

ANALISIS DAMPAK TERPUTUSNYA KAWAT NETRAL TERHADAP JTM 20 kV

Juningtyastuti, Karnoto, Riyanto
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto S.H Tembalang-Semarang

Abstrak:

Pada sistem distribusi tenaga listrik yang menggunakan sistem Bintang 4 kawat *Multy Grounded Common Neutral (Y-4W-MCGN)*, jika kawat netral hilang maka tidak akan ada lagi sistem tersebut, karena sistem *MCGN* akan terselenggara dengan baik hanya jika ada saluran netral, sehingga hilangnya kawat netral di beberapa tempat pada saluran merupakan suatu kondisi tidak normal dan akan menyebabkan resiko yang tidak baik terhadap *performance* operasi sistem distribusi tenaga listrik dan kualitas pelayanan beban di sisi pelanggan.

I. PENDAHULUAN

Dalam operasi sistem tenaga listrik terjadinya gangguan tidak dapat dihindarkan. Gangguan terjadi dapat dikarenakan karena adanya kejadian secara acak dalam sistem yang dapat berupa berkurangnya kemampuan peralatan, meningkatnya beban dan lepasnya peralatan-peralatan yang tersambung ke sistem. Gangguan yang sering terjadi pada saluran distribusi adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang sifatnya temporer, sehingga untuk mengatasinya digunakan *Ground Fault Relay (GFR)* sebagai pendeteksi gangguan yang dikoordinasikan dengan *Recloser*. Sehubungan dengan banyaknya kawat netral yang terputus dikhawatirkan akan berakibat pada mengecilnya arus gangguan sampai dibawah nilai arus setting GFR sehingga, peralatan proteksi tidak akan bekerja saat terjadi gangguan dan ini sangat berbahaya bagi keselamatan manusia dan lingkungan.

Berkaitan dengan permasalahan di atas PT. PLN (Persero) UBD Region Jateng & DIY melalui APJ I sebagai kepanjangan tangan yang menguasai wilayah kerja kota Semarang, Salatiga dan Kudus bermaksud memasang kembali kawat netral yang terputus namun, terbentur oleh anggaran biaya yang tidak sedikit.

Sehubungan dengan permasalahan dan kendala itulah, penulis melakukan analisis mengenai dampak putusnya kawat netral terhadap Jaringan Tegangan Menengah 20 kV di APJI, dengan tujuan ingin mengetahui sejauh mana penurunan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dan dampaknya terhadap tegangan pelayanan yang diakibatkan oleh putusnya kawat netral dan selanjutnya memberikan alternatif upaya tindakan yang mungkin bisa dilakukan guna mengatasi permasalahan yang sedang di hadapi.

II. TUJUAN

Penulisan penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dampak yang mungkin ditimbulkan, akibat terputusnya kawat netral Jaringan Tegangan

Menengah 20 kV dan mencari solusi terbaik yang mungkin bisa dikerjakan sehubungan adanya kendala yang dihadapi pada saat akan dilakukan kembali pemasangan kawat netral yang putus.

III. PEMBATASAN MASALAH

Analisa masalah yang akan dilakukan dalam Penelitian ini dibatasi pada kasus terputusnya kawat netral Jaringan Udara Tegangan Menengah 20 kV sistem radial 3 (tiga) fasa 4 (empat) kawat pada saat kondisi *steady state*. Untuk perhitungan digunakan data-data dari *feeder* pertama yang keluar dari GI Krapyak yang termasuk dalam wilayah kerja Area Pelayanan Jaringan I (APJ I).

IV. TEORI DASAR

4.1. Sistem distribusi tenaga listrik

Sistem tenaga listrik terdiri atas tiga bagian utama yaitu, sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Dari ketiga sistem tersebut sistem distribusi merupakan bagian yang letaknya paling dekat dengan konsumen, fungsinya adalah menyalurkan energi listrik dari suatu Gardu Induk distribusi ke konsumen.

Adapun bagian-bagian dari sistem distribusi tenaga listrik adalah:

1. Gardu Induk Distribusi
2. Jaringan Primer (JTM)
3. Transformator Distribusi
4. Jaringan Sekunder (JTR)

4.2. Klasifikasi Sistem Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi dikategorikan kedalam beberapa jenis, sebagai berikut:

1. Tegangan pengenalnya :
 - a. JTM 20 kV.
 - b. JTR 380/220 Volt.
2. Konfigurasi jaringan primer
 - a. Jaringan distribusi pola radial
 - b. Jaringan distribusi pola loop
 - c. Jaringan distribusi pola loop radial
 - d. Jaringan distribusi pola grid
 - e. Jaringan distribusi pola spindel
3. Konfigurasi penghantar jaringan primer
 - a. Konfigurasi penghantar segitiga.
 - b. Konfigurasi penghantar vertikal.
 - c. Konfigurasi penghantar horisontal.
4. Sistem pengetanahan :
 - a. Sistem distribusi tanpa pengetanahan
 - b. Sistem distribusi pengetanahan tak langsung
 - c. Sistem distribusi pengetanahan langsung

4.3. Gangguan Sistem Distribusi

Jenis gangguan hubung singkat yang sering terjadi:

1. Hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{af} = \frac{3V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (1)$$

2. Hubung singkat dua fasa

$$I_{af} = -I_{bf} = \frac{\pm jV_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (2)$$

3. Hubung singkat dua fasa ke tanah

$$I_{a1} = \frac{E < 0^0}{(Z_1 + Z_f) + \frac{(Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g)}{Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g}} \quad (3)$$

$$I_{a2} = - \left[\frac{Z_0 + Z_f + 3Z_g}{(Z_0 + Z_f + 3Z_g) + (Z_2 + Z_f)} \right] \cdot I_{a1} \quad (4)$$

$$I_{a0} = - \left[\frac{Z_2 + Z_f}{(Z_0 + Z_f + 3Z_g) + (Z_2 + Z_f)} \right] \cdot I_{a1} \quad (5)$$

$$I_{bf} = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \quad (6)$$

$$I_{cf} = I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \quad (7)$$

4. Hubung singkat tiga fasa

$$I_{af} = I_{a1} = \frac{E < 0^0}{Z_1 + Z_f} \quad (8)$$

$$I_{bf} = a^2 \cdot I_{a1} = \frac{E < 240^0}{Z_1 + Z_f} \quad (9)$$

$$I_{cf} = a \cdot I_{a1} = \frac{E < 120^0}{Z_1 + Z_f} \quad (10)$$

4.4. Peralatan proteksi pada sisitem distribusi JTM 20 kV

Peralatan proteksi pada sisitem distribusi JTM 20 kV terdiri dari :

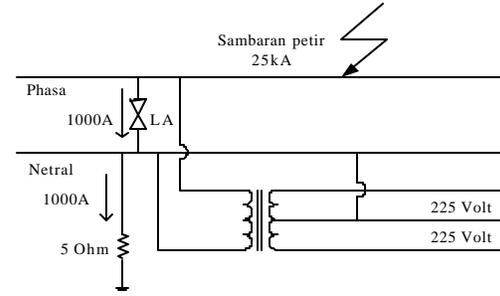
- a. Rele arus lebih (*Over Current Relay/OCR*)
- b. Rele gangguan ke tanah (*Ground Fault Relay/GFR*)
- c. *Recloser*

4.5. Dampak Putusnya Kawat Netral terhadap Kerja GFR pada JTM 20 kV

Berhasilnya suatu pengamanan dengan rele gangguan ke-tanah sangat tergantung pada besarnya arus gangguan ke-tanah.

Di Jawa Tengah pada umumnya dan di APJ 1 pada khususnya banyak dijumpai kawat netral putus. Putusnya kawat netral disepanjang jaringan ini bisa menyebabkan arus gangguan ke tanah menjadi lebih kecil dari arus seting peralatan proteksi yang terpasang. Karena impedansi urutan nol saluran akan menjadi lebih besar dari pada jaringan saat kondisi normal. Hal ini akan sangat membahayakan keselamatan manusia dan juga bisa menyebabkan kerusakan pada peralatan yang tersambung ke sistem akibat tidak bekerjanya rele proteksi.

4.6 Dampak Putusnya Kawat Netral Terhadap Keamanan Peralatan Pelanggan dari Pengaruh Sambaran Petir



Gambar 4.1. Kawat netral sebagai pengaman peralatan terhadap sambaran petir

Seperti ditunjukkan pada gambar 4.1, sambaran petir terhadap JTM bisa menimbulkan arus gangguan yang sangat besar, untuk mengatasinya digunakan *lighting arrester (LA)* sebagai alat pengaman yang berfungsi untuk mengeliminir gangguan hubung singkat tersebut. Akan tetapi arus gangguan tersebut tidak dapat sepenuhnya dieliminir oleh LA, sehingga perlu adanya pengaman tambahan berupa sistem pengetanahan netral yang baik yaitu, sistem pengetanahan dengan tahanan yang kecil mendekati nol atau pengetanahan langsung. Tujuannya agar arus gangguan akibat sambaran petir bisa diamankan ke tanah secara sempurna.

4.7. Dampak Putusnya Kawat Netral terhadap Tegangan Pelayanan

Dari gambar 4.2, jika titik A putus maka kualitas tegangan pada sisi pelanggan akan terganggu.

- Kondisi Normal $E_1 = E_2 = V_1 = V_2 = 0,5 \times V_t$ (11)
- Kondisi Gangguan

$$V_1 = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} V_t \quad (12)$$

$$V_2 = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} V_t \quad (13)$$

Bila $Z_1 \neq Z_2$, maka $V_1 \neq V_2$. Sehingga semakin besar perbedaan nilai impedansi antara Z_1 dan Z_2 maka semakin besar pula beda tegangan pada Z_1 dan Z_2 .

Apabila kawat jamber hantaran netal ke *grounding* putus (gambar 4.2 dengan titik B putus), maka akibatnya besarnya nilai tahanan pengetanahan bersama akan bertambah yang mengakibatkan tegangan sentuh menjadi lebih besar, sedangkan untuk tegangan pelayanan pada beban Z_1 dan Z_2 tidak terpengaruh oleh putusnya jamber hantaran netal ke *grounding*.

- Kondisi Normal

$$R_{p\text{total}} = \frac{R_{\text{trafo}}^3}{R_1^2 R_2^2} \quad (14)$$

- Kondisi Titik B Putus

$$R_{p\text{total}} = \frac{R_{\text{trafo}} * R_{p1} * R_{p2}}{(R_{p1} * R_{p2}) + (R_{\text{trafo}} * R_{p2}) + (R_{\text{trafo}} * R_{p1})} \quad (15)$$

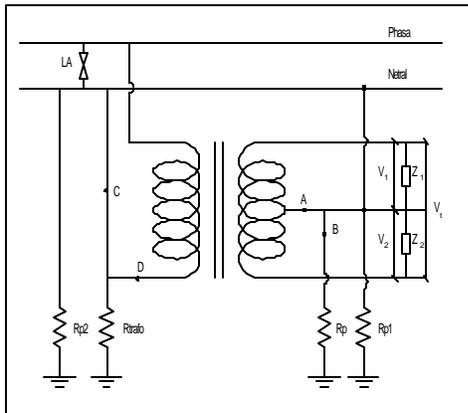
Jika kawat netral JTM pada trafo distribusi sisi primer putus (titik C pada gambar 4.2 putus), tidak akan berpengaruh terhadap tegangan pelayanan di sisi tegangan rendah tetapi berpengaruh terhadap nilai tahanan pengetanahan secara parallel/bersama (nilai tahanan pengetanahan menjadi besar) yang berakibat tegangan sentuh menjadi lebih besar. Persamaan tahanan total saat kawat netral JTM trafo distribusi putus untuk masing-masing kondisi sesuai dengan persamaan 13 dan 14 (dengan mengambil tahanan pengetanahan 5 Ohm).

Putusnya sambungan ujung kumparan primer trafo ke *grounding* yang ditunjukkan pada gambar 4.2 dengan titik D putus, akan berdampak terhadap tegangan pelayanan sisi tegangan rendah, dimana tegangan pada sisi beban akan menjadi nol karena pada trafo sisi primer tidak ada tegangan induksi akibat terputusnya saluran suplai transformator.

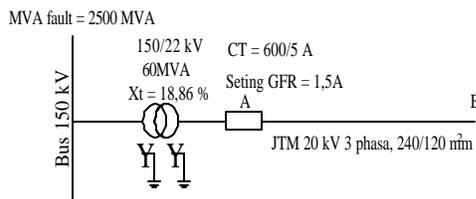
V. PERHITUNGAN dan ANALISA

Dalam perhitungan arus hubung singkat data-data yang digunakan adalah sebagai berikut :

- ❖ Model Sistem ditunjukkan pada gambar 5.1
- ❖ Impedansi dasar (Z_{base})
 - $MVA_{\text{base}} = 60 \text{ MVA}$
 - $V_{\text{base}} = 22 \text{ kV}$
 - $Z_{\text{base}} = \frac{22^2}{60} = 8.07 \ \Omega$
 - $I_{\text{base}} = \frac{22000}{\sqrt{3} * 8.07} = 1573.1913 \text{ A}$



Gambar 4.2 Rangkaian transformator saat kondisi normal



Gambar 5.1 Diagram satu garis sistem

❖ **Impedansi Sumber**

- Sisi tegangan tinggi (X_{tt})

$$= \frac{kV^2}{MVA_{hs}}$$

$$= \frac{22^2}{2500 * 8.07} = j0.0239 \text{ (pu)}$$
- Sisi tegangan rendah (X_{tr})

$$= X(\%) * \frac{kV^2}{MVA_{trafo}}$$

$$= 0.1886 * \frac{22^2}{60 * 8.07} = 0.1885 \text{ (pu)}$$

❖ **Impedansi Gangguan**

- Gangguan maksimum, $Z_f = 0 \text{ pu}$
- Gangguan minimum, $Z_f = 35 \ \text{Ohm}$.

$$Z_f = \frac{Z_f}{Z_{base}} = \frac{35}{8.07}$$

$$= 4.3371 \text{ (pu)}$$

❖ **Impedansi urutan saluran**

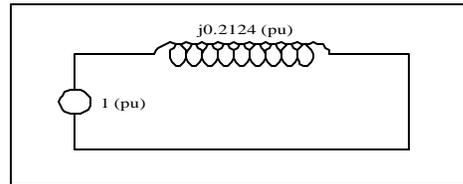
Tabel 5.1 Impedansi urutan saluran (pu/km)

Konf. sistem	$Z_1 = Z_2$		Z_0	
	Nyata	Imajiner	Nyata	Imajiner
ST _{1n}	0.0167	0.0382	0.0512	0.1176
ST _{1m}	0.0167	0.0382	0.0349	0.1973
ST _{2n}	0.0167	0.0403	0.0523	0.1098
ST _{2m}	0.0167	0.0403	0.0349	0.1931
ST ₃	0.0167	0.0381	0.0349	0.1976
ST ₄	0.0167	0.0387	0.0523	0.1131

5.1. Perhitungan arus gangguan hubung singkat maksimum

Dengan menggunakan persamaan-persamaan 1-8, maka akan diperoleh nilai arus gangguan hubung singkat sebagai berikut :

- Gangguan tiga fasa

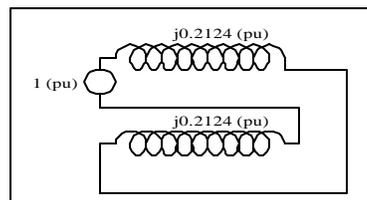


Gambar 5.2 Rangkaian ekuivalen impedansi gangguan tiga fasa

$$I_{3\phi} = 4,7081 \angle -90 \text{ pu}$$

$$= 7406,7387 \text{ Ampere}$$

- Gangguan dua fasa



Gambar 5.3 Rangkaian ekivalen impedansi gangguan dua fasa

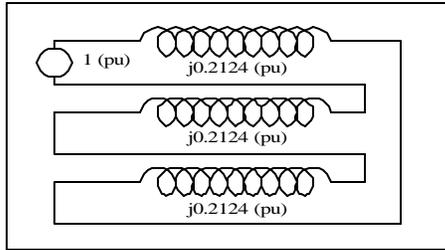
$$I_{2\phi} = \sqrt{3} * \frac{1\angle 0}{2 * 0.2124 \angle 90} = 4,0772 \angle -90 \text{ pu}$$

$$= 6414,4239 \text{ Ampere}$$

➤ Gangguan satu fasa ke tanah

$$I_{1\phi} = 3 * \frac{1\angle 0}{3 * 0.2124 \angle 90} = 4,7082 \angle -90 \text{ pu}$$

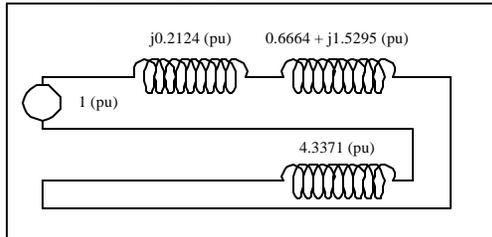
$$= 7406,7387 \text{ Ampere}$$



Gambar 5.4 Rangkaian ekivalen impedansi gangguan satu fasa ke tanah

5.2. Gangguan Hubung Singkat Minimum (Gangguan terletak di Ujung Saluran = 40 km)

➤ Gangguan tiga fasa :



Gambar 5.5 Rangkaian ekivalen impedansi gangguan tiga fasa minimum

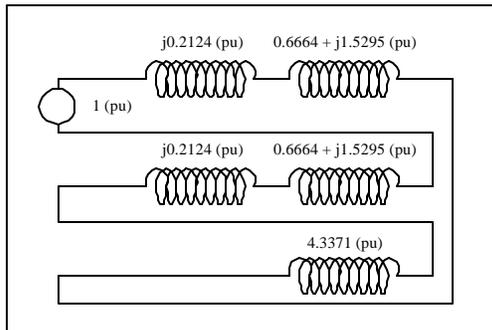
$$I_{3\phi} = \frac{1\angle 0}{5.2994 \angle 19.19} = 0.1887 \angle -19.19 \text{ pu}$$

$$= 297,11 \text{ Ampere}$$

➤ Gangguan dua fasa :

$$I_{2\phi} = 0,2602 \angle -31.56 \text{ (pu)}$$

$$= 409,27 \text{ Ampere}$$



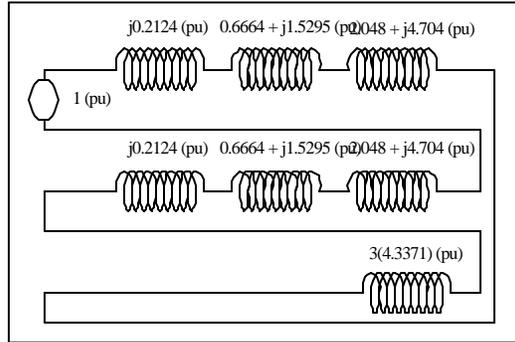
Gambar 5.6 Rangkaian ekivalen impedansi gangguan dua fasa minimum

➤ Gangguan satu fasa ke tanah

$$I_{1\phi} = 0.1628 \angle -2.713 \text{ (pu)}$$

$$= 256.40 \text{ Ampere}$$

Dengan menggunakan metode yang sama, akan diperoleh arus gangguan untuk berbagai sistem konfigurasi penghantar pada saat kondisi normal (kawat netral ada) dan pada saat kawat netral putus, seperti ditunjukkan pada tabel 5.2.



Gambar 5.7 Rangkaian ekivalen impedansi gangguan satu fasa ke tanah minimum

Tabel 5.2 Hasil perhitungan arus gangguan

Konf. Sistem (ST)	Arus gangguan 3 φ		Arus gangguan 2 φ		Arus gangguan 1 φ ketanah	
	Imax (A)	Imin (A)	Imax (A)	Imin (A)	Imax (A)	Imin (A)
ST-1n	7406.4	297.11	6414.1	409.72	7406.4	256.40
ST-1tn	7406.4	297.11	6414.1	409.72	7406.4	241.55
ST-2an	7406.4	295.51	6414.1	404.23	7406.4	256.72
ST-2atn	7406.4	295.51	6414.1	404.23	7406.4	241.55
ST-2b	7406.4	257.55	6414.1	410.12	7406.4	241.55
ST-3	7406.4	256.28	6414.1	408.54	7406.4	256.72

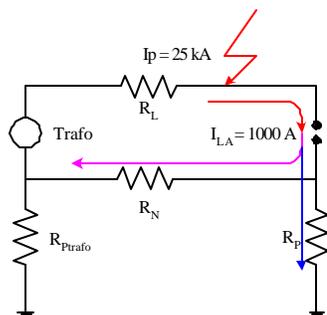
Dari hasil perhitungan seperti ditunjukkan pada tabel 5.2 dapat dilihat bahwa, putusnya kawat netral hanya berpengaruh pada gangguan fasa tanah, sedangkan untuk gangguan fasa-fasa tidak akan terpengaruh oleh putusnya kawat netral.

Penurunan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah minimum sebesar 5,79% untuk konfigurasi sistem segitiga dan 5,91% untuk konfigurasi horisontal. Dari tabel 5.2 dapat dilihat pula ketika terjadi arus gangguan maksimum yaitu saat terjadi gangguan di dekat trafo GI, besarnya nilai arus gangguan untuk kondisi jaringan dengan dan tanpa kawat netral adalah sama. Sampai saat ini penurunan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah akibat putusnya kawat netral tidak akan berpengaruh pada kerja GFR, hal ini bisa dilihat dari setting GFR, yaitu :

- ❖ Ratio CT = 600/5 A
- ❖ Is GFR = 1,5 A
- ❖ I primer = Ratio CT * Is = 120 * 1,5 = 180 A.

Setting arus primer dari GFR = 180 A yang berarti, jika ada gangguan hubung singkat fasa ke tanah dengan nilai arus gangguan minimum sama dengan atau lebih besar dari 180 A maka, rele akan mendeteksinya dan kemudian memerintahkan *Recloser* untuk bekerja. Tetapi jika arus gangguan kurang dari 180 A maka rele tidak akan mendeteksi gangguan tersebut.

5.3. Dampak Putusnya Kawat Netral Terhadap Keamanan Peralatan Pelanggan Dari Sambaran Petir



Gambar 5.8 Rangkaian ekuivalen arus gangguan sambaran petir

Dengan menggunakan persamaan 14 dan 15 maka nilai tahanan total akan didapatkan, tahanan sentuh diperoleh dengan mengalikan tahanan total dan arus gangguan, sehingga didapatkan tabel 5.3

Tabel 5.3 Tegangan sentuh akibat putusnya kawat netral

Kondisi	Tegangan (Volt)		Keterangan
	Netral (U/km)	R _p (Ω)	
Ada	0	0	I = 1000 A
~	5	0	500 I = 1000 A
Ada	~	301.8	0 I = 1000 A
Ada	5	943.1	0.0569 I = 1000 A
~	~	0	0 Bisa merusak Trafo

Hasil perhitungan pada tabel 5.3 menunjukkan bahwa putusnya kawat netral akan menyebabkan tegangan sentuh menjadi besar, sebaliknya jika kawat penyetanahan putus maka, akan menyebabkan tegangan pada tahanan R_N menjadi lebih besar dan tegangan ini berpotensi merusak peralatan pelanggan.

Untuk mengatasi akibat-akibat tersebut di atas, maka ada beberapa alternatif upaya yang bisa dilakukan, menggunakan sistem penyetanahan langsung, seperti yang telah dilakukan di APJ I atau dengan menggunakan sistem penyetanahan *Multi Grounded Common Neutral* seperti juga direkomendasikan pada standar Chas T Main

5.4. Dampak Putusnya Kawat Netral Terhadap Kualitas Tegangan Pelayanan (titik A pada gambar 4.2 putus)

- ❖ Analisa Terhadap Dampak Putusnya Kawat Jumper *Bushing* Netral Ke Kawat Netral

Pada saat jamper netal putus beban Z₁ dan Z₂ pada rangkaian transformator akan bekerja secara seri sehingga besarnya tegangan pada masing-masing beban akan tergantung pada perubahan dari besarnya nilai masing-masing beban pada saat itu, sedangkan tegangan terminal menjadi 450 Volt. Dengan menggunakan persamaan 13 dan 14, akan didapat tegangan pada masing-masing beban seperti ditunjukkan pada tabel 5.4

Tabel 5.4 Hasil perhitungan V₁ dan V₂ saat jamper netal putus

Beban()		Tegangan (Volt)	
Z1	Z2	V2	V1
544	48	414	36
484	97	375	75
451	149	338	112
403	201	300	150
363	242	270	180
296	296	225	225
242	363	180	270
201	403	150	300
149	451	112	338
97	484	75	375
48	544	36	414

Upaya yang dilakukan untuk mengatasi tegangan lebih akibat jamper netral transformator putus dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Memperbaiki sambungan
2. *Bushing* netral transformator N dan N₂ masing-masing disambung langsung ke kawat netral.
3. Mengubah polaritas agar V₁+ V₂ = 0

5.5. Kawat Jumper Hantaran Netral ke Grounding Terputus (Gambar 4.2 saat titik B putus)

Rangkaian ekuivalen saat kondisi tersebut ditunjukkan pada gambar 4.9.

Apabila terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan data-data sebagai berikut :

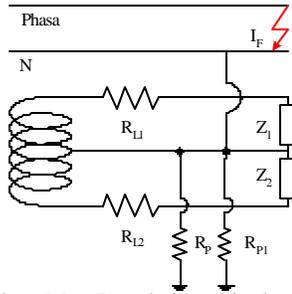
- Arus hubung singkat minimum
I_f = 256,4 A (tabel 5.2)
- Tahanan R_p = 5 Ohm
- Tahanan R_{p1} = 5 Ohm

Maka, dengan menggunakan persamaan 12 dan 13 didapatkan besarnya tegangan sentuh pada tahanan R_{p2} pada saat sebelum dan sesudah kawat jumperan hantaran netral R_p putus adalah :

- ❖ Tegangan sentuh VR_{p2} saat normal :128.2 A
- ❖ Tegangan sentuh VR_{p2} saat RP1 putus = 5 * 256.4 = 1282

terlihat bahwa dengan putusnya kawat jumper hantaran netral ke *grounding* akan menyebabkan tegangan sentuh pada tahanan penyetanahan di tempat lain menjadi lebih tinggi sedangkan, untuk tegangan pelayanan di sisi konsumen tidak akan mengalami gangguan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut upaya yang dilakukan adalah dengan cara

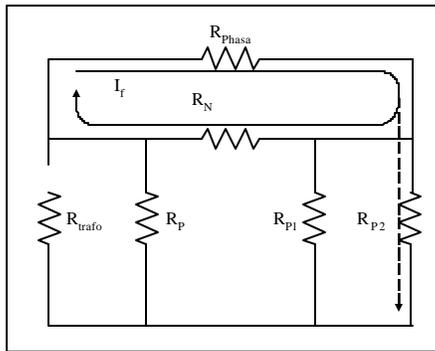
memperkecil tahanan pengetanahan salah satunya dengan menggunakan metode *Multi Grounded Common Neutral*



Gambar 5.9. Rangkaian ekuivalen putusnya jamperan netral ke grounding

5.6. Kawat Netral JTM Pada Trafo Distribusi Sisi Primer Putus (titik C pada gambar 4.2 putus)

Rangkaian ekuivalen saat kawat netral JTM trafo distribusi sisi primer putus ditunjukkan pada gambar 5.10.



Gambar 5.10 Rangkaian ekuivalen saat kawat netral JTM trafo distribusi sisi primer putus

Dengan menggunakan data-data sebagai berikut : $I_{SLG} = 256,4$ A, $R_{trafo} = 0,3$ Ohm, $R_p = R_{p1} = R_{p2} = 5$ Ohm maka, besarnya tahanan pengetanahan total sebelum dan setelah titik C pada gambar 2.19 putus dapat ditentukan masing-masing nilainya dengan menggunakan persamaan 14 dan 15, yaitu sebesar :

- Kondisi normal = 0,2542 Ohm
 $V_s = I_{SLG} * R_{ptotal}$
 $= 256,4 * 0,2542 = 65,18$ Volt
- Kondisi titik C putus = 1,66 Ohm
 $V_s = 256,4 * 1,66 = 425,62$ Volt

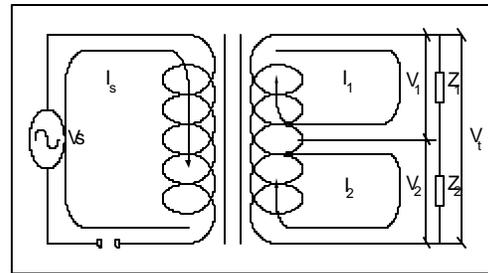
Putusnya kawat netral transformator pada sisi tegangan menengah akan menyebabkan meningkatnya nilai tahanan pengetanahan secara bersama, hal ini bisa dibuktikan dari hasil perhitungan yang didapat. Bertambah besarnya nilai tahanan pengetanahan total maka jika terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, tegangan sentuh yang dirasakan akan semakin besar.

Dari hasil perhitungan tersebut tegangan sentuh mengalami kenaikan sebesar 84,69%, jika kondisi seperti ini terus dibiarkan akibatnya akan sangat membahayakan bagi keselamatan manusia. Upaya yang bisa dilakukan yaitu dengan cara memperkecil tahanan bersama (total) yaitu melalui sistem

pengetanahan kawat netral jaringan dengan menggunakan metode *Multi Grounded Common Neutral*. Upaya lain yang bisa digunakan yaitu dengan cara memasang kawat netral di atas dengan konfigurasi jaringan sesuai gambar 3.5 tujuannya agar kawat netral yang dipasang terhindar dari tanggungan yang tidak bertanggung jawab, sehingga putusnya kawat netral dan akibatnya bisa ditekan/dikurangi.

5.7. Jumper Grounding Trafo Distribusi sisi Tegangan Menengah Putus

Gambar 4.2 dapat dibuat gambar ekuivalennya untuk kondisi titik D putus seperti ditunjukkan pada gambar 5.12. Dari gambar 5.12 menunjukkan bahwa putusnya jumper *grounding* transformator distribusi tegangan menengah, mengakibatkan tegangan pelayanan pada sisi pelanggan menjadi hilang.



Gambar 5.11 Rangkaian ekuivalen saat jamper grounding trafo distribusi sisi tegangan menengah putus

VI. PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis dampak putusnya kawat netral terhadap jaringan tegangan menengah 20 kV dan sistem tegangan pelayanan dapat diperoleh beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

1. Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (*Single Line to Ground Fault/SLG*) minimum pada kondisi normal adalah 256,4 A sedangkan pada saat kawat netral hilang sebesar 241,55 A, jadi sampai saat ini penurunan nilai arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah minimum (gangguan di ujung saluran) masih relatif cukup kecil yaitu sebesar 14,85 A (5,79%).
2. Turunnya arus gangguan hubung singkat ke tanah minimum, akibat putusnya kawat netral tidak akan berpengaruh terhadap kerja GFR, karena nilai arus gangguan sebesar 241,55 A masih berada di atas arus setting GFR ($I_s = 180$ A).
3. Kawat netral yang putus saat terjadi arus gangguan yang sangat besar (akibat petir) bisa menyebabkan :
 - adanya tegangan pada penghantar netral yang berpotensi merusak peralatan pelanggan.
 - meningkatnya tegangan sentuh.

- jika kawat netral dan kawat pengetanahan putus maka arus gangguan tersebut bisa merusak transformator.

Upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah, memperkecil tahanan pengetanahan dengan menggunakan metode pengetanahan langsung atau dengan menggunakan sistem pengetanahan langsung yang dipasang disepanjang kawat netral (*Multi Grounded Common Neutral / MGCN*), sebagaimana telah diterapkan di APJI

4. Putusnya sambungan jamperan kawat netral pada *bushing* transformator menyebabkan tegangan pada kondisi beban tidak setimbang akan mengalami kenaikan atau penurunan tegangan tergantung pada besar kecilnya beban.
Upaya untuk mengatasi tegangan lebih akibat putusnya sambungan kawat jamper netral *Bushing* transformator dapat dilakukan dengan menggunakan cara-cara, sebagai berikut :
 - ❖ Memperbaiki sambungan pada jamperan netral *Bushing* dengan menggunakan sepatu kabel Bimetal Cu-Al atau dengan menggunakan konektor Bimetal Cu-Al.
 - ❖ *Bushing* netral transformator N_1 dan N_2 masing-masing disambung langsung ke kawat netral.
 - ❖ Mengubah polaritas agar $V_1 + V_2 = 0$.
5. Putusnya kawat jamper hantaran netral ke *grounding* akan menyebabkan meningkatnya nilai tahanan total pengetanahan, akibatnya tegangan sentuh menjadi lebih besar. Upaya yang dilakukan untuk mengatasinya adalah dengan menggunakan sistem pengetanahan *MGCN*.
6. Putusnya kawat netral JTM Transformator Distribusi pada sisi primer tidak akan mempengaruhi tegangan pelayanan di sisi pelanggan, tetapi akan berakibat pada naiknya tahanan pengetanahan total sehingga, tegangan sentuh akan semakin besar. Upaya yang dilakukan untuk mengatasinya adalah dengan menggunakan sistem pengetanahan *MGCN*.
7. Akibat yang paling berbahaya dari putusnya kawat netral adalah meningkatnya tegangan sentuh, sedangkan upaya yang telah dilakukan yaitu dengan menggunakan sistem pengetanahan kawat netral jaringan dengan sistem *MGCN*. Akan tetapi sistem ini tidak mampu mengatasi putusnya kawat netral akibat perbuatan tangan-tangan yang tidak bertanggung jawab, sehingga sistem pengetanahan ini menjadi tidak berarti sama sekali terutama jika peralatan rele pengamannya mengalami kegagalan operasi dan kawat netral yang ada putus seluruhnya.
8. Apabila jamper *grounding* Transformator Distribusi sisi tegangan menengah putus, akibatnya tegangan pada sisi pelanggan menjadi nol (tidak ada tegangan di sisi pelanggan) .

6.2 Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan dari penulisan penelitian ini, saran yang dapat penulis sampaikan adalah :

1. Untuk mengatasi hilangnya kawat netral maka konfigurasi penghantar horisontal dengan kawat netral di atas (gambar 3.8) bisa digunakan.
2. Perlu dilakukan pengecekan besarnya tahanan sistem pengetanahan netral dan kondisi sistem secara berkala untuk memastikan bahwa sistem pengetanahan dan kondisi sistem benar-benar dalam kondisi yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. ---, **Evaluasi Terhadap Dampak Yang Mungkin Timbul Akibat Kawat Netral Putus**, Area Pelayanan Jaringan I, Semarang, 2001.
2. Chas T Main, **Distribution System Protection Manual**, McGraw-Edison Company Power Systems Division
3. Djiteng Marsudi, Ir., **Operasi Sistem Tenaga Listrik**, Balai Penerbit & Humas ISTN, Jakarta, 1990.
4. Hutaaruk TS, Komari, Ir., Soekarto, Ir., **Pengaman Tegangan Sentuh dan Pengaman Gangguan Tanah pada SUTR dan SUTM**, Prokerma PLN-ITB.
5. ---, **Penentuan Setting OCR dan GFR**, PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali Sektor Ketenger.
6. ---, **Buku Pedoman Standar Konstruksi Jaringan Distribusi PLN**, PLN Distribusi Jawa Tengah, Semarang, 1992.
7. Sulasno, Ir., **Analisis Sistem Tenaga Listrik**, Jilid I, Satya Wacana, Semarang, Mei 1993.
8. Sulasno, Ir., **Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik**, Jilid I, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
9. Turan Gonen, **Modern Power System Analysis**, Jhon Wiley & Sons, Inc., New York, 1988.
10. Turan Gonen, **Electric Power Distribution System Engineering**, McGraw-Hill, 1986.
11. ---, **Uji Transformator Distribusi**, PT PLN Ranting Tulung, 2001