

Pengaruh Hilangnya Kawat Netral pada Penyulang KBL-5 dan KBL-6

Yusuf Susilo Wijoyo, M. Isnaeni B.S, Sarjiya, Rian Fatah M.

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta, Indonesia

Abstrak—Kondisi jaringan tegangan menengah yang berupa SUTM sangat mungkin mengalami gangguan hubung singkat satu fase ke tanah (SLG). Pada kasus ini kawat netral sebagai bagian dari pentanahan titik netral memegang peranan penting dalam menentukan besaran arus hubung singkat satu fase ke tanah (SLG). Penyulang KBL-5 dan KBL-6 merupakan daerah dengan kondisi kehilangan kawat netral yang terparah. Penelitian ini meneliti mengenai pengaruh hilangnya kawat netral pada penyulang KBL-5 dan KBL-6 terhadap setting dari *ground fault relay* (GFR).

Kata kunci—kawat netral hilang; SLG; setting GFR; KBL-5; KBL-6

I. PENDAHULUAN

Sistem distribusi PT PLN (Persero) Distribusi Jateng dan DIY menganut sistem tiga fase empat kawat dengan netral ditanahkan di banyak tempat (*multigrounded*) dikarenakan kepadatan beban terpasang yang rendah [[HYPERLINK | "Moe" 1](#)]. Beban kebanyakan dilayani dengan trafo distribusi satu fase sehingga keseluruhan biaya instalasi lebih murah dibanding sistem tiga fase tiga kawat. Keuntungan lain dari sistem ini adalah sensitifitas terhadap gangguan hubung singkat ke tanah yang baik [2]. Namun kelemahan dari sistem ini adalah adanya arus tak seimbang dan sistem akan terganggu jika terdapat masalah pada kawat netral. Kawat netral terbuat dari bahan aluminium terpasang di bagian bawah kawat fase JTM dan tidak bertegangan sehingga cenderung mudah dicuri. Kenyataan memang banyak kawat netral yang hilang bahkan hingga ratusan meter [[HYPERLINK | "Faj" 3](#)].

Penyulang Kalibakal 5 dan 6 (KBL-5 dan KBL-6) merupakan penyulang di area PT PLN (Persero) Purwokerto yang dilaporkan mengalami kondisi kehilangan kawat netral yang parah. Pada daerah ini lokasi kehilangan kawat netral sangat bervariasi; mulai dari permulaan penyulang, pertengahan, dan pada ujung. Kondisi terparah pada daerah inisialami oleh penyulang KBL-6 di daerah antara Kandang Sapi dan Pasar Kebanaran dimana dilaporkan kehilangan kawat netral total sejauh 6 Km, dan hilang selang – selang tiap 1 Km untuk 5 Km selanjutnya.

4] menyatakan bahwa 50% gangguan pada jaringan distribusi disebabkan oleh saluran udara, dan 85% gangguan pada saluran udara berupa gangguan satu fasa ke tanah (SLG). Kondisi jaringan tegangan menengah yang berupa SUTM sangat mungkin banyak mengalami gangguan hubung singkat SLG dan untuk pengamanannya fungsi pentanahan titik netral sangat menentukan. Proteksi SLG umumnya menggunakan *Ground fault relay* (GFR). Setting GFR umumnya berdasar

pada kondisi jaringan yang ideal yaitu kawat netral utuh. Untuk kondisi dimana terdapat banyak kawat netral yang hilang, akurasi setting GFR tentunya perlu untuk ditinjau kembali.

Berbagai kemungkinan cara hilangnya kawat netral tersebut akan menimbulkan akibat yang berbeda, baik terhadap aliran arus tak seimbang ketika sistem bekerja normal, maupun terhadap besar arus gangguan ketika terjadi hubung singkat satu fase ke tanah. Cara menghitung arus tersebut tidak dapat mengikuti pemodelan jaringan pada umumnya tetapi harus memperhatikan dua hal yaitu posisi kawat netral yang hilang dan posisi gangguan hubung singkat. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah komponen simetris [[HYPERLINK | "And95" 5](#)].

Namun dikarenakan kasus kawat netral yang hilang dicuri ini merupakan topik khusus yang hanya ada di Indonesia saja, referensi penelitian sejenis yang tersedia masih sangat sedikit dan tidak menyebutkan secara eksplisit kawat netral hilang. [6] meneliti mengenai pengaruh variasi nilai resistans pentanahan terhadap arus SLG, sementara penelitian yang lebih detail pada sistem IEEE 34 bus dilakukan oleh [[HYPERLINK | "Rad04" 2](#)].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh hilangnya kawat netral pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20kV di penyulang KBL-5 dan KBL-6 Area Purwokerto terhadap setting *ground fault relay* (GFR) untuk tipe gangguan berupa SLG.

II. METODOLOGI

Diagram alir penyelesaian masalah dapat dilihat pada Gbr. 1. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah : data teknis penyulang, resistans pentanahan, serta lokasi kawat netral hilang. Selanjutnya jaringan dimodelkan ke dalam beberapa zona berdasarkan kesamaan nilai resistans pentanahan. Model selanjutnya disimulasikan menggunakan perangkat lunak MATLAB 7.1 untuk memperoleh arus dan tegangan hubung singkat SLG. Besaran arus tersebut kemudian dibandingkan dengan setting GFR.

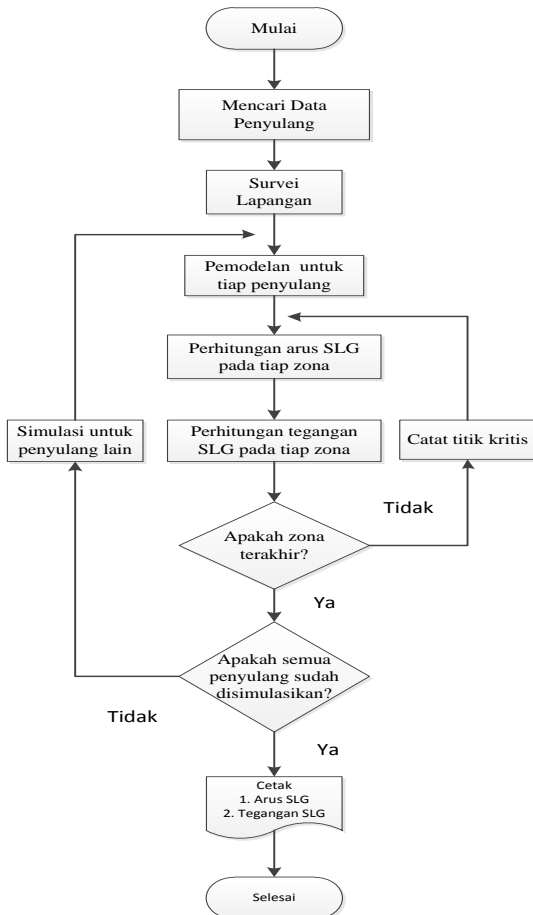
III. HASIL SURVEI

A. Data Penyulang

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah : setting GFR, panjang penyulang, arus beban tiap fasa, serta kapasitas hubung singkat dari trafo gardu induk (ditunjukkan pada Tabel I.) . Data ini diperoleh dari PT PLN (Persero) Area

Purwokerto. Arus hubung singkat dan kapasitas hubung singkat dari trafo GI Kalibakal masing – masing adalah 16.004 kA dan 4.158 MVA.

Hasil survei pengukuran resistans pentanahan dari KBL-5 dan KBL-6 dapat dilihat pada Tabel II. dan TABEL III.



Gbr. 1. Metode Penelitian

Tabel I. Data penyulang KBL-5 dan KBL-6

Penyulang	Panjang		Setting GFR	
	3 Fase (kms)	1 Fase (kms)	Arus tak imbng (A)	Setting (A)
KBL-5	46,33	91,10	30,41 *	240
KBL-6	41,10	79,64	36,59 *	240

*: arus tak imbng pada tanggal 1 Juni 2012 pukul 19.00

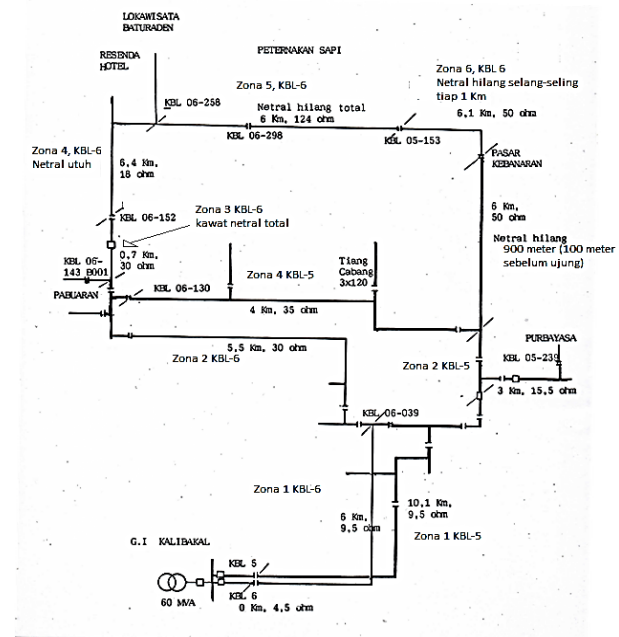
B. Hasil Survei Resistans Pentanahan

Pentanahan yang bagus diperlukan untuk keselamatan peralatan dan orang yang bekerja didalamnya. Mengacu kepada[7], standar resistans pentanahan jaringan distribusi 20 kV Jawa Tengah dan DIY adalah 20 Ω. Pengukuran resistans pentanahan pada penelitian ini menggunakan empat macam instrumen yaitu :

1. Kyoritsu KEW Earth Tester Model 4200 (*Digital Earth clamp tester*)
2. Kyoritsu Model 4105A (*Digital earth tester*)
3. AVO Megger DET 3/2 (*Analog earth tester*)
4. YEW Earth Tester Type 3235 (*Analog earth tester*)

Tabel II. Resistans pentanahan penyulang KBL-5

No.	KodeTiang	Jarak GI(km)	ResistansPentanahan (Ω)	Lokasi Pengukuran
1.	#1	0	12,67	Di dalam GI
2.	#2	0	4,6	Di dalam GI
3.	#3	0	4	Di dalam GI
4.	KBL6-06 TO 214	6	4,75 (rod)	Dalam kota
5.	KBL6-143 B 002	11.5	152 (rod)	Pertigaan Bt. Raden – M.Besar
6.	B 002 dan B 003	11.5	30 (pole)	Pertigaan Bt. Raden – M.Besar
7.	KBL 6-152	12,2	30 & 28,2 (pole)	Jl. Baturraden
8.	KBL 6-258	18,6	17,4 & 18 (rod)	GerbangBaturraden
9.	KBL 6-298	22.7	131, 129 & 7 (gnd. Cond)	WahanawisataBaturraden
10.	Duatiang berikutnya	24.5	120,6 (pole)	Tegalan rumput gajah
11.	352	25	123 (pole)	Tegalan rumput gajah
12.	KBL5-153 U 72	34.1	279 (kolong)	Tegal & rumah - rumah
13.	U72	34.15	179,4 (kolong)	Tegal & rumah – rumah
14.	KBL5-153 U 67	34.4	6 & 5,66 (com)	Ujung
15.	KBL5-153 U 20	36.1	49& 43 (pole)	Ujung



Gbr. 2. Pembagian zona dan posisi kawat netral hilang

C. Lokasi Kawat Netral Hilang dan Pembagian Zona

Tahapan selanjutnya adalah pengelompokan daerah dengan nilai resistans pentanahan yang identik menjadi satu zona yang

sama. Hal ini bertujuan untuk mempermudah pemodelan. Untuk penyulang KBL-5 didapatkan empat zona, sementara untuk penyulang KBL-6 didapatkan enam zona. Hasil pembagian zona dan lokasi hilangnya kawat netral dapat dilihat pada Gbr. 2.

TABEL III. Resistans pentanahan penyulang KBL-6

No.	KodeTiang	Jarak GI (km)	ResistansPentanahan (Ω)*	Lokasi Pengukuran
1.	KBL6-130 TO 28	1,6	32,5 (gnd. cond)	Jl. Sunan Ampel, pinggir Jembatan
2.	Sawah	2,2	37,2 & 37,1 (pole)	Sawah, pinggir jalan desa
3.	KBL5-153 IJ6 - B2	4	28,5 (kolong)	Kebun jagung, sawah kering
4.	KBL5-239	7,2	36,6, 11,33, & 15,43 (kolong)	Jl. Senopati luar kota
5.	KBL5-1061	9	1,15 (kolong)	Stikes Harapan Bangsa
6.	KBL5 040	10,1	Tidak ada	Kelurahan Mersi
7.	KBL1 39U		9,65 (kolong)	Perkampungan
8.	KBL5-50		139 & 137 (rod)	Perkampungan

IV. PEMODELAN IMPEDANS EKIVALEN

Rumusan perhitungan arus hubung singkat SLG adalah [8] :

$$I_{HS} = \frac{3V_{F-N}}{Z_{grid} + Z_{trafo} + Z_{penyulang} + Z_N} \tag{1}$$

Nilai Z_{grid} , Z_{trafo} , dan $Z_{penyulang}$ dapat diketahui dengan mudah melalui data teknis, sementara nilai Z_n harus dimodelkan terlebih dahulu. Pemodelan jaringan dengan kawat netral hilang tidak dapat menggunakan pemodelan jaringan sebagaimana biasanya, namun harus menggunakan model khusus. Pemodelan jaringan yang digunakan dalam penelitian ini dibagi ke dalam dua kategori yaitu kawat netral utuh dan kawat netral hilang.

A. Kawat Netral Utuh

Perhitunganrangkaianekivalenimpedansinetraldengancaram enggabungkanseluruhimpedansdarisumberataugarduinduksa mpaidengantitkgangguan. Nilai resistans pentanahan tiang pertama tempat terjadinya hubung singkat diparalel dengan nilai impedans sebelumnya, untuk tiang pertama nilai ekivalen impedans pentanahannya sesuai dengan persamaan 2.

$$Z_N^1 = Z_n // R_t \tag{2}$$

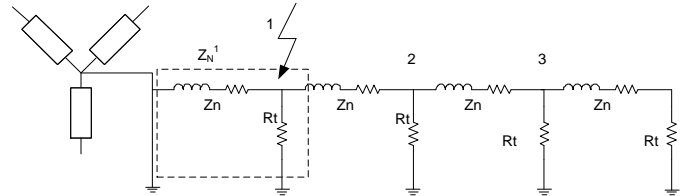
dengan :
 Z_n = impedans ekivalen sebelum titik gangguan

R_t = resistans pentanahan dari tiang tempat gangguan

Nilai Z_N^1 digabungkan (seri) dengan nilai Z_n di depannya, menjadi Z_n yang baru.

$$Z_n(\text{baru}) = Z_N^1 + Z_n \tag{3}$$

Rangkaian netral akan menjadi seperti padaGbr. 3.

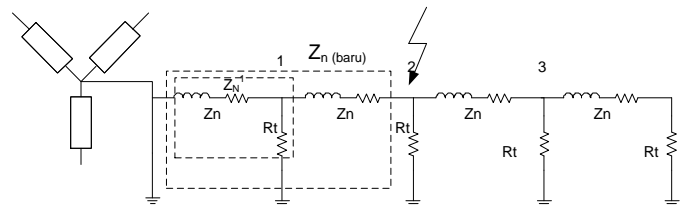


Gbr. 3.Rangkaian ekivalen gangguan di tiang pertama

Impedansi ekivalen apabila gangguan terjadi di tiang kedua disebut Z_n^2 . Sehingga nilai Z_n^2 akan sesuai dengan persamaan (4) dibawah .

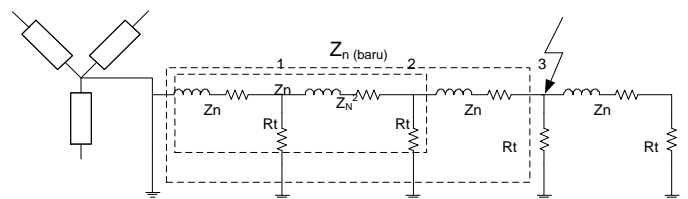
$$Z_n^2(\text{baru}) = Z_N(\text{baru}) + Z_n \tag{4}$$

Jika gangguan di tiang kedua dari sumber atau dari trafo, maka rangkaian netral akan seperti Gbr. 4.



Gbr. 4.Rangkaian ekivalen gangguan di tiang kedua

Jika hubung singkat terjadi pada tiang ketiga dari sumber, maka rangkaian netral akan menjadi seperti pada Gbr. 5.



Gbr. 5Rangkaian ekivalen hubung singkat di tiang ketiga

Sehingga impedans dihitung sesuai dengan persamaan (5) dan (6). Untuk impedansiekivalen selanjutnya, dihitung berulang dengan rumus yang sama secara beruntun.

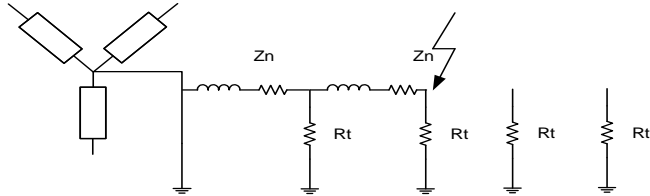
$$Z_N(\text{baru}) = Z_N^2 + Z_n \tag{5}$$

$$Z_n^3(\text{baru}) = Z_n(\text{baru}) // R_t \tag{6}$$

B. Pemodelan Kawat Netral Hilang

Terdapat beberapa kemungkinan kawat netral yang hilang atau putus, antara lain:

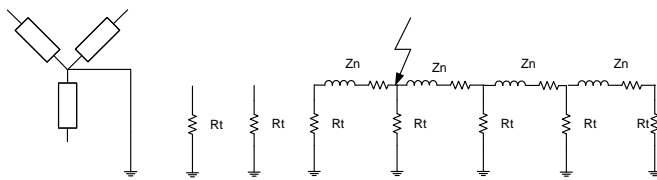
1) Hilang dari suatu titik hingga ujung



Gbr. 6. Rangkaian ekuivalen kawat netral hilang di satu titik hingga ujung

Hubung singkat antara kawat fasa ke netral bisa terjadi pada bagian yang kawat netralnya utuh di bagian pangkal penyulang sedangkan kawat netral yang putus pada titik tersebut hingga bagian ujung. Cara perhitungan impedansi untuk bagian awal hingga titik putus adalah sama dengan kawat netral utuh yaitu dengan persamaan(2) dan (6) untuk impedansi ekuivalen netral (Z_n) hanya saja jumlah tiang (n) hanya sampai titik yang memiliki kawat netral saja.

2) Hilang di bagian pangkal



Gbr. 7. Rangkaian ekuivalen netral hilang di pangkal

Untuk mencari impedansi ekuivalen netral (Z_N) digunakan persamaan (7).

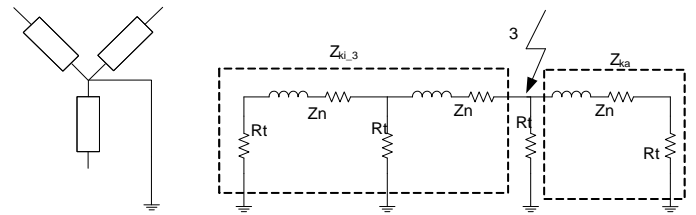
$$Z_N = Z_{ki} // Rt // Z_{ka} \tag{7}$$

dengan :

Z_{ki} = Z ekuivalen bagian kirititik gangguan

Z_{ka} = Z ekuivalen bagian kanan titik gangguan

R_t = R pentanahan tiang



Gbr. 8. Rangkaian ekuivalen netral hilang di tiang ketiga

$$Z_{k1,3} = [(Z_n + Rt) // Rt] + Z_n \tag{8}$$

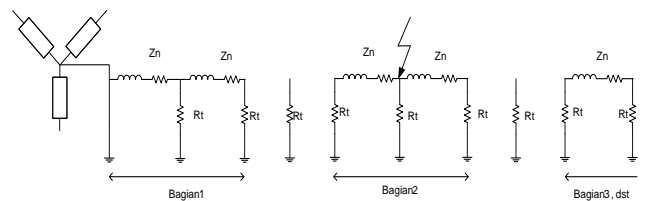
$$Z_{ki,3} = (Z_{ki,3} // Rt) + Z_n \tag{9}$$

Untuk hubung singkat di tiang ke x dilihat dari sumber, maka impedansi ekuivalen sebelah kiri titik x dinyatakan dalam persamaan (10).

$$Z_{ki,x} = (Z_{ki,(x-1)} // Rt) + Z_n \tag{10}$$

Perhitungan impedansi bagian kanan (Z_{ka}) dihitung seperti perhitungan impedansi netral pada saat netral utuhnya itu persamaan (4) dan (8), akan tetapi perhitungan dimulai setelah titik hubung singkat.

3) Hilang di lebih dari satu lokasi

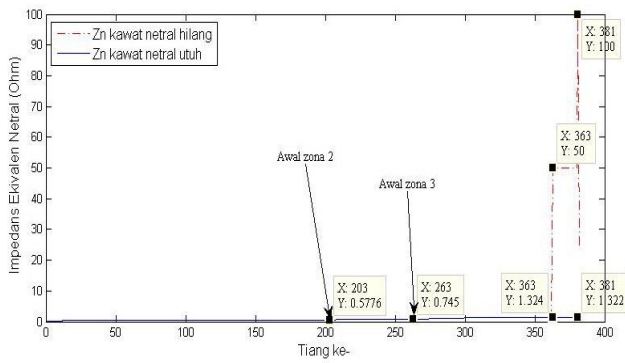


Gbr. 9. Rangkaian netral hilang di lebih dari satu lokasi

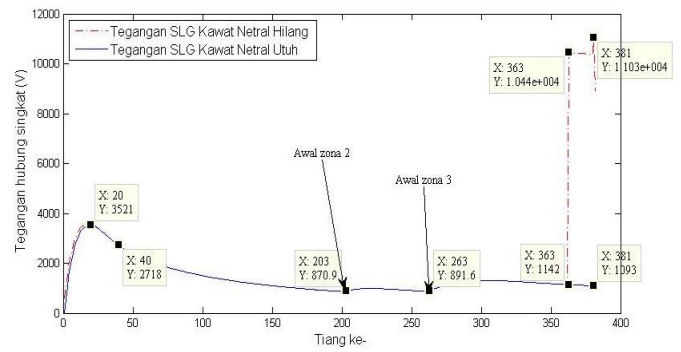
Pada trafo dengan pentanahan solid, jika terjadi kondisi kawat putus lebih dari satu lokasi seperti pada gambar di atas maka perhitungan Z_n adalah hanya pada ruas yang terkena gangguan saja.

Misalkan gangguan di bagian 1 maka perhitungan Z_n netral seperti kawat netral utuh hanya pada bagian 1 dan mengabaikan bagian lain. Kondisi gangguan di bagian 1 kondisinya seperti kawat netral hilang di suatu titik hingga ujung. Sehingga perhitungan Z_n menggunakan perhitungan kawat netral hilang di bagian akhir.

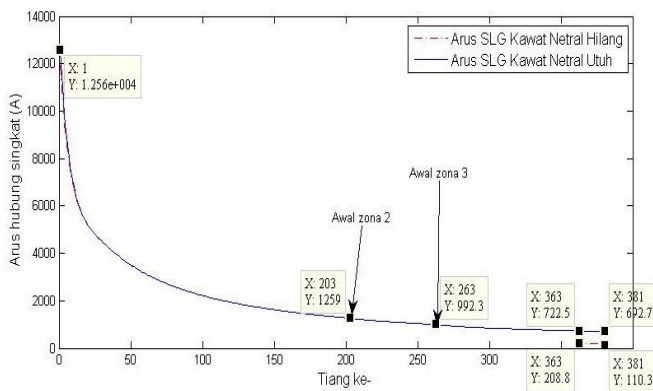
Jika gangguan terjadi di bagian 2 atau bagian 3, maka perhitungan Z_n dilakukan seolah kawat netral hilang dari pangkal hingga ruas sebelum bagian tersebut. Sehingga perhitungan Z_n menggunakan persamaan pada kawat netral hilang di bagian pangkal. Misalkan gangguan terjadi pada bagian 2, selain tidak memperhitungkan impedansi bagian 1 impedansi pada bagian 3 dan seterusnya juga tidak diperhitungkan.



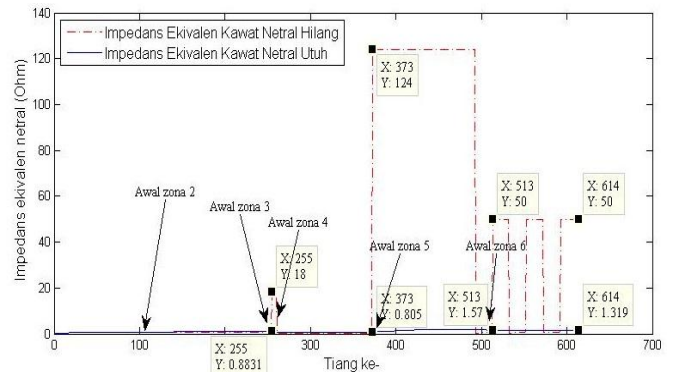
Gbr. 10. Impedans ekivalen netral KBL-5 zona 1-2-3



Gbr. 12. Tegangan hubung singkat KBL-5 zona 1-2-3



Gbr. 11. Arus SLG KBL-5 zona 1-2-3



Gbr. 13. Impedans ekivalen netral KBL-6 zona 1-2-3-4-5-6

V. SIMULASI DAN HASIL

Untuk menunjukkan efek hilangnya kawat netral, simulasi dilakukan dalam dua kondisi yaitu kawat netral utuh dan kondisi sebenarnya.

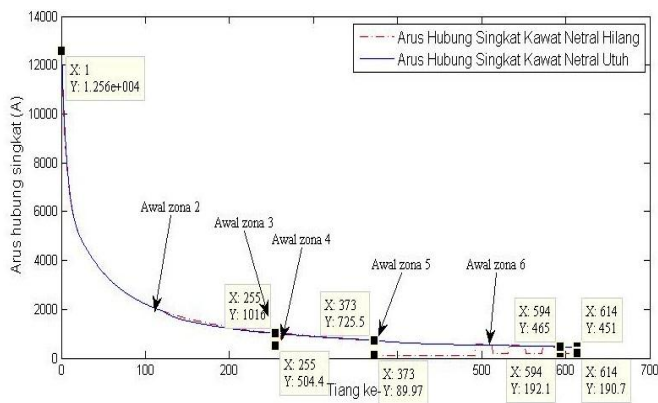
A. Analisa SLG KBL-5

Langkah awal dalam menghitung arus hubung singkat adalah mengetahui impedans ekivalen dari jaringan. Impedans ekivalen netral (terlihat pada Gbr. 10) dicari dengan memasukkan data hasil survei ke dalam model. Untuk kondisi kawat netral utuh, nilai impedans ekivalen netral tidak linear terhadap jarak tiang ke GI, mula-mula naik cepat, lalu mencapai nilai yang relatif tetap. Pada peralihan zona impedans ekivalen naik atau turun tidak seketika. Sementara untuk kondisi kawat netral hilang, impedans ekivalen naik drastis pada titik netral hilang, hal ini dikarenakan impedans ekivalen netral hanya dipengaruhi oleh resistans pentanahan, sebagai contoh untuk zona 3 KBL-5, untuk titik dimana kawat netral hilang, impedans ekivalen netralnya bernilai 50 Ω. Impedans ekivalen kawat netral hilang yang fluktuatif ini akan menyebabkan magnitude arus dan tegangan hubung singkat SLG yang fluktuatif juga. Gbr. 11 menunjukkan penurunan magnitude arus SLG yang bertahap pada dua zona awal (dimana tidak ada kawat netral hilang), sementara akhir zona ketiga arus SLG turun dengan drastis. Berkebalikan dengan arus SLG, tegangan SLG (ditunjukkan oleh Gbr. 12)

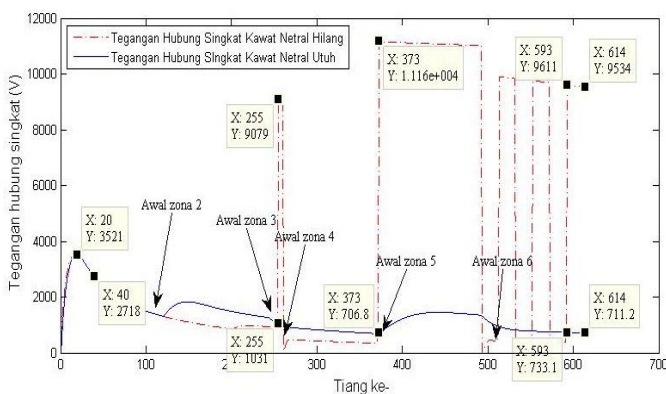
naik dengan drastis pada titik kawat netral hilang (akhir zona ketiga), dari 1146 volt pada tiang 363 (kondisi kawat netral utuh) menjadi 10044 volt (kondisi saat kawat netral hilang). Kenaikan tegangan netral ini tentunya akan menyebabkan kenaikan tegangan fase juga dan akan sangat berbahaya jika nilainya melebihi BIL dari peralatan listrik di dekatnya.

B. Analisa SLG KBL-6

Hasil yang lebih mengejutkan terjadi pada penyulang KBL-6. KBL-6 merupakan penyulang dengan tingkat kehilangan kawat netral terbanyak (9,7 Km) dan tersebar di beberapa tempat, sehingga profil impedans ekivalen, arus dan tegangan hubung singkat SLG sangat bervariasi. Impedans ekivalen netral penyulang KBL-6 sangat bervariasi (ditunjukkan oleh Gbr. 13) dikarenakan banyaknya lokasi kawat netral yang hilang. Hal ini akan membuat magnitude arus dan tegangan menjadi sangat fluktuatif (ditunjukkan pada Gbr. 14 dan Gbr. 15). Pada zona 5 dimana dilaporkan kawat netral hilang total sepanjang 6 km, besaran arus menjadi sangat kecil (dari 729,4 A pada tiang 373 kondisi kawat netral utuh menjadi 89,37 A pada kondisi kawat netral hilang. Kondisi ini berkebalikan dengan tegangan hubung singkat, dimana terjadi kenaikan drastis dari 706,8 V menjadi 11160 V pada kondisi kawat netral hilang. Kondisi serupa juga dialami pada zona tiga (dimana dilaporkan kawat netral hilang sepanjang 700 meter) dan di zona 6 (kawat netral hilang selang seling setiap 1 Km).



Gbr. 14. Arus SLG KBL-6 zona 1-2-3-4-5-6



Gbr. 15. Tegangan SLG KBL-6 zone 1-2-3-4-5-6

VI. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

A. Kesimpulan

Arus hubung singkat SLG berubah tidak linear terhadap jarak tiang ke GI, tetapi lebih halus dibandingkan perubahan impedans ekuivalen. Untuk tiang yang tidak tersambung dengan kawat netral, nilai tegangan hubung singkat SLG menjadi sangat tinggi. Hal ini dapat menyebabkan kegagalan kerja pada lightning arrester di titik tersebut. Nilai kritis arus dan tegangan hubung singkat dari penyulang KBL-5 dan KBL-6 dapat dilihat pada TABEL IV.

B. Rekomendasi

Setting GFR diturunkan ke 50 A agar hubung singkat SLG dapat terdeteksi (untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada TABEL V). Rating tegangan lightning arrester yang terpasang dekat GI di pilih pada 100%, karena besarnya tegangan SLG pada tiang 10 – 40 pada penyulang KBL-5 dan KBL-6. Kawatnetral yang hilang juga disarankan untuk diganti terutama pada tiang-tiang kritis dan diletakkan di atas kawat fase, sehingga juga berfungsi sebagai static ground wire. Persyaratannya, semua tiang harus ditanahkan.

TABEL IV. Nilai hubung singkat yang kritis

Penyulang	Zona	Nomor Tiang	Arus	Tegangan
KBL-5	3	T363 - T380	110 A	10.440 V
KBL-6	5	T363 - T380	90 A	11.160 V
	6	T373 - T380	195 A	9.833 V
	6	T594 - T613	192 A	9.534 V

TABEL V. Rekomendasi setting GFR KBL-5 and KBL-6

Penyulang	Arus Tak Imbang	Setting Lama	Setting Maksimal	Rekomendasi
KBL-6	30,41 A	240 A	60 A	Diturunkan ke 50 A
KBL-5	36,59 A	240 A	80 A	Diturunkan ke 50 A

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterimakasih kepada PT PLN Distribusi Jawa Tengah dan DIY atas kepercayaan yang diberikan untuk menganalisa dampak hilangnya kawat netral. Penulis juga berterimakasih kepada Bapak Ir. I Nengah Sumerti atas bantuannya dalam pelaksanaan survei dan penyelesaian karya tulis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moediyono, "Grounding Sistem dalam Distribusi Tegangan 20 kV," Universitas Diponegoro, Semarang, Diploma Thesis.
- [2] Rade M. Ciric, Antonio Padilha, and Luis F. Ochoa, "Investigating Effects of Neutral Wire and Grounding in Distribution Systems with Faults," in *International Universities Power Engineering Conference - UPEC*, 2004, pp. 888-892.
- [3] Fajar Subekti Wirawan, "Analisis Pengaruh Hilangnya Kawat Netral terhadap Kerja Pengaman Arus Lebih," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Bachelor Thesis 2011.
- [4] B. Ravindranath and C. S. Jha, *Power System Protection and Switchgear*, 1st ed. New Delhi, India: Wiley Eastern Limited, 1983.
- [5] P. M. Anderson, New York: IEEE Press Power System Engineering Series, 1995, pp. 71-83.
- [6] S.A. Arefifar, "Distribution System Grounding Impacts on Fault Responses," in *International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, Wollongong, 2008, pp. 1-6.
- [7] PLN, *SPLN No. 12 Tahun 1978 : Pedoman Penerapan Sistem Distribusi 20 KV Fasa Tiga, 4-Kawat.*: PLN.
- [8] William D. Stevenson, *Elements of Power System Analysis*, 2nd ed.: McGraw-Hill, 1982.
- [9] J. J. Burke, New York: Marcel Dekker, 1994, pp. 16-17.