



# REINTEK

(REKAYASA INNOVASI TEKNOLOGI)

Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Terapan

Rancangan Pengaman Motor Induksi 3 Fasa Dengan Detector Tegangan Dan Arus Dengan Menggunakan Atmega 8535

**Hermansyah Alam (Institut Teknologi Medan)**

Penggunaan *Group Technology* Dengan Metode Hollier Untuk Menentukan Susunan Mesin Pada Tata Letak Fasilitas

**Riana Puspita (Institut Teknologi Medan)**

Pengaruh Jenis Agregat Kasar Dalam Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton

**Herri Mahyar (Politeknik Negeri Lhokseumawe)**

Analisa Kekuatan *Support Plate* Pada *Boiler Superheater Header* Dengan Menggunakan Simulasi Ansys 5.4

**Zulfikar (Kopertis Wilayah I)**

Analisa Biaya Perencanaan Pltm Aek Sirahar

**Ramayulis Nasution (Universitas Al-Wasliyah Medan)**

Kajian Penundaan Dipersimpangan Bersinyal Dengan Bundaran

**Rosalina (Politeknik Negeri Lhokseumawe)**

Rancang Bangun Alat Uji Kekuatan Helmet Sepeda Motor Metode Impak Jatuh Bebas

**Rahmat Kartolo Simanjuntak (Kopertis Wilayah I)**

Pembuatan Software Untuk Analisa Unjuk Kerja Menara Pendingin Menggunakan Bahasa Pemrograman Visual Basic 6.0

**Khairul Umurani, Rahmatullah (Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara)**

Analisa Perpatahan Fatik Material Baja Karbon Menengah Akibat Pengaruh Temperatur Tempering

**Franky Sutrisno (Institut Teknologi Medan)**

Dampak Perubahan Arus Kendaraan Setelah Diterapkan Sistem Rerouting Pada Persimpangan Jl. AH. Nasution dan Jl. Jamin Ginting- Medan

**Ida Deliyarti Agustina (Universitas Al Azhar Medan)**

Pengembangan Instrumen Penguji Unjuk Kerja Thermal Dan Penurunan Tekanan Terhadap Jarak *Baffle* Pada *APK Shell And Tube*

**Munawar Alfansuri, Khairul Ummurani (Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara)**

Analisis Gangguan Satu Konduktor Terbuka (*One-Conductor Open Fault*) Pada Sistem Tenaga Listrik

**Rimbawati, Muhammad Adam (Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara)**

Jurnal Reintek	Vol. 8	No. 1	Hlm. 1 - 100	Medan, Juni 2013	ISSN 1907-5030
-------------------	--------	-------	-----------------	------------------------	-------------------



**Daftar Isi**

Rancangan Pengaman Motor Induksi 3 Fasa Dengan Detector Tegangan Dan Arus Dengan Menggunakan Atmega 8535 (1 – 9)

**Hermansyah Alam (Institut Teknologi Medan)**

Penggunaan *Group Technology* Dengan Metode Hollier Untuk Menentukan Susunan Mesin Pada Tata Letak Fasilitas (10 – 15)

**Riana Puspita (Institut Teknologi Medan)**

Pengaruh Jenis Agregat Kasar Dalam Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton (16 - 21)

**Herri Mahyar (Politeknik Negeri Lhokseumawe)**

Analisa Kekuatan *Support Plate* Pada *Boiler Superheater Header* Dengan Menggunakan Simulasi Ansys 5.4 (22 – 27)

**Zulfikar (Kopertis Wilayah I)**

Analisa Biaya Perencanaan Pltm Aek Sirahar (28 – 35)

**Ramayulis Nasution (Universitas Al-Wasliyah Medan)**

Kajian Penundaan Dipersimpangan Bersinyal Dengan Bundaran (36 – 42)

**Rosalina (Politeknik Negeri Lhokseumawe)**

Rancang Bangun Alat Uji Kekuatan Helmet Sepeda Motor Metode Impak Jatuh Bebas (43 – 49)

**Rahmat Kartolo Simanjuntak (Kopertis Wilayah I)**

Pembuatan Software Untuk Analisa Unjuk Kerja Menara Pendingin Menggunakan Bahasa Pemrograman Visual Basic 6.0 (50 – 56)

**Khairul Umurani, Rahmatullah (Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara)**

Analisa Perpatahan Fatik Material Baja Karbon Menengah Akibat Pengaruh Temperatur Tempering (57 – 66)

**Franky Sutrisno (Institut Teknologi Medan)**

Dampak Perubahan Arus Kendaraan Setelah Diterapkan Sistem Rerouting Pada Persimpangan Jl. AH.Nasution dan Jl. Jamin Ginting- Medan (67 – 72)

**Ida Deliyarti Agustina (Universitas Al Azhar Medan)**

Pengembangan Instrumen Penguji Unjuk Kerja Thermal Dan Penurunan Tekanan Terhadap Jarak *Baffle* Pada *APK Shell And Tube* (73 – 82)

**Munawar Alfansuri, Khairul Ummurani (Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara)**

Analisis Gangguan Satu Konduktor Terbuka (*One-Conductor Open Fault*) Pada Sistem Tenaga Listrik (83 – 100)

**Rimbawati, Muhammad Adam (Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara)**



## ANALISIS GANGGUAN SATU KONDUKTOR TERBUKA (ONE-CONDUCTOR OPEN FAULT) PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

**Rimbawati, Muhammad Adam**

Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Email: [rimbawati.umsu@yahoo.co.id](mailto:rimbawati.umsu@yahoo.co.id)

### *Abstract*

*This study discusses the interference of the phase conductor open some disorders that occur may even pose a danger to the operator and the equipment of the power system. Open interference or often also called the series disorder caused by circumstances out of balance or symmetry on the line series impedance three-phase system disorders can be caused by an open circuit breaker did not open the third power the phase as a whole, ie only one or two phases are open while the phase others remain closed. Open circuit fault discussed in this study of an open channel interference. Matlab tools used to help analyze the sequence impedance matrix is positive, negative and zero. The results of the analysis of open interference in the line between buses 8 and 11 showed that the fault current mecapai 6.4363 pu, meaning that in the event of disruption to bus 11 is open, the fault current reaches 6.43 times greater than the nominal current, while the voltage on the bus to crash open from the calculation of 1.24 pu. This condition will impact the electric power system equipment will be damaged.*

**Key Word:** *Electrical Power System, Matlab, Open Fault Analysis.*

### 1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik dirancang dan dibangun secara cermat, agar dapat beroperasi dengan baik. Tetapi dalam operasinya, gangguan (*fault*) dapat saja terjadi. Gangguan tersebut dapat berupa hubung singkat maupun beban lebih yang dapat mengakibatkan kerusakan isolasi sehingga kerja peralatan listrik dan terganggunya stabilitas sistem sedangkan fungsi sistem tenaga listrik itu sendiri adalah membangkitkan daya listrik dan menyalurkannya ke konsumen yang membutuhkan. Oleh karena itu, suatu sistem tenaga listrik harus mampu beroperasi secara kontinyu seiring dengan kebutuhan tenaga listrik konsumen.

Beberapa gangguan terbuka yang terjadi bahkan lebih mungkin menimbulkan bahaya bagi orang yang menanganinya. Gangguan seri ini dalam bentuk umum disebabkan oleh keadaan tidak seimbang atau tidak simetri impedansi seri saluran. Gangguan hubung terbuka ini dapat berupa

gangguan satu saluran terbuka dan gangguan dua saluran terbuka. Pada sistem tiga fasa gangguan ini dapat disebabkan oleh pemutus daya yang tidak membuka ketiga fasanya secara keseluruhan, misal hanya satu atau dua fasa saja yang terbuka sedangkan fasa yang lainnya tetap tertutup.

Cara yang digunakan untuk mengurangi atau memperkecil dampak dari gangguan tersebut yaitu dengan memasang suatu sistem proteksi yang baik. Setiap sistem proteksi dituntut memiliki keandalan yang tinggi, selektif, operasi yang cepat dan memiliki sifat diskriminasi yang baik. Selain itu suatu sistem proteksi juga harus memperhatikan faktor ekonomis, semakin mahal harga alat yang dilindungi semakin mahal pula harga peralatan proteksi yang terpasang. Peralatan-peralatan proteksi yang terpasang pada suatu sistem tenaga listrik, terletak mulai dari unit-unit pembangkitan, saluran transmisi, jaringan distribusi primer, jaringan distribusi skunder dan konsumen. Dimana peralatan-peralatan proteksi tersebut bekerja sesuai dengan fungsinya masing-masing tergantung besaran penggerak dari



rele proteksi yang terpasang. Sebagai contoh rele yang bekerja berdasarkan besaran penggerak berupa tegangan yaitu: Rele tegangan lebih (*Over voltage Relay*), berupa arus yaitu: Rele arus lebih (*Over Current Relay*), berupa impedansi (*Impedance Relay*) dan sebagainya. Salah satu bagian terpenting dari sistem tenaga listrik yang perlu dilindungi yaitu sistem tenaga listrik yang terhubung dengan konsumen dimana kotinyuitas penyaluran daya listrik harus tetap terjaga.

Klasifikasi Gangguan pada sistem tenaga listrik terdiri atas gangguan Hubung Singkat dan Gangguan Konduktor Terbuka (*Open Conductor*).

Gangguan Hubung Singkat terdiri atas :

1. Gangguan Simetris Yaitu Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa
2. Gangguan Tidak Simetris, Yaitu:
  - a. Gangguan Satu Fasa Ketanah
  - b. Gangguan Dua Fasa Ketanah
  - c. Gangguan Dua Fasa

Gangguan konduktor terbuka (*Open Conductor*) terdiri atas :

1. Gangguan Satu konduktor Terbuka: Yaitu gangguan salah satu konduktor terbuka tanpa menyentuh tanah.
2. Gangguan Dua Konduktor Terbuka : Yaitu gangguan dua konduktor terbuka tanpa menyentuhan tanah

Pada kondisi salah satu fasa terbuka pada rangkaian seimbang tiga fasa maka akan terjadi ketidakseimbangan dan arus tidak simetris mengalir. Demikian pula jenis tak seimbang akan terjadi saat ada dua dari tiga fasa terbuka dimana fasa ke tiga tertutup. Gangguan penghantar terbuka dapat disebabkan oleh kerusakan saluran transmisi yang diakibatkan oleh kondisi alam seperti badai ataupun terjadi kecelakaan. Sehingga rangkaian yang tidak mengalami gangguan akan mengalir arus beban lebih. Pengaman akan membuka sedangkan untuk fasa yang lain pengaman tidak bekerja.

Berdasarkan uraian diatas maka penelitian ini bertujuan untuk :1) Menjelaskan model dan cara melakukan analisis gangguan satu konduktor terbuka. 2) Menentukan besaran arus gangguan satu konduktor terbuka dari sistem tiga fasa.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Teori Komponen Simetri

Pada tahun 1918 salah satu cara yang mudah digunakan untuk rangkaian fasa banyak tak seimbang telah dibahas oleh C.L Fortescue dihadapan suatu sidang *American Institute Of Electrical Engineers*. Karya Fortescue membuktikan bahwa suatu sistem tak seimbang yang terdiri dari n phasor yang berhubungan dapat diuraikan menjadi n buah sistem dengan phasor seimbang yang dinamakan komponen-komponen simetri (*symmetrical components*) dari phasor-phasor aslinya. Tiga phasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga phasor yang seimbang yaitu :

1. komponen urutan positif (*positive components*) yang terdiri dari tiga phasor yang sama besarnya, 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 phasor yang mana besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar  $120^\circ$ , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan phasor aslinya.
3. komponen urutan nol yang terdiri dari tiga phasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara yang satu dengan yang lain.

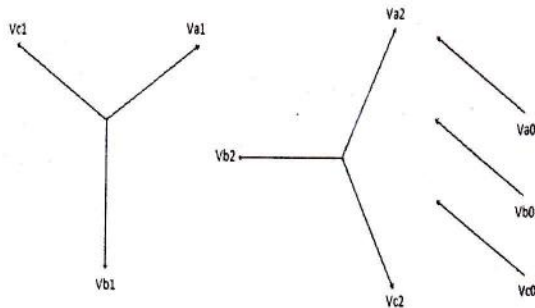
Notasi fasa banyak (tiga fasa) disimbolkan dengan huruf a,b dan c. Untuk menyebutkan tegangan fasa a dinyatakan dengan  $V_a$ , simbol urutan positif, negatif dan nol secara berturut-turut dinyatakan dengan angka 1, 2 dan 0 dan komponen-komponen tersebut dinyatakan dengan subskrip. Tegangan fasa a urutan positif ditulis dengan  $V_{a1}$  tegangan fasa b urutan negatif ditulis dengan  $V_{b2}$  demikian pula untuk notasi tegangan dan urutan yang lainnya.

Karena setiap phasor tak seimbang, yang asli adalah jumlah komponen phasor asli yang dinyatakan dalam suku-suku komponen ditulis dalam persamaan:

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \\ V_b &= V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \\ V_c &= V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \end{aligned} \quad (1)$$

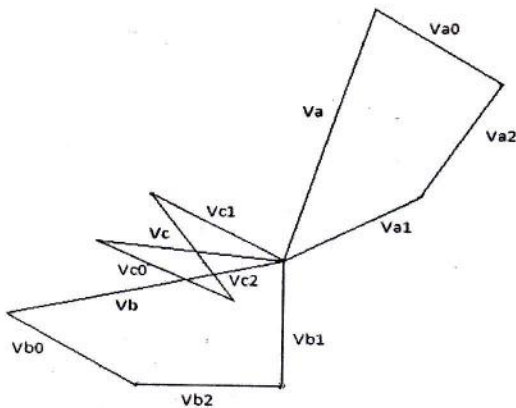


Sintesis himpunan tiga fasor tak seimbang dari tiga komponen himpunan komponen simetris dinyatakan dengan gambar vektor sebagai berikut:



Gambar 1. Tiga himpunan phasor tak seimbang

Penjumlahan secara grafis komponen-komponen pada gambar 1 diatas untuk mendapatkan tiga phasor tak seimbang ditunjukkan pada gambar sebagai berikut:



Gambar 2. Penjumlahan secara vektoris komponen-komponen pada gambar 1

## 2.1 Impedansi Urutan Komponen Utama Sistem Tenaga Listrik

### Jaringan Urutan Generator tak Berbeban

Rel pedoman untuk jaringan urutan positif dan negatif adalah netral generator tersebut. Bagi komponen urutan positif dan negatif itu sendiri netral generator berada pada potensial tanah jika diantara tanah terdapat sambungan yang mempunyai impedansi tertentu atau nol, karena

sambungan tersebut tidak akan mengalirkan arus urutan positif atau negatif.

Impedansi urutan nol total dimana mengalir arus  $I_{a0}$  adalah

$$Z_0 = 3Z_n + Z_{g0} \quad (2)$$

Persamaan untuk komponen jatuh tegangan dari titik a phasa ke pedoman adalah

$$V_{a1} = E_a - I_{a1} \cdot Z_1$$

$$V_{a2} = - I_{a2} Z_2 \quad (3)$$

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

### Jaringan Urutan Mesin Sinkron

Pada umumnya, impedansi urutan positif, negatif dan nol dari mesin sinkron mempunyai harga yang berlainan.

Impedansi urutan positif

$X_d'$  = reaktansi sub-peralihan

$X_d''$  = reaktansi peralihan

$X_d$  = reaktansi sinkron

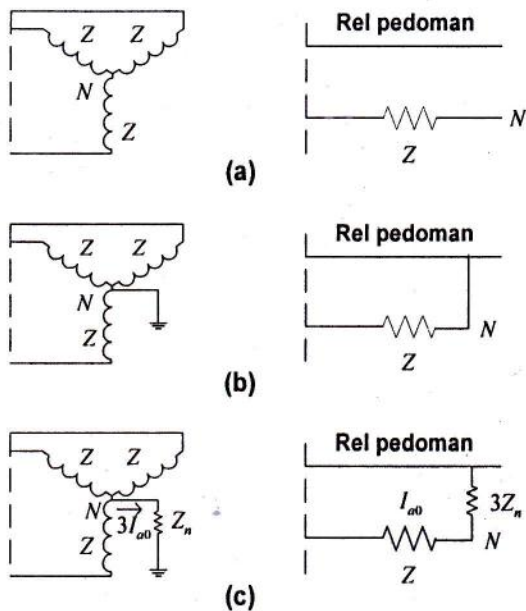
Impedansi urutan negatif

$$Z_2 = jX_2 = j \left( \frac{X_d'' + X_q''}{2} \right) \quad (4)$$

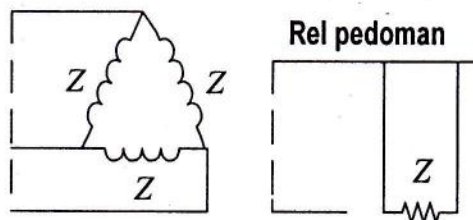
pada mesin sinkron dengan rotor bulat, reaktansi sub-peralihan sama dengan reaktansi urutan negatif. Impedansi urutan nol mempunyai harga yang sangat bervariasi yang tergantung pada "pitch" dari kumparan jangkar. Harganya jauh lebih kecil dari impedansi urutan positif.

pada gambar 3 dan gambar 4 berikut ini Jaringan Urutan Beban

Jaringan urutan nol untuk beban yang terhubung Y dan  $\Delta$  dapat dilihat.



Gambar 3 Jaringan urutan nol beban yang terhubung Y



Gambar 4. Beban yang terhubung  $\Delta$  dan jaringan urutan nolnya

### Jaringan Urutan Transformator

Impedansi urutan positif dan negatif dari transformator sama, impedansi urutan nol sedikit berbeda (besar) dari impedansi urutan positif dan negatif, biasanya dianggap sama dengan impedansi urutan positif dan negatif

$$Z_0 = Z_1 = Z_2 = Z_{trafo} \quad (5)$$

Ada atau tidaknya aliran arus urutan nol tergantung pada hubungan belitan transformator. Keterangan masing-masing rangkaian ekuivalen untuk masing-masing hubungan adalah sebagai berikut:

LAMBANG	DIAGRAM-DIAGRAM HUBUNGAN	RANGKAIAN EKIVALEN URUTAN-NOL

Gambar 5. Rangkaian ekuivalen urutan nol Bangku transformator 3 fasa

### Jaringan Urutan Saluran Transmisi

Saluran transmisi "untransposed"

$$[V_{012}] = [A]^{-1} [Z_{abc}] [A] \quad (2.19)$$

$$[Z_{012}] = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[Z_{012}] = \begin{bmatrix} (Z_{s0} + 2Z_{m0}) & (Z_{s2} - Z_{m2}) & (Z_{s1} - Z_{m1}) \\ (Z_{s1} - Z_{m1}) & (Z_{s0} - 2Z_{m2}) & (Z_{s2} + 2Z_{m2}) \\ (Z_{s2} - Z_{m2}) & (Z_{s1} + Z_{m1}) & (Z_{s0} - Z_{m0}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

dimana

$$\begin{aligned} Z_{s0} &= \text{"self impedance"} \text{ urutan nol} \\ &= \frac{1}{3} (Z_{aa} + Z_{bb} + Z_{cc}) \\ Z_{s1} &= \text{"self impedance"} \text{ urutan positif} \\ &= \frac{1}{3} (Z_{aa} + Z_{bb} + a^2 Z_{cc}) \end{aligned}$$



$$Z_{s2} = \text{"self impedance"} \text{ urutan negatif}$$

$$= \frac{1}{3} (Z_{aa} + a^2 Z_{bb} + Z_{cc})$$

$$Z_{m0} = \text{"mutual impedance"} \text{ urutan nol}$$

$$= \frac{1}{3} (Z_{bc} + Z_{ca} + Z_{ab})$$

$$Z_{m1} = \text{"mutual impedance"} \text{ urutan positif}$$

$$= \frac{1}{3} (Z_{bc} + aZ_{ca} + a^2 Z_{ab})$$

$$Z_{m2} = \text{"mutual impedance"} \text{ urutan negatif}$$

$$= \frac{1}{3} (Z_{bc} + a^2 Z_{ca} + aZ_{ab})$$

Saluran transmisi "transposed"

$$[Z_{012}] = \begin{bmatrix} Z_{00} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{11} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[Z_{012}] = \begin{bmatrix} (Z_s + 2Z_m) & 0 & 0 \\ 0 & (Z_s - Z_m) & 0 \\ 0 & 0 & (Z_s - Z_m) \end{bmatrix} \quad (9)$$

dimana

$$Z_0 = \text{impedansi urutan nol}$$

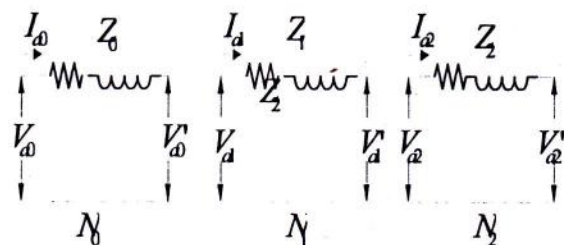
$$= Z_{00} = Z_0 + 2Z_m$$

$$Z_1 = \text{impedansi urutan positif}$$

$$= Z_{11} = Z_s - Z_m$$

$$Z_2 = \text{impedansi urutan negatif}$$

$$= Z_{22} = Z_s - Z_m$$



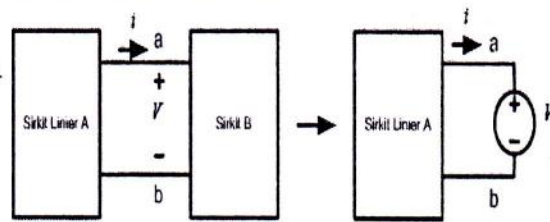
Gambar 6. Impedansi urutan saluran transmisi

Jika tidak terdapat "mutual coupling" antara impedansi urutan nol, positif, dan negatif.

### Teorema Thevenin

Pada teorema ini berlaku bahwa : Suatu rangkaian listrik dapat disederhanakan dengan hanya terdiri dari satu buah sumber tegangan yang dihubungkan dengan sebuah tahanan ekivalennya pada dua terminal yang diamati.

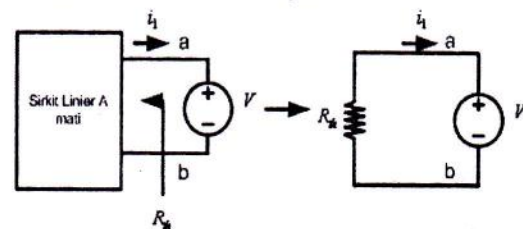
Tujuan sebenarnya dari teorema ini adalah untuk menyederhanakan analisis rangkaian, yaitu membuat rangkaian pengganti yang berupa sumber tegangan yang dihubungkan seri dengan suatu resistansi ekivalennya.



Gambar 7. Rangkaian thevenin sirkuit B dengan sumber tegangan

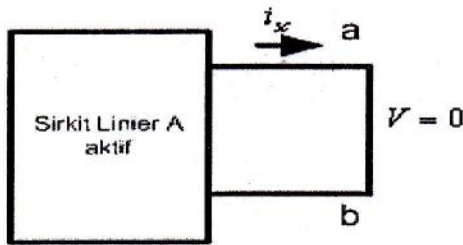
Pada gambar diatas, dengan terorema substitusi kita dapat melihat rangkaian sirkuit B dapat diganti dengan sumber tegangan yang bernilai sama saat arus melewati sirkuit B pada dua terminal yang kita amati yaitu terminal a-b. Setelah kita dapatkan rangkaian substitusinya, maka dengan menggunakan teorema superposisi didapatkan bahwa :

1. Ketika sumber tegangan V aktif/bekerja maka rangkaian pada sirkuit linier A tidak aktif (semua sumber bebasnya mati diganti tahanan dalamnya), sehingga didapatkan nilai resistansi ekivalennya.



Gambar 8. Rangkaian thevenin sirkuit A tidak aktif diganti dengan tahanan dalam

2. Ketika sirkit linier A aktif/bekerja maka pada sumber tegangan bebas diganti dengan tahanan dalamnya yaitu nol atau rangkaian *short circuit*.



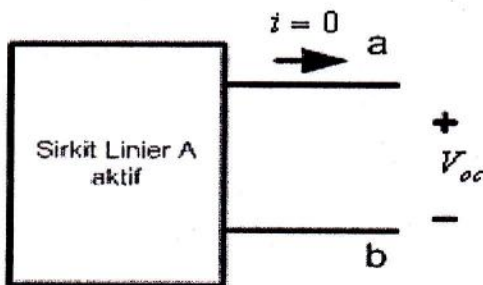
Gambar 9. Rangkaian *thevenin*, rangkaian *short circuit*

Dengan menggabungkan kedua keadaan tadi (teorema superposisi) maka didapatkan:

$$i = i_1 + i_{sc}$$

$$i = -\frac{V}{R_{th}} + i_{sc} \quad \text{KK} \quad (10)$$

Pada saat terminal a-b di open circuit (OC), maka  $i$  yang mengalir sama dengan nol ( $i = 0$ ), sehingga :



Gambar 10. Rangkaian *thevenin* open circuit

$$i = -\frac{V}{R_{th}} + i_{sc}$$

$$0 = -\frac{V_{ee}}{R_{th}} + i_{sc}$$

$$V_{ee} = i_{sc} \cdot R_{th} \quad \text{KK} \quad (11)$$

Dari persamaan (10) dan (11), didapatkan :

$$i = -\frac{V}{R_{th}} + i_{sc} = -\frac{V}{R_{th}} + i_{sc} \cdot \frac{R_{th}}{R_{th}}$$

$$= -\frac{1}{R_{th}} (-V + i_{sc} \cdot R_{th})$$

$$R_{th} = -V + V_{ee}$$

$$V = V_{ee} - i \cdot R_{th}$$

Cara memperoleh resistansi penggantinya ( $R_{th}$ ) adalah dengan mematikan atau menonaktifkan semua sumber bebas pada rangkaian linier A (untuk sumber tegangan tahanan dalamnya = 0 atau rangkaian *short circuit* dan untuk sumber arus tahanan dalamnya =  $\infty$  atau rangkaian *open circuit*).

Jika pada rangkaian tersebut terdapat sumber *dependent* atau sumber tak bebasnya, maka untuk memperoleh resistansi penggantinya, terlebih dahulu kita mencari arus hubung singkat ( $i_{sc}$ ), sehingga nilai resistansi penggantinya ( $R_{th}$ ) didapatkan dari nilai tegangan pada kedua terminal tersebut yang di-*open circuit* dibagi dengan arus pada kedua terminal tersebut yang di-*short circuit*.

Langkah-langkah penyelesaian dengan teorema Thevenin :

1. Cari dan tentukan titik terminal a-b dimana parameter yang ditanyakan.
2. Lepaskan komponen pada titik a-b tersebut, *open circuit* kan pada terminal a-b kemudian hitung nilai tegangan di titik a-b tersebut ( $V_{ab} = V_{th}$ ).
3. Jika semua sumbernya adalah sumber bebas, maka tentukan nilai tahanan diukur pada titik a-b tersebut saat semua sumber di non aktifkan dengan cara diganti dengan tahanan dalamnya (untuk sumber tegangan bebas diganti rangkaian *short circuit* dan untuk sumber arus bebas diganti dengan rangkaian *open circuit*) ( $R_{ab} = R_{th}$ ).
4. Jika terdapat sumber tak bebas, maka untuk mencari nilai tahanan pengganti Theveninnya didapatkan dengan cara

$$R_{th} = -\frac{V_{th}}{i_{sc}}$$

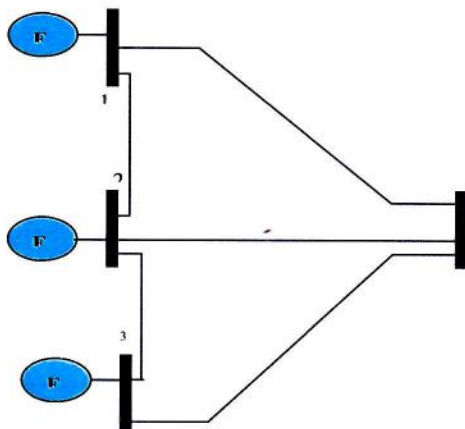


- Untuk mencari  $I_{sc}$  pada terminal titik a-b tersebut dihubung singkatkan dan dicari arus yang mengalir pada titik tersebut ( $I_{ab} = I_{sc}$ ).
- Gambarkan kembali rangkaian pengganti Theveninnya, kemudian pasang kembali komponen yang tadi dilepas dan hitung parameter yang ditanyakan.

### Diagram Segaris Sistem Tenaga Listrik

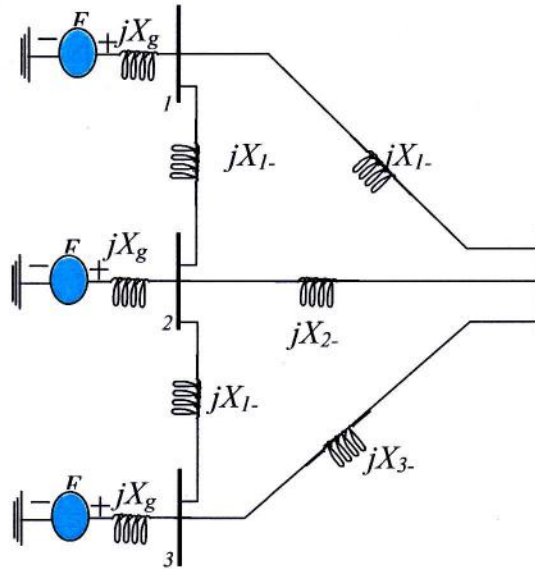
Hubungan titik-titik sambungan (bus) pada rangkaian yang terhubung dengan komponen R, L atau C yang dihubungkan ujung-ujung komponennya disebut dengan *nodes* (simpul-simpul). Perumusan yang sistematis dari persamaan yang ditentukan pada simpul-simpul suatu rangkaian dengan menerapkan hukum arus *khirchoff* merupakan analisis dasar yang berguna untuk beberapa masalah penyelesaian sistem tenaga listrik menggunakan komputer. Biasanya masalah menjadi lebih sederhana dengan mengamati titik-titik simpul yang menghubungkan pada masing-masing elemen yang terdapat pada diagram segaris sistem tenaga listrik.

Diagram reaktansi yang akan dibuat dimodel melalui diagram segaris sistem tenaga listrik dicontohkan dengan model diagram segaris pada gambar 11 Generator dihubungkan pada tiap-tiap bus. Untuk kebutuhan analisis seluruh mesin dan transformator pada tiap bus tersebut digambarkan dalam satu mesin dan digambarkan sebagai satu *emf* terhubung dengan saluran transmisi ditunjukkan pada gambar berikut ini.



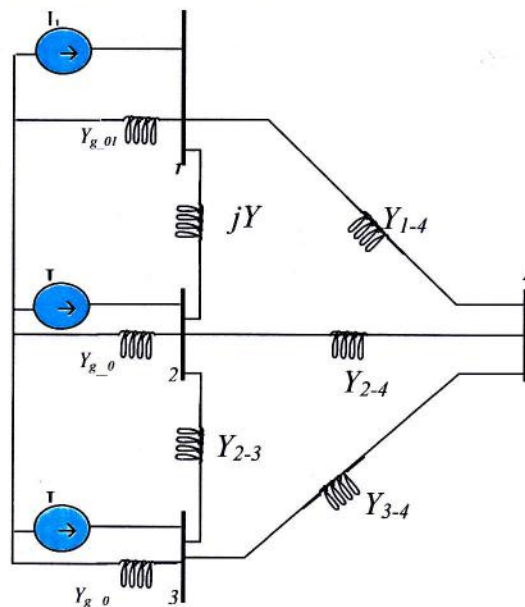
Gambar 11. *One Line Diagram* Sistem Tenaga Listrik

Perubahan model diagram segaris ke bentuk diagram reaktansi dengan nilai reaktansi yang dinyatakan dalam  $jX$ . Substrik tiap-tiap penomoran mengilustrasikan reaktansi tiap-tiap elemen yang terhubung pada bus, ditunjukkan pada gambar 12



Gambar 12. *One Line Diagram* Reaktansi

Diagram segaris dengan nilai reaktansi jika digambarkan kembali dengan *emf* dan impedansi seri yang dihubungkan ke tiap-tiap bus diubah dengan *emf equivalen* dan admitansi *shunt equivalen* seperti ditunjukkan pada gambar 13 berikut:



Gambar 13. *One Line Diagram* Admitansi



Persamaan-persamaan *Node Voltage* diagram Admitansi dari gambar diagram admitansi dapat dinyatakan dengan matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Arus pada Bus:

$$I_{BUS} = Y_{BUS} V_{BUS}$$

$$I_{BUS} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} \text{ Arus masuk Bus} \quad (13)$$

$$V_{BUS} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Persamaan (15) menunjukkan matrik admitansi Bus ( $Y_{BUS}$ ) yang sedangkan matrik impedansi Bus ( $Z_{BUS}$ ) ditentukan sebagai berikut:

$$Z_{BUS} = [Y_{BUS}]^{-1} \quad (16)$$

Elemen diagonal untuk matrik admitansi bus dapat ditentukan dengan formulasi:

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^m y_{ij} \quad j \neq i \quad (17)$$

Untuk kondisi gambar rangkaian, elemen off diagonalnya adalah:

$$Y_{11} = y_{g01} + y_{12} + y_{14}$$

$$Y_{22} = y_{g02} + y_{12} + y_{23} + y_{24} \quad (18)$$

$$Y_{33} = y_{g03} + y_{23} + y_{34}$$

$$Y_{44} = y_{14} + y_{24} + y_{34}$$

Untuk Elemen *Off Diagonal* adalah negatif admitansi antara bus:

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_{12}$$

$$Y_{24} = Y_{42} = 0 \quad (19)$$

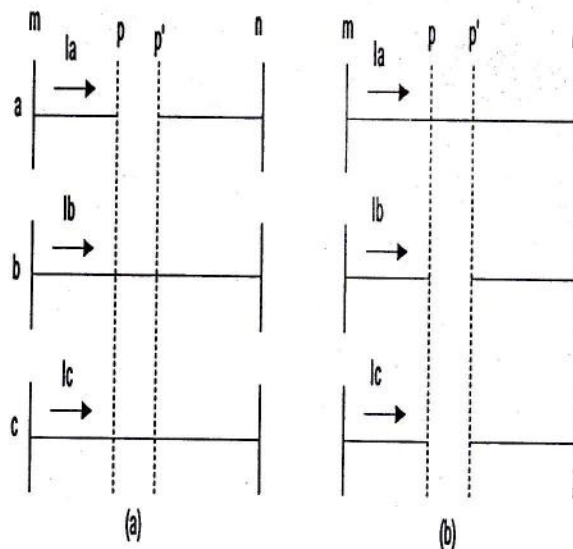
$$Y_{32} = Y_{23} = -y_{22}$$

$$Y_{34} = Y_{43} = -y_{34}$$

$$Y_{14} = Y_{41} = 0$$

### Model Analisis Rangkaian Urutan gangguan Terbuka

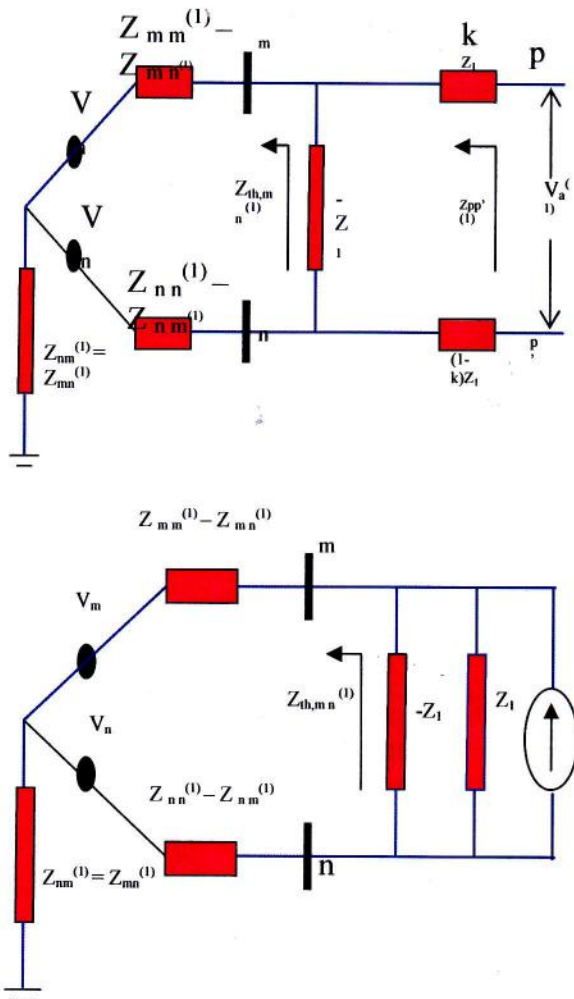
Gangguan saluran satu fasa terbuka ditunjukkan pada gambar 13 (a) dari sistem tiga fasa masing-masing terdiri dari  $I_a, I_b, I_c$  dan untuk kondisi dua saluran mengalami gangguan terbuka yaitu fasa a dan b ditunjukkan pada gambar (b). Dimana pp' pada sistem tersebut menggambarkan suatu kondisi saluran terputus.



Gambar 13.(a) Gangguan saluran satu fasa terbuka, (b) Dua saluran fasa terbuka

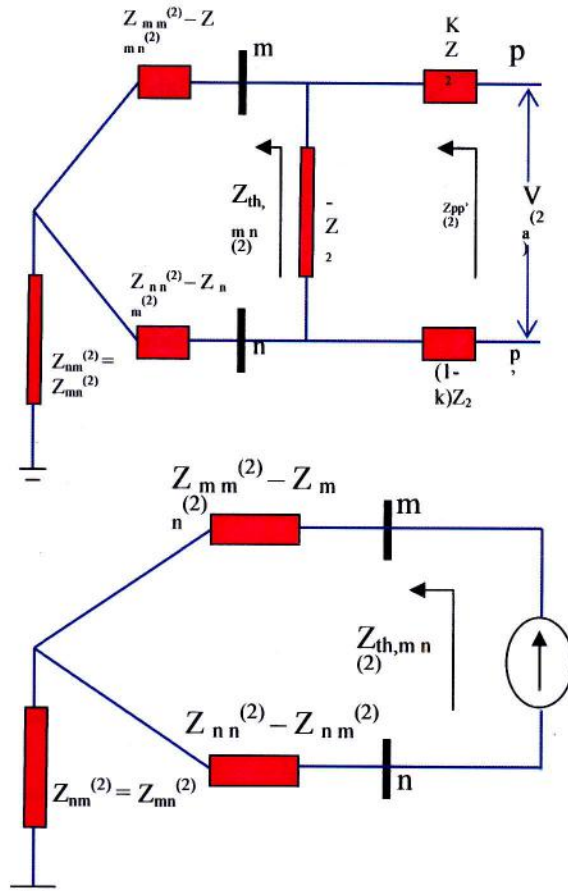


Pada gambar 14 dibawah ini akan ditunjukkan rangkaian urutan positif, negatif dan nol dengan menggunakan Matriks Impedansi Bus dengan ( $Z_{bus}^{(0)}$ ,  $Z_{bus}^{(1)}$ ,  $Z_{bus}^{(2)}$ ) dalam menganalisa gangguan saluran terbuka.



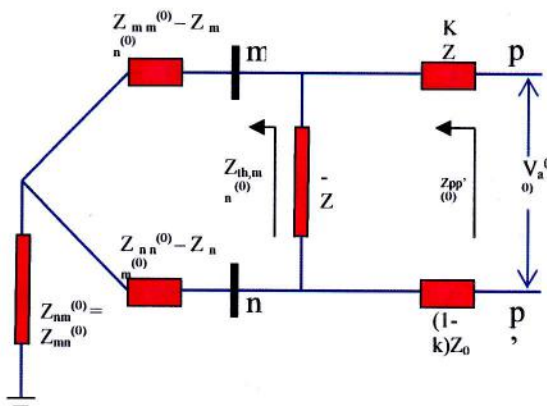
Gambar 14 . Rangkaian *equivalen thevenim* urutan positif dari gangguan saluran terbuka pada p dan p'

Untuk kondisi Rangkaian *equivalen thevenim* urutan negatif dari gangguan saluran terbuka pada p dan p' ditunjukkan pada gambar berikut ini:

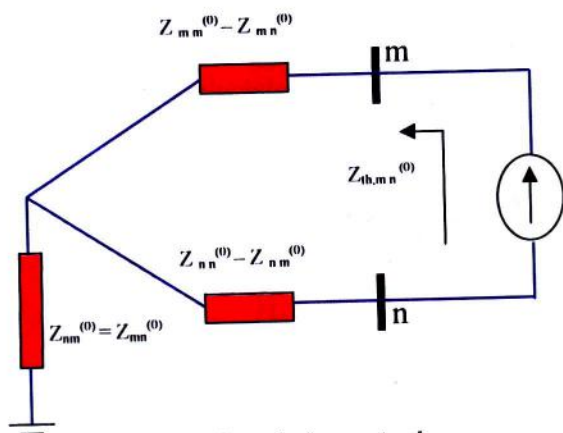


Gambar 15. Rangkaian *equivalen thevenim* urutan negatif dari gangguan saluran terbuka pada p dan p'

Rangkaian *equivalen thevenim* urutan nol dari gangguan saluran terbuka pada p dan p' ditunjukkan pada gambar 16 berikut ini :







Gambar 16. Rangkaian *equivalen thevenin* urutan nol dari gangguan saluran terbuka pada p dan p'

Dari gambar diatas dapat dianalisa tegangan gangguan saluran terbuka dari p ke p' adalah :

$$\begin{aligned}
 V \text{ Gangguan terbuka dari } p \text{ ke } p' \\
 &= \frac{-Z_1}{Z_{th, mn}^{(1)} - Z_1} (V_m - V_n) \quad (20) \\
 &= \frac{Z_{pp'}^{(1)}}{Z_1} (V_m - V_n)
 \end{aligned}$$

Sebelum mengalami gangguan hubungan terbuka, Arus  $I_{mn}$  pada fasa a dari saluran m-n urutan positif diberikan :

$$I_{mn} = \frac{V_m - V_n}{Z_1} \quad (21)$$

Substitusi persamaan (20) dan (21) akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V \text{ gangguan terbuka dari } p \text{ ke } p' \\
 &= I_{mn} Z_{pp'}^{(1)} \quad (22)
 \end{aligned}$$

dari gambar rangkaian *equivalen* masing-masing urutan antara titik p dan p' akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z_{pp'}^{(1)} &= Z_{pp'}^{(2)} = kZ_1 + \frac{Z_{th, mn}^{(1)} (-Z_1)}{Z_{th, mn}^{(1)} - Z_1} + (1-k)Z_1 \\
 &= \frac{-Z_1^2}{Z_{th, mn}^{(1)} - Z_1} \\
 Z_{pp'}^{(1)} &= Z_{pp'}^{(2)} \\
 &= \frac{-Z_1^2}{Z_{nn}^{(1)} + Z_{mm}^{(1)} - 2Z_{nm}^{(1)} - Z_1} \quad (23)
 \end{aligned}$$

Untuk urutan nol persamaannya adalah:

$$\begin{aligned}
 Z_{pp'}^{(0)} &= \frac{-Z_0^2}{Z_{th, mn}^{(2)} - Z_0} \\
 Z_{pp'}^{(0)} &= \frac{-Z_0^2}{Z_{nn}^{(0)} + Z_{mm}^{(0)} - 2Z_{nm}^{(0)} - Z_1} \quad (24)
 \end{aligned}$$

### Gangguan Satu Konduktor Terbuka

Pada gambar 13 (a) memperlihatkan fasa a terbuka, sehingga arus  $I_a=0$  dan sehingga diperoleh persamaan :

$$I_a^{(0)} + I_a^{(1)} + I_a^{(2)} = 0 \quad (25)$$

dimana  $I_a^{(0)}, I_a^{(1)}$  dan  $I_a^{(2)}$  adalah komponen simetri arus jaringan  $I_a, I_b$  dan  $I_c$  dari titik p ke titik p'. Fasa b dan c tertutup, tegangan drop adalah

$$V_{pp'b}=0 \quad \text{dan} \quad V_{pp'c}=0 \quad (26)$$

Untuk mencari tegangan drop terbuka melalui titik gangguan dalam komponen dengan persamaan.

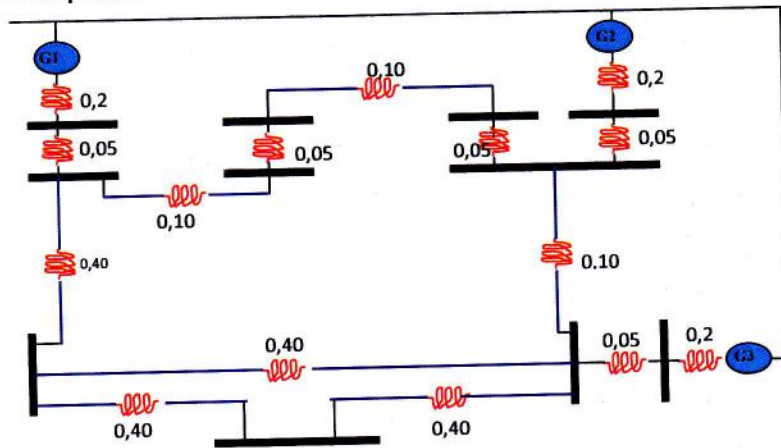
$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{pp'a} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} V_{pp'a} \\ V_{pp'a} \\ V_{pp'a} \end{bmatrix} \quad (27)$$





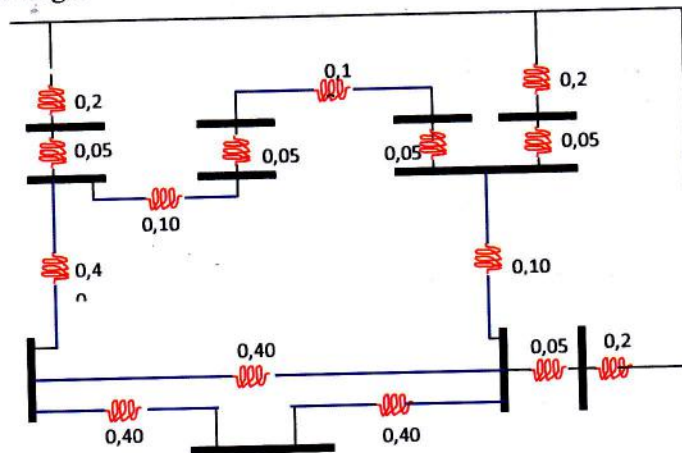


### Rangkaian Urutan positif



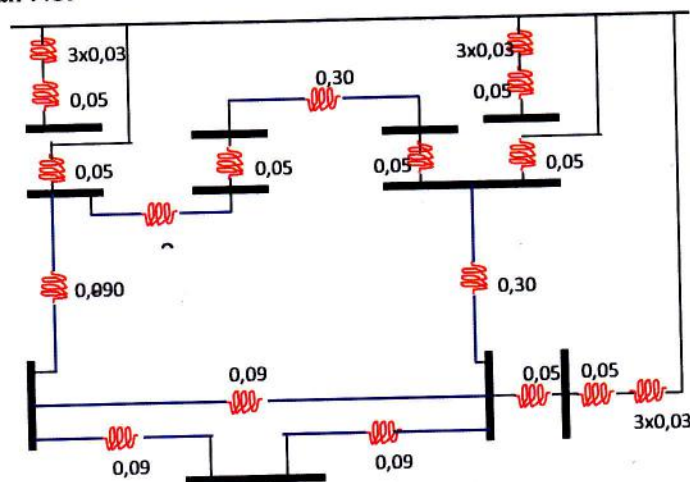
Gambar 20. Diagram segaris rangkaian urutan positif

### Rangkaian Urutan Negatif



Gambar 21. Diagram segaris rangkaian urutan negatif

### Rangkaian Urutan Nol



Gambar 22. Diagram segaris rangkaian urutan nol



$$\begin{aligned}
&y_{11}=1/0.2+1/0.05; y_{12}=1/0.05; \\
&y_{22}=1/0.05+1/0.10+1/0.40; \\
&y_{23}=1/0.10; y_{211}=1/0.40; \\
&y_{33}=1/0.10+1/0.05; y_{34}=1/0.05; \\
&y_{44}=1/0.05+1/0.10; y_{45}=1/0.10; \\
&y_{55}=1/0.10+1/0.05; y_{56}=1/0.05; \\
&y_{66}=1/0.05+1/0.05+1/0.10; \\
&y_{67}=1/0.05; y_{68}=1/0.10; \\
&y_{77}=1/0.2+1/0.05+1/0.05; \\
&y_{88}=1/0.10+1/0.05+1/0.40+0.40; \\
&y_{89}=1/0.05; y_{810}=1/0.40; y_{811}=1/0.40; \\
&y_{99}=1/0.2+1/0.05+1/0.05; \\
&y_{1010}=1/0.40+1/0.40; y_{1011}=1/0.40; \\
&y_{11\_11}=1/0.40+1/0.40+1/0.40; \\
&y_{13}=0; y_{14}=0; y_{15}=0; y_{16}=0; y_{17}=0; y_{18}=0; y_{19}=0; y_{1\_10}=0; y_{1\_11}=0; \\
&y_{24}=0; y_{45}=0; y_{26}=0; y_{27}=0; y_{28}=0; y_{29}=0; y_{2\_10}=0; y_{2\_11}=0; \\
&y_{35}=0; y_{36}=0; y_{37}=0; y_{38}=0; y_{39}=0; y_{3\_10}=0; y_{3\_11}=0; \\
&y_{46}=0; y_{47}=0; y_{48}=0; y_{49}=0; y_{4\_10}=0; y_{4\_11}=0; \\
&y_{57}=0; y_{58}=0; y_{59}=0; y_{5\_10}=0; y_{5\_11}=0; \\
&y_{69}=0; y_{6\_10}=0; y_{6\_11}=0; \\
&y_{78}=0; y_{79}=0; y_{7\_10}=0; y_{7\_11}=0; \\
&y_{9\_10}=0; y_{9\_11}=0; \\
&y_{21}=y_{12}; y_{31}=y_{13}; y_{41}=y_{14}; y_{51}=y_{15}; y_{61}=y_{16}; y_{71}=y_{17}; y_{81}=y_{18}; y_{91}=y_{19}; \\
&y_{10\_1}=y_{1\_10}; y_{11\_1}=y_{1\_11}; y_{32}=y_{23}; y_{42}=y_{24}; y_{52}=y_{25}; y_{62}=y_{26}; y_{72}=y_{27}; \\
&y_{82}=y_{28}; y_{92}=y_{29}; y_{10\_2}=y_{2\_10}; y_{11\_2}=y_{2\_11}; y_{43}=y_{34}; y_{53}=y_{35}; y_{63}=y_{36}; \\
&y_{73}=y_{37}; y_{83}=y_{38}; y_{93}=y_{39}; y_{10\_3}=y_{3\_10}; y_{11\_3}=y_{3\_11}; y_{54}=y_{45}; y_{64}=y_{46}; \\
&y_{74}=y_{47}; y_{84}=y_{48}; y_{94}=y_{49}; y_{10\_4}=y_{4\_10}; y_{11\_4}=y_{4\_11}; y_{65}=y_{56}; y_{75}=y_{57}; y_{85}=y_{58}; \\
&y_{95}=y_{59}; y_{10\_5}=y_{5\_10}; y_{11\_5}=y_{5\_11}; y_{76}=y_{67}; y_{86}=y_{68}; y_{96}=y_{69}; y_{10\_6}=y_{6\_10}; \\
&y_{11\_6}=y_{6\_11}; y_{87}=y_{78}; y_{97}=y_{79}; y_{10\_7}=y_{7\_10}; y_{11\_7}=y_{7\_11}; y_{98}=y_{89}; y_{10\_8}=y_{8\_10}; \\
&y_{11\_8}=y_{8\_11}; y_{10\_9}=y_{9\_10}; y_{11\_9}=y_{9\_11}; y_{11\_10}=y_{10\_11};
\end{aligned}$$

Dari Diagram Impedansi diatas dapat dihitung Matriks Admitansi Bus sebagai berikut:

$$y = \begin{bmatrix}
y_{11} & -y_{12} & -y_{13} & -y_{14} & -y_{15} & -y_{16} & -y_{17} & -y_{18} & -y_{19} & -y_{1\_10} & -y_{1\_11} \\
-y_{21} & y_{22} & -y_{23} & -y_{24} & -y_{25} & -y_{26} & -y_{27} & -y_{28} & -y_{29} & -y_{2\_10} & -y_{2\_11} \\
-y_{31} & -y_{32} & y_{33} & -y_{34} & -y_{35} & -y_{36} & -y_{37} & -y_{38} & -y_{39} & -y_{3\_10} & -y_{3\_11} \\
-y_{41} & -y_{42} & -y_{43} & y_{44} & -y_{45} & -y_{46} & -y_{47} & -y_{48} & -y_{49} & -y_{4\_10} & -y_{4\_11} \\
-y_{51} & -y_{52} & -y_{53} & -y_{54} & y_{55} & -y_{56} & -y_{57} & -y_{58} & -y_{59} & -y_{5\_10} & -y_{5\_11} \\
-y_{61} & -y_{62} & -y_{63} & -y_{64} & -y_{65} & y_{66} & -y_{67} & -y_{68} & -y_{69} & -y_{6\_10} & -y_{6\_11} \\
-y_{71} & -y_{72} & -y_{73} & -y_{74} & -y_{75} & -y_{76} & y_{77} & -y_{78} & -y_{79} & -y_{7\_10} & -y_{7\_11} \\
-y_{81} & -y_{82} & -y_{83} & -y_{84} & -y_{85} & -y_{86} & -y_{87} & y_{88} & -y_{89} & -y_{8\_10} & -y_{8\_11} \\
-y_{91} & -y_{92} & -y_{93} & -y_{94} & -y_{95} & -y_{96} & -y_{97} & -y_{98} & y_{99} & -y_{9\_10} & -y_{9\_11} \\
-y_{10\_1} & -y_{10\_2} & -y_{10\_3} & -y_{10\_4} & -y_{10\_5} & -y_{10\_6} & -y_{10\_7} & -y_{10\_8} & -y_{10\_9} & y_{10\_10} & -y_{10\_11} \\
-y_{11\_1} & -y_{11\_2} & -y_{11\_3} & -y_{11\_4} & -y_{11\_5} & -y_{11\_6} & -y_{11\_7} & -y_{11\_8} & -y_{11\_9} & -y_{11\_10} & y_{11\_11}
\end{bmatrix}$$



$$Y_{Bus}^{1,2} = \begin{bmatrix} 25 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -20 & 32.5 & -10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2.5 \\ 0 & -10 & 30 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -20 & 30 & -10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -10 & 30 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -20 & 50 & -20 & -10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -20 & 25 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -10 & 0 & 35 & -20 & -2.5 & -2.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -20 & 25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2.5 & 0 & 5 & -2.5 \\ 0 & -2.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2.5 & 0 & -2.5 & 7.5 \end{bmatrix}$$

$$Y_{bus}^0 = \begin{bmatrix} 7,14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 34,44 & -3,33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -11,11 \\ 0 & -3,33 & 23,33 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -20 & 33,33 & -3,33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -3,33 & 23,33 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -20 & 43,33 & 0 & -3,33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7,14 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -3,33 & 0 & 45,55 & -20 & -11,11 & -11,11 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -20 & 27,14 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -11,11 & 0 & 22,22 & -11,11 \\ 0 & -11,11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -11,11 & 0 & -11,11 & 33,33 \end{bmatrix}$$

Dengan soft-ware Matlab (Lampiran-1) dapat diperoleh matriks impedansi ( $Z_{Bus}$ ) urutan positif, negative dan nol sebagai berikut:

$$Z_{Bus}^{(1),(2)} = -j \begin{bmatrix} 0.1316 & 0.1145 & 0.0914 & 0.0799 & 0.0568 & 0.0452 & 0.0362 & 0.0403 & 0.0322 & 0.0551 & 0.0700 \\ 0.1145 & 0.1431 & 0.1143 & 0.0998 & 0.0710 & 0.0566 & 0.0452 & 0.0503 & 0.0403 & 0.0689 & 0.0874 \\ 0.0914 & 0.1143 & 0.1681 & 0.1450 & 0.0898 & 0.0758 & 0.0606 & 0.0600 & 0.0480 & 0.0708 & 0.0817 \\ 0.0799 & 0.0998 & 0.1450 & 0.1676 & 0.1128 & 0.0854 & 0.0683 & 0.0648 & 0.0518 & 0.0718 & 0.0788 \\ 0.0568 & 0.0710 & 0.0989 & 0.1128 & 0.1407 & 0.1046 & 0.0837 & 0.0744 & 0.0595 & 0.0737 & 0.0730 \\ 0.0452 & 0.0566 & 0.0758 & 0.0854 & 0.1046 & 0.1143 & 0.0914 & 0.0792 & 0.0633 & 0.0747 & 0.0701 \\ 0.0362 & 0.0452 & 0.0606 & 0.0683 & 0.0837 & 0.0914 & 0.1131 & 0.0633 & 0.0507 & 0.0597 & 0.0561 \\ 0.0403 & 0.0503 & 0.0600 & 0.0648 & 0.0744 & 0.0792 & 0.0633 & 0.1205 & 0.0964 & 0.1064 & 0.0924 \\ 0.0322 & 0.0403 & 0.0480 & 0.0518 & 0.0595 & 0.0633 & 0.0507 & 0.0964 & 0.1171 & 0.0852 & 0.0739 \\ 0.0551 & 0.0689 & 0.0708 & 0.0718 & 0.0737 & 0.0747 & 0.0597 & 0.1064 & 0.0852 & 0.3389 & 0.1714 \\ 0.0700 & 0.0874 & 0.0817 & 0.0788 & 0.0730 & 0.0701 & 0.0561 & 0.0924 & 0.0739 & 0.1714 & 0.2504 \end{bmatrix}$$



Besar arus urutan negatif adalah

$$\begin{aligned} I_a^{(2)} &= -I_a^{(1)} \frac{Z_{pp'}^{(0)}}{Z_{pp'}^{(0)} + Z_{pp'}^{(2)}} \\ &= -j6.4363 \frac{j0,1961}{j0,1961 + j0,7480} \\ &= -j1.3368 \text{ pu} \end{aligned}$$

Besar arus urutan nol adalah

$$\begin{aligned} I_a^{(0)} &= I_a^{(1)} - I_a^{(2)} = -j6.4363 - (-j1.3368) \\ &= -j5.0955 \text{ pu} \end{aligned}$$

Besar drop tegangan urutan adalah :

$$\begin{aligned} V_a^{(1)} &= V_a^{(2)} = V_a^{(0)} \\ &= I_a^{(1)} \frac{Z_{pp'}^{(0)} \times Z_{pp'}^{(2)}}{Z_{pp'}^{(0)} + Z_{pp'}^{(2)}} \\ &= -j6.436 \frac{j0.1961 * j0.7480}{j0.1961 + j0.7480} \\ &= -j0.999 \text{ pu} \end{aligned}$$

$$V_a^{(1)} = V_a^{(2)} = V_a^{(0)} = -j0.999 \text{ pu}$$

Besar komponen simetri tegangan pada bus

11 :

$$\begin{aligned} \Delta V_{11}^{(1)} &= \frac{Z_{11-8}^{(1)} - Z_{11-11}^{(1)}}{Z_1} V_a^{(1)} \\ &= \frac{j0,0924 - j0,2504}{j0,40} (-j0.999) \\ &= -j0.3946 \text{ pu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{11}^{(0)} &= \Delta V_{11}^{(0)} = \frac{Z_{11-8}^{(0)} - Z_{11-11}^{(0)}}{Z_1} V_a^{(0)} \\ &= \frac{j0,0531 - j0,0788}{j0,09} (-j0.999) \\ &= -j0.2853 \text{ pu} \end{aligned}$$

maka;

$$\begin{aligned} \Delta V_{11} &= \Delta V_6^{(0)} + \Delta V_6^{(1)} + \Delta V_6^{(2)} \\ &= -j0.3946 - j0.3946 - j0.2853 \\ &= 0.5039 \text{ pu} \end{aligned}$$

Sehingga tegangan pada bus 11 yang mengalami gangguan hubungan terbuka adalah :

$$\begin{aligned} V_{11}' &= V_{11} + \Delta V_{11} = j1.0754 + (0.973 + j0.298) \\ &= 0.973 - j0.7765 \text{ pu} \end{aligned}$$

$$= \sqrt{(0.973)^2 + (0.7765)^2} \text{ tg}^{-1} \frac{-0.7765}{0.973}$$

$$= 1.245 \angle -38.5^\circ$$

### 4.3 Pembahasan

Dari Hasil analisis gangguan terbuka pada line antara bus 8 dan 11 menunjukkan bahwa arus gangguan mencapai 6.4363 pu, artinya bahwa ketika terjadi gangguan terbuka pada bus 11, arus gangguan mencapai 6,43 kali lebih besar dari arus nominal, sedangkan tegangan pada bus yang mengalami gangguan terbuka dari hasil perhitungan sebesar 1.24 pu. Kondisi ini akan berdampak terhadap peralatan sistem tenaga listrik yang akan mengalami kerusakan.

### 5. Kesimpulan

Dari hasil analisis dapat disimpulkan

1. Metode analisis menggunakan rangkaian urutan dan memodelkan dalam matrik impedansi bus dapat membantu memecahkan persoalan gangguan satu fasa terbuka pada sistem 3 generator 11 bus yang dianalisis.
2. Gangguan terbuka dalam bentuk umum disebabkan oleh keadaan tidak seimbang atau tidak simetri impedansi seri saluran. Gangguan hubung terbuka terjadi pada sistem dapat disebabkan oleh pemutus