

Simulator Proteksi Gangguan Tanah Pada Sistem Pembumian Mengambang Menggunakan Transformator Pembumian Zig-zag

Supriyanto¹, Hari Purnama², Heribudi Utomo³, Rizki Ibrahim⁴

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 40012

E-mail : supriyanto_suhono@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 40012

E-mail : haripoernama@gmail.com

³Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 40012

E-mail : iatki.hbu@gmail.com

⁴Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 40012

E-mail : rizkibrahim08@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu masalah yang paling umum dan sulit untuk dipecahkan dalam sistem tenaga listrik dengan pembumian mengambang adalah menghilangkan dan menentukan lokasi gangguan tanah. Untuk studi proteksi gangguan tanah pada sistem pembumian mengambang sistem distribusi tenaga listrik yang beroperasi pada 20 kV pada primer dan 380 V pada sekunder disimulasikan menggunakan tegangan nominal 380 V pada primer dan 38 V pada sekunder. Skema sistem proteksi gangguan tanah menggunakan relai arus lebih dan transformator zig-zag. Hasil pengujian simulator menampilkan tegangan fasa ke fasa 36.5 volt dan fasa ke tanah 21 volt, ketika kondisi gangguan pada fasa terganggu adalah 0 volt, sedangkan fasa yang tidak terganggu terhadap tanah adalah 33 volt artinya konsep tegangan gangguan dapat ditampilkan dengan benar. Fungsi transformator zig-zag sebagai transformator pembumian dapat ditampilkan memiliki impedansi dari arus yang mengalir pada belitan 0.07 ampere pada kondisi normal, dan menyediakan arus tanah tinggi 1,1 ampere ketika gangguan satu fasa ketanah. Mekanisme proteksi gangguan tanah untuk mendapatkan waktu pemutusan 10 detik, pada arus gangguan 1.1 ampere, setting pengali arus dipilih 2.3, dan skala pengali waktu 1 menggunakan standar invers, pada setting ini relai menginisiasi pemutus dalam waktu 9.8 detik.

Kata Kunci

pembumian mengambang, proteksi gangguan tanah

1. PENDAHULUAN

Sistem pembumian mengambang adalah metode pembumian yang tidak memiliki hubungan langsung antara titik bintang transformator daya dengan tanah, sehingga ketika terjadi gangguan tanah tidak terdapat arus lingkaran gangguan tanah. Pertimbangan ekonomis dan dengan pembebanan sistem tiga fasa terjaga keseimbangannya membuat sistem ini dipilih. Aplikasi sistem pembumian ini digunakan pada instalasi pembangkit tenaga listrik skala kecil, dan kelistrikan pada industri besar dalam kawasan yang menggunakan catu daya pembangkit sendiri, seperti industri petrokimia, dan industri pertambangan.

Daya serap industri pertambangan dan petrokimia terhadap alumni program studi teknik listrik, dan pertumbuhan pembangkit skala kecil di Indonesia. Hal ini menjadi pertimbangan bahan kajian sistem pembumian mengambang dan proteksi gangguan tanah penting untuk dikembangkan terkait

Pada sistem pembumian mengambang karena tidak terdapat arus lingkaran gangguan tanah, maka deteksi gangguan dikembangkan menggunakan dua skema. Pertama menggunakan sensor residual tegangan urutan nol. Pada skema ini ketika terjadi gangguan tanah sensor akan menaikkan tegangan yang akan menginisiasi relai tegangan lebih gangguan tanah (59N) untuk memutus Circuit Breaker. Komponen sensor untuk skema ini adalah transformator hubungan delta terbuka (open break delta). Skema kedua proteksi gangguan tanah pada sistem pembumian mengambang adalah menggunakan sensor residual arus urutan nol. Komponen sensor adalah transformator zig-zag. Fungsi transformator zig-zag adalah untuk menyediakan titik netral bagi sistem pembumian mengambang dengan cara menyelaraskan vektor sehingga diperoleh titik nol jaringan, dan relai proteksi yang digunakan relai arus lebih gangguan tanah (50N). Pada paper ini ditampilkan skema yang kedua.

Referensi [1] menampilkan metode deteksi gangguan pada sistem pembumian mengambang dan pembumian dengan impedansi tinggi menggunakan injeksi generator arus urutan nol. Metode yang dikembangkan ini mampu menelusuri gangguan sampai menentukan jarak lokasi titik gangguan. Implementasi pada sistem jaringan distribusi menggunakan dua metode. Pertama menggunakan instalasi generator sinyal urutan-nol. Ketika gangguan tanah terdeteksi, relai terkait menginisiasi generator sinyal untuk mensuplai arus melalui sistem arus lingkaran (loop) kembali melalui jaringan pentanahan setelah mencapai titik gangguan. Dari perambatan sinyal generator kemudian dapat menentukan jarak listrik dari relai ke titik gangguan. Untuk menghindari masalah komunikasi dengan peralatan lain, frekuensi yang dipilih untuk generator sinyal berbeda dari frekuensi saluran listrik. Kedua menggunakan indikator ground-fault remote (RGFI). RGFI terhubung ke arus urutan nol dari trafo. Ketika gangguan line-to-ground terjadi, RGFI mendeteksi arus melalui urutan nol dan kemudian memberikan indikasi fisik di mana gangguan terjadi. Hasil uji dari kedua metode diuji pada jaringan terhubung pembumian mengambang delta dan jaringan pembumian dengan tahanan tinggi.

Pada tahun 2013 di California Polytechnic State University San Luis Obispo. Modul praktikum proteksi gangguan tanah untuk sistem pembumian mengambang dikembangkan pada jaringan distribusi. Satu daya tegangan menggunakan sistem 3 fasa 120kV, Terhubung dengan transformator tenaga 120kV/4.8kV hubungan delta/delta. Transformator proteksi (jenis transformator tegangan) 4800V/120V hubungan (bintang/open break delta) terhubung dengan beban tidak ditanahkan. Prinsip tegangan urutan nol digunakan untuk sensor tegangan lebih. Titik referensi tanah diperoleh dari hubungan bintang transformator proteksi pada sisi belitan primer dan hubungan belitan sekunder open break delta sehingga belitan sekunder dapat terhubung dengan referensi tanah[2]. Referensi [3] V Borjas, Daniela. (2017) di Michigan Technology University USA membuat simulator deteksi gangguan tanah pada pembumian mengambang untuk sistem Delta-Delta. Simulator mereplikasi sistem distribusi listrik tiga fasa di industri, yang mampu mendeteksi gangguan tanah dan mengukur fluktuasi beban dalam konfigurasi trafo hubungan delta-delta. Proyek ini berusaha untuk meniru sistem distribusi listrik yang beroperasi pada 12 kV pada primer dan 480 V pada sekunder. Model ini menggunakan tegangan nominal yang lebih kecil yang terdiri dari 240 V pada primer dan 24 V pada sekunder. Sinyal arus dan tegangan yang

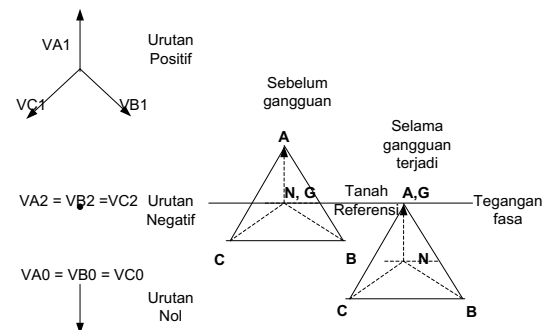
berasal dari sistem terhubung ke relai pelindung Schweitzer 751-A yang menyediakan monitoring beban dan skema deteksi gangguan tanah.

Penelitian yang akan ditampilkan dalam paper ini adalah untuk studi proteksi gangguan tanah pada sistem pembumian mengambang sistem distribusi tenaga listrik yang beroperasi pada 20 kV pada primer dan 380 V pada sekunder. Pada modul praktikum tegangan sistem disimulasikan menggunakan tegangan nominal 380 V pada primer dan 38 V pada sekunder. Ketika terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, titik netral dari transformator zig-zag yang terhubung dengan GFR akan mendeteksi arus hubung singkat sesuai dengan setting arus dan karakteristik relai. Ketika arus gangguan melebihi setting arus yang ditentukan, maka GFR akan memberikan perintah kepada simulator Circuit Breaker untuk mentriapkan rangkaian dengan waktu yang telah diatur di GFR.

2. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

2.1 Tegangan Urutan Fasa Gangguan Tanah

Pada Gambar 1 menampilkan konsep gangguan tanah pada sistem pembumian mengambang. Ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah operasi sistem masih akan tetap berjalan, pada kondisi ini isolasi kabel dan peralatan mengalami tekanan. Efek yang terjadi selama gangguan tegangan pada fasa terganggu nol volt, dan tegangan fasa tidak terganggu naik menjadi $\sqrt{3}$ tegangan nominal. Beda fasa antara fasa yang tidak terganggu turun dari 120 derajat menjadi 60 derajat.



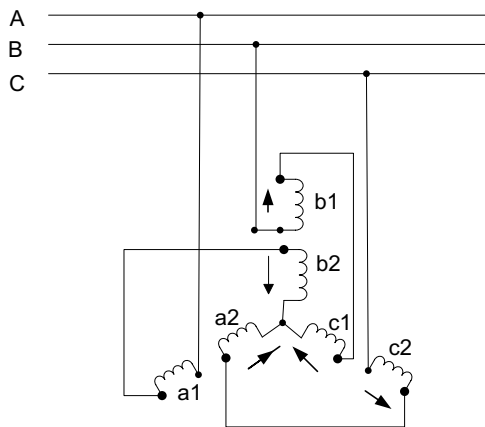
Gambar 1. Konsep gangguan tanah pada sistem pembumian mengambang

Seluruh tegangan antar fasa tetap tidak berubah. Kebutuhan modul untuk verifikasi teoritis adalah menampilkan pengukuran tegangan sistem kondisi normal, dan pengukuran tegangan untuk sistem kondisi gangguan satu fasa ketanah. Untuk mendapatkan pemahaman konsep gangguan pada sistem pembumian mengambang maka dibutuhkan

memasang pengukur tegangan line ke line, dan line ke tanah pada setiap fasa.

2.2 Transformator Zig-zag

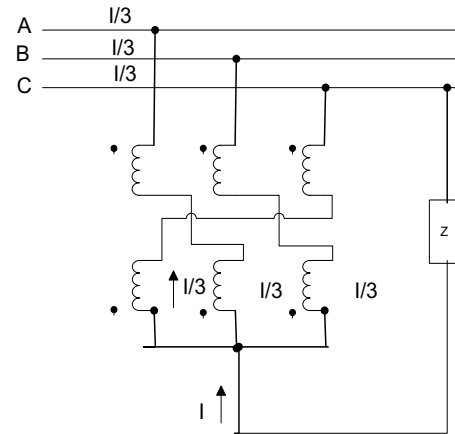
Konstruksi transformator zig-zag ditunjukkan pada Gambar 2 menjelaskan bahwa terdapat dua belitan yang saling berhubungan pada masing-masing kakinya. Belitan yang terhubung menyilang sehingga akan mengalir arus inti magnet dari setiap kaki dari dua fasa. Gambar 3 menjelaskan distribusi arus gangguan, ketika terjadi gangguan tanah. Tegangan di resistor pembatas meningkat dari nol sampai maksimum. Transformator zig-zag dirancang untuk berfungsi dalam dua kondisi, yaitu ketika sistem berjalan dengan normal dan ketika terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah[5].



Gambar 2. Susunan belitan transformator zig-zag

Ketika titik netral yang terhubung melalui impedansi, maka transformator zig-zag harus mampu menahan arus gangguan tanah maksimum yang mengalir tanpa tambahan impedansi di sirkuit sekitar lima detik, hal ini dibutuhkan mencegah bushing dari resistor pentanahan rusak. Ketika bushing rusak arus yang mengalir akan dibatasi oleh impedansi dari transformator zig-zag itu sendiri[5].

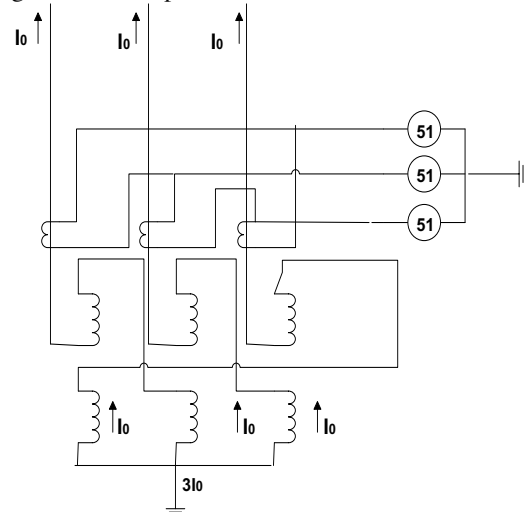
Kumparan pada tiap fasa dipisah menjadi dua bagian. Setengah lilitan pada satu fasa terhubung seri, dengan setengah lilitan fasa yang lain. Arus tidak seimbang yang mengalir melalui salah satu fasa sekunder akan diseimbangkan oleh arus primer dengan mengalirkannya melalui dua fasa primer yang lain. Dalam hal ini bagian netral tidak terlalu terganggu oleh penurunan tegangan yang disebabkan arus tidak seimbang.



Gambar 3. Distribusi arus gangguan

2.3 Sistem Proteksi Transformator Zig-zag

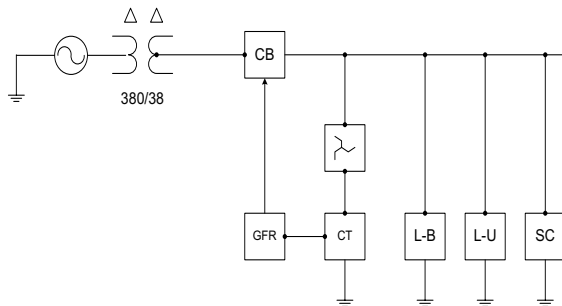
Skema proteksi transformator zig-zag adalah menggunakan relai arus lebih dengan transformator arus terhubung delta. Gambar 4 menampilkan rangkaian sistem proteksi ini.



Gambar 4. Sistem proteksi transformator zig-zag

2.4 Rancangan Fungsional Simulator

Gambar 5 menampilkan konsep rancangan fungsional simulator yang dibuat. Untuk studi proteksi gangguan tanah pada sistem pembumian mengambang sistem distribusi tenaga listrik yang beroperasi pada 20 kV pada primer dan 380 V pada sekunder disimulasikan menggunakan tegangan nominal 380 V pada primer dan 38 V pada sekunder. Skema sistem proteksi gangguan tanah menggunakan relai arus lebih dan transformator zig-zag. Penentuan ambang batas relai arus lebih menggunakan hasil perhitungan gangguan satu fasa ke tanah.

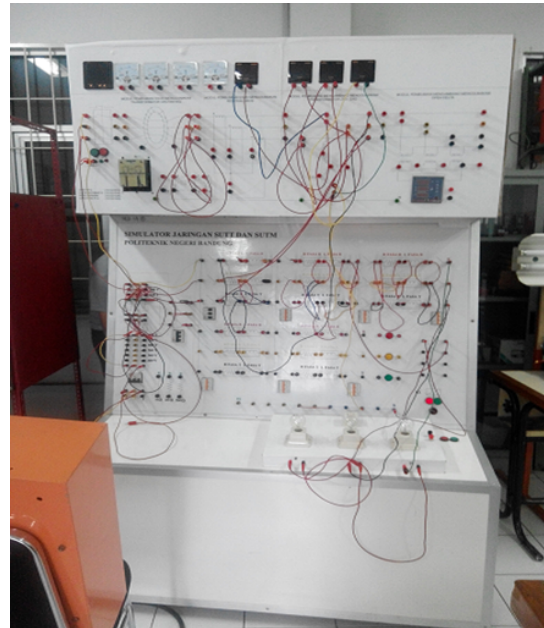
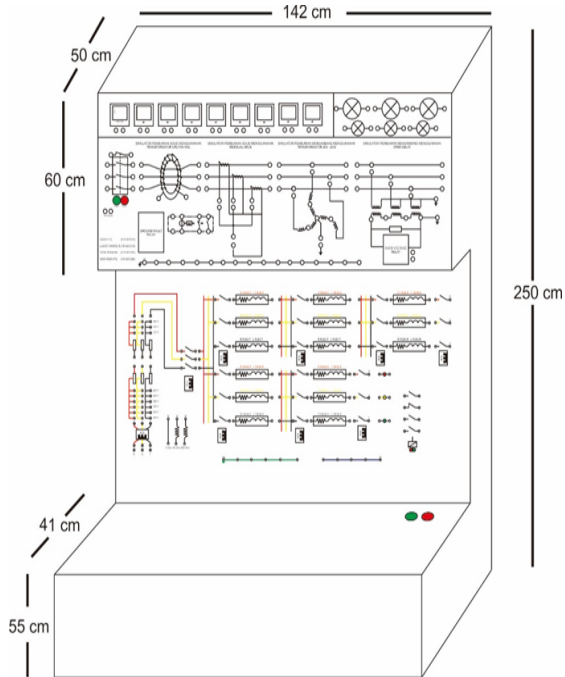


Gambar 5. Rancangan fungsional simulator

Simulator juga menampilkan kondisi beban seimbang dan tidak seimbang pada transformator zig-zag, dan untuk menampilkan pengaruh keseimbangan beban terhadap kinerja relai proteksi. Skema jaringan mengambang dibangkitkan dari transformator Δ/Δ dengan tegangan primer 380 V, dan tegangan sekunder 38 V.

GFR (Ground Fault Relay) berfungsi membandingkan arus gangguan tanah yang berasal dari luaran transformator zig-zag ketika terjadi kebocoran tanah sesuai prinsip jumlah arus urutan nol akibat gangguan satu fasa ke tanah. L-B (Load – Balance) menampilkan kondisi beban seimbang, dan LU (Load Unbalance) untuk menampilkan kondisi beban tidak seimbang. SC (Short Circuit Test) adalah pengujian hubung singkat di jaringan, pada modul ini terdapat pengujian gangguan tanah satu fasa untuk fasa A, fasa B, dan fasa C.

2.5 Konstruksi Simulator



Gambar 7. Konstruksi simulator

3. DISKUSI DAN PEMBAHASAN

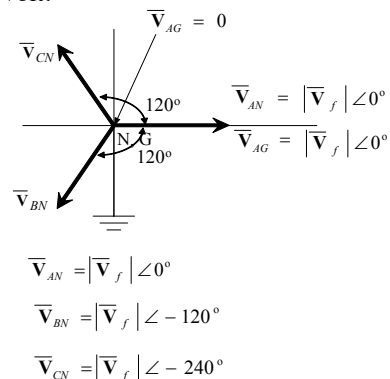
Tabel 1 menampilkan hasil pengukuran tegangan ketika gangguan terjadi pada fasa A terhadap tanah, yaitu gangguan satu fasa ke tanah. V_N adalah pengenal tegangan dalam kondisi normal, sedangkan V_F pengenal tegangan dalam kondisi gangguan.

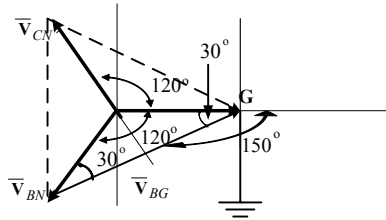
3.1 Tegangan pada Kondisi Gangguan

Tabel 1. Tegangan pada gangguan tanah fasa A.

tegangan	V_N (V)	V_F (V)
V_{AB}	36.5	36.5
V_{BC}	36.5	36.5
V_{CA}	36.5	36.5
V_{AG}	21	0
V_{BG}	21	33
V_{CG}	21	33

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa seluruh tegangan antar fasa sesuai dengan vektor diagram pada Gambar 8 tegangan sebelum gangguan $V_{AB}=V_{BC}=V_{CA}$, sebesar 36.5 volt, maka nilai tegangan fasa 21 volt.





$$\bar{V}_{AN} = |\bar{V}_f| \angle 0^\circ$$

$$\bar{V}_{BG} = \sqrt{3} |\bar{V}_f| \angle -150^\circ$$

Gambar 9. Tegangan sebelum gangguan

Ketika gangguan terjadi Tegangan fasa ke tanah pada fasa terganggu menjadi nol pada fasa yang terhubung singkat dengan tanah, dari hasil pengukuran pada gangguan di fasa A menunjukkan $V_{AG}=0$ $V_{BG}=33$ $V_{CG}=33$. Mengacu pada Gambar 9 adalah $V_{BG} = \sqrt{3} V_{fasa} \angle 150^\circ = \sqrt{3} (21) \angle 150^\circ = 36.5$ volt. Kebutuhan untuk verifikasi teoritis telah dapat ditampilkan dari pengukuran tegangan sistem kondisi normal, dan pengukuran tegangan untuk sistem kondisi gangguan satu fasa ketanah ada simpangan sekitar 10%. Untuk gangguan pada fasa B, dan fasa C menunjukkan hasil yang identik dan tidak ditampilkan pada paper ini..

3.2 Distribusi Arus pada Transformator Zig-zag

Untuk pendalaman kinerja transformator zig-zag Tabel 2 menampilkan pengukuran distribusi arus pada kondisi normal dan gangguan. Transformator zig-zag tidak mendapat beban jaringan dan beban konsumen. Pada saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah tegangan $V_{AG}=0$ dan kontribusi arus gangguan dari $I_B=0$, dan $I_C=0$. Arus yang mengalir pada belitan adalah I_{ZA} , I_{ZB} , I_{ZC} .

Tabel 2. Distribusi arus gangguan tanah di fasa A.

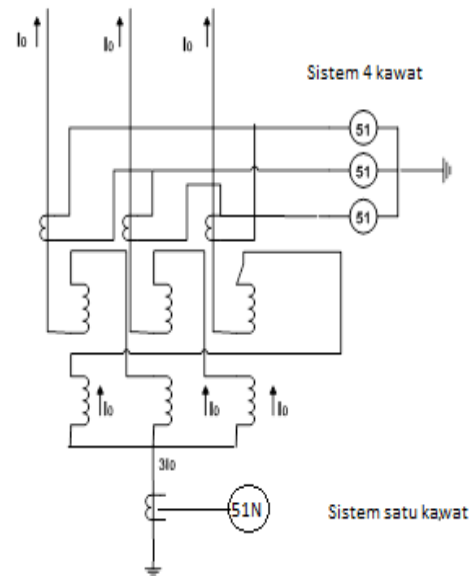
arus	I_N (A)	I_F (A)
I_A	0.2	1.1
I_B	0.2	0.3
I_C	0.2	0.3
I_{ZA}	0.07	0.5
I_{ZB}	0.07	0.3
I_{ZC}	0.07	0.3
I_G	0	1.1

Tabel 2 menjelaskan distribusi arus gangguan pada kondisi normal, dan ketika terjadi gangguan tanah. Sesuai fungsi bahwa transformator zig-zag dirancang untuk berfungsi dalam dua kondisi, yaitu ketika sistem berjalan dengan normal dan ketika terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Pada kondisi normal arus yang mengalir pada masing-masing deret lilitan zig-zag adalah sebesar 0.07 ampere dan seimbang akibat impedansi yang besar, sedangkan arus ke tanah adalah nol ampere.

gangguan satu fasa ke tanah. Tegangan di resistor pembatas meningkat dari nol sampai maksimum. Arus urutan nol naik tinggi sekali menjadi 1,1 ampere.

3.3 Proteksi Arus Lebih Gangguan Tanah

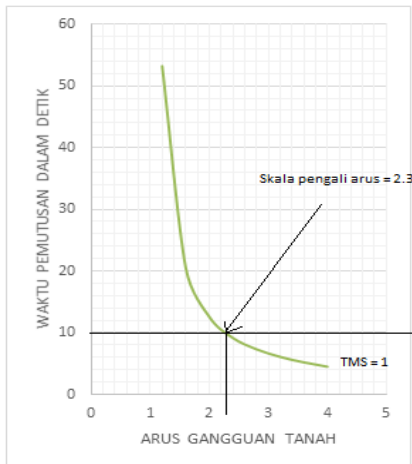
Skema proteksi transformator zig-zag yang menggunakan relai arus lebih dengan transformator arus terhubung delta (sistem 3 kawat) membutuhkan setting relai gangguan tanah 0.25 ampere pada ketiga relai arus lebih. Sedangkan bila menggunakan GFR dari arus urutan nol (sistem satu kawat) setting dibuat 1.25 ampere. Sistem proteksi dibutuhkan untuk arus hubung singkat gangguan tanah sampai pemutus bekerja mengkliring gangguan dan memisahkan bagian yang mengalami gangguan tanah dengan waktu pemutusan 10 detik. IEEE Std 32-1972 merekomendasikan rating kontinyu 3% per unit dengan waktu pemutusan 10s, untuk ambang batas yang lebih besar dapat dikembangkan sampai 1 min sampai 7% dari rating arus kontinyu [4].



Gambar 10. Pilihan skema proteksi gangguan tanah

Pada Gambar 11 menampilkan kurva pemilihan arus setting operasi pada relai arus lebih gangguan tanah. Mempertimbangkan besar arus gangguan tanah yang ditampilkan oleh simulator. Pada gangguan hubung singkat yang disimulasikan pada hantaran fasa arus nominalnya adalah 0.2 ampere, dan ketika kondisi gangguan adalah 0.3 ampere. Aliran arus pada hantaran tanah pada kondisi normal adalah 0 ampere, sedangkan ketika terjadi gangguan tanah adalah 1,1 ampere. Oleh karena itu pada skema proteksi menggunakan sistem satu kawat (51N) untuk mendapatkan pemutusan 10 detik dengan arus

pengali arus adalah 2.3, maka arus setting dipilih 0.5 ampere. Simulator menampilkan pemutusan 10 detik ketika sistem diuji dengan hubung singkat satu fasa ke tanah[6],[7].



Gambar 11. Waktu pemutusan relai gangguan tanah menggunakan Standar Invers, dengan TMS=1

7. KESIMPULAN

Simulator mampu menampilkan dengan baik konsep tegangan dalam gangguan, hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan fasa ke fasa adalah 36,5 volt, dan tegangan fasa netral 21 volt. Tegangan pada kondisi gangguan satu fasa ketanah pada fasa terganggu adalah 0 volt, sedangkan fasa yang tidak terganggu terhadap tanah adalah 33 volt.

Fungsi dari transformator pembumian zig-zag dapat ditampilkan dengan baik. Pada kondisi normal arus yang mengalir pada belitan transformator zig-zag adalah 0.07 ampere, artinya fungsi transformator zig-zag sebagai impedansi tinggi pada kondisi normal sudah terbukti, dan menyediakan arus tanah tinggi 1,1 amper ketika gangguan satu fasa ketanah juga dapat ditampilkan.

Sistem proteksi dibutuhkan untuk arus hubung singkat gangguan tanah sampai pemutus bekerja mengkliring gangguan dan memisahkan bagian yang mengalami gangguan tanah dengan waktu pemutusan 10 detik. IEEE Std 32-1972. Mekanisme proteksi gangguan tanah dapat ditampilkan dengan baik oleh simulator. Untuk mendapatkan waktu pemutusan 10 detik, pada arus gangguan 1.1 ampere, setting pengali arus dipilih 2.3, dan skala pengali waktu 1 menggunakan standar invers. Pada pengujian terhadap arus gangguan tanah relai menginisiasi pemutus dalam waktu 9.8 detik..

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Adhitya Naufal Firdaus (121321001) yang telah mengkonstruksi transformator zig-zag pada tahun 2012 di laboratorium SDTL

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Baldwin, F. Renovich, L. Saunders, "Fault Locating in Ungrounded and High-Resistance Grounded Systems," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 37, no. 4, pp. 548-553, July/Aug 2001.
- [2] Heskitt, A. and Mitchell, H. (2013). Ground Fault Protection for an Ungrounded System. [online] dapat diakses: http://www.ece.mtu.edu/faculty/bamork/EE5223/EE5223TermProj_Ex3.pdf, diakses pada 10 Maret 2018
- [3] V. Borjas, Daniela "Ground Fault Detection For Delta-Delta Ungrounded Systems", Electrical Engineering Department, California Polytechnic State University San Louis Obispo, 2017. [online] dapat diakses : <http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1433&context=eesp> diakses 4 April 2018
- [4] M. Shen, Grounding Transformer Application, Modeling, and Simulation, Member, IEEE, L. Ingratta, and G. Roberts, Conference: Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE
- [5] Dhruvita Mandaliya, Ajay M. Patel, Tarang Thakkar, Ground Fault Detection using Zig-zag Grounding Transformer in Ungrounded System International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; SJ Impact Factor: 6.887 Volume 6 Issue IV, April 2018- Available at www.ijraset.com
- [6] Yudi P.H., Supriyanto, Perancangan Alat Sinkronisasi Integrasi dengan Sistem Proteksi untuk Interkoneksi Pembangkit Skala Kecil., Jurnal : Ilmiah TEDC, Mei 2011, Vol:5, No.: 2, Tahun : 2010, ISSN : 1978-0060, <http://digilib.polban.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptppolban-gdl-supriyanto-3275>
- [7] Supriyanto, Rancang Bangun Modul Praktikum Sistem Proteksi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Menggunakan Rele Arus Lebih Tipe MCGG 52 Jurnal : Ilmiah TEDC, Mei 2011, Vol: 5, No.1, Tahun 2011, ISSN : 1978-0060 <http://digilib.polban.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptppolban-gdl-supriyanto-3300>