

ANALISA PENGARUH *NEUTRAL GROUND RESISTANT (NGR)* 40 OHM PADA TRANSFORMATOR DAYA 30 MVA DIGARDU INDUK BIREUEN TERHADAP ARUS GANGGUAN SATU FASA KE TANAH

Dedi Mirza¹, Salahuddin¹, Andik Bintoro¹

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh

Kampus Cot Teungku Nie-Reuleut Kecamatan Muara Batu-Aceh Utara

E-mail : salahuddin@unimal.ac.id

Abstrak— Sistem pengatanahan titik netral transformator daya 30 MVA melalui tahanan perlu dilakukan karena pada sistem 20 kV yang titik netralnya diketanahkan melalui resistansi 40 ohm pada saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ketanah dapat berpengaruh untuk memperkecil arus gangguan hubung singkat tersebut. Dengan mengetahui seberapa besar arus gangguan tersebut guna untuk settingan relai proteksi agar dapat mentriapkan pemutus daya (PMT). Pada hasil perhitungan diperoleh arus gangguan satu fasa ketanah bervariasi tergantung persentase lokasi gangguan, pada lokasi gangguan 25 % diperoleh arus gangguan yang diketanahkan dengan tahanan 40 ohm sebesar 229,95 Ampere lebih kecil dibandingkan dengan arus gangguan yang diketanahkan secara langsung yaitu sebesar 619,15 Ampere, pada lokasi gangguan 75 % diperoleh arus gangguan satu fasa yang diketanahkan dengan tahanan sebesar 149,58 Ampere sedangkan besar arus gangguan yang diketanahkan secara langsung yaitu 215,49 Ampere dan pada lokasi gangguan 100 % diperoleh arus gangguan satu fasa yang diketanahkan dengan tahanan sebesar 124,57 Ampere sedangkan besar arus gangguan yang diketanahkan secara langsung yaitu 162,54 Ampere.

Keywords— Transformator, PMT, NGR

I. PENDAHULUAN

Memperhatikan masalah keamanan baik terhadap peralatan dan pekerjaan, maka diperlukan usaha untuk membuat suatu sistem keamanan yang bisa melindungi peralatan dan pekerjaan tersebut dari ancaman atau gangguan listrik yang terjadi. Salah satu sistem keamanan yang sangat penting terhadap peralatan dan pekerjaan adalah pada trafo di Gardu Induk. Pentanahan peralatan adalah pentanahan yang digunakan dengan cara menghubungkan body/kerangka terhadap *ground* (tanah). Fungsi utama pentanahan peralatan untuk mengalirkan arus listrik kedalam tanah melalui suatu elektroda tanah yang ditanam didalam tanah jika terjadi suatu gangguan. Disamping itu juga berfungsi untuk mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi manusia.

Oleh sebab itu, apabila resistansi pentanahan peralatan ternyata masih begitu besar, maka kondisi ini sangat tidak menguntungkan karena akan membahayakan personal yang sedang bekerja maupun

peralatan yang sedang digunakan pada Gardu Induk. Untuk mengurangi pengaruh perubahan resistansi tersebut, maka diperlukan perawatan secara rutin pada sistem pentanahan agar harga tahanan pentanahan tetap sekecil mungkin pada transformator dayanya. Hubungan transformator daya 30 MVA yang digunakan pada gardu induk bireuen adalah hubungan YNyn0+d dengan pengetanahan netral sistem sekunder yang digunakan pada transformator 30 MVA adalah melalui resistansi 40 ohm.

Dalam pengetanahan titik netral transformator disisi sekunder melalui tahanan perlu dilakukan karena bila titik netralnya diketanahkan tanpa tahanan (*solid*) akan mempengaruhi impedansi dan berpengaruh terhadap besarnya arus gangguan hubung singkat pada penyulang (*feeder*). Dengan demikian disekitar titik gangguan sangat berbahaya bagi peralatan yang dilaluinya dan juga diperkirakan dapat menyebabkan kerusakan pada kabel penghantar disekitar titik gangguan tersebut.

II. DASAR TEORI

Pengertian Transformator Tenaga

Transformator Tenaga merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain pada tingkat tegangan yang berbeda. Pada umumnya suatu transformator disebut transformator daya apabila daya yang dipindahkan melebihi 500 KVA.

Sesuai dengan fungsinya itu transformator daya ditempatkan dipusat-pusat pembangkit atau Gardu Induk. Dipusat pembangkit transformator daya digunakan untuk menurunkan tegangan. Berdasarkan pendinginnya transformator daya digolongkan dalam dua jenis yaitu transformator daya yang tercelup dalam minyak (*oil imersed transformer*) dan transformator daya jenis kering (*dry tipe transformer*).^[1]

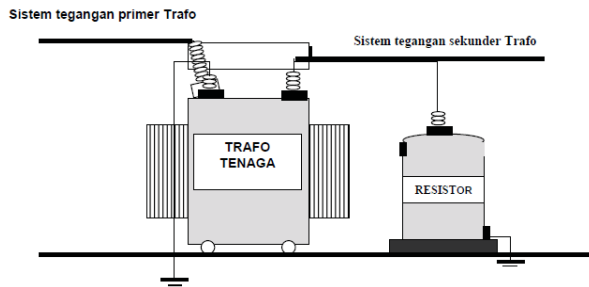
2.2 Sistem Pentanahan Titik Netral

Pada saat sistem tenaga listrik masih dalam skala kecil, gangguan hubung singkat ke tanah pada instalasi tenaga listrik tidak merupakan suatu masalah yang besar. Hal ini dikarenakan bila terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah arus gangguan masih relatif kecil (lebih kecil dari 5 Amper), sehingga busur

listrik yang timbul pada kontak-kontak antara fasa yang terganggu dan tanah masih dapat padam sendiri. Tetapi dengan semakin berkembangnya sistem tenaga listrik baik dalam ukuran jarak (panjang) maupun tegangan, maka bila terjadi gangguan fasa ke tanah arus gangguan yang timbul akan besar dan busur listrik tidak dapat lagi padam dengan sendirinya. Timbulnya gejala-gejala “busur listrik ke tanah (*arching ground*)” sangat berbahaya karena menimbulkan tegangan lebih transient yang dapat merusak peralatan.

Apabila hal diatas dibiarkan, maka kontinuitas penyaluran tenaga listrik akan terhenti, yang berarti dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar. Oleh karena itu sistem-sistem tenaga listrik tidak lagi dibuat terapung (*floating*) yang lazim disebut sistem delta, tetapi titik netralnya ditanahkan melalui tahanan, reaktor dan ditanahkan langsung (*solid grounding*).^[8]

Pentanahan itu umumnya dilakukan dengan menghubungkan netral transformator daya ke tanah, seperti dicontohkan pada gambar 2.7 berikut.



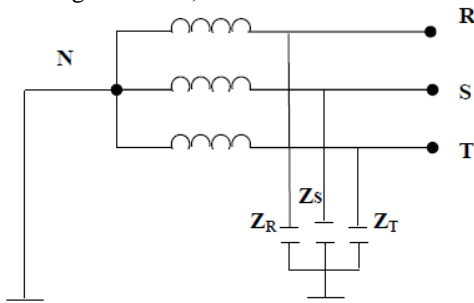
Gambar 2.7. Contoh Pentanahan Titik Netral Sistem

2.3. Metoda Pentanahan Titik Netral

Metoda-metoda pentanahan titik netral sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut :^[8]

2.3.1. Pentanahan Titik Netral Tanpa Impedansi (Pentanahan Langsung/*Solid Grounding*)

Sistem pentanahan langsung adalah dimana titik netral sistem dihubungkan langsung dengan tanah, tanpa memasukkan harga suatu impedansi (perhatikan gambar 2.9)^[8]



Gambar 2.9 Rangkaian Pengganti Pentanahan Titik Netral Tanpa Impedansi (Pentanahan Langsung/*Solid Grounding*)

Adapun rumus arus hubung singkat tersebut adalah :

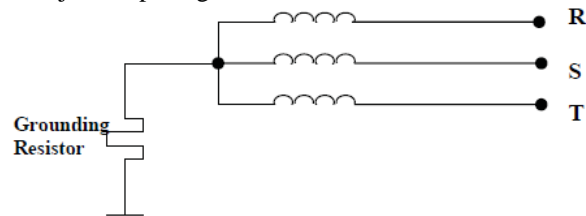
$$I_{hs} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + (Z_0 + 3R_n)} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana:

- I_{hs} = Arus gangguan di fasa R
- V_f = Tegangan fasa
- Z_1 = impedansi ekivalen urutan negatif
- Z_2 = impedansi ekivalen urutan positif
- Z_0 = impedansi ekivalen urutan nol
- R_n = Tahanan pengetanahan adalah nol

2.3.2. Pentanahan Titik Netral Melalui Tahanan (*resistance grounding*)

Pentanahan titik netral melalui tahanan (*resistance grounding*) dimaksud adalah suatu sistem yang mempunyai titik netral dihubungkan dengan tanah melalui tahanan (*resistor*), sebagai contoh terlihat pada gambar 2.9 dan rangkaian pengganti ditunjukkan pada gambar 2.10^[8]



Gambar 2.10 Rangkaian Pengganti Pentanahan Titik Netral melalui Tahanan

Adapun rumus arus hubung singkat tersebut adalah :

$$I_{hs} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + (Z_0 + 3R_n)} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana:

- I_{hs} = Arus gangguan di fasa R
- V_f = Tegangan fasa
- Z_1 = impedansi ekivalen urutan negatif
- Z_2 = impedansi ekivalen urutan positif
- Z_0 = impedansi ekivalen urutan nol
- R_n = resistansi netral

Pada umumnya nilai tahanan pentanahan lebih tinggi dari pada reaktansi sistem pada tempat dimana tahanan itu dipasang. Sebagai akibatnya besar arus gangguan fasa ke tanah pertamatama dibatasi oleh tahanan itu sendiri. Dengan demikian pada tahanan itu akan timbul rugi daya selama terjadi gangguan fasa ke tanah.^[8]

Secara umum harga tahanan yang ditetapkan pada hubung netral adalah :

$$R = \frac{V_f}{I} \text{ Ohm} \dots\dots\dots (2.26)$$

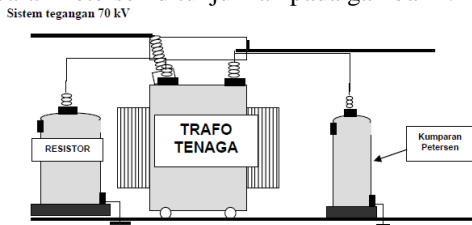
dimana :

- R = Tahanan (Ohm)
- V_f = Tegangan fasa ke netral
- I = Arus beban penuh dalam Ampere dari transformator.

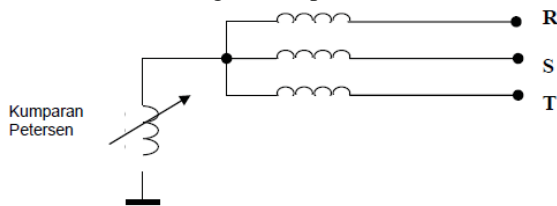
Dengan memilih harga tahanan yang tepat, arus gangguan ketanah dapat dibatasi sehingga harganya hampir sama bila gangguan terjadi disegala tempat didalam sistem bila tidak terdapat titik pentanahan lainnya. Dalam menentukan nilai tahanan pentanahan akan menentukan besarnya arus gangguan tanah.

2.3.3. Pentanahan Titik Netral Melalui Kumparan Petersen

Sistem pentanahan dengan kumparan Petersen adalah dimana titik netral dihubungkan ke tanah melalui kumparan Petersen (*Petersen Coil*). Kumparan Petersen ini mempunyai harga reaktansi (X_L) yang dapat diatur dengan menggunakan tap gambar 2.11. memperlihatkan petersen coil yang terpasang di PT PLN(Persero) P3B Region Jawa Barat, yaitu pada sistem 30 kV Plengan- Lamajan. [8] Rangkaian pengganti sistem pentanahan dengan kumparan Petersen ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.11 Contoh Pemasangan Pentanahan Titik Netral dengan Kumparan Petersen.



Gambar 2.12 Rangkaian Pengganti Pentanahan Titik Netral dengan Kumparan Petersen

Adapun rumus arus hubung singkat tersebut adalah :

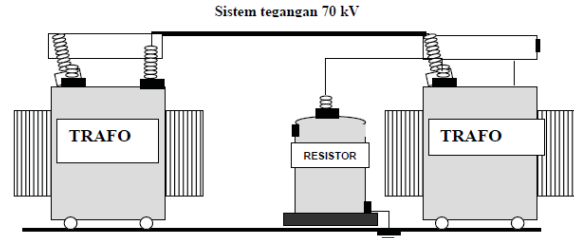
$$I_{hs} = \frac{3 \cdot V_f}{Z_1 + Z_2 + (Z_0 + 3jR_n)} \quad (2.27)$$

Dimana :

jR_n = kumparan peterson

2.3.4. Transformator Pentanahan

Bila pada suatu sistem tenaga listrik tidak terdapat titik netral, sedangkan sistem itu harus diketanahkan, maka sistem itu dapat ditanahkan dengan menambahkan “Transformator Pentanahan” (*grounding transformer*), contoh gambar pemasangan Trafo Pentanahan seperti ditunjukkan pada gambar 2.13 berikut : [8]



Gambar 2.13 Contoh Pemasangan Trafo Pentanahan Transformator pentanahan itu dapat terdiri dari transformator Zig – zag atau transformator bintang segitiga (Y-Δ). Trafo pentanahan yang paling umum digunakan adalah transformator zig-zag tanpa belitan sekunder.

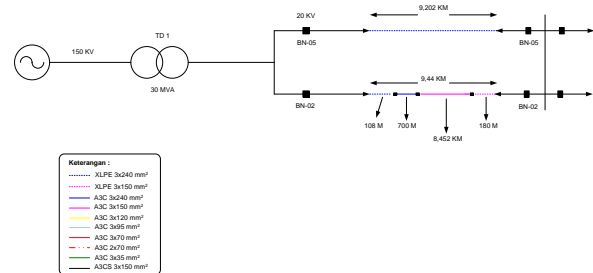
III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengetanahan Titik Netral Transformator Daya 30 MVA Melalui Resistansi 40 Ohm Di Gardu Induk Bireuen. Pengetanahan transformator daya 30 MVA yang ada di gardu induk bireuen menggunakan netral grounding restansi (NGR) 40 ohm dengan arus gangguan maksimum 300 Ampere terlihat pada name plate netral ground resistansi (NGR) lampiran dan pada sistem 20 kV menggunakan jaringan saluran kabel bawah tanah dan saluran campuran yaitu saluran udara dengan kabel tanah terlihat pada single line diagram penyulang BN 02 – BR 02 lampiran

4.2 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

Pada Gardu Induk Bireuen terpasang transformator daya (TD 1) ratio 150/20 kV kapasitas daya 30 MVA, impedansi 12,139 % dan menggunakan NGR sebesar 40 ohm disisi sekunder. Short circuit level bus 150 kV adalah 30 MVA. Transformator ini mengisi tegangan ke busbar 20 kV dan terdapat penyulang (feeder) yang panjangnya 9,44 km.

Pada gambar 4.1 dibawah ini menunjukkan single line dari jaringan distribusi 20 kV. Titik netral sekunder trafo daya ini tidak diketanahkan langsung (tanpa tahanan) tapi diketanahkan melalui resistansi 40 ohm. Netral ground resistansi digunakan untuk mempengaruhi berkurangnya arus gangguan satu fasa ketanah bila dibandingkan dengan pengetanahan titik netral secara langsung (tanpa tahanan) dan ini merupakan fungsi digunakan netral ground resistansi (NGR).



Gambar 4.1 Diagram segaris jaringan distribusi 20 kV

dari GI Bireuen – GH Bireuen

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah yang terjadi pada asumsi 25%, 75%, dan 100% dari panjang saluran (feeder). Berdasarkan data-data dari PT PLN (Persero) Gardu induk bireuen maka arus hubung singkat tersebut dapat kita hitung dengan cara sebagai berikut :

a. Menghitung nilai impedansi sumber dan impedansi transformator Daya

Impedansi transformator daya 30 MVA pada gardu induk bireuen adalah 12,139 % maka untuk mencari nilainya dalam ohm dihitung dengan cara sebagai berikut :

Dimana arus dasar transformator pada sisi sekunder (per phasa/line to neutral) adalah

$$I_{LN} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{LN}} = \frac{30 \cdot 10^6 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \text{ V}} = 866 \text{ A}$$

Dimana tegangan dasar transformator per phasa (LN) :

$$V_{LN} = \frac{20}{\sqrt{3}} = 11,547 \text{ kV}$$

Maka impedansi dasar transformator per phasa adalah :

$$Z_{LN} = \frac{V_{LN}}{I_{LN}} = \frac{11547 \text{ V}}{866 \text{ A}} = 13,333 \Omega$$

Jika nilai impedansi dasar transformator pada data sama dengan 12,139 % dan nilai impedansi dasar transformator per phasa adalah 13,333 Ω maka impedansi yang sebenarnya adalah :

$$\begin{aligned} Z_{\text{sebenarnya}} &= Z_{\text{pu}} \times Z_{LN} \\ &= 12,139 \% \times 13,333 \Omega \\ &= 0,1228 \times 13,333 \Omega \\ &= 1,6185 \Omega \end{aligned}$$

Dimana $\cos \Phi$ nya sebesar 0,9 maka besar sudut yang dibentuk adalah sebesar $25,84^{\circ}$, dengan demikian besar impedansi sebenarnya dalam bilangan rektanguler adalah :

$$\begin{aligned} Z_{\text{sebenarnya}} &= 1,6185 \angle 25,84^{\circ} \text{ ohm} \\ &= 1,457 + j 0,705 \text{ ohm} \end{aligned}$$

b. Menghitung impedansi penyulang BN 02 sampai BR 02

Impedansi yang akan dihitung disini tergantung dari impedansi (Z_T) per km dari penyulang tersebut, dalam perhitungan ini nilai impedansinya adalah :

➤ Impedansi urutan positif sama dengan negatif pada penyulang 20 kV dari BN 02 sampai BR 02

Dimana penyulang menggunakan kabel yang berbeda jenis dan ukuran maka :

XLPE 240 adalah (0,125 + j 0,097) 0,108 ohm/km = (0,016 + j 0,010) ohm/km

A3C 240 adalah (0,1344 + j 0,3158) 0,700 ohm/km = (0,084 + j 0,22) ohm/km

A3C 150 adalah (0,2162 + j 0,3305) 8,452 ohm/km = (1,827 + j 2,793) ohm/km

XLPE 150 adalah (0,206 + j 0,104) 0,180 ohm/km = (0,037 + j 0,025) ohm/km

Impedansi total (Z_T) adalah (1,964 + j 3,048) ohm/km

➤ Impedansi urutan nol pada saluran 20 kV

dari BN 02 sampai BR 02

XLPE 240 adalah (0,275 + j 0,29) 0,108 ohm/km = (0,029 + j 0,031) ohm/km

A3C 240 adalah (0,2824 + j 1,6034) 0,700 ohm/km = (0,197 + j 1,122) ohm/km

A3C 150 adalah (0,3631 + j 1,6180) 8,452 ohm/km = (3,068 + j 13,675) ohm/km

XLPE 150 adalah (0,2457 + j 0,356) 0,180 ohm/km = (0,044 + j 0,064) ohm/km

Impedansi total (Z_T) adalah (3,338 + j 14,892) ohm/km

Maka nilai impedansi untuk lokasi gangguan yang diperkirakan terjadi pada 25%, 75% dan 100% panjang saluran dapat dihitung sebagai berikut :

Besar impedansi penyulang urutan positif dan negatif

25% L=> $Z_1 = 0,25 \times 9,44 \text{ km} (1,964 + j 3,048) \text{ ohm/km} = (4,635 + j 7,193) \text{ ohm}$

75% L=> $Z_1 = 0,75 \times 9,44 \text{ km} (1,964 + j 3,048) \text{ ohm/km} = (13,905 + j 21,597) \text{ ohm}$

100% L=> $Z_1 = 1 \times 9,44 \text{ km} (1,964 + j 3,048) \text{ ohm/km} = (18,54 + j 28,773) \text{ ohm}$

Dimana impedansi diatas adalah impedansi urutan positif dan negatif

Besar impedansi urutan Nol

25% L=> $Z_1 = 0,25 \times 9,44 \text{ km} (3,338 + j 14,892) \text{ ohm/km} = (7,877 + j 35,145) \text{ ohm}$

75% L=> $Z_1 = 0,75 \times 9,44 \text{ km} (3,338 + j 14,892) \text{ ohm/km} = (23,633 + j 105,435) \text{ ohm}$

100% L=> $Z_1 = 1 \times 9,44 \text{ km} (3,338 + j 14,892) \text{ ohm/km} = (31,51 + j 140,58) \text{ ohm}$

c. Menghitung Impedansi Ekuivalen Penyulang

Pada perhitungan ini adalah perhitungan nilai impedansi ekuivalen positif (Z_{1eq}), negatif (Z_{2eq}) dan nol (Z_{0eq}) dari titik gangguan ke sumber. Impedansi Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat dihitung sesuai lokasi gangguan dengan menjumlahkan $Z_S + Z_T$ pada % L, sedangkan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke transformator daya yang netralnya ditanahkan. Nilai tahanan penyetanahan adalah 3 x R_n dan untuk penyetanahan tanpa tahanan (*solid*) nilai tahanan penyetanahan adalah nol. Z_{0eq} dapat dihitung sesuai lokasi gangguan dengan menjumlahkan $Z_S + 3 R_n + Z_T$ pada % L

Lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 25%, 75% dan 100% dari panjang saluran dan untuk Z_{1eq} adalah sama dengan Z_{2eq} .

Besar impedansi ekuivalen urutan positif dan negatif ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$) yaitu dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Z_{1eq} = Z_S + Z_T \text{ pada } \% L$$

25% L=> $Z_{1eq} = (1,457 + j 0,705 + 4,635 + j 7,193) \text{ ohm} = (6,092 + j 7,898) \text{ ohm}$

75% L=> $Z_{1eq} = (1,457 + j 0,705 + 13,905 + j 21,597) \text{ ohm} = (15,362 + j 22,302) \text{ ohm}$

100% L=> $Z_{1eq} = (1,457 + j 0,705 + 18,54 + j 28,773) \text{ ohm} = (19,997 + j 29,478) \text{ ohm}$

Besar impedansi ekuivalen urutan nol (Z_{0eq}) dimana titik netralnya diketanahkan melalui resistansi 40 ohm yaitu :

$$Z_{0eq} = Z_S + 3 R_n + Z_T \text{ pada } \% L$$

Dimana $R_n = 40 \Omega$

Maka ;

$$25\% L \Rightarrow Z_{0eq} = (1,457 + j 0,705 + 120 + 7,877 + j 35,154) \text{ ohm} = (129,334 + j 35,85) \text{ ohm}$$

$$75\% L \Rightarrow Z_{0eq} = (1,457 + j 0,705 + 120 + 23,633 + j 105,435) \text{ ohm} = (145,09 + j 106,14) \text{ ohm}$$

$$100\% L \Rightarrow Z_{0eq} = (1,457 + j 0,705 + 120 + 31,51 + j 140,58) \text{ ohm} = (152,967 + j 141,285) \text{ ohm}$$

Besar impedansi ekuivalen urutan nol (Z_{0eq}) bila pada titik netral di ketanahkan tanpa tahanan (*solid*) yaitu dimana $R_n = 0$ adalah :

$$25\% L \Rightarrow Z_{0eq} = (1,457 + j 0,705 + 7,877 + j 35,154) \text{ ohm} = (9,334 + j 35,85) \text{ ohm}$$

$$75\% L \Rightarrow Z_{0eq} = (1,457 + j 0,705 + 23,633 + j 105,435) \text{ ohm} = (25,09 + j 106,14) \text{ ohm}$$

$$100\% L \Rightarrow Z_{0eq} = (1,457 + j 0,705 + 31,51 + j 140,58) \text{ ohm} = (32,967 + j 141,29) \text{ ohm}$$

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah dapat kita hitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{hs} = \frac{3 \cdot E_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + (Z_0 + 3 R_n)}$$

d. Perhitungan Arus Gangguan Satu Fasa ke Tanah yang diketanahkan melalui resistansi 40 ohm

Dimana arus gangguan hubung singkat berdasarkan lokasi gangguan % L dan titik netral transformator daya diketanahkan melalui resistansi 40 ohm adalah:

$$\begin{aligned} 25\% L \rightarrow I_{hs} &= \frac{3 \cdot E_{ph}}{2(Z_{1eq}) + (Z_0 + 3 R_n)} \\ &= \frac{3 \cdot 11547 \text{ V}}{2(6,092 + j 7,898) + (129,334 + j 35,85) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(12,184 + j 15,796 + 129,334 + j 35,85) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(141,518 + j 51,646) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{150,65 \angle 20,05^\circ \Omega} \\ &= 229,95 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 75\% L \rightarrow I_{hs} &= \frac{3 \cdot E_{ph}}{2(Z_{1eq}) + (Z_0 + 3 R_n)} \\ &= \frac{3 \cdot 11547 \text{ V}}{2(15,362 + j 22,302) + (145,09 + j 106,14) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(30,724 + j 44,604 + 145,09 + j 106,14) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(175,814 + j 150,744) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{231,59 \angle 40,61^\circ \Omega} \\ &= 149,58 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 100\% L \rightarrow I_{hs} &= \frac{3 \cdot E_{ph}}{2(Z_{1eq}) + (Z_0 + 3 R_n)} \\ &= \frac{3 \cdot 11547 \text{ V}}{2(19,997 + j 29,478) + (152,967 + j 141,285) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(39,994 + j 58,956 + 152,967 + j 141,285) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(192,961 + j 200,241) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{278,083 \angle 46,06^\circ \Omega} \\ &= 124,57 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

e. Perhitungan arus gangguan satu fasa ketanah yang di ketanahkan tanpa tahanan (*solid*).

Dimana arus gangguan hubung singkat berdasarkan lokasi gangguan % L dan titik netral transformator daya diketanahkan tanpa tahanan (*solid*) adalah :

$$\begin{aligned} 25\% L \rightarrow I_{hs} &= \frac{3 \cdot E_{ph}}{2(Z_{1eq}) + (Z_0 + 3 R_n)} \\ &= \frac{3 \cdot 11547 \text{ V}}{2(6,092 + j 7,898) + (9,334 + j 35,85) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(12,184 + j 15,796 + 9,334 + j 35,85) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(21,518 + j 51,646) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{55,949 \angle 67,38^\circ \Omega} \\ &= 619,15 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 75\% L \rightarrow I_{hs} &= \frac{3 \cdot E_{ph}}{2(Z_{1eq}) + (Z_0 + 3 R_n)} \\ &= \frac{3 \cdot 11547 \text{ V}}{2(15,362 + j 22,302) + (25,09 + j 106,14) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(30,724 + j 44,604 + 25,09 + j 106,14) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(55,814 + j 150,744) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{160,75 \angle 69,68^\circ \Omega} \\ &= 215,49 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 100\% L \rightarrow I_{hs} &= \frac{3 \cdot E_{ph}}{2(Z_{1eq}) + (Z_0 + 3 R_n)} \\ &= \frac{3 \cdot 11547 \text{ V}}{2(19,997 + j 29,478) + (32,967 + j 141,29) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(39,994 + j 58,956 + 32,967 + j 141,29) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{(72,961 + j 200,246) \Omega} \\ &= \frac{34641 \text{ V}}{213,124 \angle 69,98^\circ \Omega} \\ &= 162,54 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

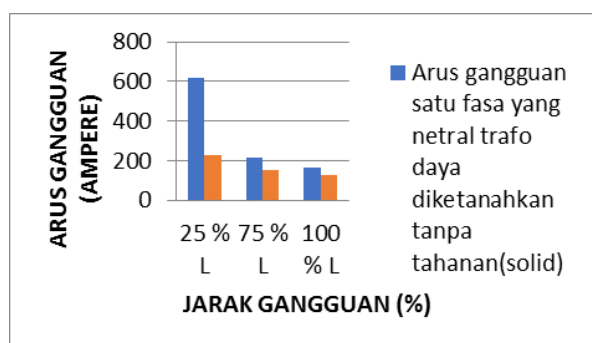
4.3 Pengaruh Neutral Ground Resistance (NGR) 40 Ohm Terhadap Arus Hubung Singkat Satu Fasa

Ketanaah

Pengatanahan titik netral sekunder transformator daya 30 MVA di gardu induk bireuen melalui resistansi 40 ohm, beberapa dampak buruk pada pengetanahan secara langsung seperti besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa yang lebih besar dapat dikurangi, dan pengetanahan melalui resistansi 40 ohm ini salah satu dimaksudkan untuk mengurangi arus hubung singkat tersebut. Untuk data hasil perbandingannya dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.1 hasil perhitungan dan pengaruh NGR 40 ohm terhadap arus gangguan

o	L	Arus gangguan satu fasa yang netral trafo daya diketanahkan tanpa tahanan(solid)	Arus gangguan satu fasa yang netral trafo daya diketanahkan dengan tahanan 40 ohm
.	5 % L	619,15 Ampere	229,95 Ampere
.	5 % L	215,49 Ampere	149,58 Ampere
.	00 % L	162,54 Ampere	124,57 Ampere



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Arus Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Pengaruh netral ground resistance (NGR) 40 ohm terhadap arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah tetap relatif besar dan diperkirakan dapat merusak peralatan dan kabel penghantar disekitar titik gangguan dan juga sangat berbahaya bagi manusia disekitarnya. Dan untuk menghentikan arus hubung singkat tersebut adalah dengan menggunakan setting relai proteksi agar dapat mengtripkan pemutus daya (PMT) pada saat terjadi gangguan tersebut.

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa perhitungan terhadap arus hubung singkat satu fasa ketanah dan perbandingan terhadap data yang terdapat di lapangan pada Gardu Induk Bireuen dengan perhitungan secara teoritis, penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan diperoleh arus gangguan satu fasa ketanah bervariasi tergantung persentase lokasi gangguan, pada lokasi gangguan 25 % diperoleh arus gangguan yang diketanahkan dengan tahanan 40 ohm sebesar 229,95 Ampere lebih kecil dibandingkan dengan arus gangguan yang diketanahkan secara langsung yaitu sebesar 619,15 Ampere, pada lokasi gangguan 75 % diperoleh arus gangguan satu fasa yang diketanahkan dengan tahanan sebesar 149,58 Ampere sedangkan besar arus gangguan yang diketanahkan secara langsung yaitu 215,49 Ampere dan pada lokasi gangguan 100 % diperoleh arus gangguan satu fasa yang diketanahkan dengan tahanan sebesar 124,57 Ampere sedangkan besar arus gangguan yang diketanahkan secara langsung yaitu 162,54 Ampere.
2. Pengetanahan titik netral sekunder transformator daya 30 MVA yang diketanahkan dengan tahanan 40 ohm dimana lokasi gangguan terjadi sangat berpengaruh terhadap besarnya arus gangguan satu fasa ketanah yang mana semakin dekat lokasi gangguan dengan transformator maka semakin besar pula arus gangguan yang dihasilkan dan sebaliknya.
3. Pengetanahan titik netral sekunder transformator daya 30 MVA melalui tahanan 40 ohm disisi sekunder berfungsi untuk memperkecil arus gangguan satu fasa ketanah dan beberapa dampak buruk pada pengetanahan secara langsung seperti besarnya arus gangguan satu fasa yang lebih besar dapat dikurangi.
4. Pengaruh netral ground resistance (NGR) 40 ohm terhadap arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah tetap relatif besar dan diperkirakan dapat merusak peralatan dan kabel penghantar disekitar titik gangguan dan juga sangat berbahaya bagi manusia disekitarnya. Dan untuk menghentikan arus hubung singkat tersebut adalah dengan menggunakan setting relai proteksi agar dapat mengtripkan pemutus daya (PMT) pada saat terjadi gangguan tersebut.

V. REFERENSI

- [1] PT. PLN (Persero). SPLN 1991. *Bagian Transformator Tenaga*. PT. PLN (Persero). Jakarta.
- [2] PT. PLN (Persero). 2009. *Batas dan Pemeliharaan Peralatan Listrik Trafo Daya* (no dokumen : 1-22 / harlur – PST / 2009)
- [3] Habibirahim. 2012. *Perhitungan Tahanan Pentanahan Dengan Konfigurasi Bujur Sangkar*. Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.

