

Analisis Proteksi Relay Differensial Terhadap Gangguan Internal dan Eksternal Transformator Menggunakan PSCAD/EMTDC

Syukriyadin, Syahrizal dan Cut Rizky Nakhrisya

Laboratorium Teknik Energi Listrik

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. T. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh

Email: syukriyadin@elektro.unsyiah.ac.id

Abstrak—Proteksi transformator berfungsi untuk memproteksi transformator apabila terjadi gangguan, sehingga transformator dapat terhindar dari kerusakan. Dalam paper ini akan dibahas tentang relay differensial yang digunakan untuk memproteksi transformator. Relay ini bekerja apabila terdapat perbedaan arus pada CT sisi primer dan sekunder di zona proteksi. Apabila gangguan terjadi di luar zona proteksi, relay tidak akan bekerja. Penelitian ini berupa simulasi dengan menggunakan perangkat lunak PSCAD/EMTDC versi 4.2. Data-data yang digunakan adalah data dari sistem WSCC 3 Machine 9 Bus Systems. Dalam simulasi ini akan dilihat unjuk kerja dan selektifitas relay differensial, nilai arus pada PMT, serta waktu trip relay differensial di zona proteksi (internal) maupun di luar zona proteksi (eksternal). Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat terjadi gangguan internal, relay trip (pick-up) selama 0,15 detik, yaitu dari 0,22 detik sampai dengan 0,37 detik, sedangkan pada gangguan eksternal relay tidak trip (pick-up).

Kata Kunci. *Relay Differensial, Proteksi Transformator dan PSCAD/EMTDC.*

I. PENDAHULUAN

Transformator dalam sistem tenaga membutuhkan tipe proteksi yang berbeda-beda. Proteksi ini disediakan oleh berbagai jenis relay, baik elektromagnetik maupun statik. Secara umum proteksi transformator berfungsi untuk memproteksi transformator apabila terjadi gangguan, sehingga transformator dapat terhindar dari kerusakan [1]. Relay yang akan digunakan untuk memproteksi transformator adalah relay differensial. Relay ini bekerja apabila terdapat perbedaan arus pada Current Transformer [CT] sisi primer dan sekunder. Apabila gangguan terjadi di luar zona proteksi, relay tidak akan bekerja. Gangguan listrik yang terjadi dalam suatu sistem tenaga mengakibatkan terjadinya peningkatan arus listrik, penurunan tegangan, frekuensi dan faktor daya. Relay tidak dapat menghilangkan kemungkinan adanya gangguan, tetapi akan bekerja setelah terjadi gangguan. Suatu relay proteksi bertugas untuk mengamankan suatu alat atau bagian dari sistem tenaga listrik dalam zona proteksi. Pemutus tenaga [PMT] diletakkan agar setiap bagian dari sistem dapat dipisah-pisahkan. Maka tugas relay adalah mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada zona proteksi, memberi perintah untuk membuka PMT, dan memisahkan bagian dari sistem yang terganggu. Dengan

demikian bagian sistem yang lain yang tidak terganggu dapat beroperasi dengan normal. Hal ini berfungsi untuk mengetahui keselektifan relay tersebut.

Fungsi relay proteksi pada sistem tenaga listrik dapat dilihat pada referensi [2].

Masalah dibatasi pada bagaimana mensimulasikan rangkaian proteksi transformator *step up* menggunakan relay differensial serta perangkat pendukung lainnya yang tersedia dalam PSCAD/EMTDC untuk menganalisa unjuk kerja relay differensial. Serta dapat memberi gambaran mengenai selektifitas relay differensial, menganalisa arus pada PMT tegangan tinggi dan tegangan rendah, arus gangguan yang terjadi di dalam zona proteksi (internal) maupun di luar zona proteksi (eksternal). Serta arus yang keluar dari CT kemudian memutuskan untuk memberikan perintah trip atau tidak ke PMT.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan relay differensial dalam memproteksi transformator step-up terhadap gangguan internal dan eksternal zona proteksi transformator

II. RELAY PROTEKSI

Sistem proteksi/pengaman suatu tenaga listrik yang membentuk suatu pola pengaman tidaklah hanya relay pengaman saja tetapi juga Current Transformer [CT] dan Voltage Transformer [VT] yang merupakan perangkat instrumen pada relay pengaman, sumber daya DC merupakan sumber untuk mengoperasikan relay pengaman dan pemutus tenaga PMT yang akan menerima perintah akhir dari relay pengaman.

Jadi sistem proteksi/pengaman tenaga listrik adalah satu kesatuan antara CT, VT, Relay, sumber DC, dan PMT. Adanya kesalahan dari salah satu komponen tersebut akan berakibat sistem tersebut tidak jalan.

Relay proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga [1].

Tugas relay proteksi juga berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dengan data tersebut memudahkan analisa dari gangguannya. Dalam beberapa

hal relay hanya memberi tanda adanya gangguan atau kerusakan, jika dipandang gangguan atau kerusakan tersebut tidak membahayakan.

Dari uraian di atas maka relay proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk:

- a) Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lainnya yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b) Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c) Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d) Memperkecil bahaya bagi manusia.

Untuk mendapatkan daerah pengaman yang cukup baik, dalam sistem tenaga listrik terbagi di dalam suatu daerah pengaman yang cukup dengan pemutusan subsistem seminimum mungkin.

Untuk memenuhi fungsi di atas, relay proteksi harus memenuhi persyaratan berikut [2]:

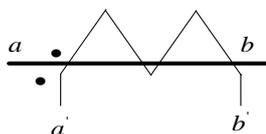
- 1. Selektif
- 2. *Reliable* (Dapat Diandalkan)
- 3. Cepat
- 4. Sensitif
- 5. Ekonomis dan Sederhana.

III. TRANSFORMATOR ARUS

Penyajian transformator arus dalam bentuk rangkaian ekuivalen ditunjukkan dalam Gambar 1. Gulungan primer transformator arus biasanya terdiri dari lilitan tunggal pada konduktor yang ditandai *a* dan *b*.

Lilitan tunggal ini diperoleh dengan memasukkan penghantar primer melalui satu atau beberapa teras baja toroid (*toroidal steel cores*). Gulungan sekunder yang terminalnya ditandai *a'*, dan *b'* dalam gambar 2 merupakan gulungan berlilitan banyak yang digulungkan pada teras toroid tersebut. Titik-titik yang ditempatkan pada terminal *a* dan *a'* dari transformator arus mempunyai arti yang sama seperti pada transformator biasa. Bila arus primer memasuki terminal *a* (terminal dengan tanda titik) arus yang meninggalkan terminal bertanda titik *a'* pada gulungan sekunder adalah sefasa dengan arus primer, jika arus magnetisasi diabaikan [3].

Walaupun unjuk kerja yang dibutuhkan dari transformator arus (*Current Transformer*) bervariasi sesuai dengan tipe proteksi, tetap CT dengan kualitas terbaik yang sering digunakan. Karena lebih andal dan memberikan hasil yang baik untuk proteksi. Kualitas CT sangat penting untuk skema proteksi differensial dimana kerja relay berhubungan langsung dengan keakuratan CT pada kondisi gangguan maupun kondisi beban normal.



Gambar 1. Penyajian secara skema untuk menunjukkan hubungan transformator arus pada saluran sistem daya

CT akan saturasi pada saat nilai arus tinggi yang disebabkan oleh gangguan, untuk menghindari hal tersebut, harus dipastikan pada saat kondisi gangguan paling kritis apakah CT bekerja sesuai dengan porsi linear dari kurva magnetisasi. Intinya CT harus mampu untuk menyediakan arus yang cukup agar relay bekerja dengan sesuai [4].

Berikut adalah masalah yang mungkin terjadi:

- Relay tidak bekerja secara maksimal
- Relay tidak merasakan distorsi yang mengurangi nilai rms pada arus sekunder
- Kerja relay ditunda akibat alasan di atas
- Lokasi gangguan tidak diketahui dengan pasti.

Kondisi tersebut menyebabkan kerusakan thermal dan elektrodinamik, kehilangan koordinasi pada relay proteksi, dan sulitnya mengetahui lokasi titik gangguan atau kehilangan stabilitas sistem[5].

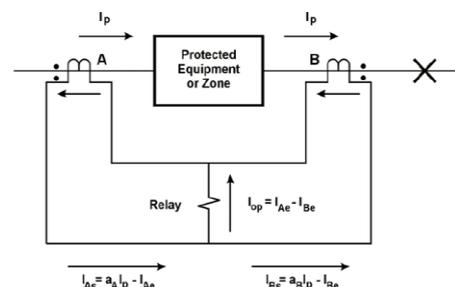
IV. MODEL RELAY DIFFERENSIAL

Sebuah relay differensial didefinisikan sebagai relay yang bekerja ketika perbedaan fasor dari dua atau lebih listrik melebihi jumlah yang ditentukan. Hampir seluruh tipe relay, ketika dihubungkan dengan cara tertentu dapat bekerja menjadi relay differensial [6,7]. Relay differensial bekerja dengan membandingkan nilai arus pada CT sisi kumparan primer dan CT sisi kumparan sekunder. Apabila selisih antara kedua CT tersebut melebihi nilai setelan maka relay akan trip [8].

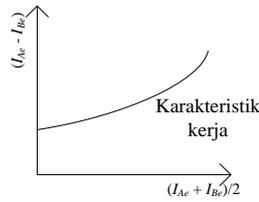
Kebanyakan relay differensial adalah tipe “differensial arus”. Tipe relay differensial ini mungkin bekerja kurang akurat dengan gangguan (misal eksternal) seperti CT yang sama tidak memiliki arus sekunder yang sama terhadap kesalahan konstruksional atau di bawah kondisi gangguan dapat menyebabkan terjadinya saturasi pada CT, adanya arus sekunder yang tidak sama dan perbedaan arus sekunder dapat menyebabkan pendekatan nilai *pickup* relay. Kekurangan ini ditanggulangi dalam relay differensial tipe persentase (*percentage differential relay*). Gambar 2 menunjukkan hubungan rangkaian sederhana untuk relay.

Arus differensial dalam *operating coil* I_{op} adalah $I_{Ae} - I_{Be}$, sementara arus dalam *restraint coil* R adalah $(I_{Ae} + I_{Be})/2$, karena *operating coil* dihubungkan ke *restraint coil*. Dengan kata lain jumlah lilitan pada *restraint coil* adalah *N*, total *ampere turn* I_{RT} adalah $I_{Ae}N/2 + I_{Be}N/2$ atau sama dengan jika $(I_{Ae} + I_{Be})/2$ mengalir melalui seluruh kumparan.

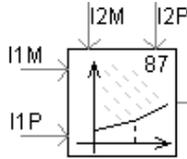
Karakteristik kerja relay tipe ini ditunjukkan pada Gambar 3, kecuali pada arus rendah, rasio dari arus operasi differensial terhadap arus *restraint* rata-rata adalah persentase yang sesuai[8].



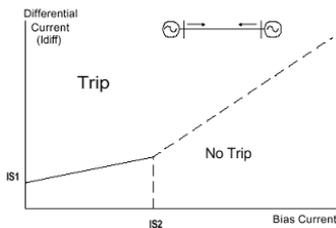
Gambar 2. Rangkaian ekuivalen relay differensial [8]



Gambar 3. Karakteristik Kerja Relay Differensial



Gambar 4. Simbol Relay Differensial Tipe Bias Percentage [9]



Gambar 5. Kurva Karakteristik Relay Differensial Tipe Bias Percentage [9]

Relay Differential Tipe Bias Percentage

Simbol relay Differential Tipe Bias Percentage ditunjukkan seperti pada Gambar 4.

Karakteristik restraining coil relay differensial tipe bias percentage dapat di tentukan dengan 4 buah setting, yaitu:

- IS1: The basic differential current setting
- K1: The lower percentage bias setting
- IS2: The bias current threshold setting
- K2: The higher percentage bias setting

Kurva karakteristik relay Differential Tipe Bias Percentage ditunjukkan seperti pada Gambar 5.

Input relay ini adalah magnitude arus sekunder CT pada sisi primer trafo I1M dan sudut phasanya I1P serta magnitude arus sekunder CT sisi sekunder trafo I2M dan sudut phasanya I2P.

Adapun prinsip kerja relay ini dapat dijelaskan dalam dua kasus, yaitu [9]:

Kasus 1:

Untuk $|I_{bias}| < I_{s2}$
 Jika, $|I_{diff}| > K_1 \cdot |I_{bias}| + I_{s1}$ maka kondisi trip (1)

Kasus 2:

Untuk $|I_{bias}| \geq I_{s2}$
 Jika, $|I_{diff}| > K_2 \cdot |I_{bias}| - (K_2 - K_1)I_{s2} + I_{s1}$ maka kondisi trip. (2)

Output relay akan menjadi '1' jika kondisi trip diatas untuk persamaan (1) dan (2) terpenuhi dan waktu 'hold time' telah terlampaui.

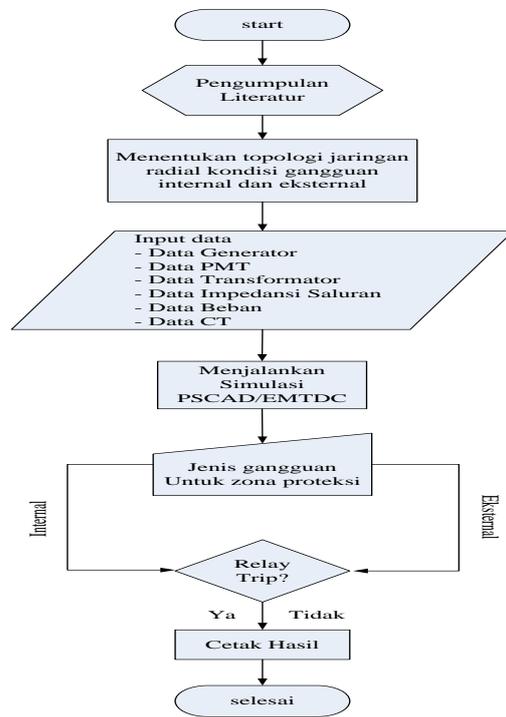
V. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam simulasi penelitian ini, relay differensial dimodelkan berdasarkan model dan karakteristik relay differensial tipe bias percentage dan data sistem mengacu

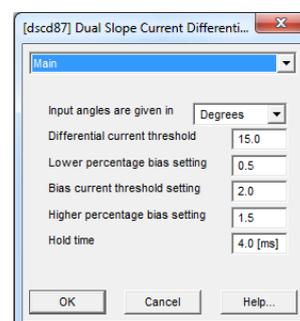
pada sistem WSCC (*Western system coordinating council*) 3 Machine 9 Bus Systems [10] yang telah disederhanakan melalui rangkaian ekivalen tranformasi Δ -Y. Model gangguan sistem yang diberikan adalah gangguan 3-fasa ke tanah. Perangkat lunak yang digunakan untuk mensimulasikan sistem adalah PSCAD/EMTDC Versi 4.2. Dalam simulasi ini alur penelitian dilakukan berdasarkan diagram alir seperti yang terlihat pada Gambar 7.

Dalam simulasi penelitian dilakukan pembuatan pemodelan rangkain simulasi PSCAD/EMTDC untuk kondisi gangguan internal pada sisi primer transformator seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 dan pada sisi sekunder transformator seperti yang ditunjukkan pada gambar 10 serta untuk kondisi gangguan eksternal seperti yang ditunjukkan pada gambar 11. Rasio CT relay differensial sisi primer (sisi TR) dipilih 1200:5 dan rasio CT sisi sekunder (TT) di pilih 100:5, sementara faktor kandungan harmonisa diabaikan. Dan relay differensial bias percentage diset seperti Gambar 8.

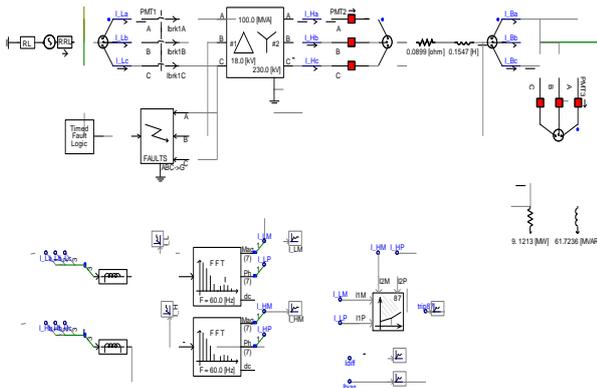
Gambar 9 dan 10 adalah rangkaian untuk jaringan kondisi gangguan internal pada sisi primer dan sekunder. Gambar 11 adalah rangkaian untuk jaringan kondisi gangguan eksternal pada sisi beban transformator.



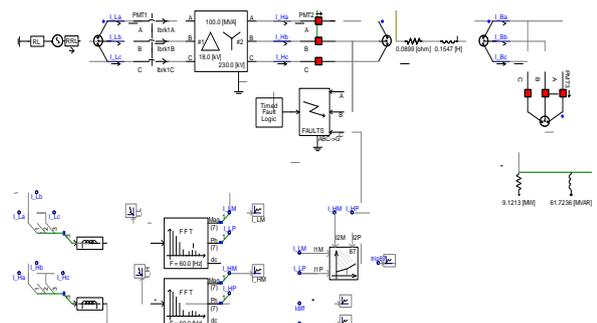
Gambar 7. Alur Simulasi Penelitian



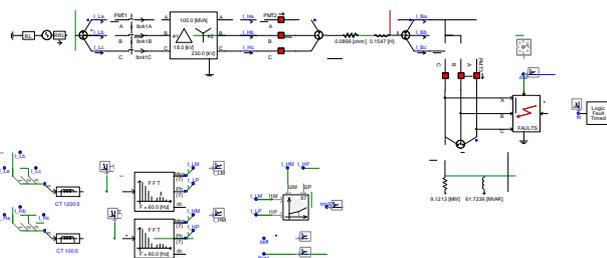
Gambar 8. Setting relay differensial



Gambar 9. Model jaringan untuk kondisi gangguan pada sisi primer transformator (gangguan internal)



Gambar 10. Model jaringan untuk kondisi gangguan pada sisi sekunder transformator (gangguan internal)



Gambar 11. Model jaringan untuk kondisi gangguan pada sisi beban transformator (gangguan eksternal)

VI. SIMULASI DAN PENDAHULUAN

Transformator yang digunakan pada simulasi ini adalah transformator *step up*, 18 kV/230 kV, D-Y, 100 MVA dengan tegangan rendah (TR) berada di sisi primer transformator dan tegangan tinggi (TT) berada pada sisi sekunder.

Setelah simulasi dijalankan dengan program PSCAD/EMTDC, maka didapat hasil sebagai berikut:

A. Jaringan Radial Kondisi Normal

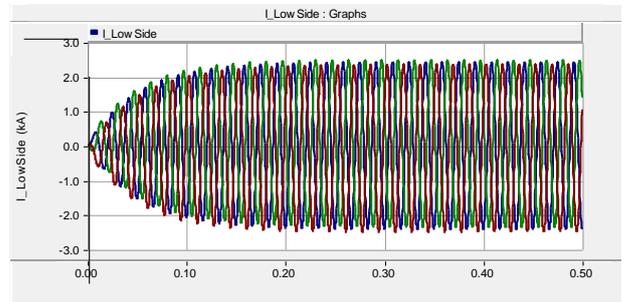
Hasil simulasi dari topologi jaringan radial kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13.

Pengukuran arus (waktu simulasi) dilakukan selama 0,50 detik. Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 12 dan Gambar 13 dapat dilihat besar arus pada sisi primer dan sekunder transformator.

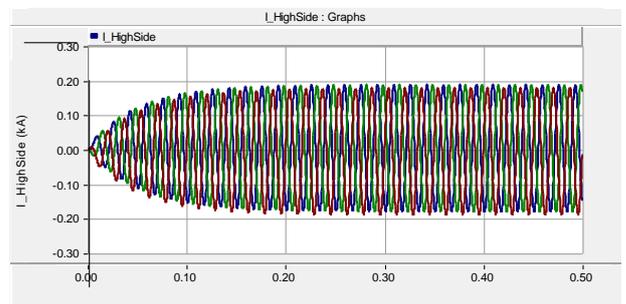
B. Kondisi Gangguan Internal pada Sisi Primer Transformator

Hasil simulasi topologi jaringan kondisi gangguan pada sisi primer transformator (gangguan internal) dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15.

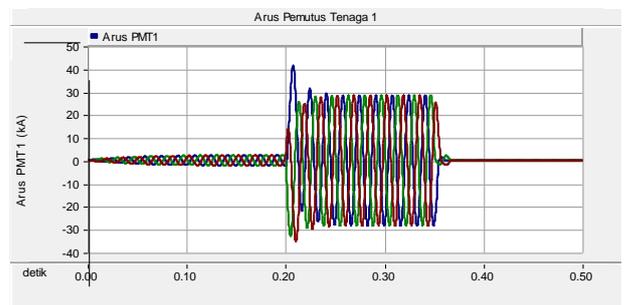
Dari Gambar 14, 15 terlihat bahwa saat gangguan terjadi pada sisi primer trafo terjadi perubahan besar magnitudo arus pada sisi primer dan sekunder trafo pada waktu periode 0,20 detik hingga 0,35 detik



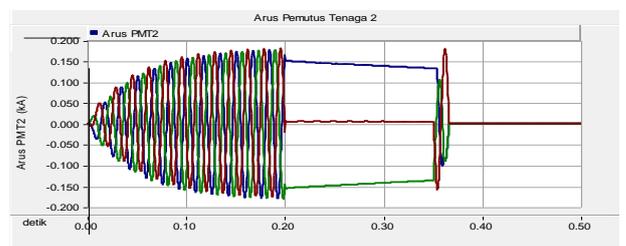
Gambar 12. Arus pada sisi primer transformator kondisi normal



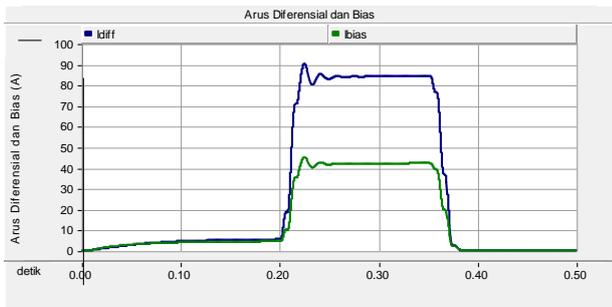
Gambar 13. Arus pada sisi sekunder transformator kondisi normal



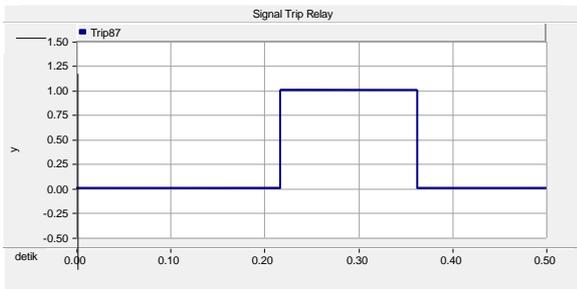
Gambar 14. Arus PMT1 Pada Sisi Primer Transformator Kondisi Gangguan Internal Sisi Primer



Gambar 15. Arus PMT2 Pada Sisi Primer Transformator Kondisi Gangguan Internal Sisi Primer



Gambar 16. Arus Diferensial dan Bias kondisi gangguan internal sisi primer transformator



Gambar 17. Pick-up Relay Diferensial Kondisi Gangguan Internal Sisi Primer Transformator

Gambar 16 menunjukkan besar arus differensial dan arus bias pada saat terjadi gangguan di sisi primer. Arus differensial sebesar 84.05 A dan besar arus bias setengah dari arus differensial yaitu sebesar 42.025 A.

Maka dengan menggunakan persamaan (2) dan data setting relay diatas dapat ditentukan apakah relay bekerja (pick-up) sebagai berikut:

$$|I_{diff}| > K_2 \cdot |I_{bias}| - (K_2 - K_1) I_{s2} + I_{s1}$$

$$|84.05| > 1.5 |42.025| - (1.5 - 0.5) 2 + 15$$

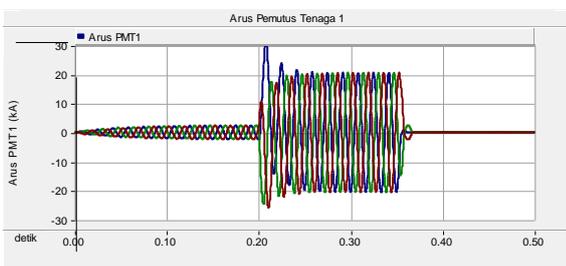
$$84.05 > 76.04$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan di atas maka kondisi pick-up relay terpenuhi, hal ini dapat dilihat pada Gambar 17.

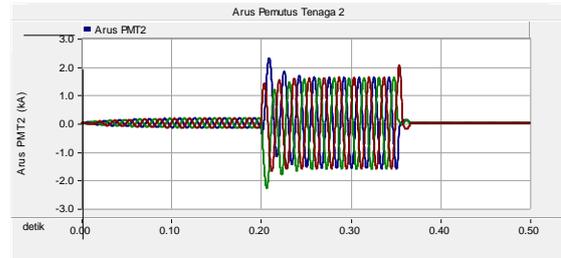
Gambar 17 menunjukkan signal trip relay (pick-up) pada saat terjadi gangguan yaitu pada saat 0,22 detik, dengan demikian PMT1 dan PMT2 trip pada waktu 0,36 detik.

C. Kondisi Gangguan Internal pada Sisi Sekunder Transformator

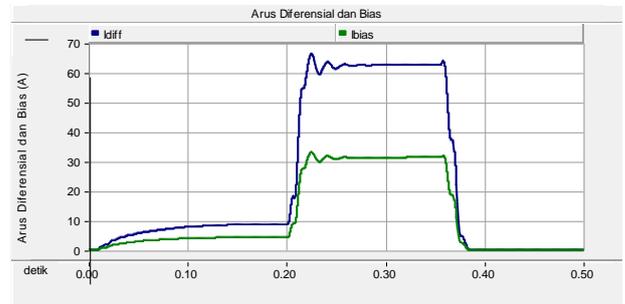
Hasil simulasi topologi jaringan kondisi gangguan pada sisi primer dan sekunder transformator (gangguan internal) dapat dilihat pada Gambar 18 dan 19.



Gambar 18. Arus pada sisi primer kondisi gangguan internal sekunder



Gambar 19. Arus pada sisi sekunder kondisi gangguan internal sekunder



Gambar 20. Arus differensial dan bias kondisi gangguan internal sisi sekunder

Gambar 20 menunjukkan besar arus differensial dan arus bias pada saat terjadi gangguan di sisi sekunder. Arus differensial yang terjadi sebesar 62.40 A dan besar arus bias setengah dari arus differensial yaitu sebesar 31.20 A.

Maka dengan menggunakan persamaan (2) dan data setting relay diatas dapat ditentukan apakah relay bekerja (pick-up) sebagai berikut:

$$|I_{diff}| > K_2 \cdot |I_{bias}| - (K_2 - K_1) I_{s2} + I_{s1}$$

$$|62.40| > 1.5 |31.20| - (1.5 - 0.5) 2 + 15$$

$$62.40 > 59,8$$

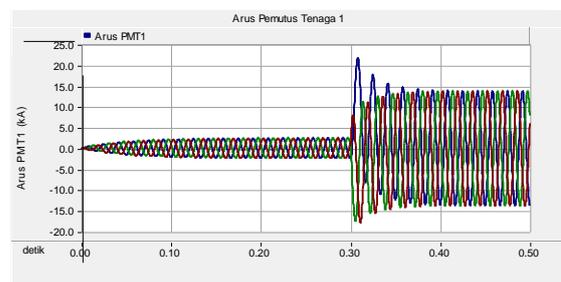
Berdasarkan dari hasil perhitungan di atas maka kondisi pick-up relay terpenuhi, hal ini dapat dilihat pada Gambar 21.

Gambar 21 menunjukkan signal trip relay (pick-up) pada saat terjadi gangguan yaitu pada saat 0,22 detik, dengan demikian PMT1 dan PMT2 trip pada waktu 0,36 detik.

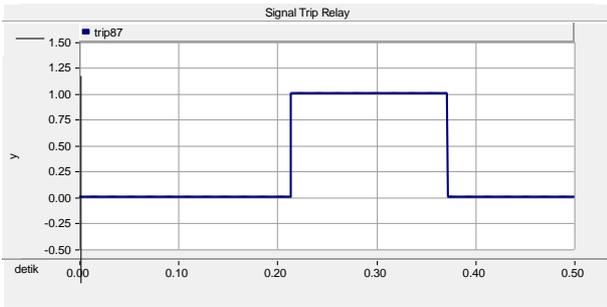
D. Kondisi Gangguan Eksternal pada Sisi Beban Transformator

Hasil simulasi topologi jaringan kondisi gangguan eksternal pada sisi beban transformator dapat dilihat pada Gambar 22, 23 dan 24.

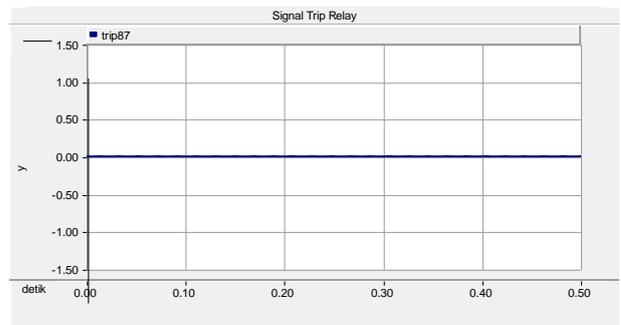
Dari Gambar 22, 23 dan 24 terlihat bahwa arus gangguan terus membesar hingga akhir waktu simulasi, dimana PMT1 dan PMT2 tidak beroperasi untuk membuka.



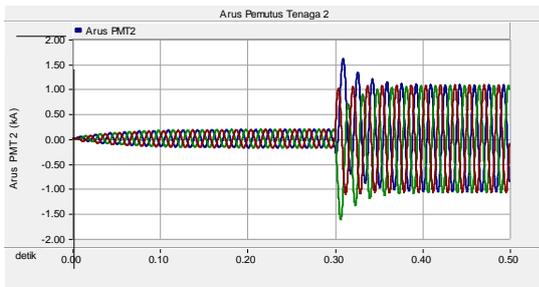
Gambar 21. Pick-up relay differensial kondisi gangguan internal sisi sekunder transformator



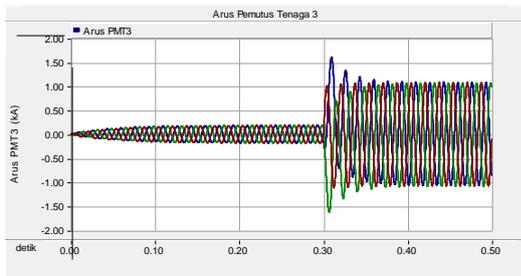
Gambar 22. Arus pada sisi primer transformator kondisi gangguan eksternal



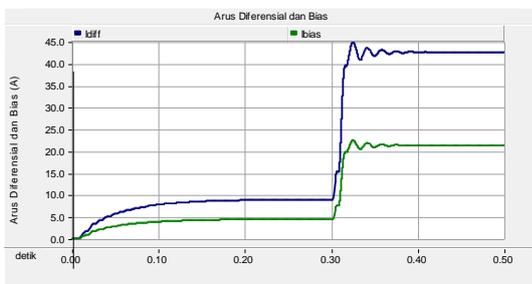
Gambar 26. Pick-up trip relay differensial kondisi gangguan eksternal



Gambar 23. Arus pada sisi sekunder transformator kondisi gangguan eksternal



Gambar 24. Arus pada sisi beban transformator kondisi gangguan eksternal



Gambar 25. Arus differensial dan bias kondisi gangguan eksternal

Hal ini dapat dijelaskan bahwa rele differensial tidak merespon gangguan yang terjadi diluar zona proteksi yang telah ditentukan seperti yang di tunjukkan pada Gambar 26 bahwa tidak terjadi pick-up pada relay tersebut.

Berdasarkan Gambar 25 menunjukkan besar arus differensial dan arus bias pada saat terjadi gangguan di sisi

eksternal transformator. Arus differensial yang terjadi sebesar 42.55 A dan besar arus bias setengah dari arus differensial yaitu sebesar 21.28 A.

Maka dengan menggunakan persamaan (2) dan data setting relay diatas dapat ditentukan apakah relay bekerja (pick-up) sebagai berikut:

$$|I_{diff}| > K_2 \cdot |I_{bias}| - (K_2 - K_1) I_{s2} + I_{s1}$$

$$|42.55| > 1.5 |21.28| - (1.5 - 0.5) 2 + 15$$

$$42.55 > 44,92$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan di atas maka kondisi pick-up relay tidak terpenuhi, hal ini dapat dilihat pada Gambar 26.

Berdasarkan Gambar 26 diperlihatkan signal trip relay (pick-up) tidak terjadi pada saat terjadi gangguan eksternal dari transformator yaitu pada saat 0,22 detik, dengan demikian PMT1 dan PMT2 tidak mendapat signal trip dari rele differensial.

VII. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada saat terjadi gangguan di zona proteksi, yaitu zona internal baik disisi primer maupun sekunder transformator, relay differensial memberikan signal trip pada PMT1 dan PMT2 sesuai waktu settingnya.
2. Pada saat gangguan terjadi di luar zona proteksi, relay differensial tidak memberikan signal trip pada PMT1 dan PMT2.
3. Relay differensial dapat dikatakan selektif, karena bekerja sesuai dengan tugasnya, yaitu mendeteksi gangguan pada zona proteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN (Persero) P3B Sumatera UPT Padang, "Relay dan Kontrol," Padang.
- [2] Ir. H. Hazairin Samaulah, M. Eng, Ph. D, "Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik," Palembang:UNSRI, 2000.
- [3] Stevenson. Jr and William. D, "Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat," Jakarta:Erlangga, 2005.
- [4] Juan M. Gers and Edward J. Holmes, "Protection of Electricity Distribution Network 2nd Edition," The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 2004.
- [5] Francisco das Chagas, Fernandes Guerra and Wellington Santos Mota, "Current Transformer Model," IEEE Transaction Power Delivery, vol. 22, no. 1, January 2007.
- [6] Soni Gupta and Bhatnagar, "A Course in Electrical Power," Delhi: Dhanpat Rai and Sons, 1977.

- [7] J. Lewis Blackburn and Thomas J. Domin, "Protective Relaying Principles and Applications 3rd Edition," USA:Taylor and Francis Group, 2007.
- [8] Sandro G.A Perez, "Modeling Relays for Power System Protection Studies", Thesis:Department of Electrical Engineering, University of Saskatchewan, Canada. 2006
- [9] Manitoba HVDC Research Centre, "PSCAD 4.2 On-line Help System," Canada: 2005.
- [10] M. Nizam, A. Mohamed and A. Hussain, "Performance Evaluation of Voltage Stability Indices for Voltage Collapse Prediction", Journal of Applied Science 6(5):1104-1113, 2006.