

RANCANG BANGUN SIMULATOR PROTEKSI JARINGAN DISTRIBUSI TERHADAP GANGGUAN ARUS LEBIH PADA GARDU INDUK

Supriyanto¹, Hari Purnama², Heribudi Utomo³, Rahmat Frasetio⁴

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 : hbu@polban.ac.id

⁴Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 40012
E-mail : Rahmat_Frasetio@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan simulasi operasi Gardu Induk yang fokus pada mekanisme sistem proteksi. Metodologi penelitian dimulai dari perancangan modul dalam bentuk gambar kerja rancangan, mengonstruksi dan merakit instalasi modul, dan menguji secara fungsional sesuai tujuan penelitian. Objek perlindungan sistem proteksi adalah jaringan SUTM, yang terbagi menjadi tiga titik zona gangguan, yaitu gangguan di Gardu Induk, gangguan pada 50% dan 100% panjang saluran. Hubungan singkat di Gardu Induk untuk mensimulasikan gangguan pada titik transformasi, artinya impedansi gangguan adalah impedansi transformator. Mensimulasikan nilai gangguan yang paling besar. Pengujian hubungan singkat 3 fasa. untuk kajian pemilihan breaking capacity peralatan pada Gardu Induk. Pengujian hubungan singkat fasa – tanah untuk kajian pemilihan menentukan nilai resistansi NGR (Netral Grounding Resistor). Pengujian hubungan singkat SUTM di titik. 50% panjang saluran digunakan untuk mendapatkan nilai setting relai arus lebih instantaneous (50). Pengujian hubungan singkat SUTM di Titik. 100% panjang saluran untuk setting pick-up relai arus lebih time delay (51). Hasil pengujian gangguan 2 fasa relai proteksi yang bekerja adalah relai arus lebih fasa dengan waktu tunda (51), pada gangguan 3 fasa yang bekerja adalah relai arus lebih instantaneous (50), sedangkan ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah relai yang bekerja adalah relai waktu tunda gangguan tanah.

Kata Kunci : simulator, gardu induk, sistem proteksi, gangguan fasa, gangguan tanah.

1. PENDAHULUAN

Penelitian ini mengembangkan rancang bangun sebuah simulator yang mampu menampilkan simulasi operasi switching kubikel, pengujian hubungan singkat pada jaringan distribusi, dan simulator yang mampu menampilkan kinerja sistem proteksi dan mengujinya dengan gangguan hubungan singkat jaringan secara langsung. Pada simulator parameter tegangan diturunkan dengan mereduksi tegangan sistem.

Fungsi gardu distribusi adalah sebagai pembagi, pemutus, penghubung, pengontrol dan proteksi sistem penyaluran tenaga listrik. Pada Gardu Induk terdapat transformator tenaga sebagai penurun tegangan, komponen pengukur, komponen proteksi,

dan pensaklaran. Batasan parameter untuk analisis dan perhitungan dalam penelitian ini akan dipertahankan sesuai kaidah dan teori yang berlaku dalam sistem distribusi tenaga listrik. Parameter tegangan akan diturunkan dalam batas aman, dengan mereduksi tegangan sistem. Rancangan parameter terdiri dari Transformator tenaga 420/127 sebagai simulasi tegangan 70kV/20kV, dengan impedansi transformator 4%. Jaringan SUTM 20 kV sepanjang 20 km disimulasikan dengan impedansi jaringan 50% ($R_{50\%} = 2,1$ ohm, dan $L_{50\%} = 10$ milli henry), dan impedansi 100% ($R_{100\%} = 4,2$ ohm dan $L_{100\%} = 20$ milli Henri). Impedansi NGR 12 ohm, dan 100 ohm.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Mengembangkan simulator Gardu Induk yang dapat menampilkan simulasi Operasi switching kubikel tegangan menengah di Gardu Induk.

2. Mengembangkan simulator Gardu Induk yang dapat menampilkan simulasi pengujian hubung singkat pada tiga titik gangguan, yaitu pada jaringan 0%, 50% dan 100% pajang jaringan.
3. Mengembangkan simulator Gardu Induk yang dapat menampilkan simulasi mekanisme sistem proteksi dan koordinasi proteksi

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pustaka yang digunakan untuk penelitian adalah publikasi terakhir yang terkait bahan kajian dalam penelitian ini. Harapannya dari penelitian ini dapat diperoleh state of the art penelitian bidang sistem tenaga dan dapat dipercaya untuk publikasi pada prosiding dan jurnal nasional dan internasional.

2.1 Penelitian Simulator Sistem Proteksi

Heskitt, A. and Mitchell, H. (2013) mengembangkan simulator proteksi gangguan tanah untuk sistem pembumian mengambang. Pada sistem 3 fasa 120kV, transformator tenaga 120kV/4.8kV hubungan delta/delta. 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. Relai proteksi menggunakan Basler BE1-59N.[1]

V Borjas, Daniela. (2017) 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[2].

Supriyanto (2019) mengembangkan simulator gardu induk untuk transformator delta-delta. Penelitian menampilkan produk rancang bangun untuk studi proteksi gangguan tanah pada sistem pembumian mengambang sistem distribusi tenaga listrik pada tegangan 20 kV pada primer dan 380 V pada

sekunder, yang dikembangkan di Laboratorium Sistem Distribusi Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung. Pada simulator tegangan nominal disimulasikan 380 V pada primer dan sekunder. Skema sistem proteksi gangguan tanah menggunakan relai tegangan lebih(59N) dan transformator tegangan pada primer dengan hubungan bintang ditanahkan, dan sekunder delta terbuka ditanahkan.[3] Penelitian ini akan memverifikasi pertimbangan pemilihan rating ballast, dan cara menentukan setting ambang batas tegangan lebih. Sehingga dengan pemilihan yang tepat akan mendapatkan sistem proteksi yang mampu memberi perlindungan terhadap setiap lokasi gangguan sepanjang jaringan, dan elemen sistem proteksi terlindungi dari kerusakan. Penelitian ini juga akan melihat pengaruh gangguan hubung singkat selain hubung singkat satu fasa ke tanah terhadap mekanisme sistem proteksi[3]

2.2 Pertimbangan Sistem Koordinasi Proteksi

Golver J.D., Sarma M.S.,(2008) mempropos metode setting dan koordinasi proteksi untuk relai arus lebih terhadap gangguan fasa dan tanah. Pertimbangan tersebut adalah 1) Mengukur arus hubung singkat fasa ke fasa setiap bus. 2) Mengidentifikasi rasio CT Ratio dan Breaker Interrupting Cycles pada setiap titik. 3) Menghitung pickup relai minimum setiap perangkat, dengan perhitungan dimulai dari relai paling hilir dengan menseting waktu pemutusan 0.3 detik sampai 0.4 detik (ANSI/IEEE Std-242).

Pabrikan Alstom terkait koordinasi relai proteksi merekomendasikan untuk mengambil arus gangguan di seluruh jaringan harus diketahui. Terutama arus hubung singkat minimum dan maksimum harus dihitung melalui setiap titik relai. Perhitungan hubung singkat untuk koordinasi relai proteksi dalam aplikasi praktis melibatkan langkah-langkah berikut Pertama mengidentifikasi kemungkinan kondisi operasi dan batas stabilitas dengan menggunakan diagram jaringan dan data yang tersedia. Kedua menghitung arus gangguan minimum dan maksimum untuk setiap jenis gangguan melalui setiap titik relai. Ketiga menghitung distribusi arus gangguan dalam jaringan, terutama yang melalui setiap titik relai. Berdasarkan langkah-langkah di atas, sistem proteksi dan tingkat perlindungan, seperti tinggi atau rendah harus ditentukan. Gangguan yang terjadi dalam sistem tiga fasa adalah tidak simetri kecuali pada gangguan hubung singkat tiga fasa. [7].

Prosedur koordinasi proteksi harus diatur agar tidak beroperasi untuk arus beban maksimum tetapi harus beroperasi pada arus gangguan minimum yang diharapkan. Rekomendasi yang disarankan untuk menggunakan relai dengan karakteristik operasi yang identik secara berurutan. Selain itu, relai yang paling jauh dari sumber harus memiliki pengaturan arus yang sama dengan atau kurang dari arus primer yang diperlukan untuk mengoperasikan relai di belakangnya. Lebih lanjut, agar relai beroperasi dengan koordinasi benar, harus ada waktu yang cukup yang disebut sebagai waktu margin. Penentuan margin tergantung pada faktor-faktor berikut; 1) galat pemutus arus gangguan relai waktu tunda (variasi dari kurva waktu tunda karakteristik), 2) waktu overshoot dari relai, 3) galat kesalahan CT. [5, 6]. Margin waktu antara relai proteksi adalah 0,4 detik. Berdasarkan waktu operasi CB sebesar 5 cycles = 0.08 detik, waktu perjalanan sinyal pada relai proteksi 0.1 detik, Safety factor (akibat kejenuhan CT, dan errors): 0.22 detik. Total waktu = $0.08 + 0,22 + 0,1 = 0.4$ detik. [4].

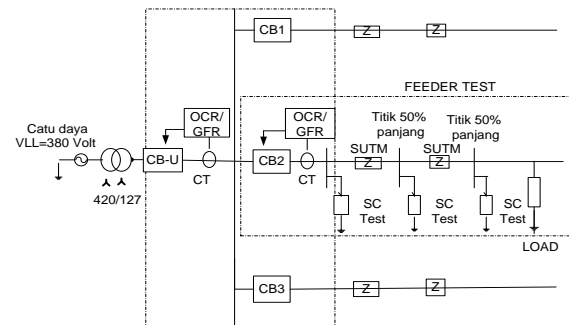
3. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Rancangan Fungsional

Objek perlindungan sistem proteksi Gardu induk adalah jaringan SUTM, yang terbagi menjadi tiga titik zona gangguan. Pengujian hubung singkat dilakukan pada titik gangguan di Gardu Induk, pada 50% panjang saluran, dan 100% panjang saluran. Hubung singkat di Gardu Induk untuk mensimulasikan gangguan pada titik transformasi, artinya impedansi gangguan adalah impedansi transformator. Mensimulasikan nilai gangguan yang paling besar. Pengujian hubung singkat 3 fasa. untuk kajian pemilihan breaking capacity peralatan pada Gardu Induk. Pengujian hubung singkat fasa – tanah untuk kajian pemilihan menentukan nilai resistansi NGR (Netral Grounding Resistor). Pengujian hubung singkat SUTM di titik. 50% panjang saluran digunakan untuk mendapatkan nilai setting relai arus lebih instantaneous (50). Pengujian hubung singkat SUTM di Titik. 100% panjang saluran untuk setting pick-up relai arus lebih time delay (51)

Mekanisme proteksi untuk arus kerja minimum relai harus lebih besar dari arus beban maksimum dan lebih kecil dari arus gangguan hubung singkat terkecil, yaitu arus gangguan hubung singkat dua fasa di ujung seksi. Penentuan setting dari seksi yang paling ujung dan secara bertahap dilakukan untuk seksi-seksi berikutnya ke arah sumber. Untuk

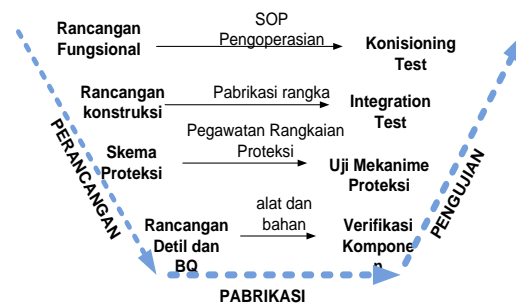
menentukan setting waktu relai perlu diketahui beda waktu koordinasi minimum yang di perbolehkan sesuai dengan spesifikasi relai dan pemutus daya yang dipakai. Pada saat melakukan setting waktu relai inverse, lakukanlah pada saat arus gangguan maksimum karena untuk arus yang lebih kecil waktu kerja relai akan lebih besar..



Gambar 1. Rancangan Fungsional

3.1 Rancangan Konstruksi dan Proses Pabrikasi

Konstruksi simulator dirancang berdasarkan pertimbangan keamanan, keandalan, dan kapabilitas pengembangan penelitian di masa depan. Mekanisme perancangan, implementasi dan pengujian ditunjukkan pada Gambar 2. Kontruksi mimik diagram sesuai dengan fungsi ditampilkan pada Gambar 3 dan struktur simulator ditampilkan pada Gambar 4

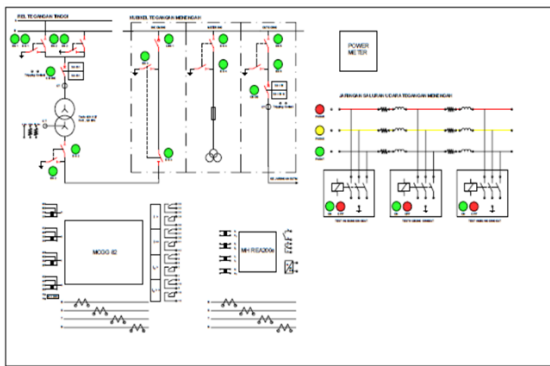


Gambar 2. Proses pembuatan simulator

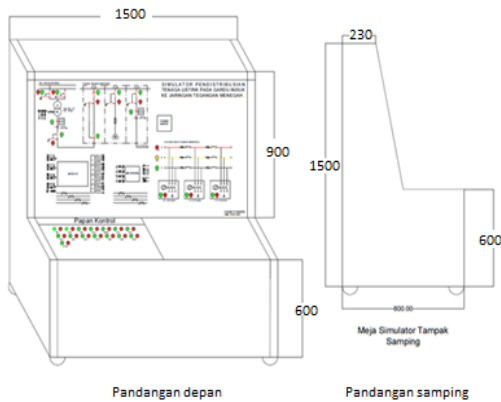
Proses rancang bangun dilaksanakan dalam 6 langkah, yang meliputi; 1) Perancangan fungsional, 2) Perancangan konstruksi, 3) Perancangan sub sistem

pengukuran, 4)Perancangan sub sistem proteksi, 5)Perancangan Bill of Quantity. Implementasi mengikuti setiap tahap perencanaan dan dalam setiap tahap diikuti oleh pengujian.

Simulator mampu menampilkan simulasi operasi switching kubikel, pengujian hubung singkat pada jaringan distribusi, dan simulator yang mampu menampilkan kinerja sistem proteksi dan mengujinya dengan gangguan hubung singkat jaringan secara langsung. Gardu distribusi adalah sebagai pembagi, pemutus, penghubung, dan proteksi penyaluran tenaga listrik. Kubikel terdiri dari incoming kubikel, out going kubikel, dan kubikel metering.



Gambar 3. Rancangan Mimik Diagram

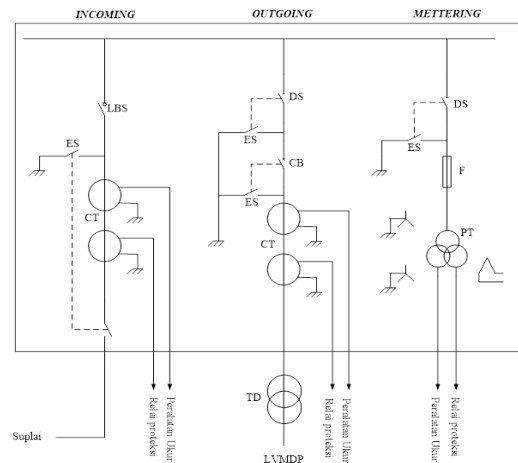


Gambar 4. Konstruksi Simulator

4. DISKUSI DAN PEMBAHASAN

4.1 Operasi Switching Kubikel Tegangan Menengah di Gardu Induk

Hasil pengujian operasi pPengembangkan simulator Gardu Induk yang dapat menampilkan simulasi Operasi switching kubikel tegangan menengah di Gardu Induk. Pada gambar 5 ditampilkan sistem interlock dan pengunci kubikel dilengkapi dengan sistem *interlock* untuk mencegah kemungkinan kesalahan atau kelainan operasi dari peralatan dan untuk menjamin keamanan operasi. Pada kubikel pemutus yang belum pada posisi siap dioperasikan, maka sistem kontrol tidak dapat dioperasikan. Pintu kubikel tidak dapat dibuka jika pemutus dalam keadaan tertutup, dan pemisah tanah dalam keadaan terbuka. Pintu kubikel tidak dapat ditutup jika pemisah tanah dalam keadaan tertutup. Pemisah tanah tidak dapat ditutup jika pemutus dalam keadaan tertutup.

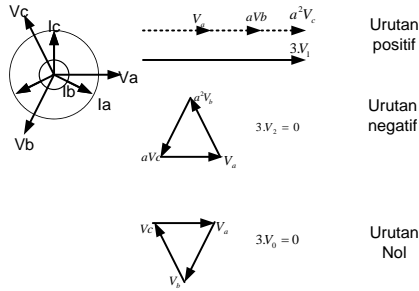


Gambar 5. Sirkit Rangkaian Switching Gardu Induk

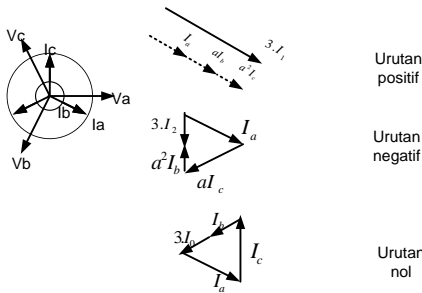
4.2 Pengujian Hubung Singkat

Mengembangkan simulator Gardu Induk yang dapat menampilkan simulasi pengujian hubung singkat pada tiga titik gangguan, yaitu pada jaringan 0%, 50% dan 100% pajang jaringan. Tegangan pada Kondisi Gangguan Untuk analisis kondisi gangguan yang tidak seimbang, dapat digunakan perhitungan menggunakan komponen simetris. Komponen simetris juga dapat digunakan untuk mendeteksi

berbagai jenis gangguan dan membedakan jenis gangguan.



Gambar 6. Komponen simetri untuk kondisi gangguan seimbang /simetris

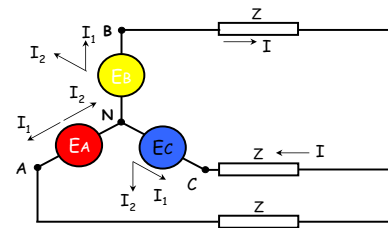


Gambar 7. Komponen simetri untuk kondisi gangguan tidak seimbang

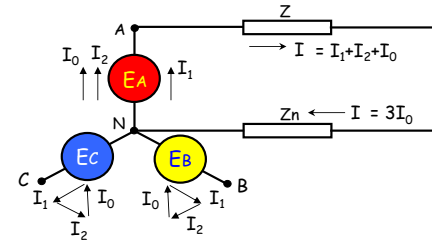
Mengacu pada gambar 6 dapat diamati bahwa kondisi gangguan simetris yaitu gangguan tiga fasa, dan gangguan tiga fasa ke tanah nilai arus gangguan urutan positif dan negative adalah nol, sehingga arus urutan positif saja komponen dari gangguan ini.

Pada gangguan tidak simetris hubung singkat dua fasa, dan fasa tanah ditunjukkan pada gambar 7, untuk gangguan hubung singkat 2 fasa pada gambar 8 ditampilkan . Pada kondisi ini fasa B dan C dibebani oleh impedansi Z yang terhubung seri. Tegangan yang digunakan adalah tegangan antara fasa B dan fasa C. Impedansinya adalah impedansi yang menghubungkan fasa B dan fasa C. Arus yang mengalir pada impedansi di fasa B urutannya sama dengan urutan tegangan yang dibangkitkan di fasa B (urutan positif). Arus yang mengalir pada impedansi di fasa C urutannya berlawanan dengan urutan tegangan yang dibangkitkan di fasa C (urutan negatif). Pada gangguan tidak simetris hubung singkat satu fasa ke tanah ditunjukkan pada gambar 8, Arus mengalir dari sumber yang urutannya sama

dengan urutan tegangan (fasa A). Urutan positif ini yang mendorong arus ke rangkaian tertutup. Adanya arus itu, timbul fluks yang searah dengan fluks yang dibangkitkan di Generator. Karena aliran fluks di Fasa B dan C ini seolah berlawanan dengan yang dibangkitkan. Dari sisi listriknya seolah terdapat arus yang melawan urutan ggl Fasa B dan C, yang kemudian biasa dikenal dgn Urutan Negatif, tapi resultantnya di fasa A kembali searah. Karena di Fasa B dan C pada kenyataannya tidak ada arus yang mengalir keluar maka ada arus lain yang mengkompensirnya yang biasa disebut Urutan Nol.



Gambar 8. Gangguan Tidak Seimbang 2 Fasa



Gambar 9. Gangguan Tidak Seimbang Fasa Tanah

Tegangan dan arus urutan nol dan urutan negatif yang terdapat pada gangguan tanah..Komponen simetris (tegangan dan arus) yang terdapat dalam berbagai jenis gangguan dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Komponen simetris dalam berbagai jenis gangguan

Arus urutan	Satu fasa ke tanah	Fasa ke fasa	Dua fasa ke tanah	Tiga fasa	Tiga fasa ke tanah
Positif(I_1)	I_1	I_1	I_1	I_1	I_1
Negatif(I_2)	I_2	I_2	I_2		
Nol (I_0)	I_0		I_0		

Simulasi pengujian hubung singkat pada tiga titik gangguan yang diperoleh dari pengujian pada

simulator pada jaringan 0%, 50% dan 100% pajang jaringan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 .BesAr Arus Hubung Singkat

Lokasi titik gangguan	Satu fasa ke tanah (A)	Fasa ke fasa (A)	Dua fasa ke tanah (A)	Tiga fasa (A)	Tiga fasa ke tanah (A)
Gardu induk	15	20	17	25	23
50% jaringan	10	15	13	20	17
100% Jaringan	5	10	11	15	12

4.3 Simulasi Mekanisme Proteksi

Simulator Gardu Induk yang dapat menampilkan simulasi mekanisme sistem proteksi dan koordinasi proteksi. Pengujian hubung singkat dilakukan pada titik gangguan di Gardu Induk, pada 50% panjang saluran, dan 100% panjang saluran. Hubung singkat di Gardu Induk untuk mensimulasikan gangguan pada titik transformasi, artinya impedansi gangguan adalah impedansi transformator. Mensimulasikan nilai gangguan yang paling besar. Pengujian hubung singkat 3 fasa. untuk kajian pemilihan breaking capacity peralatan pada Gardu Induk. Pengujian hubung singkat fasa – tanah untuk kajian pemilihan menentukan nilai resistansi NGR(Neutral Grounding Resistor). Pengujian hubung singkat SUTM di titik. 50% panjang saluran digunakan untuk mendapatkan nilai setting relai arus lebih instantaneous(50). Pengujian hubung singkat SUTM di Titik. 100% panjang saluran untuk setting pick-up relai arus lebih time delay (51). Hasil pengujian dapat ditampilkan ketika terjadi gangguan 2 fasa relai proteksi yang bekerja adalah relai arus lebih fasa dengan waktu tunda (51). Pada saat terjadi gangguan 3 fasa yang bekerja adalah relai arus lebih instantaneous (50), sedangkan ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah relai yang bekerja adalah relai arus lebih waktu tunda gangguan tanah.

7. KESIMPULAN

Simulator mampu menampilkan verifikasi teoritis konsep gangguan fasa untuk gangguan fasa fasa dan gangguan tiga fasa, dan gangguan tanah.

1. Simulator gardu induk yang dapat menampilkan simulasi operasi switching kubikel. Urutan operasi dapat ditampilkan sesuai fungsi kubikel incoming, metering, dan outgoing. Untuk mencegah kemungkian kesalahan atau kelainan operasi dari peralatan dan untuk menjamin keamanan operasi. Pada kubikel pemutus yang belum pada posisi siap dioperasikan, maka sistem

kontrol tidak dapat dioperasikan. Pintu kubikel tidak dapat dibuka jika pemutus dalam keadaan tertutup, dan pemisah tanah dalam keadaan terbuka. Pintu kubikel tidak dapat ditutup jika pemisah tanah dalam keadaan tertutup. Pemisah tanah tidak dapat ditutup jika pemutus dalam keadaan tertutup.

2. Simulator Gardu Induk yang dapat menampilkan simulasi pengujian hubung singkat pada tiga titik gangguan, yaitu pada jaringan 0%, 50% dan 100% pajang jaringan. Nilai hasil pengukuran terverifikasi sesuai dengan nilai hasil hitung manual menggunakan komponen simetri.
3. Simulator Gardu Induk yang dapat menampilkan simulasi mekanisme sistem proteksi dan koordinasi proteksi. Hasil pengujian dapat ditampilkan ketika terjadi gangguan 2 fasa relai proteksi yang bekerja adalah relai arus lebih fasa dengan waktu tunda (51). Pada saat terjadi gangguan 3 fasa yang bekerja adalah relai arus lebih instantaneous (50), sedangkan ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah relai yang bekerja adalah relai arus lebih waktu tunda gangguan tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Sindi Naura (111321001) yang telah mengkonstruksi simulator operasi kubikel di laboratorium SDTL.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Heskitt, A. and Mitchell, H. (2013). GROUND FAULT PROTECTION FOR AN UNGROUNDED SYSTEM. [online] dapat diakses pada: http://www.ece.mtu.edu/faculty/bamork/EE5223/EE5223TermProj_Ex3.pdf diakses pada 10 Maret 2018
- [2.] V. Borjas, Daniela (2017) “GROUND FAULT DETECTION FOR DELTA-DELTA UNGROUNDED SYSTEMS”, Electrical Engineering Department, California Polytechnic State University San Louis Obispo, 2017. [online] dapat diakses pada : <http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1433&context=eesp> diakses 4 April 2018
- [3.] Supriyanto at.al (2019) “GROUND FAULT PROTECTION USING OPEN BREAK DELTA GROUNDING TRANSFORMER IN UNGROUNDED SYSTEM” , LOGIC, Journal of Engineering Design and Technology Vol. 19 No.1 March 2019; p. 34 – 40

- [4.] Golver J.D., Sarma M.S.,(2008) POWER SYSTEM ANALYSIS AND DESIGN, 4th ed., (Thomson Crop, 2008).
- [5.] Abdulfetah SHOBOLE, Mustafa BAYSAL, Mohammed WADI, Mehmet Rida TUR. (2017) Protection Coordination Practice in Electrical Substation Part-1 Overcurrent and Earth Fault Protection - Case Study of Siddik Kardesler Substation (SKS), Istanbul, Turkey, Journal of Science, Gazi University <http://dergipark.gov.tr/gujs>
- [6.] Carlos A. Castillo Salazar, Arturo Conde Enríquez, Satu Elisa Schaeffer, Directional overcurrent relay coordination considering non-standardized time, Electric Power Systems Research, Volume 122, pp 42-49, (2015).
- [7.] S.A. Ahmadi, coordination of overcurrent relays considering different relay characteristics, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 83, pp 443–449, (2016). H. Karamib, M.J. Sanjarib, H. Tarimoradib, G.B. Gharehpetianb, Application of hyper-spherical search algorithm for optimal
- [8.] Network Protection and Automation Guide, Protective Relays Measurement and Control, ISBN: 978-0-9568678-0-3 Published by Alstom Grid, (2011)