

Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat Sistem Tenaga Listrik Dengan Aplikasi Matlab

Yulisman

Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik UMSB

email: fte.umsb12@gmail.com

Abstract: Electricity generated from the power plant which is then transmitted through the transmission to the distribution network and the user to be used in everyday life. This distribution process is not free from disruptions arising from material factor/conductor types and distance factor.

Short circuit current which is happened in electrical power system can caused disconnection in distributing electrical power to costumers. One of the efforts to overcome the interruptions is to do an analysis in short circuit an ealy stage with the result that we could find a pricise protection system on our electrical power system.

Short circuit can be analyzed using simulation methods and calculations manually to determine how much the short-circuit current that occurs at different bus each in turn. The method used study with a single line diagram, perform manual short circuit calculations and using Matlab, and making comparisons and conclusions.

Key word : analysis, current, Matlab, short circuit.

Abstrak: Listrik dihasilkan dari pembangkit listrik yang kemudian ditransmisikan melalui jaringan transmisi sampai pada distribusi dan pengguna untuk dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Proses penyaluran ini tidak lepas dari gangguan yang timbul akibat dari faktor bahan/jenis penghantar dan faktor jarak.

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat mengakibatkan terputusnya penyaluran tenaga listrik kepada konsumen. Salah satu upaya untuk mengatasi gangguan hubung singkat tersebut dilakukan analisis hubung singkat sebagai tahap awal untuk menanggulangnya sehingga sistem proteksi yang tepat pada sistem tenaga listrik dapat ditentukan.

Gangguan hubung singkat dapat dianalisa dengan menggunakan metode simulasi dan perhitungan manual dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar arus hubung singkat yang terjadi di tiap bus yang berbeda secara bergantian. Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah dimulai dari diagram satu garis, melakukan perhitungan arus hubung singkat manual dan menggunakan Matlab, dan membuat perbandingan dan kesimpulan.

Kata kunci : analisa, arus, Matlab, gangguan hubung singkat.

PENDAHULUAN

Tenaga listrik disalurkan ke konsumen melalui sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa sub-sistem, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Dalam pengoperasian 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. 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 fasa atau hubung singkat fasa ke tanah. Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi. Istilah gangguan identik dengan hubung singkat, yang merupakan

suatu hubungan abnormal 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.

Untuk mengatasi gangguan tersebut, perlu dilakukan analisis hubung singkat sehingga sistem pengamanan (*proteksi*) dari sistem tenaga listrik tersebut dapat ditentukan dengan tepat. Analisis hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang di dalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau dari pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik.

METODE PENELITIAN

Gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dibagi dalam dua golongan, yaitu hubung singkat (gangguan shunt) dan gangguan hubung terbuka (gangguan seri). Macam gangguan hubung singkat sendiri dapat dibedakan atas, yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa (K-K-K), gangguan hubung singkat dua fasa (K-K), gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (K-K-T), dan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (K-T). Berdasarkan lama waktu gangguan maka macam gangguan dapat dibagi lagi menjadi dua, yaitu gangguan yang bersifat sementara dan gangguan yang bersifat menetap.

Beberapa metoda yang dapat digunakan untuk studi hubung singkat antara lain, metoda matrik impedansi bus, metoda matrik admitansi bus (kedua metoda ini menggunakan teori komponen simetris) dan metoda koordinat fasa. Dalam penulisan ini pembahasannya menggunakan metoda matrik impedansi bus.

Untuk gangguan tiga fasa seimbang cenderung disederhanakan dengan pendekatan per fasa. Diagram satu garis sederhana untuk menyelesaikan masalah gangguan tiga fasa seimbang dengan metode komponen simetris adalah untuk memecahkan penyelesaian rangkaian tidak seimbang ke dalam sebuah rangkaian yang seimbang.

Komponen Simetris

Prinsip dasar komponen simetris adalah, suatu kumpulan tiga hubungan vektor yang tidak seimbang, yang dapat diuraikan menjadi tiga set vektor yang seimbang. Ketiga set vektor yang seimbang itu biasa disebut dengan komponen urutan positif, komponen urutan negatif, dan komponen urutan nol.

Penggunaan komponen simetris pada sistem tiga fasa memerlukan suatu satuan fasor atau operator yang akan memutar rotasi fasor dengan fasor lainnya yang berbeda fasa 120° . Bila dipakai fasor operator satuan adalah a , maka :

$$a = -0,5 + j 0,866 \text{ dan } a^2 = -0,5 - j 0,866$$

Fasor tiga fasa tidak seimbang dari sistem tiga fasa dapat dipecahkan ke dalam fasor tiga fasa seimbang sebagai berikut :

- Komponen urutan positif, terdiri dari seperangkat komponen tiga fasa seimbang dan mempunyai urutan fasa yang sama dengan fasor-fasor aslinya.
 - Komponen urutan negatif, terdiri dari seperangkat komponen tiga fasa seimbang dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor-fasor aslinya.
 - Komponen urutan nol, terdiri dari komponen satu fasa yang semuanya sama besar dan mempunyai sudut fasa yang sama.
- Komponen simetris arus tak seimbang :

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

$$I_{a1} = 1/3 (I_a + aI_b + a^2I_c)$$

$$I_{a2} = 1/3 (I_a + a^2I_b + aI_c)$$

Komponen simetris tegangan tak seimbang adalah :

$$V_{a0} = 1/3 (V_a + V_b + V_c)$$

$$V_{a1} = 1/3 (V_a + aV_b + a^2V_c)$$

$$V_{a2} = 1/3 (V_a + a^2V_b + aV_c)$$

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan tidak simetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus pada saat terjadinya gangguan. Gangguan yang terjadi dapat dianalisa dengan menghubungkan-singkatkan semua sumber tegangan yang ada pada sistem dan mengganti titik (*node*) gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan di titik gangguan tersebut. Dengan menggunakan

metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negatif dan komponen urutan nol.

1. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah

Gangguan satu fasa ke tanah akan menyebabkan kenaikan arus pada fasa terganggu dan tegangan menjadi nol, sedangkan arus pada fasa lain menjadi nol yang diikuti dengan kenaikan tegangan pada fasa yang lain. Komponen urutan arus gangguan adalah :

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{V_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

Arus gangguan adalah :

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

$$I_f = 3I_{a0} = \frac{3V_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

2. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Tanah

Gangguan dua fasa ke tanah terjadi ketika dua buah fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat dengan tanah. Komponen urutan positif dari arus gangguan adalah :

$$I_{a1} = -\frac{V_a}{Z_1 + \frac{Z_2(Z_0 + 3Z_f)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_f}}$$

Komponen urutan negatif adalah :

$$I_{a2} = -\frac{V_a - Z_1 I_{a1}}{Z_2}$$

Komponen arus urutan nol adalah :

$$I_{a0} = -\frac{V_a - Z_1 I_{a1}}{Z_0 + 3Z_f}$$

Arus fasa adalah :

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

Arus gangguan :

$$I_f = I_n = I_b + I_c = 3I_{a0}$$

3. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Gangguan hubung singkat fasa ke fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol, dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah. Komponen $I_{a0} = 0$ arus urutan nol adalah :

Komponen urutan positif dan negatif arus gangguan adalah :

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{V_a}{Z_1 + Z_2 + 3Z_f}$$

Arus fasa adalah :

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

Arus gangguan :

$$I_f = I_{b1} + I_{b2} = \frac{\sqrt{3}V_a}{Z_1 + Z_2 + 3Z_f}$$

4. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Gangguan hubung singkat 3 fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen urutan positif saja.

Suatu gangguan menghadirkan sebuah perubahan struktur jaringan ekuivalen yang disebabkan oleh penambahan impedansi pada tempat gangguan, jaringan yang terganggu diatasi dengan metoda Thevenin yang menyatakan perubahan tegangan pada jaringan disebabkan oleh penambahan cabang (impedansi gangguan). Persamaan arus gangguannya adalah :

$$I_f = \frac{V_a}{Z_1 + Z_f}$$

Objek Penulisan

Objek dari penulisan ini adalah suatu sistem tenaga listrik yang mempunyai 3 bus seperti diperlihatkan pada gambar-1 berikut, dimana netral setiap generator diketanahkan melalui reaktor pembatas arus senilai 0,25 pu pada dasar 100 MVA. Data sistem diekspresikan dalam pu mengikuti dasar 100 MVA, sebagai berikut :

G_1 : 100 MVA, 20 kV, $X_1=0,15$ $X_2=0,15$
 $X_0=0,05$

G_2 : 100 MVA, 20 kV, $X_1=0,15$ $X_2=0,15$
 $X_0=0,05$

T_1 : 100 MVA, 20/220 kV, $X_1=0,10$ $X_2=0,10$
 $X_0=0,10$

T_2 : 100 MVA, 20/220 kV, $X_1=0,10$ $X_2=0,10$
 $X_0=0,10$

L_{12} : 100 MVA, 220 kV, $X_1=0,125$
 $X_2=0,125$ $X_0=0,30$

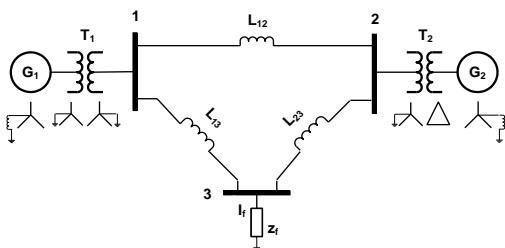
L_{13} : 100 MVA, 220 kV, $X_1=0,15$ $X_2=0,15$
 $X_0=0,35$

L_{23} : 100 MVA, 220 kV, $X_1=0,25$ $X_2=0,25$
 $X_0=0,7125$

Generator beroperasi tanpa beban pada rating tegangan dan rating frekwensi dengan tegangan emf dalam fasa.

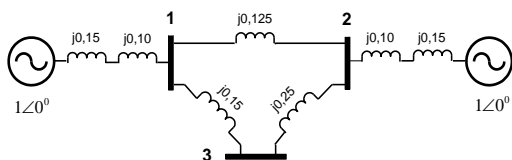
Dalam hal ini akan ditentukan arus gangguan untuk :

- gangguan tiga fasa seimbang pada bus 3 melalui impedansi gangguan $Z_f = j0,10$ pu.
- gangguan satu fasa ke tanah pada bus 3 melalui impedansi gangguan $Z_f = j0,10$ pu.
- gangguan fasa ke fasa pada bus 3 melalui impedansi gangguan $Z_f = j0,10$ pu.
- gangguan dua fasa ke tanah pada bus 3 melalui impedansi gangguan $Z_f = j0,10$ pu.



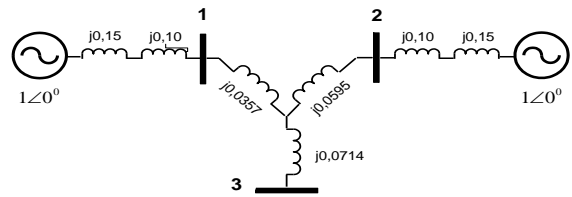
Gambar-1. Diagram satu garis

Prosedur penyelesaiannya sebagai berikut :
 Menggambar jaringan impedansi urutan positif dari diagram satu garis.



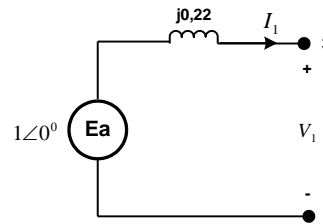
Gambar-2. Diagram impedansi urutan positif

Mencari impedansi Thevenin yang dipandang dari bus gangguan (bus 3) dengan mengubah bentuk segitiga oleh bus 123 ke ekuivalen bintang, seperti gambar berikut.

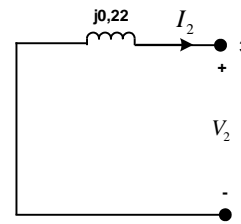


Gambar-3. Diagram ekuivalen impedansi urutan positif

Mengkombinasikan cabang paralel, impedansi Thevenin urutan positifnya.

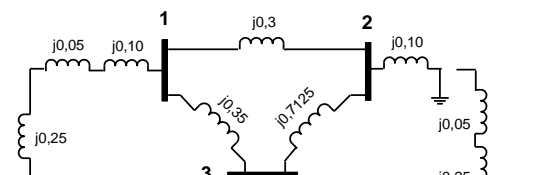


Gambar-4. Jaringan urutan positif
 Menentukan impedansi urutan negatif setiap elemen yang mana nilainya sama dengan impedansi urutan positifnya.

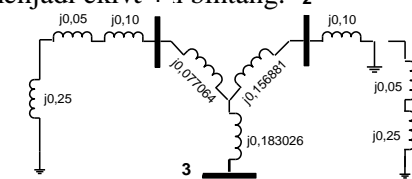


Gambar-5. Jaringan urutan negatif

Membangun jaringan urutan nol menurut hubungan belitan transformator.

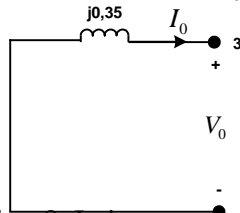


Gambar-6. Diagram impedansi urutan nol
 Menentukan impedansi Thevenin yang dipandang dari bus gangguan (bus 3), dengan mengubah bentuk segitiga bus 123 menjadi ekuivalen bintang.



Gambar-7. Diagram ekuivalen impedansi urutan nol

Mengkombinasikan cabang paralel, impedansi Thevenin urutan nolnya.



Gambar-8. Jaringan urutan nol

Menentukan arus gangguan untuk :

a. Gangguan tiga fasa seimbang pada bus 3, dengan asumsi tegangan emf yang dibangkitkan tanpa beban sama dengan 1,0 pu, maka arus gangguan :

$$I_f = \frac{V_a}{Z_1 + Z_f} = \frac{1,0}{j0,22 + j0,10} = -j3,125 \text{ pu}$$

$$= 3,125 \angle -90^\circ \text{ pu}$$

b. Gangguan satu fasa ke tanah pada bus 3, komponen urutan arus gangguan :

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{V_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

$$= \frac{1,0}{j0,22 + j0,22 + j0,35 + 3(j0,1)}$$

$$= -j0,9174 \text{ pu}$$

Arus pada fasa :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -j0,9174 \\ -j0,9174 \\ -j0,9174 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -j2,7523 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ pu}$$

Arus gangguan :

$$I_f = I_a = 3I_{a0} = -j2,7523 = 2,7523 \angle -90^\circ \text{ pu}$$

c. Gangguan fasa ke fasa pada bus 3,

Komponen arus urutan $I_{a0} = 0$ nol :

Komponen urutan positif dan urutan negatif dari arus gangguan :

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{V_a}{Z_1 + Z_2 + 3Z_f} = \frac{1,0}{j0,22 + j0,22 + 3(j0,1)}$$

$$= -j1,8519 \text{ pu}$$

Arus pada fasa :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -j1,8519 \\ j1,8519 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -3,2075 \\ 3,2075 \end{bmatrix}$$

Arus gangguan :

$$I_f = I_b = I_{b1} + I_{b2}$$

$$= \frac{\sqrt{3}V_a}{Z_1 + Z_2 + 3Z_f} = \frac{\sqrt{3}1,0}{j0,22 + j0,22 + 3(j0,1)}$$

$$= -j2,337 \text{ pu} = 2,337 \angle -90^\circ \text{ pu}$$

d. Gangguan dua fasa ke tanah pada bus 3, Komponen urutan positif dari arus gangguan:

$$I_{a1} = -\frac{V_a}{Z_1 + \frac{Z_2(Z_0 + 3Z_f)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_f}}$$

$$= -\frac{1,0}{j0,22 + \frac{j0,22(j0,35 + j0,3)}{j0,22 + j0,35 + 3(j0,1)}}$$

$$= -j2,6017 \text{ pu}$$

Komponen urutan negatif dari arus gangguan:

$$I_{a2} = -\frac{V_a - Z_1 I_{a1}}{Z_1} = \frac{1,0 - (j0,22)(-j2,6017)}{j0,22}$$

$$= j1,9438 \text{ pu}$$

Komponen urutan nol dari arus gangguan :

$$I_{a0} = -\frac{V_a - Z_1 I_{a1}}{Z_0 + 3Z_f} = -\frac{1,0 - (j0,22)(-j2,6017)}{j0,35 + 3(j0,1)}$$

$$= j0,6579 \text{ pu}$$

Arus pada fasa :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j0,6579 \\ -j2,6017 \\ -j1,9138 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 4,058 \angle 165,93^\circ \\ 4,058 \angle 14,07^\circ \end{bmatrix}$$

Arus gangguan :

$$I_f = I_b + I_c = 3I_{a0} = j1,9732$$

$$= 1,9732 \angle 90^\circ \text{ pu}$$

Penyusunan bahasa pemrograman Matlab guna menganalisis arus gangguan hubung singkat untuk sistem tenaga listrik di atas :

- Listrik Dengan Metode Thevenin*”, Jurnal Sistem Teknik Industri Vol. 6, No. 3, Juli 2005.
- Saadat Hadi, “*Power System Analysis*”, 3rd Edition, McGraw-Hill, 2011.
- Sahid, Drs., M.Sc., “*Panduan Praktis Matlab*”, Penerbit Andi Yogyakarta, Juni 2006.
- Savas Koc, Zfer Aygogmus. “*A Matlab/GUI Based Fault Simulation Tool for Power System Education*”, Mathematical and Computational Application, Vol.14, No.3, pp. 207-217, 2009 Association for Scientific Research.
- Stephen Marx., Dean Bender. “*An Introduction to Symmetrical Component, System Modeling and Fault Calculation*”, Washington State University Pullman, Washington.
- S.S. Vadhera., “*Power System Analysis & Stability*”, Khanna Publisher, Delhi, March 1981.
- Stag, G.W., El-Abiad, A.H., “*Computer Methods in Power System Analysis*”, Mc Graw-Hill, 1968