \left( \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_{GO} + 3 \cdot Z_n} \right) \dots\dots\dots(2.22)$$



Dimana :

$I_a$  = arus hubung singkat satu fasa ke tanah

$V_f$  = tegangan pra-gangguan ke netral pada titik terjadinya gangguan

$Z_1$  = impedansi urutan positif

$Z_2$  = impedansi urutan negatif

$Z_{g0}$  = impedansi urutan nol dari generator (sumber tenaga listrik)

$Z_n$  = impedansi netral (grounding system)

### 2.1.6. Kuantitas Per-Unit

Saluran transmisi sistem tenaga dioperasikan pada tingkat tegangan dimana kilovolt merupakan unit yang sangat memudahkan untuk menyatakan tegangan. Karena besarnya daya yang disalurkan, kilowatt atau megawatt dan kilovolt-ampere atau megavolt-ampere adalah istilah yang sudah biasa dipakai.

Tetapi kuantitas tersebut bersama-sama dengan ampere dan ohm sering juga dinyatakan sebagai suatu persentase atau per-unit dari suatu nilai dasar atau referensi yang ditentukan untuk masing-masing. Misalnya, jika sebagai tegangan dasar dipilih 120 kV, maka tegangan-tegangan sebesar 108, 120, dan 126 kV berturut-turut menjadi 0,90, 1,00, dan 1,05 per unit, atau 90, 100 dan 105%.

Rumus-rumus berikut ini berlaku untuk hubung bermacam-macam kuantitas:

$$\text{Arus dasar, } A = \frac{\text{dasar kVA}_{1\phi}}{\text{tegangan dasar, kV}_{LN}} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{\text{tegangan dasar, } V_{LN}}{\text{arus dasar, } A} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LN})^2 \times 1000}{\text{dasar } kVA_{1\phi}} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LN})^2}{\text{dasar } MVA_{1\phi}} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\text{Daya dasar, } KW_{1\phi} = \text{dasar } KVA_{1\phi} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$\text{Daya dasar, } MW_{1\phi} = \text{dasar } MVA_{1\phi} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{\text{impedansi sebenarnya, } \Omega}{\text{impedansi dasar, } \Omega} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dalam persamaan-persamaan diatas, subskrip  $1\phi$  dan LN berturut-turut menunjukkan “per fasa” dan “saluran-ke-netral”, untuk persamaan-persamaan yang berlaku bagi rangkaian tiga fasa. Jika persamaan-persamaan tersebut dipakai untuk rangkaian berfasa-tunggal,  $kV_{LN}$  berarti tegangan pada saluran berfasa tunggal, atau tegangan saluran-ke-tanah jika salah satu salurannya diketanahkan.

Tegangan dasar ke netral adalah tegangan dasar antara saluran dibagi dengan  $\sqrt{3}$ . Karena ini adalah juga perbandingan antara tegangan antar-saluran dan tegangan saluran ke-netral dari sistem tiga fasa yang seimbang, nilai per-unit dan suatu tegangan saluran ke-netral dengan tegangan saluran ke-netral sebagai dasar sama dengan nilai per unit tegangan antar-saluran pada titik yang sama dengan tegangan antar-saluran sebagai dasar jika sistemnya seimbang.

Suatu contoh dengan angka-angka akan memperjelas hubungan-hubungan yang baru saja dibahas. Misalnya, jika

$$kVA_{3\phi \text{ dasar}} = 30000 \text{ kVA} \text{ dan } kV_{LL} = 120 \text{ kV}$$

Dimana subskrip 3φ dan LL berturut-turut berarti “tiga fasa” dan “antar-saluran”, maka

$$KVA_{1\phi} = \frac{30000}{3} = 10000kVA, \text{ dan}$$

$$KV_{LN} \text{ dasar} = \frac{120}{\sqrt{3}} = 69,2kV$$

Untuk tegangan antar-saluran yang sebenarnya sebesar 108kV, tegangan saluran ke-netral adalah  $108 / \sqrt{3} = 62,3 \text{ kV}$ , dan

$$\text{tegangan per-unit} = \frac{108/\sqrt{3}}{120/\sqrt{3}} = \frac{62,3}{69,2} = 0,90$$

Untuk daya tiga-fasa total sebesar 18.000 kW, daya per fasa adalah 6.000 kW, dan

$$\text{daya per-unit} = \frac{18000}{30000} = \frac{6000}{10000} = 0,6$$

Sudah tentu, nilai megawatt dan megavolt-ampere dapat saja menggantikan nilai kilowatt dan kilovolt-ampere untuk seluruh pembahasan di atas. Jika tidak dinyatakan lain, suatu nilai dasar tegangan dalam suatu sistem tiga-fasa adalah tegangan antar-saluran, dan suatu nilai dasar kilovolt-ampere atau megavolt-ampere adalah nilai dasar untuk total tiga-fasa.

*Impedansi dasar dan arus dasar dapat langsung dihitung dan nilai-nilai tiga fasa untuk kilo volt dasar dan kilovolt-ampere dasar. Jika hal itu diartikan bahwa kilovolt-ampere dasar dan tegangan dasar dalam kilovolt berturut-turut sama dengan kilovolt-ampere dasar untuk total tiga fasa dan tegangan dasar antar saluran, maka dapat diperoleh*

$$\frac{kVA_{3\phi} \text{ dasar}}{\sqrt{3} \times \text{tegangan dasar, } kV_{LL}} \dots\dots\dots(2.30)$$



Dari persamaan (2.23)

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LL}/\sqrt{3})^2 \times 1000}{kVA_{3\phi}/3\text{dasar}} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LL})^2 \times 1000}{kVA_{3\phi}\text{dasar}} \dots\dots\dots(2.32)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LL})^2}{MVA_{3\phi}\text{dasar}} \dots\dots\dots(2.33)$$

Kecuali perbedaan pada subskripnya, persamaan-persamaan (2.24) dan (2.25) berturut-turut identik dengan persamaan-persamaan (2.31) dan (2.32).

Subskrip telah dipakai dalam persamaan-persamaan di atas agar dapat menekankan perbedaan antara cara bekerja dengan kuantitas tiga fasa dan kuantitas perfasa.

**2.1.7. Mengubah Dasar Kuantitas Per-Unit**

Seringkali impedansi per-unit untuk suatu komponen dan suatu sistem dinyatakan menurut dasar yang berbeda dengan dasar yang dipilih untuk bagian dan sistem dimana komponen tersebut berada. Karena semua impedansi dalam bagian manapun dari suatu sistem harus dinyatakan dengan dasar impedansi yang sama, maka dalam perhitungannya diterapkan beberapa cara untuk dapat mengubah impedansi per-unit dari suatu dasar ke dasar yang lain. Dengan mensubstitusikan impedansi dasar yang diberikan dalam persamaan (2.24) atau (2.31) kedalam persamaan (2.28), maka diperoleh:

$$\text{Impedansi per-unit dari rangkaian} = \frac{(\text{impedansi sebenarnya, } \Omega) \times (kVA \text{ dasar})}{(\text{tegangan dasar, } kV)^2 \times 1000} \dots\dots\dots(2.34)$$

Rumus di atas memperlihatkan bahwa impedansi per-unit berbanding lurus dengan kilovolt-ampere dasar dan berbanding terbalik dengan kuadrat tegangan dasar. Karena itu, untuk mengubah dari impedansi per-unit menurut suatu dasar yang diberikan menjadi impedansi per-unit menurut suatu dasar yang baru, dapat dipakai persamaan berikut:

$$Z_{\text{baru per-unit}} = Z_{\text{diberikan perunit}} \left( \frac{\text{kV}_{\text{diberikan dasar}}}{\text{kV}_{\text{baru dasar}}} \right)^2 \times \left( \frac{\text{kVA}_{\text{baru dasar}}}{\text{kVA}_{\text{diberikan dasar}}} \right) \dots\dots(2.35)$$

Persamaan ini tidak berkaitan dengan transfer nilai tahanan suatu impedansi dan satu sisi yang lain pada sebuah transformator. Persamaan ini sangat berguna untuk mengubah suatu impedansi per-unit yang diberikan menurut suatu dasar tertentu ke suatu dasar yang baru.

Suatu contoh, X adalah reaktansi sebuah generator yang diketahui sama dengan 0,25 per-unit didasarkan atas peringkat (rating) yang tertera pada pelat nama generator tersebut, yaitu 18 kV, 500 MVA. Dasar untuk perhitungannya adalah 20 kV, 100 MVA. Hitunglah X dengan dasar yang baru.

Maka dari persamaan (2.34), dapat diperoleh:

$$X = 0,25 \left( \frac{18}{20} \right)^2 \left( \frac{100}{500} \right) = 0,0405 \text{ per-unit} \dots\dots\dots(2.36)$$

Atau dengan mengubah nilai yang diketahui kedalam ohm dan membaginya dengan impedansi dasar yang baru,

$$X = \frac{0,25(18^2/500)}{20^2/100} = 0,0405 \text{ per-unit}$$

## 2.2. Teori MATLAB

MATLAB adalah suatu program komputer yang dapat melakukan perhitungan matematika. MATLAB adalah suatu bahasa pemrograman sederhana dengan fasilitas yang jauh lebih hebat dan lebih mudah digunakan dengan menggunakan bahasa seperti Basic dan Pascal.

Cara termudah untuk menggambarkan MATLAB adalah menganggapnya sebagai sebuah kalkulator. Seperti umumnya sebuah kalkulator biasa, dimana MATLAB sanggup mengerjakan perhitungan sederhana seperti pengurangan, penjumlahan, perkalian dan pembagian. Seperti kalkulator sains, MATLAB dapat menangani bilangan kompleks, akar dan pangkat, logaritma, operasi trigonometri seperti sinus, cosinus dan tangen.

Seperti kalkulator yang dapat diprogram, MATLAB dapat digunakan untuk menyimpan dan memanggil data, dapat juga membuat, menjalankan dan menyimpan sederetan perintah untuk mengotomatisasi perhitungan suatu persamaan penting, dan dapat melakukan perbandingan logika dan mengatur urutan sederetan perintah.

Seperti kalkulator terbaik yang ada saat ini, MATLAB memungkinkan untuk menggambarkan data dengan berbagai cara, mengerjakan aljabar matrik, memanipulasi polynominal, mengintegalkan fungsi, memanipulasi persamaan secara simbol dan lain-lain.

Melalui kemampuan grafisnya, MATLAB menyediakan banyak pilihan untuk visualisasi data. MATLAB adalah suatu lingkungan tempat dimana membuat aplikasi dimana kita dapat membuat antar muka grafis (*Grafical User Interface atau GUI*) dan menyediakan pendekatan visual untuk menyelesaikan masalah-masalah tertentu.

Sesungguhnya matlab menyediakan lebih banyak lagi fasilitas dan jauh lebih komplit dari kalkulator manapun.



Terlebih lagi matlab juga menyediakan sekelompok alat penyelesaian masalah untuk masalah-masalah khusus, yaitu yang dinamakan toolbox, symbolicmath toolbox, bahkan pengguna dapat membuat toolbox pribadi sendiri.

### **2.2.1. Ruang Kerja MATLAB**

Saat pengguna bekerja dalam jendela Command, MATLAB akan mengingat perintah-perintah yang pengguna berikan dan nilai-nilai dari variabel yang dibuat si pengguna. Perintah dan variabel itu dikatakan tinggal dalam ruang kerja MATLAB, dan dapat dipanggil kapanpun si pengguna menghendaknya dengan cara menyetikkan nama filenya pada prompt.

### **2.2.2. Variabel**

MATLAB mempunyai aturan penamaan variabel. Nama variabel harus terdiri dari satu kata tanpa spasi. Nama variabel dibedakan antara huruf kecil dan huruf kapital. Panjang maksimal nama variabel adalah 31 karakter, dan karakter setelah karakter ke 31 diabaikan. Nama variabel harus diawali dengan huruf, diikuti dengan sembarang bilangan, huruf, atau garis bawah.

Karakter-karakter tanda baca tidak diperbolehkan karena banyak diantaranya mempunyai arti tersendiri dalam MATLAB. Aturan MATLAB mempunyai beberapa variabel khusus tersebut dapat kita lihat pada lampiran 3 berikut.

### **2.2.3. Fungsi-Fungsi Matematika Umum**

Seperti kalkulator sains biasa, MATLAB mempunyai beberapa fungsi umum yang penting untuk matematika, teknik dan ilmu pengetahuan. Sebagai tambahan atas fungsi-fungsi tersebut, MATLAB juga menyediakan ratusan fungsi dan algoritma yang berguna untuk menyelesaikan permasalahan tertentu. Fungsi-fungsi umum yang dimiliki MATLAB dapat dilihat pada lampiran 4 berikut. Sebagian besar fungsi-fungsi tersebut digunakan dengan cara yang hampir sama, bila dituliskan secara matematis.

#### 2.2.4. Komentar dan Tanda Baca

Semua teks setelah tanda persen (%) dalam baris itu dianggap sebagai sebuah komentar dan tidak dikerjakan oleh MATLAB.

#### 2.2.5. Operasi Array

Semua komputasi yang dikerjakan sejauh ini hanya melibatkan bilangan tunggal yang disebut scalar. Operasi scalar memang merupakan dasar matematika.

Namun jika suatu saat ingin melakukan operasi yang sama pada beberapa bilangan, perulangan operasi scalar akan menghabiskan waktu dan tentu saja tidak praktis. Maka untuk mengatasi hal ini, MATLAB menyediakan operasi array pada data.

#### 2.2.6. Kontrol Program

Bahasa pemrograman dan kalkulator yang dapat diprogram memberikan fasilitas untuk mengatur jalannya perintah-perintah dalam program dengan didasarkan pada struktur pengambilan keputusan.

Maka, jika sering menggunakan fasilitas kontrol ini, maka hal ini bukanlah hal yang sulit bagi setiap orang. Namun jika kontrol program tersebut merupakan suatu hal yang belum pernah digunakan, materi ini mungkin agak rumit. Jika itu terjadi, maka sebaiknya materi ini harus dipelajari pelan-pelan.

## **BAB III**

### **METODE ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT SATU FASA KETANAH**

#### **3.1. Metode Hubung Singkat Dengan Rangkaian Listrik**

Rusaknya peralatan yang disebabkan oleh sentakan atau sebab lain mengakibatkan terjadinya gangguan pada suatu sistem daya. Pada dasarnya suatu gangguan adalah setiap keadaan sistem yang menyimpang dari normal. Gangguan ini dapat merusak atau mempengaruhi sistem daya seperti jenis gangguan hubung singkat dan gangguan yang memancarkan listrik dalam cairan dapat menyebabkan temperatur yang sangat tinggi yang dapat menguapkan zat atau material, merusak peralatan serta dapat menimbulkan api.

Gangguan dapat bersifat sementara atau permanen, gangguan sementara tidak memerlukan perbaikan untuk beroperasinya sistem tenaga listrik. Pada dasarnya jenis gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat di bagi atas tiga kategori yaitu:

1. Gangguan seri atau gangguan saluran putus
2. Gangguan simultan atau gangguan serentak
3. Gangguan paralel atau gangguan hubung singkat.

Untuk perhitungan gangguan sistem di anggap bahwa:

1. Semua emf yang ada besarnya sama pada tiap fasa.
2. Semua resistansi di abaikan (hanya reaktansi).
3. Semua impedansi shunt, arus magnetisasi, arus pengisian saluran transmisi dan arus beban nol di abaikan.
4. Impedansi bersama antar saluran diabaikan.



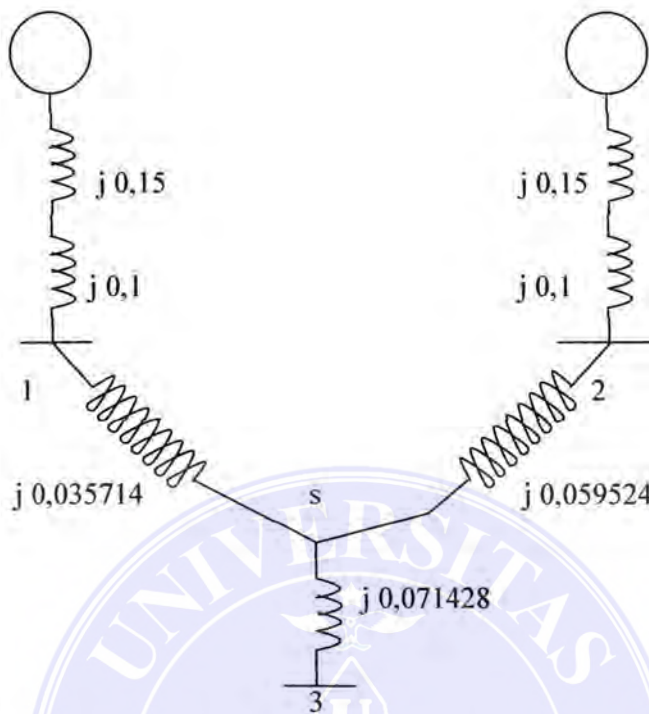
Diagram satu garis dari sistem tenaga yang sederhana diperlihatkan pada gambar 3.1 netral setiap generator diketanahkan melalui reaktor pembatas arus dengan  $0,25/3$  per unit pada base/dasar 100MVA.

Data sistem diekspresikan dalam per-unit mengikuti base/dasar 100MVA yang diperlihatkan pada table 3.1. generator beroperasi tanpa beban pada tegangan rating dan frekuensi rating dengan tegangan emf dalam fasa. Tentukan arus gangguan satu fasa ketanah pada bus 3 melalui impedansi gangguan  $Z_n = j0.10$  per unit.

**Table 3.1 Data system diagram satu garis untuk generator tanpa beban**

Item	Dasar MVA	Rating Tegangan	$X_1$	$X_2$	$X_0$
$G_1$	100	20 kV	0,15	0,15	0,05
$G_2$	100	20 kV	0,15	0,15	0,05
$T_1$	100	20/220 kV	0,10	0,10	0,10
$T_2$	100	20/220 kV	0,10	0,10	0,10
$L_{12}$	100	220 kV	0,125	0,125	0,30
$L_{13}$	100	220 kV	0,15	0,15	0,35
$L_{23}$	100	220 kV	0,25	0,25	0,7125





**Gambar 3.2.b.** Diagram impedansi urutan positif generator tanpa beban setelah diubah dari  $\Delta$  ke Y

### 3.2. Metode dengan menggunakan matriks

Dari data pada tabel 3.1 diatas, maka diperoleh:

$$20 \cdot 0,15 X_1 + 20 \cdot 0,15 X_2 + 20 \cdot 0,05 X_0 = 100$$

$$20 \cdot 0,15 X_1 + 20 \cdot 0,15 X_2 + 20 \cdot 0,05 X_0 = 100$$

$$20/220 \cdot 0,10 X_1 + 20/220 \cdot 0,10 X_2 + 20/220 \cdot 0,10 X_0 = 100$$

$$20/220 \cdot 0,10 X_1 + 20/220 \cdot 0,10 X_2 + 20/220 \cdot 0,10 X_0 = 100$$

$$220 \cdot 0,125 X_1 + 220 \cdot 125 X_2 + 220 \cdot 0,30 X_0 = 100$$

$$220 \cdot 0,15 X_1 + 220 \cdot 0,15 X_2 + 20 \cdot 0,35 X_0 = 100$$

$$220 \cdot 0,25 X_1 + 220 \cdot 0,25 X_2 + 20 \cdot 0,712 X_0 = 100$$



Dalam bentuk matriks di tulis menjadi:

$$[X^{012}] [V] = [S]$$

$$\begin{bmatrix} 0,05 & 0,15 & 0,15 \\ 0,05 & 0,15 & 0,15 \\ 0,10 & 0,10 & 0,10 \\ 0,10 & 0,10 & 0,10 \\ 0,30 & 0,125 & 0,125 \\ 0,35 & 0,15 & 0,15 \\ 0,7125 & 0,25 & 0,25 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 \\ 20 \\ 20 \\ 220 \\ 20 \\ 220 \\ 220 \\ 220 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \end{bmatrix}$$



## BAB V

# KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Arus gangguan satu kawat ke tanah pada bus 3 sebesar  $-j 2,753$  dengan manual.
2. Arus gangguan satu kawat ke tanah pada bus 3 sebesar  $-2,753i$  secara MATLAB.
3. Terdapat keakuratan data dengan sistem manual dengan pemrograman MATLAB.

### 5.2. Saran

1. Didalam menganalisis gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah agar lebih mudah untuk mengatasinya sebaiknya menggunakan MATLAB.
2. Penggunaan MATLAB lebih diprioritaskan didalam ilmu penelitian dan menganalisis suatu rangkaian hubungan singkat agar lebih mudah dan lebih teliti lagi.
3. Bagi peneliti lain untuk meneliti pengaruh gangguan – gangguan pada bus 3 fasa lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stevenson, W.D., dan Idris,K.,1990, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, pp. 349-351, Erlangga, Jakarta.
- [2] P.M. Anderson , A.A Fouad “ *Power System Kontrol and stability*” The Iowa State university Press, © 1977
- [3] Kundur P. “Power System Stability and Control”, McGraw-Hill, 1994
- [4] Padiyar, K.R., 1996, *Power System Dynamis Stability and Control*, pp. 191 – 268, John Wiley & Sons , Singapore.
- [5] Moh. E El Hawary “*Electrical Power System* “ IEEE Press. 1983
- [6] Hadi Saadat “*Power System Analysis*” Mc Graw Hill 1999
- [7] Djiteng Marsudi.” *Operasi Sistem Tenaga Listrik*” Edisi pertama penerbit Graha Ilmu Yogyakarta, 2006.
- [8] Heru Dibyo Laksono ” *Studi Hubungan Singkat Untuk Gangguan Tiga Fasa Pada Sistem Tenaga Listrik* ” [http://repository.unand.ac.id / id / eprint/1091](http://repository.unand.ac.id/id/eprint/1091). No.29 ISSN:0854-8471 Vol 1 Thn XV April 2008.
- [9] B. de Metz-Noblat, F Dumas C. Poulain,” *Calculation Of Short Circuit Currents*” Cahier technique no. 158. Code: <http://www.schneider-electric.com>. © September 2005.
- [10] Gunaidi Abdia Away “*The Shortcut of MATLAB Programming*” Edisi pertama penerbit Informatika Bandung, 2006.