

Analisis Kerja Rele Overall Differential pada Generator Unit I PLTA Ketenger PT Indonesia Power UBP Mrica

Overall Differential Relay Work Analysis to Unit I Generator PLTA Ketenger PT Indonesia Power UBP Mrica

Hari Prasetyo, ST., MT^{#1}, Firman Arif Romadona^{*#2}

Hari.prasetyo@unsoed.ac.id

Program Studi Teknik Elektro Unsoed

Abstract— Plant has two important equipment that are the generator and transformer. Therefore, it should be protected well by the overall differential relay. This relay must be reliable from the disturbances that might arise. In this study a simulation was conducted to obtain and test the overall differential relay setting at generator unit 1 PLTA Ketenger. Modelling was done with MATLAB Simulink 7.0.1 to check the overall differential relay protection system from potential problems. The model was given several disturbances, namely 1) short circuit fault in the security area, 2) short circuit fault outside the security area, and 3) lightning disturbances when damaged arrester. From the simulation results, the overall differential relay operating current is 1.73 A (primary side) and 1.64 A (secondary side). The results show that the overall differential relay provides a good response, except in the lightning fault with a current above 9×10^9 A (going the mismatch). For handling this problem another arrester should be added.

Keyword— rele overall differential, unjuk kerja, seting rele, simulink

PENDAHULUAN

Pembangkit mempunyai dua proses penting yaitu proses perubahan sumber energi listrik dan proses perubahan tegangan menjadi tegangan lebih tinggi. Pada dua proses ini peralatan penting yang digunakan adalah generator dan transformator step-up. Oleh karena itu kedua peralatan ini harus dilindungi dengan baik oleh rele proteksi.

Generator banyak mengalami gangguan saat operasi. Gangguan tersebut di antaranya arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Gangguan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan yang dapat menyerang bagian-bagian belitan dari stator maupun rotor (Jumadi, 2008).

Rele diferensial bekerja jika terjadi gangguan dalam daerah pengaman dan tidak bekerja jika terjadi gangguan luar daerah pengamanannya. Apabila rele bekerja saat gangguan luar daerah pengamanannya, maka ini merupakan kejadian salah kerja yang dapat merusak peralatan (Dewi Handayani, 2008).

Karena pentingnya rele diferensial dalam mengamankan generator dan transformator, maka rele diferensial harus dapat diandalkan dari gangguan-gangguan yang mungkin timbul. Pemodelan dan simulasi menjadi sangat penting untuk mengantisipasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi.

Tuntutan pemodelan dari sistem tenaga menjadi sangat diperlukan untuk dijadikan alat pembuat

keputusan. Pemodelan membolehkan sistem yang diusulkan untuk diperiksa dari berbagai potensi timbulnya masalah, seperti kesalahan operasi dan ketidakcocokan (Daniel Andrew Sen dan Aidil Azwin Zainul Abidin, tanpa tahun).

Salah satu jenis rele diferensial adalah Rele Overall Differential. Penggunaan rele overall differential mempunyai keunggulan dibandingkan jenis rele diferensial lain. Ini dikarenakan rele overall differential mempunyai 3 input arus dari sisi generator, transformator generator dan trafo pemakaian sendiri. Rele ini mengamankan keseimbangan arus dari tiga sisi. Sehingga rele ini dapat mengamankan generator dan transformator secara langsung. Studi ini mempelajari unjuk kerja rele overall differential dengan studi kasus di PLTA Ketenger PT. Indonesia Power UBP Mrica Jawa Tengah.

A. Perumusan Masalah

1) Bagaimana tanggapan sistem proteksi rele overall differential terhadap perlakuan gangguan hubung singkat pada daerah pengamanannya, gangguan hubung singkat di luar daerah pengamanannya, dan gangguan petir pada sisi tegangan tinggi saat arrester tidak ada?

2) Bagaimana penanganan yang tepat untuk sistem proteksi rele overall differential berdasarkan tanggapan sistem terhadap beberapa perlakuan yang diberikan?

B. Batasan Masalah

- 1) Studi kasus menggunakan sistem proteksi rele overall differential PLTA Ketenger, khususnya pada sistem generator unit 1.
- 2) Penelitian ini tidak memperhitungkan terjadinya fenomena arus magnetizing inrush.
- 3) Pendekatan dan perhitungan dilakukan dengan cara simulasi menggunakan program aplikasi MATLAB Simulink 6.1.

C. Tujuan Penelitian

- 1) Mendapatkan ukuran arus yang mengalir pada rele overall differential.
- 2) Mendapatkan tanggapan sistem proteksi rele overall differential terhadap beberapa perlakuan yang diberikan.
- 3) Mendapatkan penanganan yang tepat untuk sistem proteksi rele overall differential berdasarkan tanggapan sistem terhadap beberapa perlakuan yang diberikan.

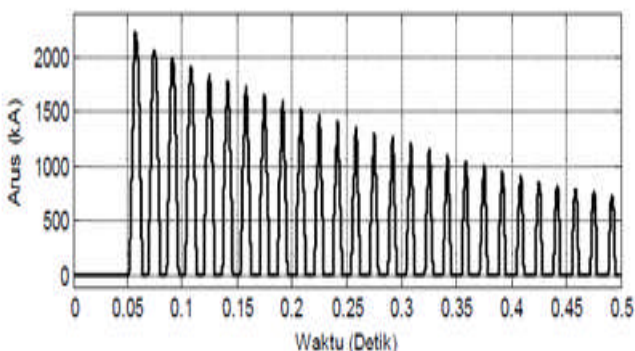
D. Manfaat Penelitian

- 1) Memberikan perangkat untuk melakukan analisa unjuk kerja overall differential.
- 2) Memberikan evaluasi proteksi rele overall differential di PLTA Ketenger.

E. Arus Magnetizing Inrush

Ketika tegangan sistem dihubungkan ke suatu transformator, maka akan terjadi peningkatan fluks, dari fluks yang ada sebelumnya (existing) ke fluks kondisi tunak (steady-state). Hal ini menyebabkan terjadinya arus transient (peralihan), yang disebut dengan arus magnetizing inrush (Gambar 1).

Arus magnetizing inrush mula, besarnya bisa mencapai 8 sampai dengan 30 kali arus beban penuh. Arus yang besar ini akan mencapai kondisi normal dalam selang waktu 10 siklus sampai dengan 1 menit (3000 siklus).



Gambar 1 Arus Magnetizing Inrush.

F. Gangguan Luar Generator

Generator umumnya dihubungkan ke rel (busbar). Beban dipasang oleh saluran yang dihubungkan ke rel. Gangguan kebanyakan ada di saluran yang mengambil daya dari rel.

Instalasi penghubung generator dengan rel umumnya jarang mengalami gangguan. Karena rel dan saluran yang keluar dari rel sudah mempunyai proteksi sendiri, maka proteksi generator terhadap gangguan luar cukup dengan relai arus lebih dengan time delay yang relatif lama. Salah satu gangguan adalah sambaran petir.

G. Gangguan Dalam Generator

Terdapat beberapa jenis gangguan yang termasuk gangguan dalam pada generator :

- 1) *Hubung singkat antar fasa*: Gangguan ini terjadi bila isolasi antar fasa rusak dan bisa terjadi dalam stator generator maupun di luar stator generator. Proteksi yang digunakan adalah rele diferensial. Apabila rele ini bekerja maka selain mentripkan PMT generator, PMT medan penguat generator harus trip juga. Selain itu melalui rele bantu mesin penggerak harus dihentikan. Hal ini diperlukan untuk menghentikan sama sekali GGL yang dibangkitkan dalam stator generator, sehingga hubung singkat antar fasa dapat segera berhenti. Pada saat pengopersian generator banyak mengalami gangguan yang berupa arus gangguan hubung singkat, sehingga bila terjadi gangguan rele diferensial harus dapat mengamankan generator dari kerusakan yang dapat menyerang pada bagian-bagian belitan dari stator, maupun rotor (Jumadi, 2008).

- 2) *Hubung singkat fasa ke tanah*: Untuk mendeteksi gangguan ini digunakan relai neutral ground current atau bisa juga digunakan Restricted Earth Fault Relay (REF).

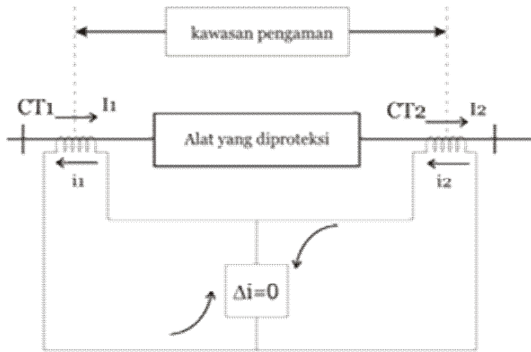
- 3) *Urutan negatif*: Gangguan yang menimbulkan kondisi tidak simetris pada tegangan maupun arus, menimbulkan arus urutan negatif (negative sequence current).

- 4) *Penguatan hilang*: Penguatan hilang atau penguatan melemah (under excitation) bisa menimbulkan pemanasan yang berlebihan pada kepala kumparan stator. Relai penguatan hilang akan mentrip PMT generator.

- 5) *Hubung singkat dalam sirkit rotor*: Hubung singkat dalam sirkit rotor bisa menyebabkan penguatan hilang. Karena hubung singkat dalam sirkit rotor ini tidak sempurna bisa timbul distorsi medan magnet dan selanjutnya timbul getaran berlebihan.

H. Prinsip Kerja Rele Diferensial

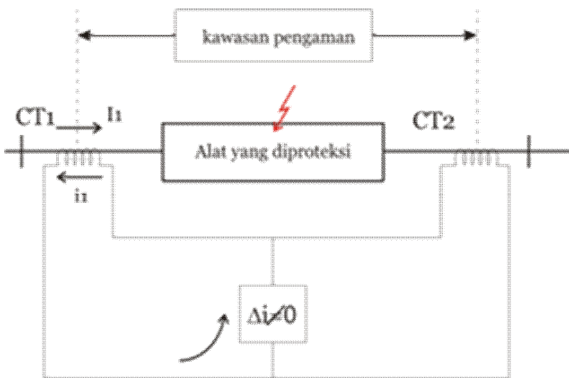
Prinsip kerja rele diferensial adalah membandingkan dua vektor arus atau lebih yang masuk ke rele (Gambar 2).



Gambar 2 Rangkaian Rele Diferensial.

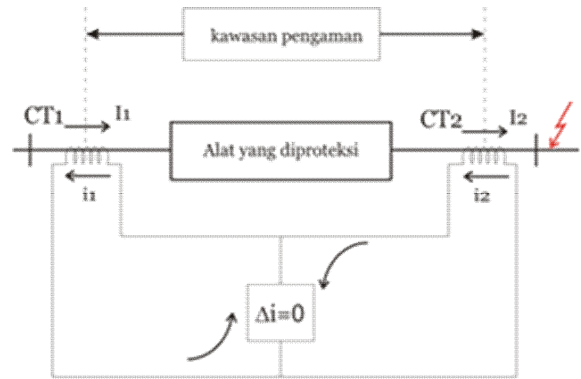
Cara kerja rele diferensial :

1) *Jika terjadi gangguan dalam daerah pengamanannya:*
Jika rele diferensial dipasang sebagai proteksi suatu peralatan dan terjadi gangguan di daerah pengamannya maka rele diferensial harus bekerja, pada saat CT1 mengalir arus I1 maka pada CT2 tidak ada arus yang mengalir (I2=0). Disebabkan karena arus gangguan mengalir pada titik gangguan sehingga pada CT2 tidak ada arus yang mengalir, maka di sisi sekunder CT2 tidak ada arus yang mengalir (i2=0) yang mengakibatkan i1 ≠ i2 (Δi ≠ 0) sehingga rele diferensial bekerja (Gambar 3).



Gambar 3 Kondisi Gangguan Dalam Rele Diferensial.

2) *Jika terjadi gangguan luar daerah pengamanannya:*
Apabila terjadi gangguan luar daerah pengamanannya maka rele diferensial tidak bekerja, pada saat sisi primer kedua CT dialiri arus I1 dan I2, dengan adanya rasio CT1 dan CT2 yang sedemikian, maka besar arus yang mengalir pada sekunder CT1 dan CT2 yang menuju rele besarnya sama (i1=i2) atau dengan kata lain tidak ada selisih arus yang mengalir pada rele sehingga rele tidak bekerja (Gambar 4).



Gambar 4 Kondisi Gangguan Luar Rele Diferensial.

I. Perhitungan Arus Kerja Rele Diferensial

Langkah pertama dalam menentukan arus kerja rele diferensial adalah menghitung arus nominal (In) pada masing-masing sisi dengan menggunakan persamaan 1 sebagai berikut :

$$I_n \text{ sisi yang dihitung} = \frac{\text{kapasita trafo (VA)}}{\text{rasio tegangan (V)} \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (1)$$

Langkah kedua adalah menghitung arus sekunder (Is) masing-masing CT dengan persamaan 2 sebagai berikut :

$$I_s \text{ CT sisi yang dihitung} = \frac{I_n \text{ sisi yang dihitung (A)}}{\text{rasio CT}} \dots\dots\dots (2)$$

Langkah ketiga adalah menghitung arus keluaran dari ACT tiap sisi atau yang merupakan arus kerja dari rele diferensial. Namun perlu diingat bahwa pada ACT biasanya terdapat hubungan Δ, sehingga perlu diperhatikan arus fasa dan arus lininya.

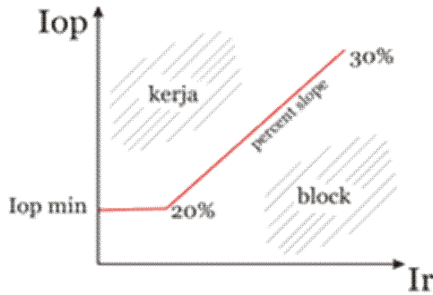
Setelah didapat arus masukan atau arus primer (Ip) ACT tiap sisi, maka selanjutnya menghitung arus kerja (Ikerja) dari rele diferensial untuk masing-masing sisi dengan menggunakan persamaan 3 sebagai berikut:

$$I_{kerja \text{ sisi yang dihitung}} = \frac{I_p \text{ ACT sisi yang dihitung (A)}}{\text{rasio ACT}} \dots\dots\dots (3)$$

Langkah keempat adalah menghitung perbedaan arus kerja masing-masing sisi (persentase kesalahan arus kerja rele diferensial) menggunakan Persamaan 4 dan 5 serta .

$$I_{operasi} = \frac{(I_{kerja \text{ sisi primer (A)}} - I_{kerja \text{ sisi sekunder (A)}})}{I_{no \text{ min al diferensial}}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

$$I_r = \frac{(I_{kerja \text{ sisi prime (A)}} + I_{kerja \text{ sisi sekunde (A)}}) / 2}{I_{nominal \text{ diferensial}}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$



Gambar 5 Grafik Persentase Rele Diferensial.

METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

1) *Persiapan*: Tahap persiapan merupakan tahap awal sebelum melakukan penelitian yang meliputi perumusan masalah, studi jurnal-jurnal yang pernah dibuat, studi literatur yang relevan.

2) *Pengumpulan Data*: Data-data yang akan digunakan pada penelitian ini adalah single line diagram sistem proteksi rele overall differential pada generator unit 1, data spesifikasi dan setting peralatan, data gangguan pada rele diferensial, buku katalog dari rele diferensial, data beban, data pengujian rele diferensial dan data-data lain yang mendukung kelancaran penelitian.

3) *Analisis Data*: Tahap analisis data merupakan tahap pengolahan data-data yang diperoleh untuk mendapatkan penyelesaian terhadap perlakuan yang diberikan. Langkah yang dilakukan yaitu :

- a. Simulasi pada single line diagram sistem proteksi rele overall differential pada program MATLAB Simulink 6.1. Sistem proteksi rele overall differential yang digambarkan adalah pada kondisi normal. Kemudian didapat profil arus dan profil tegangan pada kondisi normal pada tiap bagian sistem proteksi rele overall differential.
- b. Menganalisis tanggapan yang diberikan sistem proteksi rele overall differential berupa profil arus dan profil tegangan pada kondisi gangguan pada tiap bagian sistem proteksi rele overall differential. Profil arus dan profil tegangan pada kondisi normal dibandingkan dengan profil arus dan profil tegangan pada kondisi gangguan.

B. Alur Penelitian

Adapun alur penelitian ini akan dijelaskan lebih lengkap seperti pada diagram alir dalam Gambar 6.

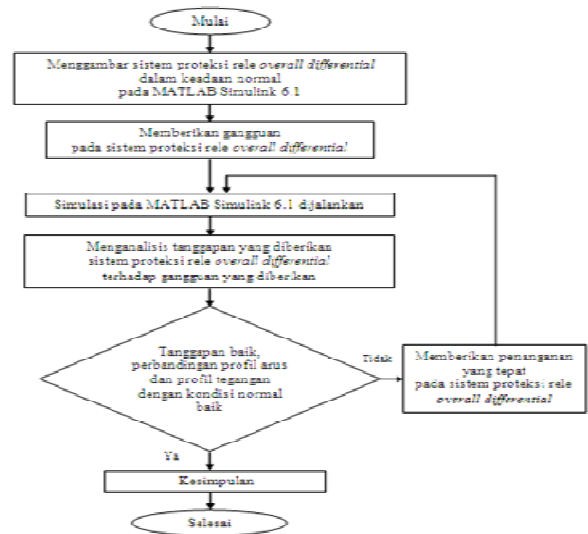
Setelah didapat nilai I_{op} dan I_r , maka penentuan trip adalah apabila hubungan I_{op} dan I_r berada di daerah yang berada di atas kurva. Kondisi yang menyebabkan trip adalah jika memenuhi kondisi

$$I_{op} > I_{op \min}$$

dan juga memenuhi kondisi

$$\frac{I_{op} - I_{op \min}}{2} > \text{percent slope}$$

Kedua kondisi harus dipenuhi sehingga trip. Namun apabila hanya satu kondisi saja yang terpenuhi, maka belum trip.



Gambar 6 Alur Penelitian.

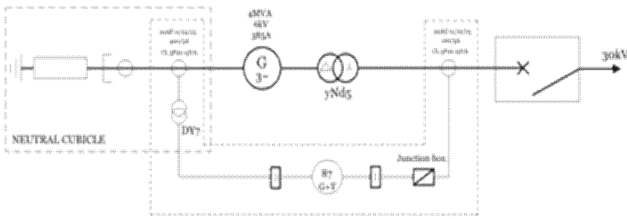
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Resume Sistem Proteksi Rele Overall Differential

Rele overall differential mengamankan trafo dan generator sekaligus. Rele ini mengamankan antara bagian dalam lilitan generator (dekat netral generator) sampai CT (current transformer) sekunder trafo. Rele diferensial bekerja bukan berdasarkan besarnya gangguan, namun berdasarkan letak atau jenis gangguan. Rele diferensial kerja jika terjadi gangguan dalam daerah pengaman dan tidak kerja jika terjadi gangguan di luar daerah pengamanannya.

B. Keterangan Penggambaran Topologi Sistem

Berikut adalah single line diagram sederhana sistem proteksi rele overall differential pada generator unit 1 PLTA Ketenger yang akan dijadikan dasar penggambaran pada program MATLAB Simulink (Gambar 7).



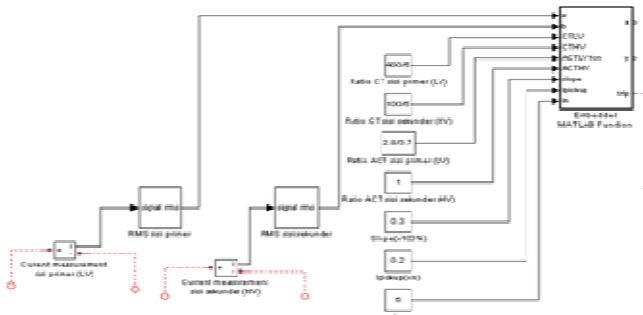
Gambar 7 Single Line Sederhana Sistem Proteksi Rele Overall Differential.

Penulis menggunakan beberapa asumsi untuk menyederhanakan gambar simulasi. Namun penyederhanaan gambar topologi tetap tidak merubah tujuan penelitian. Beberapa asumsi itu diantaranya :

- 1) Letak generator yang seharusnya berada diantara dua CT dipindah letaknya ke sebelah kiri CT sisi primer (LV). Ini menggunakan asumsi bahwa pada kenyataannya generator tidak mempengaruhi besarnya arus. Ini juga dikarenakan keterbatasan program aplikasi yang tidak memungkinkan generator diletakkan diantara dua CT. Sehingga mengharuskan penulis memindahkan letak generator.
- 2) Perhitungan rele diferensial hanya dilakukan satu fasa. Ini menggunakan asumsi bahwa pada fasa lain akan mendapatkan hasil yang sama.
- 3) Penggunaan PMT penguat medan digunakan untuk menghentikan sama sekali operasi generator. Pada gambar MATLAB penggunaan PMT penguat medan diganti dengan PMT generator yang diletakkan di depan generator. Ini menggunakan asumsi bahwa fungsinya sama dan perbedaan letak tidak merubah besaran arus.

C. Keterangan Program Rele Diferensial

Program ini menggunakan prinsip dasar yang digunakan rele diferensial yaitu membandingkan arus pada sisi primer dan sisi sekunder trafo (setelah dilakukan perhitungan CT dan ACT). Hasil dari program ini merupakan perintah untuk PMT, apabila program mendeteksi gangguan maka akan dikirimkan sinyal perintah trip ke PMT. Penggambaran program pengganti rele diferensial disimbolkan menggunakan beberapa blok seperti Gambar 8.



Gambar 8 Simbol Rele Diferensial.

Prinsip kerja dari program ini adalah sebagai berikut ini.

- 1) Arus diukur terlebih dahulu dengan menggunakan "current measurement". Sehingga didapat besaran arus yang terdapat pada sisi primer dan sisi sekunder trafo tenaga.
- 2) Arus yang berasal dari sisi primer dan sisi sekunder trafo dihitung dahulu nilai efektifnya (rms) dengan menggunakan blok "signal rms". Sehingga didapat nilai Irms yang nantinya akan digunakan sebagai masukan perhitungan. Yaitu "a" sebagai besaran arus sisi primer (LV) dan "b" sebagai besaran arus sisi sekunder (HV).

- 3) Program rele diferensial dimasukkan ke dalam blok "Embedded MATLAB Function". Berikut adalah script program rele diferensial.

```
function [x,y,trip] =
fcn(a,b,CTLV,CTHV,ACTLV,ACTHV,slope,lpickup,ln)
% This block supports an embeddable subset of the
MATLAB language.
% See the help menu for details.
IsLV=a/CTLV;
IsHV=b/CTHV;
IpACTLV=IsLV/3^(1/2);
IpACTHV=IsHV;
x=IpACTLV/ACTLV;
y=IpACTHV/ACTHV;
lop=abs(x-y)/ln;
lr=abs(x+y)/(2*ln);
trip=(lop>lpickup)&&(((lop-lpickup)/lr)>slope)&&1;
```

- Keterangan :
- a : arus sisi primer (LV)
 - b : arus sisi sekunder (HV)
 - CTLV : ratio CT sisi primer (LV)
 - CTHV : ratio CT sisi sekunder (HV)
 - ACTLV : ratio ACT sisi primer (LV)
 - ACTHV : ratio ACT sisi sekunder (HV)
 - IsLV : arus sekunder CT sisi primer (LV)
 - IsHV : arus sekunder CT sisi sekunder (HV)
 - IpACTLV : arus masukan ACT sisi primer (LV)
 - IpACTHV : arus masukan ACT sisi sekunder (HV)
 - x : arus kerja diferensial sisi primer (LV)
 - y : arus kerja diferensial sisi sekunder (HV)
 - lop : arus operasi rele
 - lr : arus restraint
 - lpickup : arus pick up atau arus operasi minimum
 - Slope : persentase slope
 - trip : sinyal trip

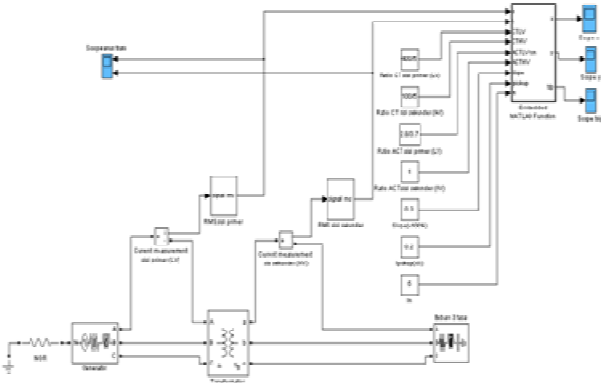
- 4) Masukan dari program adalah a, b, CTLV, CTHV, ACTLV, ACTHV, slope, lpickup, dan ln. Kemudian a dan b dikalkulasi dengan rumus pertama sampai keenam bersama masukan lain. Akhirnya didapat nilai x dan y yang merupakan arus kerja diferensial yang akan dibandingkan.

- 5) Kemudian dilakukan perhitungan pada lop dan lr dari x dan y bersama ln.

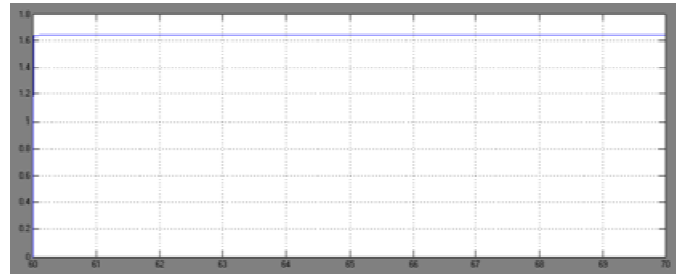
6) Keadaan yang menyatakan trip adalah I_{op} lebih besar dari I_{pickup} . Serta $(I_{op}-I_{pickup}) / I_r$ harus lebih besar dari slope. Kedua keadaan ini harus terpenuhi supaya menghasilkan sinyal trip. Apabila hanya salah satu keadaan yang terpenuhi, maka belum memenuhi kondisi trip.

D. Simulasi dan Pembahasan Kondisi Normal

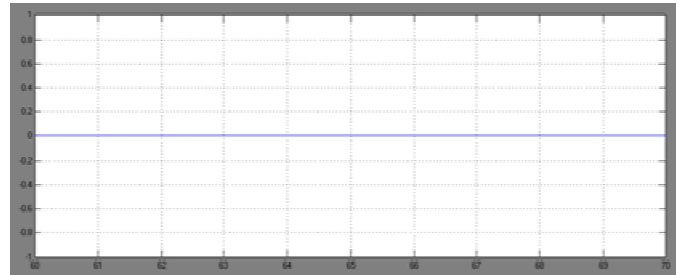
Terdapat beberapa parameter juga yang perlu diperhatikan saat simulasi, yaitu terdapat pada Tab "Simulation" kemudian "Configuration Parameters". Pada jendela "Configuration Parameters" terdapat kolom "Simulation time" dan "Solver option". Untuk simulasi keadaan normal waktu simulasi yang digunakan adalah mulai ("Start time") pada detik ke 60 dan berakhir ("Stop time") pada detik ke 70. Ini digunakan untuk mengantisipasi arus magnetizing inrush seperti pada batasan masalah. Pada kolom "Solver" dipilih menggunakan "ode23tb (stiff/TR-BDF2)".



Gambar 9 Simulasi Keadaan Normal.



Gambar 12 Arus Kerja Diferensial Sisi Sekunder Kondisi Normal.



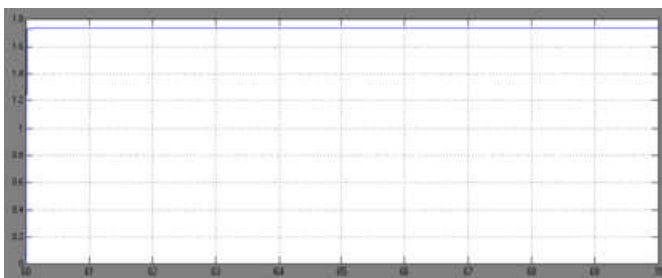
Gambar 13 Sinyal Trip Kondisi Normal.

Nilai arus trafo hasil simulasi kondisi normal pada sisi primer adalah 181 A dan pada sisi sekunder adalah 33 A.

Nilai x dan y dapat digunakan untuk menjawab permasalahan masalah penelitian ini pada point pertama yang berbunyi "Berapa arus kerja yang mengalir ke rele pada sistem proteksi rele overall differential generator unit 1 PLTA Ketenger?". Jadi arus kerja yang mengalir ke rele pada sistem proteksi rele overall differential adalah 1,73 A untuk sisi primer (low voltage) dan 1,64 A untuk sisi sekunder (high voltage).



Gambar 10 Arus Sisi Primer dan Sekunder Kondisi Normal.

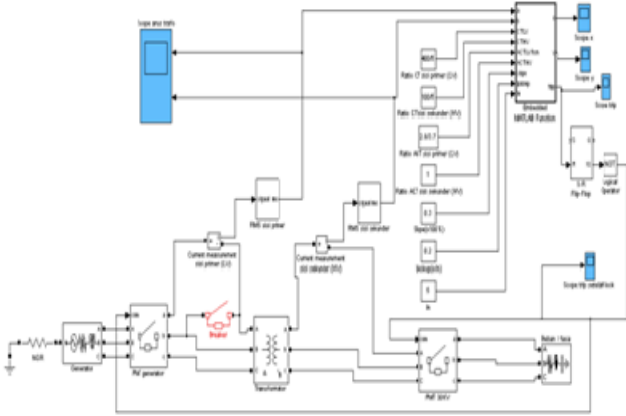


Gambar 11 Arus Kerja Diferensial Sisi Primer Kondisi Normal.

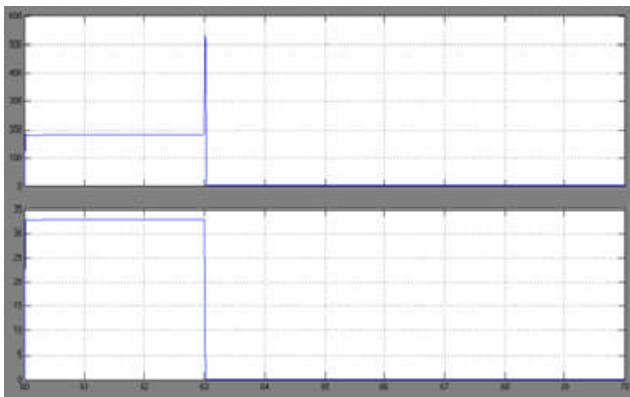
E. Simulasi dan Pembahasan Kondisi Gangguan Hubung Singkat pada Daerah Pengamanannya

Gangguan hubung singkat pada daerah pengamanannya maksudnya adalah terjadinya hubung singkat antar fasa pada daerah antara CT sisi primer dan CT sisi sekunder, atau terjadi di dalam lilitan trafo. Sedangkan pada penggambarannya di MATLAB gangguan hubung singkat dimodelkan dengan penambahan blok "Breaker" yang menghubungkan dua fasa.

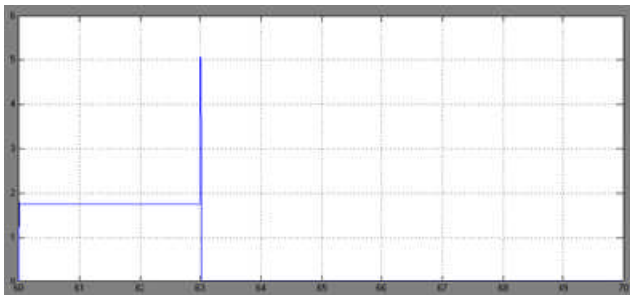
Komponen peralatan yang digunakan pada simulasi kondisi gangguan hubung singkat pada daerah pengamanannya masih sama dengan saat kondisi normal. Perbedaan hanya terletak pada penambahan model gangguan hubung singkat. Parameter simulasi yang digunakan juga masih sama. Pada "Simulation time" waktu start pada detik ke 60 sampai waktu berhenti pada detik ke 70. Pada kolom "Solver" juga masih menggunakan "ode23tb (stiff/TR-BDF2)". Sedangkan untuk model gangguan dimasukkan pada detik ke 63 dan dihilangkan lagi pada detik ke 67. Pengaturan waktu gangguan dapat dilakukan pada "Breaker" pada kolom "Switching times", sedangkan pada kolom "Initial state" ditetapkan bernilai 0 (nol).



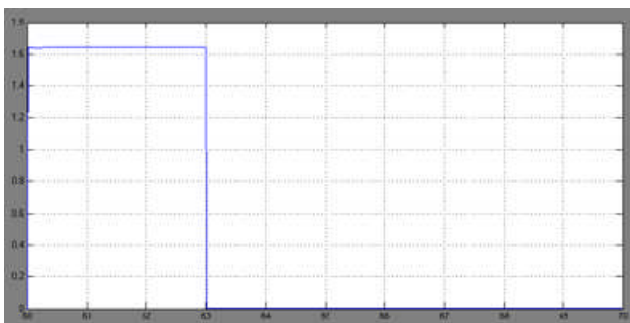
Gambar 14 Simulasi Kondisi Gangguan Hubung Singkat pada Daerah Pengamanan.



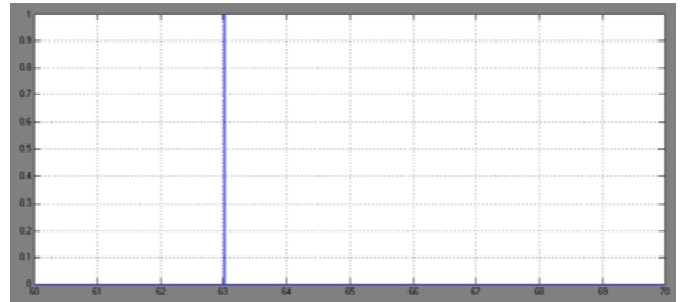
Gambar 15 Arus Sisi Primer dan Sekunder Kondisi Gangguan Dalam.



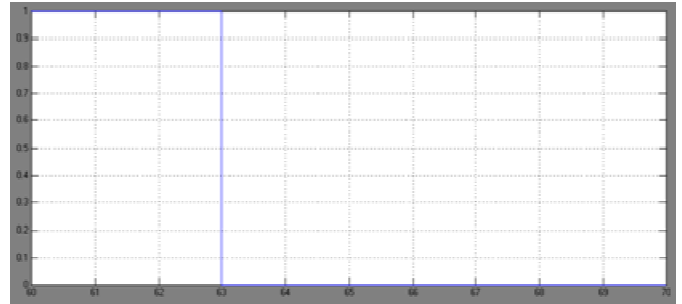
Gambar 16 Arus Kerja Diferensial Sisi Primer Kondisi Gangguan Dalam.



Gambar 17 Arus Kerja Diferensial Sisi Sekunder Kondisi Gangguan Dalam.



Gambar 18 Sinyal Trip Kondisi Gangguan Dalam.



Gambar 19 Sinyal Trip Setelah Lock PMT Kondisi Gangguan Dalam.

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa pada saat arus gangguan hubung singkat masuk (detik ke 63,000), terjadi perubahan pada sistem dari kondisi normal. Setelah arus gangguan masuk, arus pada sisi primer trafo langsung naik seketika mencapai nilai 534 A. Sedangkan pada sisi sekunder trafo, arus seketika menurun sampai 0 A. Hal ini terjadi karena arus yang terdapat pada sisi sekunder trafo menuju ground yang terdapat di sisi sekunder trafo. Kejadian ini berlangsung sangat cepat, karena pada detik ke 63,0265 arus pada sisi sekunder trafo sudah mencapai 0 A.

Program rele diferensial mendeteksi gangguan dan melakukan kalkulasi arus. Arus bernilai 534 A pada sisi primer dan bernilai 0 A pada sisi sekunder. Pada hasil simulasi didapatkan arus kerja diferensial sisi primer mencapai 5,08 A dan pada sisi sekunder bernilai 0 A. Apabila dihitung maka kondisi ini memenuhi syarat trip PMT.

$$I_{op} = \frac{5,08 - 0}{5} = 1,016$$

$$I_R = \frac{5,08 + 0}{2 \times 5} = 0,508$$

$I_{op} > I_{op \text{ min}} \rightarrow 1,016 > 0,2 \rightarrow \text{memenuhi}$

$$\frac{I_{op} - I_{op \text{ min}}}{I_R} > slope \rightarrow \frac{1,016 - 0,2}{0,508} > 0,3 \rightarrow 1,6 > 0,3 \rightarrow$$

tidak memenuhi

Maka program rele diferensial langsung mengirimkan perintah trip (pada detik ke 63,0064). Kemudian kedua PMT trip. Hal ini terlihat dari arus sisi primer yang langsung turun dan mencapai nilai 0 A pada detik ke 63,0388.

Hal ini dapat diartikan tidak ada arus yang mengalir. Namun hal ini juga merupakan suatu masalah karena program rele diferensial sudah tidak lagi mendeteksi adanya gangguan (perbandingan sama). Kemudian memungkinkan PMT menutup kembali, padahal gangguan sampai detik ke 67,000. Seperti terlihat pada hasil simulasi perintah trip, pada detik ke 63,0341 bernilai 0 (nol) kembali. Namun karena ada lock PMT, maka perintah trip telah di-lock dan pada hasil simulasi trip setelah lock PMT terlihat bahwa perintah tetap bernilai 0 (nol) sampai detik ke 70,000.

Rele mendeteksi dan langsung mengirim sinyal trip pada detik ke 63,0064. Maka hanya butuh 0,0064 detik bagi rele untuk mendeteksi gangguan dan mengirimkan sinyal trip. Pada PMT terjadi delay perintah trip. Hal ini terlihat bahwa perintah trip telah dikirimkan, namun arus sisi primer baru bernilai 0 A pada detik ke 63,0388. Artinya dari dikirimnya sinyal trip (detik ke 63,0064), PMT membutuhkan waktu 0,0324 detik. Meskipun demikian, total waktu yang dibutuhkan dari gangguan masuk sampai PMT trip hanya 0,0388 detik. Waktu ini masih baik, karena syarat rele diferensial adalah instantaneous (di bawah 100 ms).

Dari pembahasan hasil simulasi di atas dapat disimpulkan bahwa sistem proteksi rele overall differential pada generator unit 1 PLTA Ketenger memberikan tanggapan yang baik karena saat terjadi gangguan hubung singkat dalam daerah pengamanannya, rele mengirim

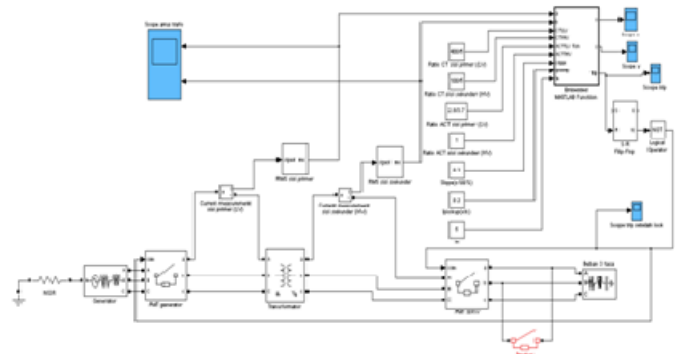
sinyal trip dengan waktu total sampai arus sisi primer bernilai nol adalah 0,0388 detik. Ini sesuai prinsip rele diferensial yaitu instantaneous, atau rele harus kerja sesaat (di bawah 100 ms).

Karena tanggapan rele sudah baik, maka tidak perlu dilakukan penanganan lebih lanjut.

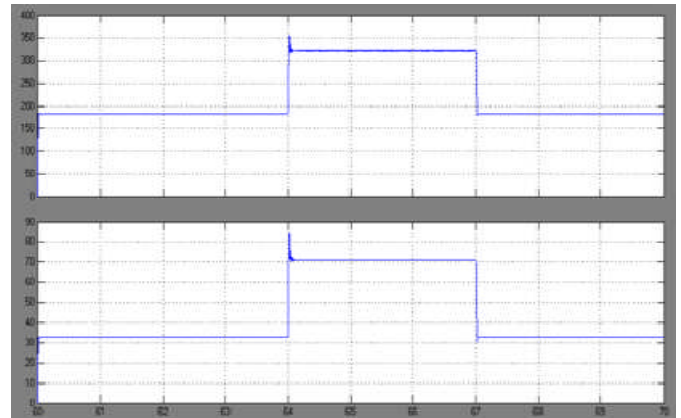
F. Simulasi dan Pembahasan Kondisi Gangguan Hubung Singkat di Luar Daerah Pengamanannya

Gangguan hubung singkat di luar daerah pengamannya maksudnya adalah terjadinya hubung singkat antar fasa pada daerah di luar CT sisi sekunder. Sedangkan pada penggambarannya di MATLAB gangguan hubung singkat dimodelkan dengan penambahan blok "Breaker" yang menghubungkan dua fasa.

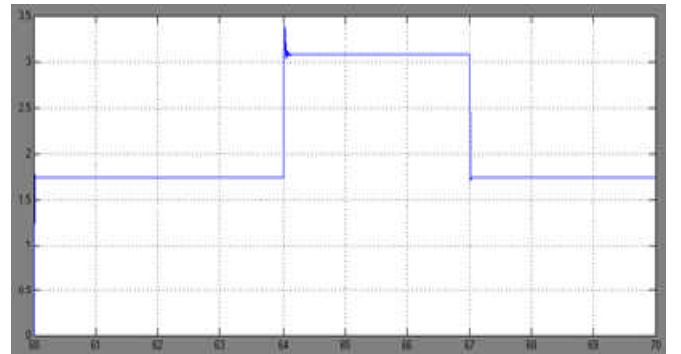
Komponen peralatan yang digunakan pada simulasi kondisi gangguan hubung singkat di luar daerah pengamanannya masih sama. Perbedaan hanya terletak pada model gangguan hubung singkat. Parameter simulasi yang digunakan juga masih sama. Pada "Simulation time" waktu start pada detik ke 60 sampai waktu berhenti pada detik ke 70. Pada kolom "Solver" juga masih menggunakan "ode23tb (stiff/TR-BDF2)". Sedangkan untuk model gangguan dimasukkan pada detik ke 64 dan dihilangkan lagi pada detik ke 67. Pengaturan waktu gangguan dapat dilakukan pada "Breaker" pada kolom "Switching times", sedangkan pada kolom "Initial state" ditetapkan bernilai 0 (nol).



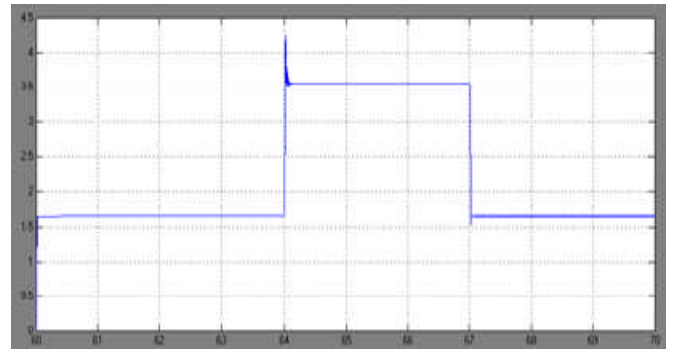
Gambar 20 Simulasi Kondisi Gangguan Hubung Singkat di Luar Daerah Pengamanannya.



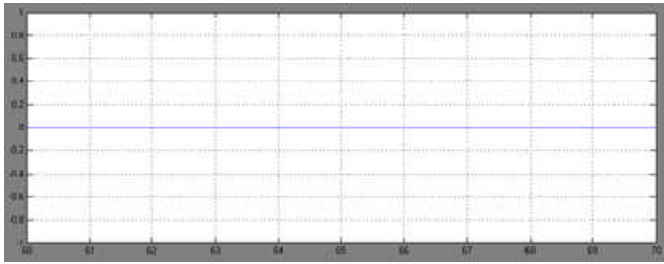
Gambar 21 Arus Sisi Primer dan Sekunder Kondisi Gangguan Luar.



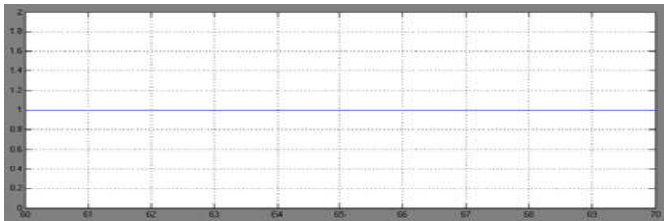
Gambar 22 Arus Kerja Diferensial Sisi Primer Kondisi Gangguan Luar.



Gambar 23 Arus Kerja Diferensial Sisi Sekunder Kondisi Gangguan Luar.



Gambar 24 Sinyal Trip Kondisi Gangguan Luar.



Gambar 25 Sinyal Trip Setelah Lock PMT Kondisi Gangguan Luar.

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa pada saat arus gangguan hubung singkat masuk (detik ke 64,000), terjadi perubahan pada sistem dari kondisi normal. Setelah arus gangguan masuk, arus pada sisi primer trafo langsung naik seketika mencapai nilai 357 A. Pada sisi sekunder trafo, arus juga naik seketika mencapai nilai 84 A. Kemudian berangsur-angsur mencapai kestabilan. Pada sisi primer arus stabil pada nilai 322 A saat detik ke 64,106. Sedangkan pada sisi sekunder, arus stabil pada nilai 71 A saat detik ke 64,115. Kestabilan ini dicapai sampai arus gangguan hilang pada detik ke 67,000. Namun meskipun terjadi perubahan nilai arus perintah trip tidak dikirimkan, artinya perbedaan arus belum memenuhi kondisi trip.

Pada kondisi tertinggi arus sisi primer bernilai 357 A, dan pada arus kerja diferensial sisi primer bernilai 3,41 A. Sedangkan pada sisi sekunder, arus tertinggi bernilai 84 A, dan pada arus kerja diferensial sisi sekunder bernilai 4,23 A.

$$I_{op} = \frac{|3,41 - 4,23|}{5} = 0,164$$

$lop > lop\ min \rightarrow 0,164 > 0,2 \rightarrow$ tidak memenuhi maka program rele diferensial tidak mengirimkan perintah trip.

Pada kondisi stabil arus sisi primer bernilai 322 A, dan pada arus kerja diferensial sisi primer bernilai 3,08 A. Sedangkan pada sisi sekunder, arus kondisi stabil bernilai 71 A, dan pada arus kerja diferensial sisi sekunder bernilai 3,55 A.

$$I_{op} = \frac{|3,08 - 3,55|}{5} = 0,094$$

$lop > lop\ min \rightarrow 0,094 > 0,2 \rightarrow$ tidak memenuhi maka program rele diferensial tidak mengirimkan perintah trip.

Setelah gangguan hilang pada detik ke 67,000, sistem kembali ke keadaan normal. Hal ini terlihat pada hasil simulasi, pada sisi primer arus bernilai 181 A

sampai detik ke 70,000, dan pada sisi sekunder arus bernilai 33 A sampai detik ke 70,000. Ini berarti kondisi trip juga tidak terpenuhi.

Dari pembahasan hasil simulasi di atas dapat disimpulkan bahwa sistem proteksi rele overall differential pada generator unit 1 PLTA Ketenger memberikan tanggapan yang baik karena saat terjadi gangguan hubung singkat di luar daerah pengamanannya, rele tidak mengirim sinyal trip dari detik ke 60,000 sampai ke 70,000. Ini sesuai prinsip rele diferensial yang tidak trip apabila ada gangguan di luar daerah pengamanan.

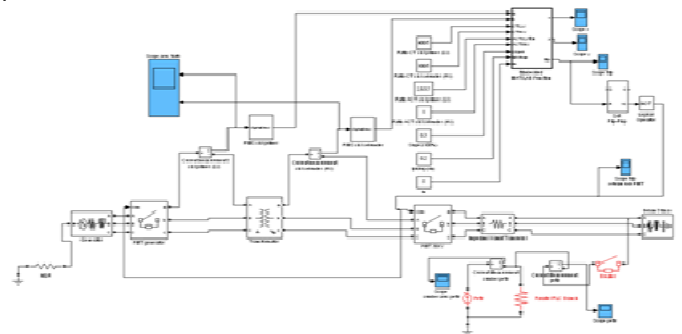
Karena tanggapan rele sudah baik, maka tidak perlu dilakukan penanganan lebih lanjut.

G. Simulasi dan Pembahasan Kondisi Gangguan Petir pada Sisi Tegangan Tinggi

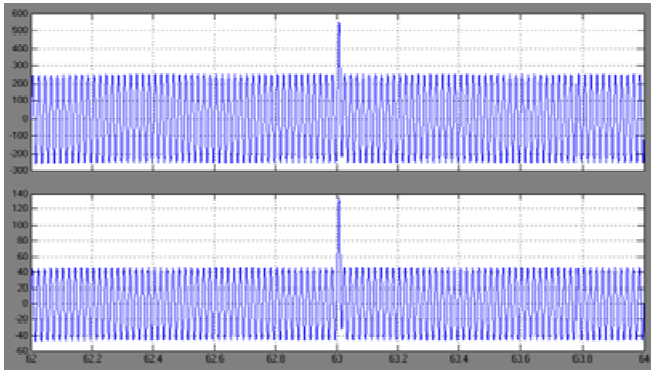
Simulasi untuk gangguan petir dilakukan saat arrester tidak ada atau mengalami kerusakan. Penggambaran petir pada MATLAB dimodelkan dengan penambahan sumber arus atau "AC Current Source" pada salah satu fasa di daerah sisi tegangan tinggi.

Arus petir yang digunakan sebesar 9e9 A dalam waktu sekitar 0,00019 detik. Besaran arus petir dimasukkan ke dalam "AC Current Source" pada kolom "Peak Amplitude (A)". Sedangkan waktu impuls petir dimasukkan pada "Breaker" pada kolom "Switching times (s)".

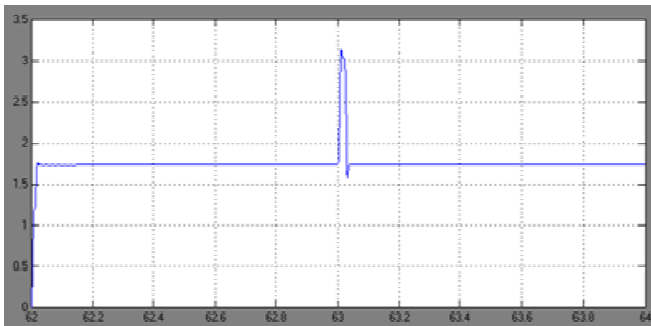
Komponen peralatan yang digunakan pada simulasi kondisi gangguan petir di sisi tegangan tinggi masih sama dengan saat kondisi normal, kondisi gangguan di dalam ataupun di luar daerah pengamanan. Perbedaan hanya terletak pada penambahan impedansi impedansi kawat transmisi dan model gangguan petir. Impedansi kawat transmisi ditambahkan karena petir terjadi jauh dari trafo, sehingga terdapat impedansi kawat sebesar 1e-3. Penambahan kawat dilakukan dengan menambahkan "Three-Phase Parallel RLC Branch". Pengisian impedansi kawat dilakukan pada kolom "Resistance R (Ohms)". Pada "Simulation time" waktu start pada detik ke 62,000 sampai waktu berhenti pada detik ke 64,000. Pada kolom "Solver" juga masih menggunakan "ode23tb (stiff/TR-BDF2)". Sedangkan untuk model gangguan dimasukkan pada detik ke 63,000 dan dihilangkan lagi pada detik ke 63,00019.



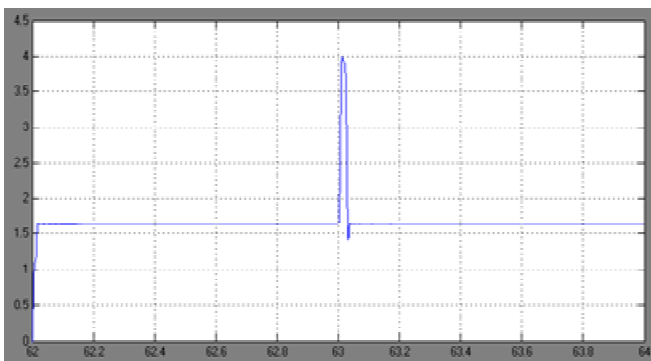
Gambar 26 Simulasi Kondisi Gangguan Petir di Sisi Tegangan Tinggi.



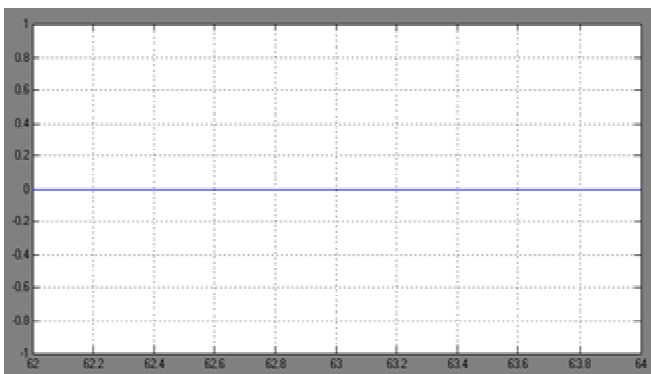
Gambar 27 Arus Sisi Primer dan Sekunder Kondisi Gangguan Petir.



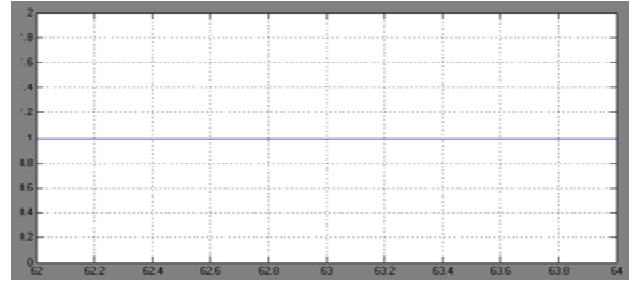
Gambar 28 Arus Kerja Diferensial Sisi Primer Kondisi Gangguan Petir.



Gambar 29 Arus Kerja Diferensial Sisi Sekunder Kondisi Gangguan Petir.



Gambar 30 Sinyal Trip Kondisi Gangguan Petir.



Gambar 31 Sinyal Trip Setelah Lock PMT Kondisi Gangguan Petir.

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa pada saat arus gangguan petir masuk (detik ke 63,000), terjadi perubahan pada sistem dari kondisi normal. Setelah arus gangguan masuk, arus pada sisi primer trafo langsung naik seketika mencapai nilai 327 A. Pada sisi sekunder trafo, arus juga naik seketika mencapai nilai 80 A. Kemudian turun seketika kembali ke kondisi normal, pada sisi primer saat detik ke 63,0445 dan pada sisi sekunder saat detik ke 63,0431. Namun meskipun terjadi perubahan nilai arus perintah trip tidak dikirimkan, artinya perbedaan arus belum memenuhi kondisi trip.

Pada kondisi tertinggi arus sisi primer bernilai 327 A, dan pada arus kerja diferensial sisi primer bernilai 3,12 A. Sedangkan pada sisi sekunder, arus tertinggi bernilai 80 A, dan pada arus kerja diferensial sisi sekunder bernilai 4 A.

$$I_{op} = \frac{|3,12 - 4|}{5} = 0,176$$

$I_{op} > I_{op\ min} \rightarrow 0,176 > 0,2 \rightarrow$ tidak memenuhi
 maka program rele diferensial tidak mengirimkan perintah trip.

Setelah gangguan hilang pada detik ke 63,00019, arus berangsur-angsur kembali ke keadaan normal. Hal ini terlihat pada hasil simulasi, pada sisi primer arus bernilai 181 A sampai detik ke 64,000, dan pada sisi sekunder arus bernilai 33 A sampai detik ke 64,000. Ini berarti kondisi trip juga tidak terpenuhi.

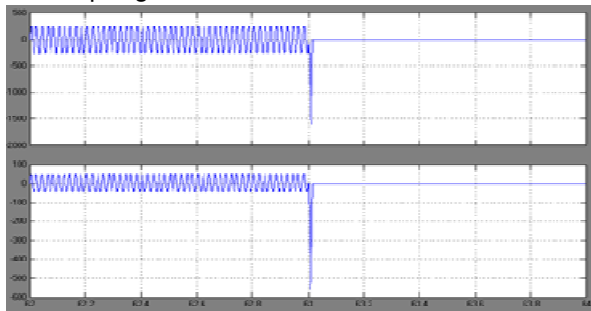
Dari pembahasan hasil simulasi di atas dapat disimpulkan bahwa sistem proteksi rele overall differential pada generator unit 1 PLTA Ketenger memberikan tanggapan yang baik karena saat terjadi gangguan petir di sisi tegangan tinggi, rele tidak mengirim sinyal dari detik ke 62,000 sampai ke 64,000. Ini sesuai prinsip rele diferensial yang tidak trip apabila ada gangguan di luar daerah pengamanan.

Namun apabila arus gangguan petir dinaikkan, maka terjadi perubahan tanggapan pada rele diferensial. Rele diferensial akan mendeteksi adanya gangguan, kemudian rele mengirimkan perintah trip.

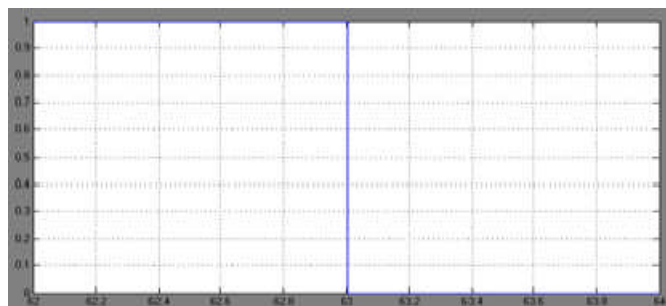
Simulasi kedua untuk gangguan petir dengan arus petir sebesar 9×10^{10} A. Pada simulasi tidak dilakukan perubahan lain selain arus petir. Sehingga menghasilkan hasil seperti gambar 39 dan 40.

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa dengan arus sebesar 9×10^{10} rele diferensial akan mendeteksinya sebagai gangguan. Sesuai prinsip rele diferensial, hal ini

disebut salah kerja atau mismatch (seperti pada penelitian Dewi Handayani 2008) karena rele diferensial mendeteksi gangguan yang letaknya berada di luar daerah pengamanan.



Gambar 32 Arus Sisi Primer dan Sekunder Kondisi Gangguan Petir Simulasi Kedua.



Gambar 33 Sinyal Trip Setelah Lock PMT Kondisi Gangguan Petir Simulasi Kedua.

Ternyata setelah diteliti bahwa arus yang terdapat pada kedua sisi trafo melebihi batas arus nominal yang terdapat pada kedua sisi trafo. Untuk mencari arus nominal yang menjadi batas maksimum trafo, menggunakan Persamaan 4.1 sehingga didapat nilai sebagai berikut.

$$I_n \text{ sisi primer} = \frac{4400000(\text{VA})}{6000(\text{V}) \times \sqrt{3}} = 423,39$$

$$I_n \text{ sisi sekunder} = \frac{4400000(\text{VA})}{33000(\text{V}) \times \sqrt{3}} = 76,98$$

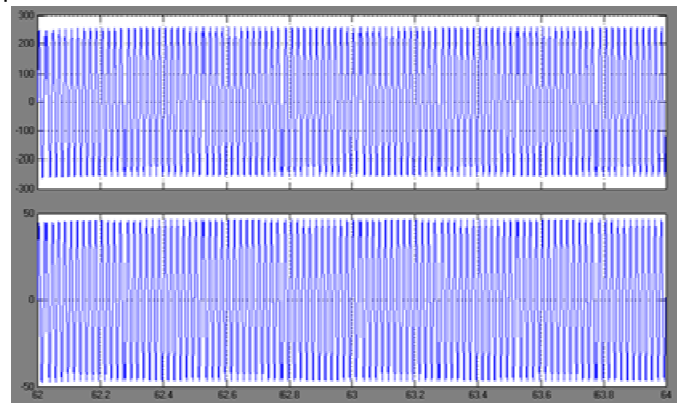
Sedangkan arus yang ada di sisi primer dan sekunder trafo saat arus petir bernilai 9×10^{10} adalah 982 A pada sisi primer dan 347 A pada sisi sekunder. Ini berarti terjadi kelebihan arus pada trafo. Kelebihan arus membuat kerusakan pada trafo, yang akhirnya membuat perbandingan arus pada sisi primer dan sisi sekunder berbeda.

Penanganan yang tepat untuk kesalahan ini ada beberapa cara, diantaranya.

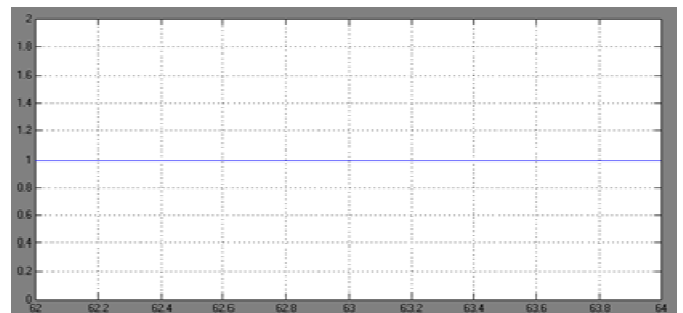
- 1) Penambahan "Surge Arrester" pada transmisi tegangan tinggi. Sehingga apabila terjadi kerusakan pada satu arrester, masih terdapat arrester lain.
- 2) Penggantian trafo dengan trafo yang memiliki arus nominal yang lebih tinggi. Sehingga apabila terjadi arus petir yang lebih besar, maka trafo tidak

mengalami kerusakan dan rele overall differential tidak mengalami salah kerja.

Dari dua penanganan yang dapat dilakukan, sepertinya penambahan arrester merupakan solusi yang lebih baik. Hal ini karena apabila mengganti trafo, perlu banyak pergantian pada peralatan lain terutama rele diferensial. Sedangkan penambahan satu lagi "surge arrester" pada transmisi tegangan tinggi tidak memerlukan penggantian peralatan lain. Untuk membuktikan bahwa dengan penambahan arrester rele diferensial tidak lagi salah kerja, maka akan dilakukan simulasi ketiga. Simulasi ketiga dilakukan dengan arus sebesar 9×10^{10} namun dengan penambahan arrester pada transmisi.



Gambar 34 Arus Sisi Primer dan Sekunder Kondisi Gangguan Petir Simulasi Ketiga.



Gambar 35 Sinyal Trip Setelah Lock PMT Kondisi Gangguan Petir Simulasi Ketiga.

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa setelah penambahan arrester arus menjadi normal kembali. Dan rele diferensial tidak mengirimkan perintah trip kembali.

Setelah dilakukan simulasi kedua dan ketiga memperlihatkan bahwa pada sistem arrester yang ada mengalami kerusakan, maka perlu ditambahkan arrester lagi untuk mengantisipasi arus dari petir yang sangat tinggi, di atas 9×10^9 A.

KESIMPULAN DAN SARAN

- A. Kesimpulan
 - a. Setelah melakukan simulasi, arus kerja yang mengalir ke rele pada sistem proteksi rele overall differential generator unit 1 PLTA Ketenger adalah

- 1,73 A untuk sisi primer (low voltage) dan 1,64 A untuk sisi sekunder (high voltage).
- b. Tanggapan sistem proteksi rele overall differential terhadap gangguan hubung singkat pada daerah pengamanannya dan di luar daerah pengamanannya memberikan tanggapan yang baik. Namun tanggapan sistem terhadap gangguan petir, sistem memberikan tanggapan yang kurang baik. Saat gangguan petir dengan arus yang lebih besar dari 9×10^9 A, rele akan mendeteksi sebagai gangguan atau terjadi salah kerja.
- c. Penanganan yang tepat untuk sistem proteksi rele overall differential adalah dengan menambahkan arrester lagi pada sistem proteksi rele overall differential untuk mengantisipasi arus petir di atas 9×10^9 A.

B. Saran

- a. Metode simulasi dapat dijadikan salah satu solusi melakukan pengecekan rutin pada rele diferensial. Karena pengecekan rutin tidak dapat dilakukan saat generator dalam kondisi hidup.
- b. Parameter-parameter yang digunakan pada MATLAB Simulink berbeda dengan parameter yang digunakan pada PLTA Ketenger. Sehingga perlu

diperiksa kembali data-data yang lengkap dari peralatan untuk peningkatan kualitas hasil simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Handayani, Dewi. 2008. Salah Kerja (Malfunction) Rele Diferensial Akibat Gangguan Luar (External Fault) Transformator. Purwokerto : Universitas Jenderal Soedirman.
- Iswadi, HR. 2007. Teknik Proteksi Diferensial Transformator Daya Tiga Fasa dengan Menggunakan Transformasi Wavelet Paket. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Iswanto, Harry. Bahan On Site Training Teknisi Pemeliharaan Proteksi PLTA. Mrica : PT. PLN Pembangkitan Tenaga Listrik Jawa – Bali Unit Pembangkitan Mrica.
- Jumadi. 2008. Rele Diferensial pada Generator 13,8 KVA di Pembangkit PT. PUSRI IB. Palembang : Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Ristianto, Arif Uji. 2010. Analisis Perhitungan Tegangan Lebih Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Akibat Sambaran Petir di PT. PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Purwokerto (Studi Kasus pada KBL05). Purwokerto : Universitas Jenderal Soedirman.
- Santoso, Budi. Simulasi Differential Relay Trafo Dengan Menggunakan Matlab Simulink. Banda Aceh : PT. PLN (Persero) P3BS UPT Banda Aceh.
- Sen, Daniel Andrew dan Aidil Azwin Zainul Abidin. MatLab Simulation – Modeling of the Siemens 7UT6 Differential Protection Relay. Malaysia : Universiti Tenaga Nasional.