

PENGARUH HILANGNYA KAWAT NETRAL SEBAGAI PELINDUNGAN PADA SISTEM 3 FASA 4 KAWAT TERHADAP TEGANGAN LINE TO LINE (VL-L)

Oleh:

Antonov Bachtiar

¹Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Padang Jln. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang
E-mail: antonov_bach@itp.ac.id.

Abstrak

Dalam beberapa tahun terakhir ini, sebagian ruas jaringan tegangan menengah di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta telah kehilangan beberapa kawat netralnya. Hilangnya kawat netral pada jaringan tegangan menengah dapat menyebabkan perubahan karakteristik jaringan, meskipun belum dirasakan dampak yang berarti. Apabila semakin banyak kawat netral yang hilang bukan tidak mungkin akan mempengaruhi kualitas pelayanan.

Penelitian ini mengenai kehilangan kawat netral pada sistem 3 fase 4 kawat pada sistem saluran distribusi 20 kV, aplikasi data di PLN APJ Yogyakarta yang mengkaji pengaruh kawat netral yang hilang atau putus terhadap arus V line to line (V L-L) pada sistem distribusi 20 kV secara simulasi menggunakan EMTP (Electromagnetic Transients Program)

Dari hasil simulasi dan pembahasan, pada saat kehilangan / putus kawat netral secara keseluruhan (SWER) arus netral (In) mengalami penurunan hingga harga 0 tegangan Line to Line (VL-L) tidak berubah

Kata Kunci : Saluran Distibusi 20 KV, Kawat Netral, Tegangan line to line (VL-L).

Abstrac

In the last several years, some parts of medium voltage network at DIY have lossed some of neutral wires. Its caused changes of network characteristic, although it could not deeply influence. If there are more neutral wire losses, it is certain affecting service quality.

This research is to investigate the losses of neutral wire at 3 phase 4 wire system in 20 kV distribution line at PLN APJ Yogyakarta . The study carried out were about the influence of neutral wire losses face to : Line to line voltage (V L-L) at distribution 20 kV system. It used EMTP simulation program (Electromagnetic Transient Program).

The results of simulation of 3 phase 4 wire system with some of the neutral wire losses condition showed that, neutral current (In) decreased to zero value, the line to line voltage (V L-L) were not be changed

Keyword : Distribution Line 20 KV, Neutral Wire, Voltage Line to Line Voltage (VL-L).

1. Pendahuluan

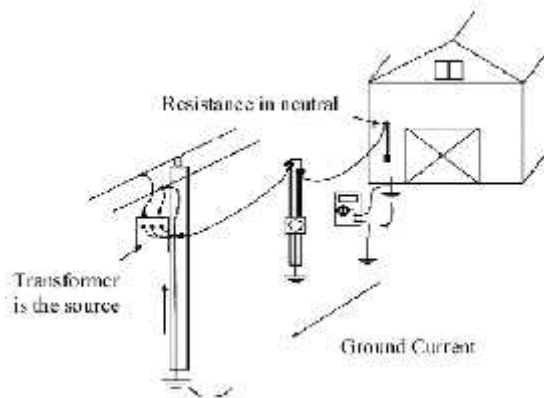
Jaringan tegangan menengah di Daerah Istimewa Yogyakarta beroperasi dengan netral yang dibumikan langsung dan dilengkapi kawat netral sepanjang

jaringan dimana kawat netralnya berfungsi sebagai jalur kembali untuk arus yang disebabkan oleh beban yang tidak seimbang. Kelebihan sistem ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 1.1 Perbandingan antara jaringan distribusi 20 KV 3 fase 4 kawat dengan 3 fase 3

No	Item	3 fase 4 kawat (sistem pembumihan langsung)	3 fase 3 kawat (sistem pembumihan tanah / resistif)	3 fase 3 kawat (sistem pembumihan langsung)
	Prinsip	Mempunyai fase, netral dengan konfigurasi kawat planimetri	Mempunyai fase-planimetri dan kombinasi sistem konfigurasi netral dan planimetri	Mempunyai konfigurasi netral dengan konfigurasi kawat planimetri
	Keunggulan sistem	Fase tiga dan fase tunggal fase netral 20KV. Semua anak kapal dan beban terdala	Fase tiga dan fase tunggal fase 20KV netral beban ringan. Semua anak kapal dan beban terdala	Fase tiga dan fase tunggal fase 20KV. Semua anak kapal dan beban terdala
	Kelebihan penguasaan tenaga listrik	Dapat memelihara nilai arus lebih sedikit dibanding sistem 3 fase 3 kawat dan fase tunggal, sehingga konsumsi tenaga listrik minimum	Hal yang tidak kalah penting adalah arus tidak seimbang pada sistem yang dapat menimbulkan gangguan	Dapat memelihara nilai arus lebih sedikit dibanding sistem 3 fase 3 kawat dan fase tunggal, sehingga konsumsi tenaga listrik minimum

Dari Tabel I.1 dapat disimpulkan bahwa kelebihan sistem 3 fase 4 kawat dengan pembumian langsung antara lain adalah kemungkinan saluran udara tegangan menengah 1 fase pada jaringan cabang dan pembebanan satu fase, serta sistem proteksi jaringan relatif sederhana. (Pabla.A)



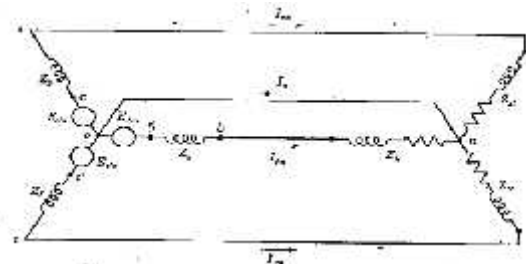
Gambar 1.1. High resistance dalam suatu kawat netral berfungsi sebagai pembatas yang memaksa arus lebih mengalir ke bumi sehingga menghasilkan neutral-to-earth voltage

Dalam beberapa tahun terakhir ini, sebagian ruas jaringan tegangan menengah di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta telah kehilangan beberapa kawat netralnya. Hilangnya kawat netral pada jaringan tegangan menengah dapat menyebabkan perubahan karakteristik jaringan, meskipun belum dirasakan dampak yang berarti. Apabila semakin banyak kawat netral yang hilang bukan tidak mungkin akan mempengaruhi kualitas pelayanan. Karena itu dipandang perlu untuk mengkaji dampak hilangnya penghantar netral tersebut. Sebagian data yang dapat diperoleh adalah kehilangan kawat netral di Yogyakarta

2. Landasan Teori

2.1. Tegangan dan Arus pada Rangkaian Tiga Fase Seimbang

Sistem tenaga listrik biasanya disuplai oleh generator berfase tiga. Biasanya generator tersebut mensuplai beban – beban berfase tiga yang seimbang juga, yang berarti bahwa pada ketiga fase tersebut terdapat beban yang identik. Beban untuk penerangan dan motor kecil biasanya berfase tunggal, tetapi sistem distribusi telah dirancang sedemikian rupa sehingga fase – fase tersebut praktis seimbang. (Stevenson. Jr, 1982 dan Saadat., 1999)



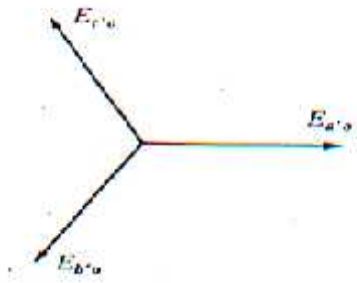
Gambar 2.1 memperlihatkan sebuah generator dengan hubungan Y yang netralnya ditandai o, yang mensuplai suatu beban yang juga dengan hubungan Y dan seimbang serta netralnya ditandai n

Rangkaian ekuivalen dari generator tiga fase terdiri dari sebuah emf (electromotive force) pada masing- masing fasenya, yang digambarkan sebagai lingkaran.. Masing – masing emf terhubung seri dengan impedans Z_{eq} yang terdiri dari sebuah tahanan dan sebuah reaktansi induktif. Titik – titik a', b' dan c' adalah fiktif, karena sebenarnya emf yang dibangkitkan tidak mungkin dipisahkan dari impedans masing – masing fase. Terminal pada mesin tersebut adalah titik – titik a, b, dan c.

Pada generator, emf $E_{a'o}$, $E_{b'o}$, dan $E_{c'o}$ sama besarnya tetapi berselisih fase 120° satu terhadap yang lain. Jika besarnya masing – masing 100 V dengan $E_{a'o}$ diambil sebagai referensi, maka

$$E_{a'o} = 100 \angle 0^\circ \text{ V} \quad E_{b'o} = 100 \angle 240^\circ \text{ V} \quad E_{c'o} = 100 \angle 120^\circ \text{ V}$$

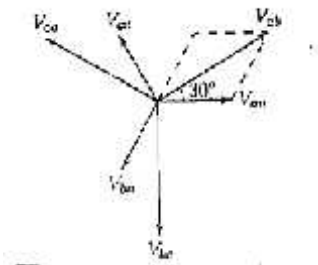
asalkan urutan fasenya abc, yang berarti bahwa $E_{a'o}$ mendahului 120° terhadap $E_{b'o}$, dan $E_{b'o}$ sendiri mendahului 120° terhadap $E_{c'o}$.



Gambar 2.2 Diagram fasor dari emf untuk rangkaian yang terlihat pada gambar 2.1



Gambar 2.3 diperlihatkan emf dengan urutan fase abc



Gambar 2.4 Diagram fasor beban hubungan Y pada Gambar 2.3

Pada Gambar 2.3 diperlihatkan emf dengan urutan fase abc, terminal generator dalam hal ini juga pada beban, tegangan terminal ke netral adalah

$$\begin{aligned} V_{a'n} &= E_{a'o} - I_{a'n} Z_n \\ V_{b'n} &= E_{b'o} - I_{b'n} Z_n \\ V_{c'n} &= E_{c'o} - I_{c'n} Z_n \end{aligned} \quad (2.1)$$

Karena o dan n berada pada potensial yang sama maka $V_{a'o}$, $V_{b'o}$, dan $V_{c'o}$ berturut – turut sama dengan $V_{a'n}$, $V_{b'n}$, $V_{c'n}$, dan begitu juga dengan

arus saluran (yang sama juga dengan arus fase untuk suatu konfigurasi-Y) adalah

$$\begin{aligned} I_{a'n} &= \frac{E_{a'o} - V_{n'o}}{Z_a + Z_n} = \frac{V_{a'n}}{Z_a} \\ I_{b'n} &= \frac{E_{b'o} - V_{n'o}}{Z_b + Z_n} = \frac{V_{b'n}}{Z_b} \\ I_{c'n} &= \frac{E_{c'o} - V_{n'o}}{Z_c + Z_n} = \frac{V_{c'n}}{Z_c} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Karena $E_{a'o}$, $E_{b'o}$, dan $E_{c'o}$ sama besarnya dan berbeda fase 120° satu terhadap yang lain, sedangkan impedans yang terlihat dari emf tadi adalah identik, maka arusnya juga akan sama besarnya dan berbeda fase 120° satu terhadap yang lain.

Hal ini pasti juga berlaku bagi $V_{a'n}$, $V_{b'n}$, $V_{c'n}$. (Stevenson. Jr, 1982 and Saadat, 1999)

2.2. Beban – Beban Hubungan Bintang

Untuk menemukan hubungan yang tersirat antara tegangan line (line-to-line) dan tegangan fase (line-to-neutralvoltages), kita mengasumsikan suatu urutan positif, atau urutan ABC. Kita asumsikan memilih tegangan fase a (line-to-neutral voltages) sebagai acuan (Saadat, 1999)

$$\begin{aligned} V_{a'n} &= |V_p| \angle 0^\circ \\ V_{b'n} &= |V_p| \angle -120^\circ \\ V_{c'n} &= |V_p| \angle -240^\circ \end{aligned} \quad (2.3)$$

V_p melambangkan magnitudo dari tegangan fase

Hukum tegangan Kirchhoff dapat diaplikasikan untuk penyelesaian problem pada tegangan line pada terminal – terminal beban dalam hal ini termasuk juga tegangan fase

$$\begin{aligned} V_{ab} - V_{a'n} - V_{b'n} &= |V_p| (1/\theta^\circ - 1/\angle -120^\circ) - \sqrt{3} |V_p| / 30^\circ \\ V_{bc} - V_{b'n} - V_{c'n} &= |V_p| (1/\theta^\circ - 1/\angle -120^\circ) - \sqrt{3} |V_p| / 30^\circ \\ V_{ca} - V_{c'n} - V_{a'n} &= |V_p| (1/\theta^\circ - 1/\angle -120^\circ) - \sqrt{3} |V_p| / 30^\circ \end{aligned} \quad (2.4)$$

Diagram fasor beban hubungan Y pada Gambar 3.3 dapat dilihat pada Gambar 3.4. Hubungan antara tegangan line dan tegangan fase yang dipertunjukkan pada gambar 2.3 dan gambar 2.4

Jika rms menghargai tentang segala tegangan line ditandai oleh VL, kemudian salah satu yang

terpenting karakteristik dari beban tiga fase hubungan Y dinyatakan

$$V_L = \sqrt{3} |V_{\phi}| \angle 30^\circ \quad (2.5)$$

Dengan begitu pada kasus tentang beban hubungan Y, magnitudo tegangan line 3 kali magnitudo tegangan fase, dan untuk urutan fase positif satuan leads tegangan mendahului satuan tegangan fase sebesar 30° Saadat, (1999) menyatakan bahwa Arus tiga fase simetris pada Gambar 2.3 dinyatakan

$$I_a = \frac{V_{an}}{Z_r} = |I_r| \angle -\theta$$

$$I_b = \frac{V_{bn}}{Z_r} = |I_r| \angle -120^\circ - \theta \quad (2.6)$$

$$I_c = \frac{V_{cn}}{Z_r} = |I_r| \angle -240^\circ - \theta$$

adalah impedans sudut fase

Arus pada line juga arus pada fase, oleh karena itu

$$I_L = I_r \quad (2.7)$$

2.3. Pengaruh Hilangnya Kawat Netral Terhadap Keseimbangan

Ketidakseimbangan beban disebabkan oleh beda tegangan antara titik bintang di sisi sumber (trafo). Beda tegangan tersebut disebabkan oleh arus ketidak seimbangan dan impedans saluran kembali

$$V_{zg} = I_n Z_{eq} \quad (2.8)$$

Z_{eq} = Impedans ekivalen pembumian total dari saluran kembali yang terdiri dari komponen Z_n dan R_g

dan

$$Z_n = \frac{(Z_c - Z_1)}{3} \quad (2.9)$$

$$I_n = I_a + I_b + I_c \quad (2.10)$$

Hilangnya kawat netral menyebabkan perubahan pada impedans urutan nol saluran

udarategangan menengah (SUTM) dan nilai impedans total dari saluran balik (Z_{eq}) dari pembumian kearah beban akan naik tergantung sampai dimana kawat netral tersebut hilang atau putus, misalnya pada gambar 1 sampai dengan gambar 3 terlihat SUTM dengan pembumian dimana pembumian elektroda pada setiap tiang yang berjarak 40 meter. Jika kawat netral yang putus maka elektroda pembumian yang berfungsi hanya yang masih mempunyai kawat netral dan kawat netral tersebut masih terhubung dengan beban. Dengan demikian nilai impedans ekivalen total dari saluran kembali (Z_{eq}) yang terhubung dengan beban (transformator distribusi) tersebut akan lebih besar bila dibandingkan dengan jaringan tegangan menengah (JTM) yang masih lengkap. Jika kawat netral yang hilang semakin mendekati beban maka nilai impedans Z_{eq} akan semakin besar pula karena elektroda pembumian yang berfungsi semakin sedikit tergantung sampai dimana kawat netral yang hilang. Bahkan jika kawat netral yang terhubung ke trafo distribusi tidak ada. Pembumian pada (JTM) hanya pada trafo distribusi saja dengan kata lain bumidigunakan sebagai jalan balik bagi arus netral atau sistem tersebut menjadi SWER (Single Wire Earth Return). Nilai reaktansi dari pembumian SWER sangat tergantung elektroda pembumian pada trafo distribusi yang bersangkutan. (Hutauruk, 1986)

2.4. Pengaruh Hilangnya Kawat Netral Terhadap Rugi – Rugi Daya

Saadat, (1999) Menyatakan bahwa Daya yang masuk ke sistem distribusi pada setiap fasenya

$$S_a = V_a I_a^* = P_a + jQ_a$$

$$S_b = V_b I_b^* = P_b + jQ_b \quad (2.11)$$

$$S_c = V_c I_c^* = P_c + jQ_c$$

Daya yang diterima oleh beban

$$S_a = V_a I_a^* = P_a + jQ_a$$

$$S_b = V_b I_b^* = P_b + jQ_b \quad (2.12)$$

$$S_c = V_c I_c^* = P_c + jQ_c$$

Rugi daya tiap fase saluran distribusi dapat dihitung dari selisih daya yang masuk ke system dengan daya yang diterima oleh beban

$$\begin{aligned} \Delta P_k &= P_{ka} - P_b \\ \Delta P_k &= P_{ba} - P_k \\ \Delta P_k &= P_c - P_k \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_a &= Q_a - Q_b \\ \Delta Q_b &= Q_b - Q_c \\ \Delta Q_c &= Q_c - Q_f \end{aligned} \quad (2.14)$$

Arus ketidak seimbangan In yang mengalir pada saluran kembali menyebabkan rugi daya sebesar

$$\Delta S_n = I_n^2 Z_n \quad (2.15)$$

2.5. Gangguan Fase ketanah

Ada 4 kemungkinan terjadi tipe gangguan yang mungkin terjadi pada suatu sistem distribusi :

- Gangguan tiga fase dengan pentanahan atau tanpa pentanahan (3)
- Gangguan fase ke fase atau line to line tanpa pentanahan (L-L)
- Gangguan fase ke fase atau double line to ground dengan pentanahan (2 LG)
- Gangguan fase ketanah atau single line to ground (SLG)

2.5.1. Gangguan tiga fase (3)

Karena jenis gangguan ini sepenuhnya seimbang, tidak ada arus urutan negatif, oleh karena itu, walaupun tidak ada impedans gangguan

$$I_{f,3\phi} = I_{f,a} = I_{f,b} = I_{f,c} = \frac{\sqrt{V_{L-N}}}{Z_f} \quad A \quad (2.16)$$

dan impedans gangguan

$$I_{f,3\phi} = \frac{\sqrt{V_{L-N}}}{Z_f + Z_r} \quad A \quad (2.17)$$

- $I_{f,3\phi}$ = arus gangguan tiga fase, A
- $\sqrt{V_{L-N}}$ = tegangan distribusi line-to-neutral, V
- Z_f = impedansi urutan positif total, Ω
- Z_r = impedansi gangguan, Ω
- $I_{f,a}, I_{f,b}, I_{f,c}$ = arus gangguan pada fase a, b, dan c

Impedans urutan positif total dapat dinyatakan seperti

$$Z_f = Z_{f,eq} + Z_{f,1} + Z_{f,2} \quad (2.18)$$

Untuk $Z_{f,1}$ = Impedansi ekuivalen theorem urutan positif pada sistem distribusi

$Z_{f,1}$ = Impedansi transformator urutan positif pada sistem distribusi

$Z_{f,2}$ = Impedansi urutan positif saat gangguan pada sistem distribusi

Substitusi pers (2.18) ke (2.16) dan (2.17), maka arus gangguan tiga fase dapat diekspresikan menjadi

$$I_{f,3\phi} = \frac{\sqrt{V_{L-N}}}{Z_{f,eq} + Z_{f,1} + Z_{f,2}} \quad A \quad (2.19)$$

dan

$$I_{f,3\phi} = \frac{\sqrt{V_{L-N}}}{Z_{f,eq} + Z_{f,1} + Z_{f,2} + Z_f} \quad A \quad (2.20)$$

Persamaan (2.19) dan (2.20) kadang-kadang bisa diterapkan pada hubungan sumber wye grounded atau delta., dan itu bisa jadis diperlukan untuk mencerminkan suatu gangguan tiga fase pada sistem distribusi dan juga gangguan tiga fase pada subtransmission system. Ini dapat terpenuhi dengan penggunaan (Gonen, 1986)

$$I_{f,3\phi} = \frac{V_{L-N}}{V_{S,1-1}} \times I_{f,3\phi} \quad A \quad (2.21)$$

diatok $I_{f,3\phi}$ = arus gangguan tiga fase pada voltan transmisi, A

$I_{f,3\phi}$ = arus gangguan tiga fase pada distribusi, A

V_{L-N} = tegangan line-to-line pada distribusi, V

$V_{S,1-1}$ = tegangan line-to-line pada subtransmisi, V

2.5.2. Gangguan Line-to-Line

Diasumsikan bahwa suatu gangguan line-to-line ada pada fase b dan c, maka pada fase jika tidak ada impedans gangguan,

$$I_{f,0} = 0$$

$$I_{f,1-2} = I_{f,a} = I_{f,b} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$= \frac{j\sqrt{3} \times V_{L-N}}{Z_1 + Z_2} A$$

untuk $I_{f,1-2}$ = arus gangguan line-to-line, A
 Z_0 = impedansi total urutan negatif, Ω

Seperti diketahui

$$\overline{Z}_1 = \overline{Z}_2$$

Maka

$$I_{f,1-2} = \frac{j\sqrt{3} \times V_{L-N}}{2Z_1} A \dots\dots\dots (2.23)$$

atau substitusikan pers (2.18) ke pers (2.23),

$$I_{f,1-2} = \frac{j\sqrt{3} \times V_{L-N}}{2(Z_{1,0} + Z_{1,1} + Z_{1,2})} A \dots\dots\dots (2.24)$$

apabila terjadi gangguan impedans

$$I_{f,1-2} = \frac{j\sqrt{3} \times V_{L-N}}{2(Z_{1,0} + Z_{1,1} + Z_{1,2}) - Z_0} A \dots\dots\dots (2.25)$$

Dengan membandingkan pers. (2.23) dengan pers. (2.16), maka dapat ditentukan suatu hubungan antara arus gangguan tiga fase dan arus gangguan line-to-line seperti

$$I_{f,1-2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{f,3\phi} = 0,866 \times I_{f,3\phi} \dots\dots\dots (2.26)$$

2.5.3. Gangguan Single Line-to-ground

Diasumsikan bahwa gangguan single line-to ground ada pada fase a. jika tidak ada gangguan impedans

$$I_{f,1-2} = \frac{V_{L-N}}{Z_0} \dots\dots\dots (2.27)$$

untuk $I_{f,1-2}$ = arus gangguan line-to-ground, A
 Z_0 = impedans pada ground, Ω
 V_{L-N} = tegangan line to neutral pada distribusi, V

Seperti telah diketahui

$$\overline{Z}_0 = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3}{3} \dots\dots\dots (2.28)$$

atau:

$$\overline{Z}_0 = \frac{2\overline{Z}_1 + \overline{Z}_3}{3} \dots\dots\dots (2.29)$$

diketahui $Z_1 = Z_2$

substitusi pers. (2.28) ke pers (2.27),

$$I_{f,1-2} = \frac{V_{L-N}}{1/3(2Z_1 + Z_0)} \dots\dots\dots (2.30)$$

dimisalkan adanya gangguan impedans

$$I_{f,1-2} = \frac{V_{L-N}}{1/3(2Z_1 + Z_0) + Z_0} \dots\dots\dots (2.31)$$

untuk Z_0 = impedans total urutan nol

Arus Gangguan pada sisi tegangan rendah,

$$I_{f,1-2} = \frac{V_{L-N}}{\sqrt{3} \times V_{LL-L}} \times I_{f,1-2} \dots\dots\dots (2.32)$$

untuk $I_{f,1-2}$ = nilai dasar arus gangguan single line to ground dasar pada distribusi

$I_{f,1-2}$ = refleksi arus gangguan single line to ground dari suatu arus

gangguan pada subtransmisi

V_{L-N} = tegangan line to line pada distribusi

V_{LL-L} = tegangan line to line pada subtransmisi

2.6. Pengaruh Hilangnya Kawat Netral terhadap Tegangan Sentuh

Jika pada bagian hilir dari titik putus terdapat sejumlah konsumen dengan sejumlah beban , maka beban tersebut akan terbagi rata pada setiap fasenya, sehingga arus yang mengalir ketanah mendekati nol. Oleh karena itu jika kawat netral putus tidak akan menyebabkan bahaya, namun jika bebannya tidak merata, maka kenaikan tegangan badan peralatan konsumen, (Hutauruk, 1986)

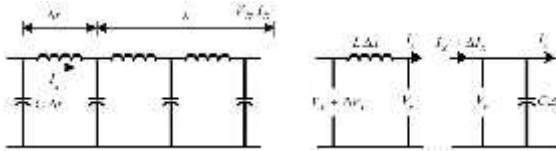
$$V_A = I_p \times R_{w0} \dots\dots\dots (2.33)$$

untuk I_p = arus ketidak seimbangan, A

R_{w0} = adalah tahanan perantara total hantaran netral, Ω

2.7. Rugi Tegangan Dan Arus Pada Kawat

Rugi tegangan dan arus pada kawat transmisi dimodelkan dengan dibagi menjadi segmen x yang berjarak x dari suatu titik di ujung beban. Kawat ini mempunyai induktansi seri l dan kapasitansi paralel c perunit panjang. Representasi dari pemodelan ini dapat dilihat pada Gambar 2.5 (Begamudre, 1987)



Gambar 2.5 Saluran transmisi dengan distribusi induktansi dan kapasitansi

Dengan pemodelan seperti Gambar 2.5 persamaan arus dan tegangan dinyatakan sebagai berikut,

$$V_x = A(V_0 + Z_0 I_0 e^{-\gamma x}) + B(V_0 - Z_0 I_0 e^{-\gamma x}) \dots\dots\dots (2.34)$$

dan

$$I_x = A(I_0 + \frac{V_0}{Z_0} e^{-\gamma x}) - B(I_0 - \frac{V_0}{Z_0} e^{-\gamma x}) \dots\dots\dots (2.35)$$

untuk

- V_0 : tegangan pada titik x dari ujung beban,
- I_0 : arus pada titik x dari ujung beban,
- V_A : tegangan pada ujung beban,
- I_A : arus pada ujung beban,
- $Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{l}{c}}$, karakteristik impedansi saluran,
- λ : panjang gelombang,
- x : suatu jarak dari ujung beban dalam saluran sepanjang L .

3. Metodologi

3.1 Materi Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah mengkaji masalah arus dan jatuh tegangan akibat kehilangan kawat netral pada saluran distribusi 20 kV dan pada saat kondisi tersebut diberikan gangguan satu fase ketanah (SLG)serta dua fase ketanah (DLG).

Dengan demikian materi kajian dalam penelitian ini terdiri dari:

- a. Pembuatan model saluran distribusi system 20 kV dengan tiang yang telah mempunyai titik netral
- b. Penentuan nilai setiap parameter saluran sesuai dengan kondisi yang ada
- c. Penerapan pemodelan kedalam pemrograman EMTP(Electromagnetic Transients Program)
- d. Pengamatan hasil simulasi dari EMTP

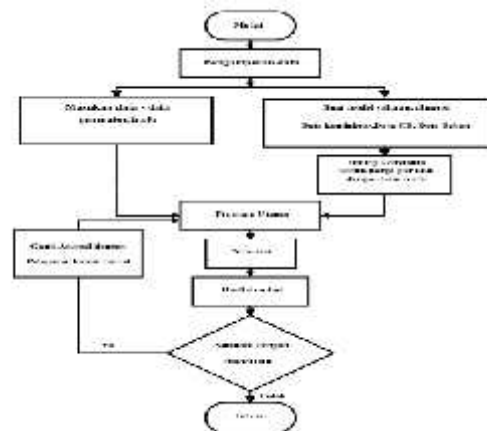
Metode pendekatan yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode penyelesaian EMTP(Electromagnetic Transients Program).

3.2 Jalannya penelitian

EMTP adalah suatu program komputer terintegrasi yang didesain untuk menganalisis masalah transien pada sistem tenaga listrik. Oleh karena itu terdapat aturan-aturan khusus dalam pemasukan data untuk dianalisis dengan EMTP dengan tahapan sebagai berikut :

1. Penelitian diawali dengan survey kelengkapan untuk kebutuhan data yang diperlukan pada sistem distribusi. Yogyakarta
2. Pengambilan data mengenai konfigurasi jaringan distribusi
3. Mencari titik sample putus / hilangnya kawat netral pada setiap tiang atau gardu distribusi

Secara singkat jalannya penelitian dapat digambarkan melalui diagram sebagai berikut :



4. Analisa dan Pembahasan

4.1 Validasi Hasil Program Komputer

Untuk membandingkan hasil EMTP program dilakukan validasi dengan perhitungan secara manual pada rangkaian yang sederhana. Perhitungan yang dilakukan tanpa komputer digital sangat sulit, karena ada beberapa asumsi yang diabaikan. Oleh karena itu perhitungan sederhana diambil untuk memvalidasi dengan perhitungan, kemudian dibandingkan dengan hasil yang diberikan komputer digital.

4.2 Hasil Simulasi

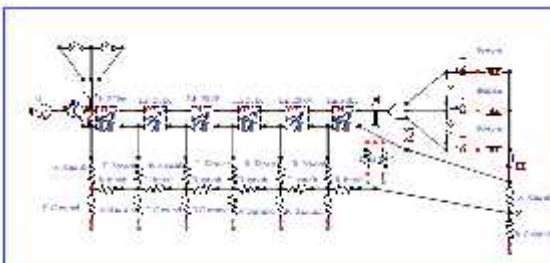
Simulasi dilakukan dengan rangkaian simulasi EMTP pada gambar 3.n keadaan penghantar netral dalam keadaan lengkap atau hilang netral 0% sampai pada dimana seluruh penghantar netral hilang atau hilang netral 100% dengan gambar dan data sebagai berikut:



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 Model rangkaian untuk simulasi sebuah jaringan distribusi system 20 kV

- (a) Jaringan distribusi 20 kV pentanahan lengkap
- (b) Jaringan distribusi 20 kV pentanahan lengkap dengan gangguan satu fase ke tanah
- (c) Jaringan distribusi 20 kV pentanahan lengkap dengan gangguan dua fase ketanah

Data yang digunakan yaitu :

- Tahanan jenis tanah = 100 - Km
- Panjang JTM 6 Km dari Gardu Induk
- Jenis penghantar yang digunakan AAAC 240 mm² (data terlampir)
- Faktor daya arus $\cos \phi = 0.8$
- Tahanan pembumian $R_g = 0.8$
- Jaringan TM ditanahkan pada setiap tiang dengan jarak setiap tiang 40 meter
- Transformator tenaga di GI 60 MVA, 150/20KV
- Perbedaan sudut fase a, b dan c masing-masing 120°

Arus pada masing – masing fase $I_a = 143.629$, $I_b = 92.5974$, .

$I_c = 157.025$ didapat I_n sebagai berikut :

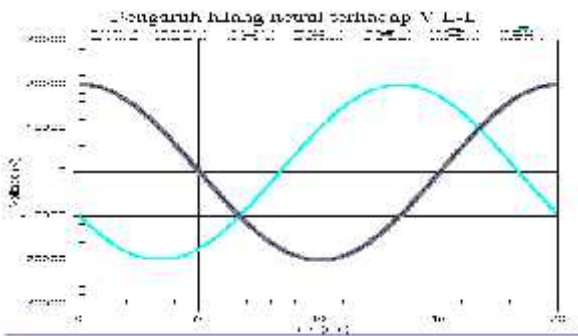
$$I_n = 143.628 \angle 0^\circ + 92.599 \angle 120^\circ + 157.024 \angle 240^\circ$$

$$I_n = 143.628 + j0 + -46.2995 + j80 + -78.512 - j135.986$$

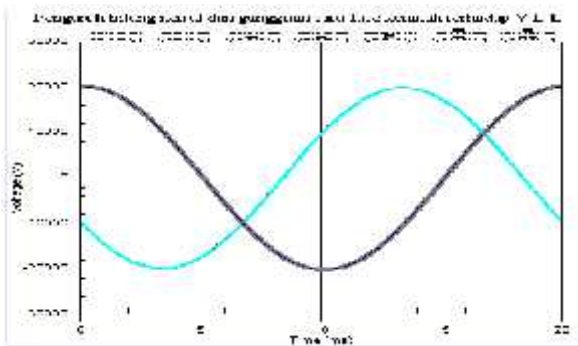
$$I_n = 18.8165 - j55.986 = 59.06 \angle -71.420^\circ$$

4.3. Hasil Simulasi Kehilangan Kawat Netral dari Posisi 0% sampai 100%

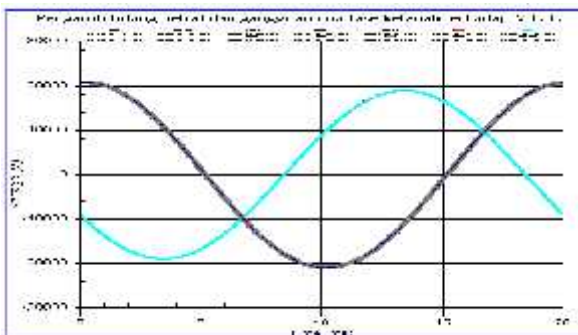
Pertama simulasi dilakukan melepaskan kawat netral yang berawal dari posisi kehilangan dekat GI sampai pada ujung saluran yang berjarak 6 km, dan selanjutnya sampai dengan pada kondisi jaringan tidak mempunyai kawat netral sama sekali yang dinamakan juga dengan SWER. Pada hasil simulasi diamati profil arus dan tegangan yang ditimbulkan



Gambar 4.12 Profil tegangan line to line (V) terhadap basis Netral



Gambar 4.13 Profil tegangan line to line dengan basis bus pada saat gangguan satu fase (busbar 2) (V)



Gambar 4.14 Profil tegangan line to line dengan bus bus pada saat gangguan satu fase (busbar 1) (V)

4.3. Pembahasan dan Analisis Hasil Simulasi

Pada pembahasan dan analisis ditampilkan grafik hasil dari simulasi dengan nilai puncak kemudian untuk memudahkan pembacaan grafik nilai puncak dikonversikan ke nilai per unit Untuk harga per Unit diambil Base Transformator tenaga dengan data trafo GI 60 MVA, 150/20KV

Untuk base tegangan dipakai tegangan fase

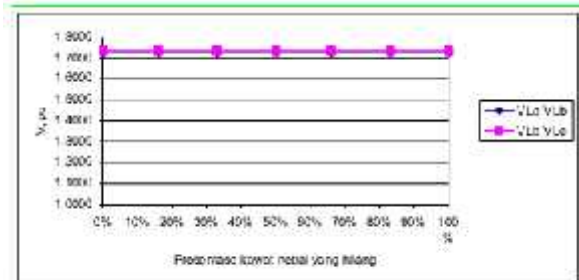
$$V_f = \frac{20.000 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 11.546,68 \text{ V} = 1 \text{ pu}$$

Untuk base Arus dipakai arus nominal

$$I_n = \frac{20.000, \text{ kVA}}{11.546,68 \text{ V}} = \frac{20.000.000 \text{ VA}}{11.546,68 \text{ V}} = 1732,1 \text{ A} = 1 \text{ pu}$$

Tabel 4.5 Nilai-nilai puncak (peak) dan per unit tegangan line to line akibat kehilangan kawat netral

Hilang Kawat Netral	Vline a-line b (peak) (V)	VLb-VLb (pu)	Vline b-line c (peak) (V)	VLc-VLc (pu)
0%	19944.4	1.7278	20030	1.7347
15%	19942	1.7271	20032.2	1.7349
33%	19942	1.7271	20032.2	1.7349
50%	19941.9	1.7271	20032.8	1.7349
65%	19941.6	1.7271	20032.4	1.7349
83%	19941.6	1.7270	20032.6	1.7349
100%	19940.8	1.7270	20033.6	1.7350

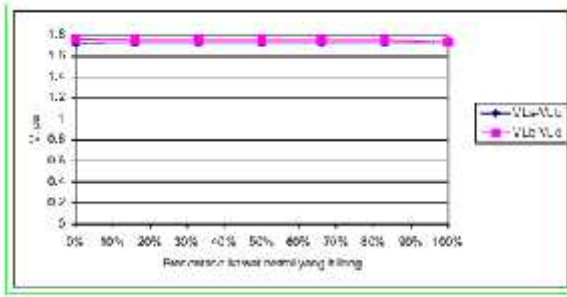


Gambar 4.23 Pengaruh kehilangan kawat netral terhadap tegangan line to line

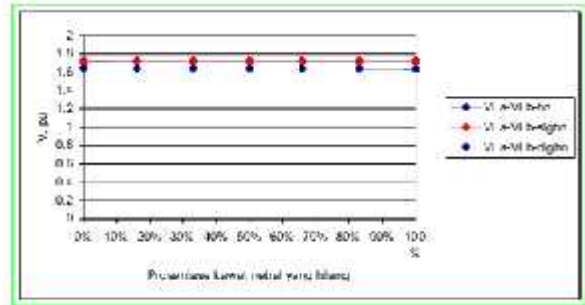
Pada profil V line to line mengalami perubahan tapi tidak terlalu terlihat perbedaan baik pada step hilang kawat netral atau perbedaan antar tegangan line to line lainnya

Tabel 4.10 Nilai-nilai puncak (peak) dan per unit tegangan line to line akibat kehilangan kawat netral dengan gangguan satu fase ketanah

Kehilangan kawat netral	V line a to line b (peak) (V)	V line a to line b (pu)	V line b to line c (peak) (V)	V line b to line c (pu)
0%	19942.2	1.7278	20236.8	1.7578
15%	19910.6	1.7243	20205.2	1.74987
33%	19910.3	1.7243	20202.8	1.74986
50%	19910.6	1.7243	20198.9	1.74933
65%	19911.9	1.72447	20191.9	1.74972
83%	19916	1.72402	20177.5	1.74747
100%	19940.8	1.72887	20138.7	1.73852



Gambar 4.74 Pengaruh kehilangan kawat netral serta gangguan satu fase ketanah terhadap Tegangan *line to line* VL-L

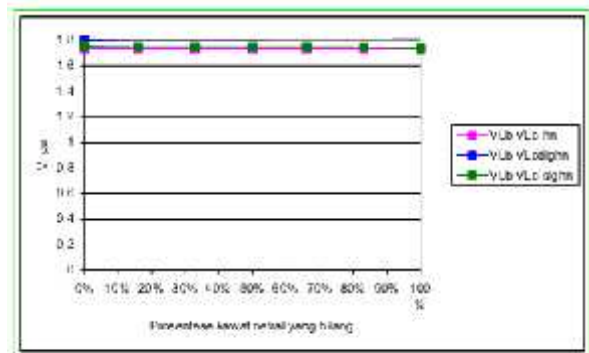


(a)

Pada profil V line to line mengalami perubahan tapi tidak terlalu terlihat perbedaan baik pada step hilang kawat netral atau perbedaan antar tegangan line to line lainnya.

Tabel 4.15 Nilai-nilai puncak (peak) dan per unit tegangan line to line akibat kehilangan kawat netral dengan gangguan dua fase ketanah

Kehilangan Kawat Netral	V line a to line b (peak) (V)	V line a to line b (pu)	V line b to line c (peak) (V)	V line b to line c (pu)
0%	19015,8	1,84487	20756,4	1,79778
16%	18963,8	1,84149	20883	1,80857
33%	18963,8	1,84149	20846,7	1,80863
50%	18963,7	1,84148	20894,8	1,80974
66%	18963,1	1,84143	20836,6	1,80966
83%	18961,6	1,8413	20890	1,80918
100%	18922,8	1,83987	20936,1	1,81117



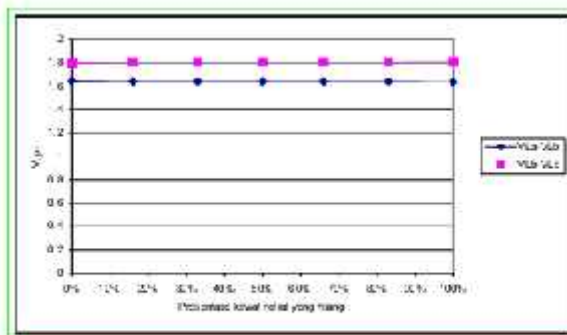
(b)

Gambar 4.38 Perbedaan tegangan line to line VL-L (pu) pada kehilangan kawat netral tanpa gangguan dan dengan gangguan satu serta dua fase ketanah

5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan pembahasan, didapat kesimpulan sebagai berikut :

- Pada saat kehilangan / putus kawat netral secara keseluruhan (SWER) tegangan line to line (VL-L) tidak berubah
- Pada saat kehilangan / putus kawat netral secara keseluruhan (SWER) yang diringi gangguan satu fase ketanah (SLG) tegangan line to line (VL-L) tidak berubah
- Pada saat kehilangan / putus kawat netral secara keseluruhan (SWER) yang diringi gangguan dua fase



Gambar 4.33 Pengaruh kehilangan kawat netral serta gangguan dua fase ketanah terhadap Tegangan *line to line*

Pada profil V line to line mengalami perubahan tapi tidak terlalu terlihat perbedaan baik pada step hilang kawat netral atau perbedaan antar tegangan line to line lainnya

ketanah (DLG) tegangan line to line (VL-L) tidak berubah

6. Daftar Pustaka

- [1]. Anderson. PM, 1973, *Element of Faulted Power System*, Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- [2]. Anderson. PM, 1975, *Element of Power System Protection*, Cyclone Copy Center, Ames, Iowa..
- [3]. Gonen.T, 1986, *Electrical Power System Distribution Engineering*, McGraw-Hill Book Company, Inc United States.
- [4]. James J. Burke, (1994) *Power Distribution Engineering*. USA: Marcell Dekker, INC.
- [5]. Hutaeruk. TS, 1986, *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*, Erlangga, Jakarta
- [6]. Kamath. G, and Mohan. N, 1994, "A novel, reduced rating active filter for 3-phase 4-wire loads," in *IEEE/IAS Conf. Rec.*, pp. 936–940
- [7]. Saadat. H, 1999, *Power System Analysis*, WCB / McGraw-Hill Book Co-Singapore
- [8]. Stevenson. William D, 1986, *Elements of Power System Analysis*, McGraw-Hill, Kogakusha
- [9]. Yusreni, W., 2000, "Analisis Pengaruh Pelepasan Beban Terhadap Tegangan Lebih Transien dengan EMTP", Tesis S2 UGM., Yogya