

IMPLEMENTASI SISTEM *GROUNDING* NGR PADA GENERATOR UNTUK MEREDUKSI ARUS GANGGUAN SATU FASA KE TANAH PADA PLTD TERONG RAYON ADONARA FLORES TIMUR

¹Ricardo Stenli Lau, ²Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT, ³Ir. Ni Putu Agustini, MT.
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia
¹ricardo_stenly@yahoo.com

ABSTRAK – Gangguan arus hubung singkat (1 fasa ketanah) pada generator yang besar dapat mengakibatkan generator terganggu dan berbahaya dengan sistem pentanahan solid yang masih digunakan pada PLTD Terong Adonara. Sistem pengamanan yang digunakan untuk mengisolasi gangguan yaitu penggunaan rele Ground Fault Relay (GFR) dimana GFR tidak dapat bekerja jika tidak ada sistem pentanahan netralnya. Penggunaan pentanahan netral solid dan Neutral Grounding Resistor (NGR) digunakan dalam penelitian ini guna mengetahui setting rele yang tepat ketika terjadi gangguan 1 fasa ke tanah serta melakukan perbandingan antara sistem pentanahan netral yang digunakan dalam setting rele GFR. Hasil analisa hubung singkat dengan pentanahan solid diketahui arus gangguan maksimum sebesar 1,47 kA, sedangkan dengan pentanahan NGR diketahui arus gangguan maksimum sebesar 0,110 kA. Setting waktu kerja rele yang didapat dari sistem pentanahan solid (settingan awal PLN) yaitu 0,3 s pada Penyulang 1 dan penyulang 2 s. Setting waktu kerja rele yang didapat dari sistem pentanahan NGR yaitu 0,283 s pada penyulang 1 dan 0,297 s pada penyulang 2. Dalam hal ini penggunaan NGR lebih efektif sebagai pentanahan netral karena bisa mereduksi besar arus hubung singkat yang terjadi sehingga tidak membahayakan peralatan dan manusia di sekitar.

Kata Kunci : *Solid Grounding*, *NGR (Neutral Grounding Resistance)*, *GFR (Ground fault relay)*.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Generator merupakan suatu peralatan yang berperan penting dalam proses atau tahapan pembangkit tenaga listrik. Hal ini di karenakan generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Kontinuitas dari operasi generator ini harus terjaga dengan baik sehingga pasokan energi listrik yang dihasilkan oleh generator tidak terganggu karena jika sebuah generator terganggu akan sangat berpengaruh pada sistem kerja generator sehingga tidak bisa secara maksimal dalam menyediakan energi listrik yang dibutuhkan [1]. Dalam suatu

generator pasti membutuhkan sistem pentanahan titik netral. Hal ini di maksud kan untuk membatasi arus gangguan yang terjadi pada saat gangguan hubung singkat satu fasa ketanah (*line to ground*) yang akan berakibat buruk pada sistem peralatan dan juga pada sistem generator itu sendiri [2].

Implementasi pentanahan NGR (*netral grounding resistor*) pada generator untuk mengurangi arus satu fasa ke tanah yang terjadi akibat berbagai macam gangguan yang mengenai generator yang menimbulkan bahaya pada generator dan juga juga menimbulkan arus *transient* yang terjadi akibat adanya arus satu fasa ke tanah yang mengurangi kinerja dari generator itu sendiri [2]. Dalam gangguan ini *Ground Fault Relay* (GFR) mempunyai peran penting dalam melokalisir gangguan yang terjadi. Rele gangguan tanah adalah suatu rele yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai setting pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu bekerja apabila terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah [4].

Pada penelitian ini akan menganalisis implementasi NGR pada generator PLTD Adonara sehingga bisa menjaga generator dari arus gangguan satu fasa ke tanah yang bisa berimbas buruk pada sistem kerja generator karena sistem pentanahan generator di PLTD Adonara masih menggunakan sistem pentanahan *solid* yang masih kurang baik dalam mereduksi arus gangguan satu fasa ke tanah pada generator serta membahas tentang setting *Ground Fault Relay* (GFR) yang tepat ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada pentanahan *solid* ?
2. Bagaimana menentukan besarnya nilai resistansi pada sistem NGR ?

3. Bagaimana setting *ground fault relay* (GFR) ketika terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah ?

1.3 Tujuan

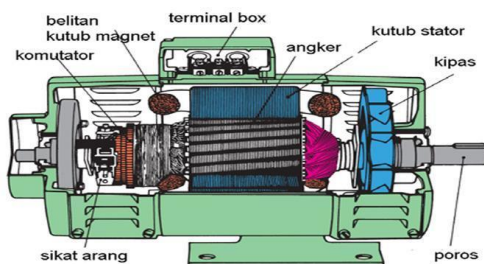
Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan diatas, maka tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis besarnya arus *ground fault* akibat hubung singkat satu fasa ke tanah pada generator.
2. Menentukan besarnya nilai resistansi pada NGR yang digunakan.
3. Merencanakan setting *ground fault relay* (GFR) yang tepat ketika terjadi gangguan satu fasa ke tanah.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Generator Sinkron

Generator sinkron (alternator) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energy mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (prime mover), sedangkan energy listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Generator sinkron dengan definisi sinkronnya, mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut. Rotor generator sinkron yang diputar dengan penggerak mula (prime mover) yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang sama dengan putaran rotor tersebut. Generator sinkron sering kita jumpai pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik (dengan kapasitas yang relative besar). Misalnya, pada PLTA, PLTU, PLTD dan lain-lain. Selain generator dengan kapasitas besar, kita mengenal juga generator dengan kapasitas yang relative kecil, misalnya generator yang digunakan untuk penerangan darurat yang sering disebut Generator Set atau generator cadangan [3].



Gambar 2.1 Generator

2.2 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal. Salah satu yang menyebabkan kondisi ini adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat dibagi menjadi 2 yaitu :

1. Gangguan simetris, misalnya :
 - Gangguan hubung singkat tiga fasa.
 - Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah.
2. Gangguan tidak simetris, misalnya :
 - Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.
 - Gangguan hubung singkat dua fasa.
 - Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.

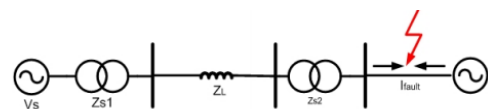
2.3 Gangguan Simetris

Gangguan simetris merupakan gangguan dimana besar magnitude dari arus gangguan sama pada setiap fasa. Gangguan ini terjadi pada gangguan hubung singkat tiga fasa. Perhitungan arus gangguan dari dihitung menggunakan persamaan, hanya saja ketika gangguan simetris terjadi, tidak terjadi busur dikarenakan konduktor tidak menyentuh tanah [9]. Sehingga persamaannya menjadi :

$$I_{fault} = \frac{V_{source}}{Z_s + Z_L} \quad (2.1)$$

Dimana :

- I_{fault} = Arus gangguan
- V_{source} = Tegangan sistem
- Z_s = Impedansi peralatan sistem
- Z_L = Impedansi saluran sistem



Gambar 2.2 Gangguan Simetris

$$I_{fault} = \frac{V_s}{Z_{s1} + Z_L + Z_{s2}} \quad (2.2)$$

2.4 Gangguan Asimetris

Secara umum besarnya arus gangguan di hitung menggunakan rumus :

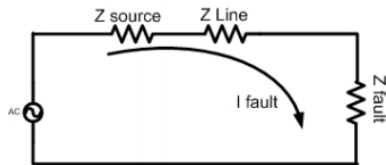
$$I_{fault} = \frac{V_s}{Z_s + Z_L + Z_f} \quad (2.3)$$

Dimana :

- I_{fault} = Arus gangguan
- V_{source} = Tegangan sistem

- Z_S = Impedansi peralatan sistem
 Z_L = Impedansi saluran sistem
 Z_f = Impedansi gangguan

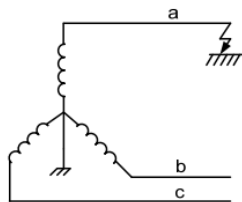
Titik dimana konduktor menyentuh tanah selama gangguan biasanya di sertai dengan sebuah busur (arc). Busur ini bersifat resistif, namun resistansi busur besarnya sangat beragam. Resistansi gangguan besarnya tergantung resistansi busur serta tahanan tanah ketika terjadi gangguan ketanah.



Gambar 2.3 Gangguan Asimetris

1) Gangguan Satu Fasa Ke Tanah

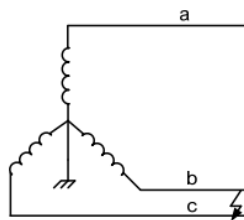
Gangguan satu fasa ke tanah terjadi ketika sebuah fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat dengan tanah dan bisa berakibat timbulnya bunga api dan merusak inti besi dan ini adalah kerusakan yang perbaikannya harus dilakukan secara total gangguan seperti ini harus segera di proteksi untuk menjaga keamanan dan kinerja suatu sistem tenaga listrik [3].



Gambar 2.4 Gambar Gangguan Satu Fasa Ke Tanah

2) Gangguan Dua Fasa Hubung Singkat

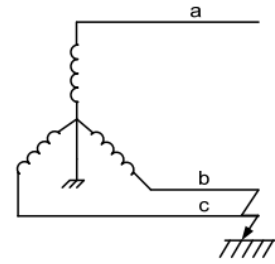
Gangguan dua fasa hubung singkat terjadi ketika dua buah fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat [3].



Gambar 2.5 Gambar Rangkaian Dua Fasa Hubung Singkat

3) Gangguan Dua Fasa Ke Tanah

Gangguan dua fasa ke tanah terjadi ketika dua buah fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat dengan tanah [3].



Gambar 2.6 Rangkaian Gangguan Dua Fasa Ke Tanah

2.5 Pentanahan

Sistem pentanahan adalah suatu koordinasi proteksi yang sangat penting dalam suatu jaringan kelistrikan, karena tanpa pentanahan yang baik maka dapat membahayakan manusia dan hewan yang berada di sekitarnya dan juga bahkan dapat mengakibatkan kerusakan alat itu sendiri. Dengan demikian, pentanahan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perlindungan semua komponen sistem tenaga listrik. Dengan adanya sistem pentanahan maka keandalan sistem untuk pemanfaatan daya listrik dapat terjamin dengan baik. Maka dari itu sekarang banyak metode pentanahan yang bisa menjaga keamanan sistem tenaga listrik yang semakin berkembang. Jenis-jenis metode pentanahan netral sistem tenaga dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya adalah [4] :

- Pentanahan melalui tahanan (resistance grounding)
- Pentanahan melalui reaktor (reactor grounding)
- Pentanahan tanpa impedansi (solid grounding)
- Pentanahan dengan reaktor (resonant grounding)

2.6 Neutral Grounding Resistance (NGR)

Sistem pentanahan atau grounding adalah suatu sistem pengamanan dalam sistem kelistrikan, dan salah satu sistem pentanahan dengan menggunakan suatu alat yang disebut neutral grounding resistance (NGR) merupakan suatu metode pentanahan yang digunakan untuk masalah tegangan lebih transient dan untuk mereduksi arus gangguan yang timbul pada generator atau trafo daya sehingga dapat mengurangi kerusakan pada peralatan. Hal ini menyelesaikan besarnya arus gangguan oleh perhitungan hukum ohm..

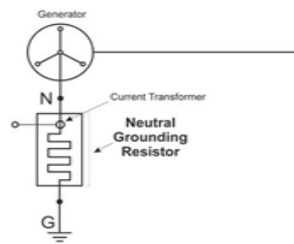
$$I = \frac{E}{R} \quad (2.4)$$

Dimana :

- I = Arus gangguan
 E = Tegangan line ke netral
 R = Ohmic neutral grounding resistor

Dengan memilih tahanan yang tepat, arus gangguan ke tanah dapat dibatasi sehingga dapat

memperoleh sistem grounding yang bisa bekerja secara maksimal dalam mereduksi arus gangguan yang timbul yang dapat menyebabkan kerugian bagi sistem tenaga listrik tersebut.



Gambar 2.7 Skema Neutral Grounding Resistance

1) Low Resistance Grounding

Netral generator dihubungkan ke tanah melalui resistor yang berfungsi membatasi arus gangguan tanah yang besarnya beberapa ratus ampere (200A-600A). Arus gangguan ini sangat besar dan dapat merusak stator, tetapi pada saat yang sama dapat memungkinkan menghasilkan arus yang sensitif dan selektif untuk membuat sistem proteksi bekerja. Saat ini LRG jarang digunakan dalam generator berkapasitas besar karena terdapat resiko yang tinggi yaitu resiko terbakarnya besi stator. LRG juga tidak digunakan pada generator paralel. Namun, metode LRG adalah metode yang paling umum digunakan dalam sistem tegangan menengah pada industry [1].

2) High Resistance Grounding

Hambatan yang besar dihubungkan antara titik netral generator dan tanah (*ground*). Terkadang resistor kecil terhubung pada lilitan sekunder dari trafo satu fasa (trafo distribusi atau trafo netral pentanahan). Metode ini membatasi arus gangguan sebesar 5 A hingga 10 A, dan kemudian tidak ada bahaya dan kerusakan akibat gangguan tanah yang terjadi [1].

2.7 Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang terjadi pada generator :

$$I_{f1\phi} = \frac{j3}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)} \quad (2.5)$$

Dimana :

- $I_{f1\phi}$ = Arus gangguan 1 fasa ke tanah (A)
- Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)
- Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)
- Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ω)

2.8 Ground Fault Relay

Pada dasarnya rele gangguan tanah adalah rele arus lebih yang dipergunakan untuk mengamankan gangguan ke tanah yaitu 1 (satu)

fasa atau 2 (dua) fasa ke tanah. Rele ini terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah, juga pada pengaman transformator tenaga dan berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan fasa ke tanah. Proteksi terhadap gangguan tanah lebih sensitif daripada gangguan antar fasa. Proteksi ini dapat dilakukan menggunakan rele yang hanya akan merespon terhadap adanya arus residu sistem, karena komponen residual hanya muncul bilamana arus gangguan mengalir ketanah. [6]

2.9 Perhitungan Setting Ground Fault Relay

Untuk melakukan perhitungan *setting* rele arus lebih hal pertama yang perlu diketahui adalah parameter yang diset pada rele pengaman adalah arus dan waktu. Untuk menentukan besar arus dan waktu kerja rele diperlukan data-data dari peralatan yang diamankan oleh rele untuk dihitung menggunakan persamaan berikut :

- Persamaan untuk menghitung arus nominal (I_n atau I_{base})

$$I_n = \frac{KVA}{\sqrt{3} \times KV} \quad (2.6)$$

Dimana :

$$I_n = I_{base} = \text{ arus nominal}$$

$$I_p = 0,1 \times I_f \text{ fasa terkecil} \quad (2.7)$$

$$I_s = I_p \times \text{ rasio CT} \quad (2.8)$$

Dimana :

$$I_s = \text{ arus setting sekunder}$$

$$I_p = \text{ arus setting primer}$$

- Persamaan untuk menghitung waktu kerja relay:

$$TMS = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}} \right) - 1 \right]}{0,14} \quad (2.9)$$

- *Normal Inverse Time-Delayed Characteristic*

$$t = \frac{0,14}{1^{0,02-1}} \times TMS \quad (2.10)$$

III. METODELOGI

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode survei yaitu langsung ke lokasi penelitian yakni di PT. PLN (Persero) Unit Pembangkit PLTD Terong Rayon Adonara. Data yang dikumpulkan merupakan data sekunder yang telah diarsip dan disediakan oleh instansi dan siap diolah menjadi data penelitian.

3.2 Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari hasil survei di PLTD Terong Rayon Adonara akan dimasukkan ke

dalam *software* ETAP *Power Station* untuk disimulasikan.

3.2.1 Pengelompokan Data

Data yang berasal dari PT PLN Unit Pembangkit PLTD Terong Rayon Adonara masih berupa data mentah yaitu data *single line diagram*, data generator, data trafo, data beban, dan data relay pengaman.

3.2.2 Data Generator dan Trafo

Pada PLTD Terong Rayon Adonara disuplai energi listrik yang berasal dari 4 *generator diesel* dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 3.1 Data Generator

Generator	Daya	Tegangan	I_n	RPM	Poles	Frekuensi
WAHANA 1	1,02 MW	6,3 kV	110	1500	4	50
WAHANA 2	1,02 MW	6,3 kV	110	1500	4	
WAHANA 3	1,02 MW	6,3 kV	110	1500	4	
WAHANA 4	1,02 MW	6,3 kV	110	1500	4	

Selanjutnya diperlukan juga data transformator yang diperlukan untuk menjalankan simulasi di ETAP Power Station seperti yang di tunjukan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Transformator

Trafo	Kapasitas	Sisi Primer	Sisi Sekunder	Jumlah Fasa	Frekuensi
Trafo 1	1,16MVA	6,3 kV	20 kV	3	50
Trafo 2	1,16MVA	6,3 kV	20 kV	3	
Trafo 3	1,16MVA	6,3 kV	20 kV	3	
Trafo 4	1,16MVA	6,3 kV	20 kV	3	

3.2.3 Data Beban

Tabel 3.3 Data Beban Penyulang

ADN 1	960,9 kVA
ADN 2	350,3 kVA

3.2.4 Data Relay

Tabel 3.4 Data Relay Pengaman

Penyulang	Pickup Range	Pickup (A)	Time Dial (s)
ADN 1	0,1 - 2 Primary	2	0,3
ADN 2	0,1 - 2 Primary	2	0,3

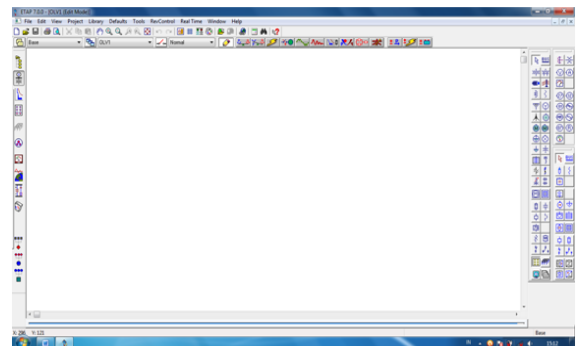
3.3 Software ETAP Power Station

ETAP merupakan *software* full grafis yang dapat digunakan sebagai alat analisis untuk mendesain dan menguji kondisi sistem tenaga listrik yang ada. ETAP dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik secara off line dalam bentuk modul simulasi, monitoring data operasi secara real time, simulasi system real time, optimasi, manajemen energi sistem dan simulasi intelligent load shedding.

ETAP Power Station dapat digunakan untuk menggambarkan *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisis/studi yakni Load

Flow (aliran daya), Short Circuit (hubung singkat), Motor Starting, Harmonisa, Transient Stability, Protective Device Coordination, dan Optimal Capacitor Placement. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP Power Station adalah : (D.William, and Jr.Stevenson 1990)

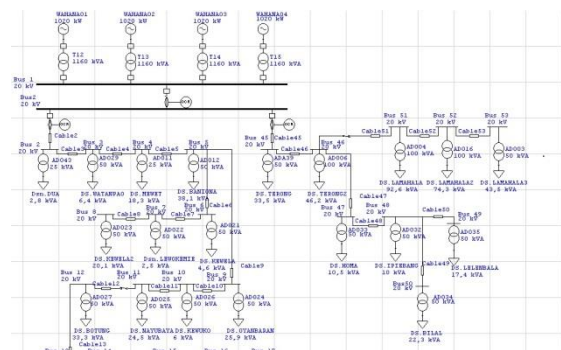
- **One Line Diagram**, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik.
- **Library**, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam system kelistrikan.
- **Standar** yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang dipakai.
- **StudyCase**, berisikan parameter berhubungan dengan metode studi



Gambar 3.1 Tampilan Program Etap

3.4 Perancangan Simulasi Menggunakan Software ETAP Power Station

Menggambar *single line diagram* pada lembar kerja ETAP Power Station menggunakan data yang telah didapat dari PT. PLN (Persero) Unit Pembangkit PLTD Terong Rayon Adonara.



Gambar 3.2 Single Line Diagram PLTD Terong Adonara

3.5 Analisa Hubung-Singkat (Short-Circuit)

Short circuit analysis ini digunakan untuk menjalankan simulasi kondisi *steady state* dan koordinasi proteksi dan testing dinamik peralatan proteksi *start device coordination analysis* ini juga mendukung kebutuhan desain dan pengambilan keputusan untuk meningkatkan *reability, stability* dan efisiensi system.

3.6 Analisa Koordinasi Perangkat Star

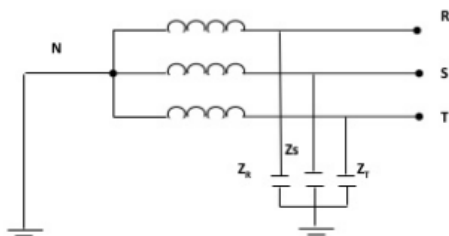
Star Device Coordination Analysis ini digunakan untuk menjalankan simulasi kondisi *steady-state* dan koordinasi, Proteksi dan *testing* dinamik peralatan proteksi. *Star Device Coordination Analysis* memungkinkan studi koordinasi peralatan proteksi dapat dilakukan secara efisien dan mudah. Selain itu *Star Device Coordination Analysis* ini juga mendukung keperluan desain dan pengambilan keputusan untuk meningkatkan *reliability*, *stability* dan efisiensi system.

3.7 Normal Inverse Time-Delayed Characteristic

Karakteristik OCR Inverse time bekerja jika arus yang dirasakan melebihi arus setting maka relay arus lebih ini akan membuka anak kontaknya dengan penundaan waktu yang telah ditentukan. Dalam jenis relay ini, waktu operasi bergantung pada besarnya arus gangguan yang masuk ke rele. Jika arus gangguan sangat tinggi, operasi rele sangat cepat. Dengan kata lain, waktu operasi relay yaitu waktu tunda dalam relay berbanding terbalik dengan besaran arus gangguan yang masuk ke rele. Akan lambat untuk trip pada arus rendah, namun lebih cepat trip pada arus gangguan tinggi. Biasa digunakan untuk memproteksi beban lebih, yang mungkin memiliki arus starting tinggi.

3.8 Metode Pentanahan Solid

Pentanahan ini ialah titik netral Generator kita hubungkan langsung ke tanah. Sistem pentanahan langsung adalah dimana titik netral sistem dihubungkan langsung dengan tanah, tanpa memasukkan harga suatu impedansi. Pada sistem ini bila terjadi gangguan fasa ke tanah akan selalu mengakibatkan terganggunya saluran (*line outage*), yaitu gangguan harus di isolir dengan membuka pemutus daya. Salah satu tujuan pentanahan titik netral secara langsung adalah untuk membatasi tegangan dari fasa-fasa yang tidak terganggu bila terjadi gangguan fasa ke tanah.



Gambar 3.3 Sistem Pentanahan Efektif (Solid)

Keuntungan dari sistem pentanahan *solid* adalah :

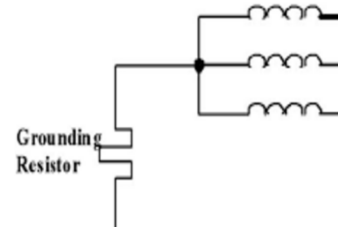
- ✓ Tegangan lebih pada fasa-fasa yang tidak terganggu relatif kecil.
- ✓ Sederhana dan murah dari segi pemasangan.

Kerugian dari sistem pentanahan *solid* adalah :

- ✓ Setiap gangguan fasa ke tanah selalu mengakibatkan terputusnya daya.
- ✓ Arus gangguan ke tanah besar.

3.9 Metode Pentanahan Melalui Tahanan (Resistance Grounding)

Titik netral sistem generator di hubungkan dengan tanah melalui sebuah tahanan (*resistance*).



Gambar 3.4 Sistem Pentanahan (Resistance Grounding)

Keuntungan sistem pentanahan (*resistance*)

- ✓ Besar arus gangguan tanah dapat di reduksi.
- ✓ Mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat arus gangguan yang melaluinya.

Kerugian sistem pentanahan (*resistance*)

- ✓ Timbulnya rugi-rugi daya pada tahanan pentanahan selama terjadinya gangguan fasa ke tanah.

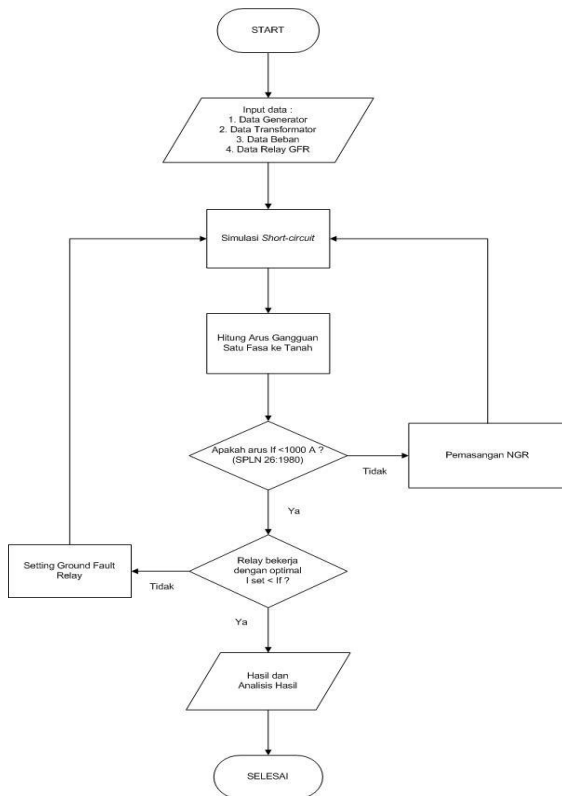
3.10 Algoritma Simulasi Pada Software ETAP Power Station

Algoritma pemecahan masalah yakni :

1. Mulai.
2. Menggambar single line diagram.
3. Input data : Data generator, data transformator, data beban, dan data relay.
4. Menjalankan simulasi short-circuit.
5. Mengecek apakah arus gangguan 1 fasa ke tanah > 1000 A menggunakan sistem pentanahan solid. Apabila melebihi 1000 A maka lakukan pemasangan NGR. Setelah itu kembali di proses short-circuit untuk menganalisis keadaan setelah dipasang NGR. Jika arus gangguan tidak melebihi standar maka lanjut ke langkah berikutnya.
6. Apabila relay tidak bekerja dengan optimal maka relay disetting ulang kembali ke point. Dan apabila relay bekerja sesuai dengan optimal (terkoordinir), maka akan langsung menganalisis hasil dari simulasi tersebut dan ditarik kesimpulan.
7. Langkah selanjutnya analisa hasil dan penarikan kesimpulan dari hasil simulasi dari perhitungan yang telah diperoleh.
8. Selesai.

3.11 Flowchart

Dibawah ini adalah *flowchart* penyelesaian masalah.



Gambar 3.5 Flowchart Penyelesaian Masalah

IV. ANALISIS HASIL

4.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Gangguan 1 Fasa Ke Tanah Pada Generator Dengan Sistem *Solid Grounding*

Arus hubung singkat gangguan pada Generator terdiri dari berbagai jenis yaitu gangguan 1 fasa ke tanah, gangguan 2 fasa ke tanah, gangguan 3 fasa ke tanah dan dalam analisa ini membahas permasalahan arus hubung singkat gangguan 1 fasa ke tanah yang terjadi pada Generator. Di bawah ini adalah perhitungan yang dilakukan untuk mendapat hasil nilai arus hubung singkat (gangguan 1 fasa ke tanah) yang terjadi pada Generator 1-4 merk (WAHANA).

$$Z_0 = 2,57 \Omega$$

$$Z_1 = 2,49 \Omega$$

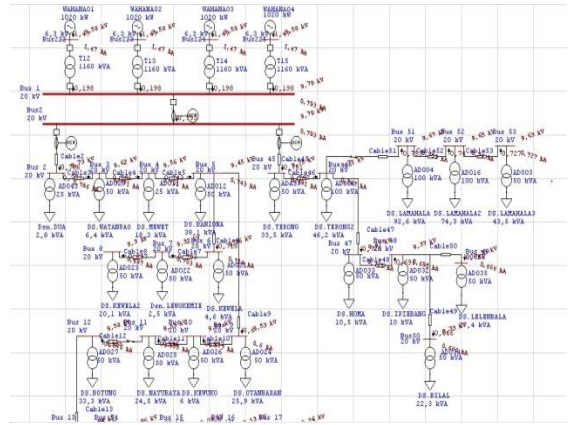
$$Z_2 = 2,33 \Omega$$

$$I_{f1\phi} = \frac{J3}{\sqrt{2,57 + J2,49 + J2,33}} = 0,4059 pu$$

$$= 0,4059 \times \left(\frac{6,3 kV}{\sqrt{3}}\right) = 1,476 kA$$

4.2 Simulasi *Short Circuit* Menggunakan *Pentanahan Solid*

Masukan data pada software etap power station dipergunakan untuk menjalankan running short-circuit untuk mengetahui arus hubung singkat gangguan 1 fasa ketanah yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil *Running Short-Circuit* Menggunakan Sistem *Pentanahan Solid*

Dari hasil running short-circuit menggunakan sistem pentanahan solid diketahui arus hubung singkat gangguan 1 fasa ketanah yang terjadi pada sistem generator seperti yang di tunjukan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Arus Gangguan *Pentanahan Solid*

Generator	Pentanahan	$I_{f1\phi}$
WAHANA 1	Solid	1,47 kA
WAHANA 2	Solid	1,47 kA
WAHANA 3	Solid	1,47 kA
WAHANA 4	Solid	1,47 kA

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Perhitungan dan Simulasi Besar Arus Gangguan Pada Generator Dengan *Pentanahan Solid*

Generator	Pentanahan	Besar Arus Gangguan	
		Perhitungan	Simulasi Etap
WAHANA 1	Solid	1,476 kA	1,47 kA
WAHANA 2	Solid	1,476 kA	1,47 kA
WAHANA 3	Solid	1,476 kA	1,47 kA
WAHANA 4	Solid	1,476 kA	1,47 kA

Dari hasil perhitungan dan hasil simulasi running short-circuit yang terlihat pada tabel 4.2 terlihat nilai perhitungan arus hubung singkat gangguan 1 fasa ketanah mendekati hasil yang disimulasikan menggunakan software etap power station dengan metode pentanahan *solid*.

4.3 Perhitungan Nilai *Resistance* (NGR)

Untuk menghitung nilai tahanan yang digunakan agar mereduksi arus hubung singkat gangguan 1 fasa ke tanah yang terjadi pada generator pada PLTD Terong Rayon Adonara yaitu dengan cara memasukkan nilai arus nominal (I_n) generator karena nilai resistance (NGR) yang

digunakan harus sesuai dengan kapasitas generator tersebut agar resistance (NGR) dapat bekerja dengan maksimal dalam mereduksi arus hubung singkat gangguan 1 fasa ke tanah dan mencari nilai resistance (NGR) yang sesuai dengan generator menggunakan rumus:

$$R = \frac{V_{ln}}{I_{ln}} \quad (4.1)$$

Berikut perhitungan nilai resistance pada generator :

Generator WAHANA (1-4), $I_n = 110$

$$R = \frac{3,637}{110} = 33,06 \Omega$$

Hasil perhitungan nilai resistance (NGR) yang bisa digunakan untuk mereduksi arus hubung singkat gangguan 1 fasa ke tanah pada generator WAHANA 1-4 sebesar 33,06Ω.

4.4 Perhitungan Nilai Arus Hubung Singkat Gangguan 1 Fasa Ketahan pada Generator menggunakan (NGR)

Dalam analisa ini perhitungan dengan menggunakan rumus dilakukan agar mengetahui selisih dari perhitungan dengan hasil simulasi yang dilakukan setelah generator menggunakan pentanahan *resistance* (NGR).

Menentukan besarnya arus gangguan dengan pentanahan menggunakan *resistance* (NGR), menggunakan rumus :

$$I_{f1\phi} = \frac{3E_g}{(Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_n)} A$$

$$Z_0 = 2,57 \Omega$$

$$Z_1 = 2,49 \Omega$$

$$Z_2 = 2,33 \Omega$$

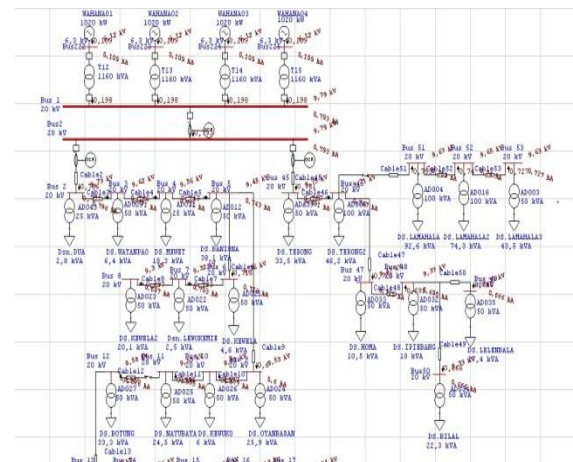
$$Z_n = 33,06 \Omega$$

$$\begin{aligned} I_{f1\phi} &= \frac{3 \times (3637 + j0)}{(j2,57 + j2,49 + j2,33) + (3 \times 33,06)} A \\ &= \frac{10911 + j0}{99,18 + j7,39} \\ &= \frac{10911 + j0}{99,18 + j7,39} \times \frac{99,18 - j7,39}{99,18 - j7,39} \\ &= \frac{1082152,98 + j80632,29}{9891,284} \\ &= 109,40 - j8,151 = 109,70 \angle - 4,26 \end{aligned}$$

4.5 Simulasi Short Circuit Menggunakan Neutral Grounding Resistance (NGR)

Running short-circuit yang dilakukan setelah menggunakan metode pentanahan *resistance* (NGR) seperti pada gambar 4.2, terlihat bahwa arus hubung singkat gangguan 1 fasa ke tanah dapat di

reduksi dengan menggunakan *resistance* (NGR) yang sesuai dengan kapasitas generator yang ada di PLTD Terong Rayon Adonara.

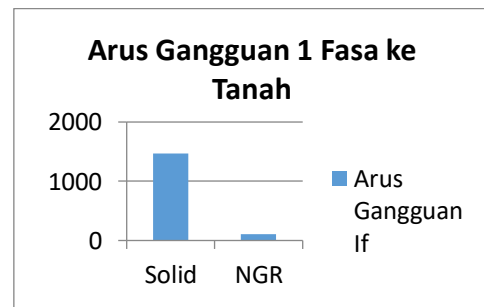


Gambar 4.2 Simulasi Short-Circuit Menggunakan NGR

Sesuai hasil yang di tunjukan tabel 4.3 running simulasi short-circuit menggunakan sistem Resistance (NGR) pada ETAP Power Station dan perhitungan menggunakan rumus di ketahui hasil nilai arus hubung singkat gangguan 1 fasa ketahan tidak berbeda jauh dengan menggunakan simulasi.

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Perhitungan Dan Simulasi Besar Arus Gangguan Pada Generator Dengan Pentanahan (NGR)

Generator	Pentanahan	Besar Arus Gangguan	
		Perhitungan	Simulasi Etap
WAHANA 1	NGR	109,70 kA	109 kA
WAHANA 2	NGR	109,70 kA	109 kA
WAHANA 3	NGR	109,70 kA	109 kA
WAHANA 4	NGR	109,70 kA	109 kA

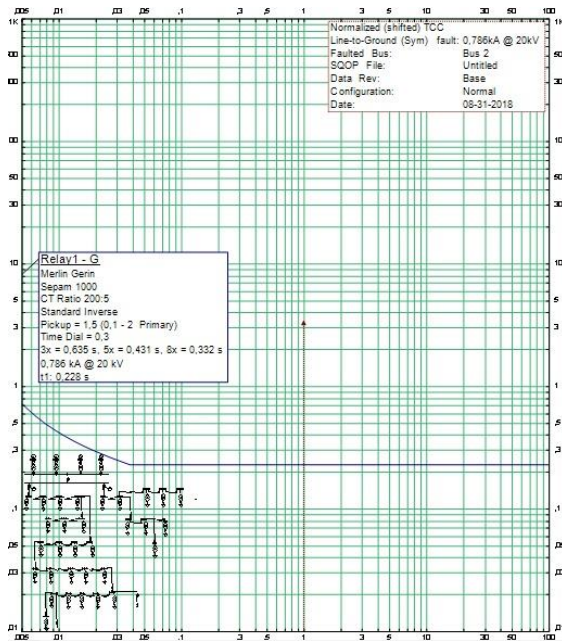


Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Arus Gangguan Menggunakan Pentanahan Solid dan NGR

4.6 Kurva Kerja Relay GFR Settingan PLN

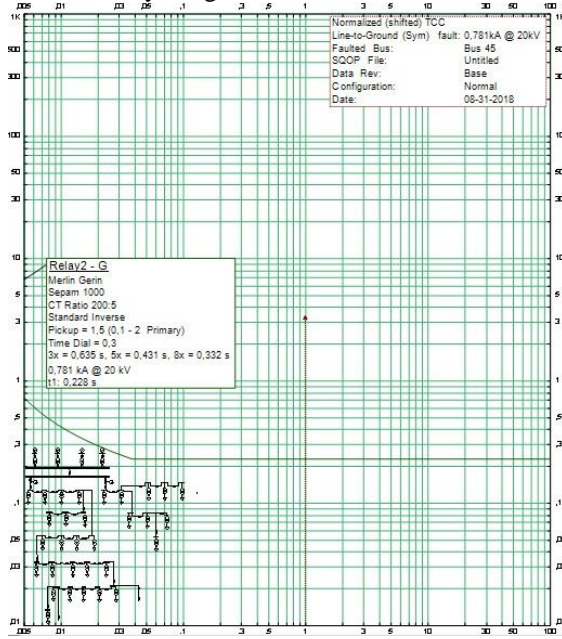
Sesuai data relay yang diperoleh PT. PLN Rayon Adonara maka didapatkan data setting yang mana dapat menampilkan kurva seperti gambar di bawah ini ketika disimulasikan :

- Penyulang 1



Gambar 4.4 Kurva Kerja Rele GFR Penyulang 1 Pada Software ETAP

• Penyulang 2



Gambar 4.5 Kurva Kerja Rele GFR Penyulang 2 Pada Software ETAP

Dapat dilihat bahwa rele penyulang 1 dan penyulang 2 tidak mempunyai rele yang berfungsi sebagai *backup* ketika terjadi gangguan.

4.7 Perhitungan dan Setting Relay GFR

Untuk menentukan setting rele GFR diambil dari arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah di ujung saluran (terkecil), dengan CT yang digunakan adalah 200 : 5

• Penyulang 1

$$I_p = 0,1 \times I_f \text{ fasa terkecil}$$

$$= 0,1 \times 221 \text{ A}$$

$$= 22,1 \text{ A}$$

$$I_s = I_p \times \text{rasio CT}$$

$$= 22,1 \times \frac{5}{200}$$

$$= 0,55 \text{ A}$$

Setting waktu rele standar inverse:

$$TMS = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$= \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{793}{22,1} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} = 0,15 \text{ detik}$$

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02-1}} \times TMS$$

$$= \frac{0,14}{\left(\frac{793}{21,1} \right)^{0,02-1}} \times 0,15$$

$$= 0,283 \text{ detik}$$

• Penyulang 2

$$I_p = 0,1 \times I_f \text{ fasa terkecil}$$

$$= 0,1 \times 666 \text{ A}$$

$$= 66,6 \text{ A}$$

$$I_s = I_p \times \text{rasio CT}$$

$$= 66,6 \times \frac{5}{200}$$

$$= 1,66 \text{ A}$$

Setting waktu rele standar inverse:

$$TMS = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$= \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{793}{66,6} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} = 0,108 \text{ detik}$$

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02-1}} \times TMS$$

$$= \frac{0,14}{\left(\frac{793}{66,6} \right)^{0,02-1}} \times 0,108$$

$$= 0,297 \text{ detik}$$

• Relay Tambahan (*Incoming*)

Setelan arus rele gangguan tanah di incoming 20 kV harus lebih sensitif, hal ini berfungsi sebagai cadangan bagi relai di penyulang 20 kV dibuat 8% x arus gangguan tanah terkecil.

$$I_p = 0,08 \times I_f \text{ fasa terkecil}$$

$$= 0,08 \times 221 \text{ A}$$

$$= 17,68 \text{ A}$$

$$I_s = I_p \times \text{rasio CT}$$

$$= 17,68 \times \frac{5}{200}$$

$$= 0,44 \text{ A}$$

Setting waktu rele standar inverse:

$$TMS = \frac{0,3 + 0,4 \times \left[\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$= \frac{0,3 + 0,4 \times \left[\left(\frac{793}{17,68} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} = 0,39 \text{ detik}$$

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02-1}} \times TMS$$

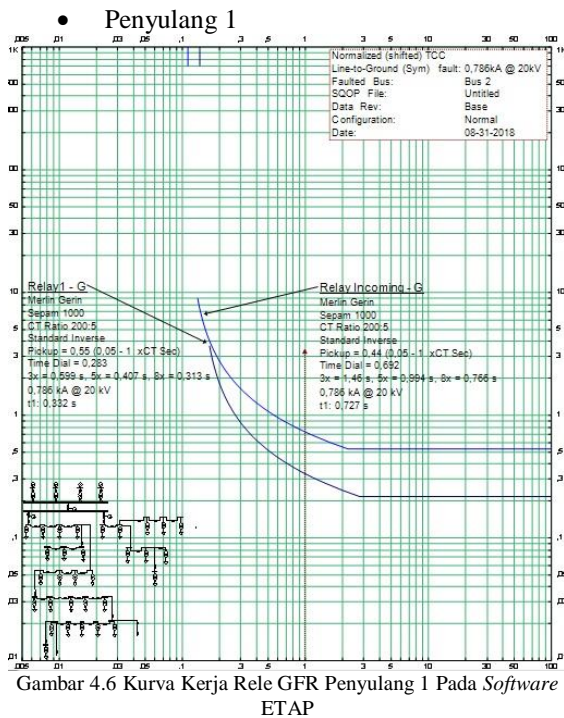
$$= \frac{0,14}{\left(\frac{793}{17,68} \right)^{0,02-1}} \times 0,39$$

$$= 0,692 \text{ detik}$$

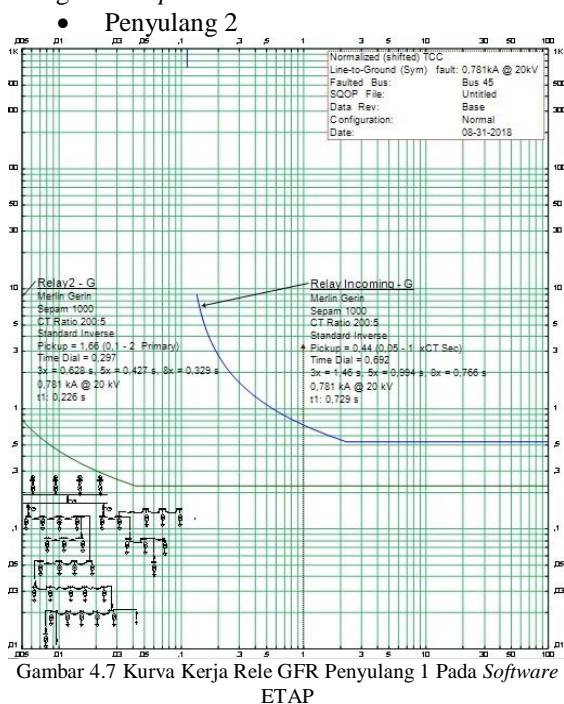
4.8 Kurva Kerja Relay GFR Hasil Perhitungan

Dengan menggunakan pentanahan NGR didapat arus primer dan sekunder rele pada ADN 1 sebesar $I_p = 22,1 \text{ A}$ dan $I_s = 0,55 \text{ A}$ dengan waktu kerja rele $t = 0,283 \text{ s}$. Untuk arus primer dan sekunder rele pada ADN 2 sebesar $I_p = 66,6 \text{ A}$ dan $I_s = 1,66 \text{ A}$ dengan waktu kerja rele $t = 0,297 \text{ s}$. Dan untuk incoming didapat arus primer $I_p = 17,68 \text{ A}$ serta arus sekunder $I_s = 0,44 \text{ A}$ dengan waktu kerja rele $t = 0,692 \text{ s}$. Setelah melakukan perhitungan maka

didapatkan data *setting* yang mana dapat menampilkan kurva seperti gambar dibawah ini ketika disimulasikan :



Dari hasil perhitungan yang sudah di simulasikan, untuk rele yang memutus pertama adalah rele 1 pada waktu 0,332 s, dan rele yang memutus kedua rele *Incoming* pada waktu 0,727 s. Dapat kita lihat pada hasil perhitungan ulang rele sudah terkoordinasi dengan baik dimana rele 1 sebagai pengaman utama penyulang mengamankan pertama kali saat terjadi gangguan dan rele *Incoming* sebagai *backup*.



Dari hasil perhitungann yang sudah di simulasikan, untuk rele yang memutus pertama adalah rele 2 pada waktu 0,226 s, dan rele yang memutus kedua

rele *Incoming* pada waktu 0,729 s. Dapat kita lihat pada hasil perhitungan ulang rele sudah terkoordinasi dengan baik dimana rele 2 sebagai pengaman utama penyulang mengamankan pertama kali saat terjadi gangguan dan rele *Incoming* sebagai *backup*.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan simulasi, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada sistem pentanahan dengan menggunakan *solid grounding* pada Generator PLTD Terong Rayon Adonara diketahui arus hubung singkat gangguan 1 fasa ke tanah sebesar 1,47 kA dan dengan menggunakan sistem pentanahan *neutral grounding resistance* yang sesuai dengan kapasitas generator dapat dilihat arus hubung singkat gangguan 1 fasa ke tanah dapat direduksi hingga kisaran 109 A.
2. Settingan waktu hasil perhitungan rele GFR menggunakan pentanahan *neutral grounding resistance* tidak terpaut terlalu jauh dengan settingan awal pentanahan *solid PT*. PLN Rayon Adonara.
3. Dari hasil perhitungan dan simulasi setting rele GFR menggunakan pentanahan *neutral grounding resistance* didapat arus sekunder 0,55 A dengan *time dial* 0,283 s pada penyulang 1, arus sekunder 1,66 A dengan *time dial* 0,297 s pada penyulang 2, dan arus sekunder 0,44 A dengan *time dial* 0,692 detik pada rele incoming yang berfungsi sebagai *backup*.

5.2 Saran

Bahwa sistem pentanahan Generator PLTD Terong Rayon Adonara yang sebelumnya menggunakan sistem *solid grounding* kurang mampu dalam menghadapi arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dan penggunaan *neutral grounding resistance* dapat di jadikan pilihan karena bisa mereduksi arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah agar generator tetap dalam kondisi aman dan stabil saat menghadapi gangguan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ajit Bapat, Robert Hanna, Sargito Pameta (2015). *Stadant Advanced Concepts In High Resistance Grounding*. 978-1-4799-7114-5/15© 2015 IEEE.
- [2] Choong-Koo Chang (2015) *Optimal neutral ground resistor rating of the medium voltage systems in power generating stations*, Journal of International Council on Electrical Engineering, 5:1, 55-63, DOI: 10.1080/22348972.2015.1110878.
- [3] Agriselius, Asyer (2014). *Analisis Pemilihan Pentanahan Titik Netral Generator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro 2 x 4,4 MW Nua Ambon*

- Menggunakan Software ETAP 7.5.* Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung.
- [4] Kunchahyo, Mochamad (2017). *Analisis Setting Grounf Fault Relay (GFR) Terhadap Sistem Pentanahan Netral Transformator Menggunakan Metode Neutral Resistor (NGR) Pada Penyulan PLN.* Rayon Kuala Pembuang. Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
 - [5] Selkirk, Don and Glenney, Jeff. *The Importance of the Neutral-Grounding Resistor*. IEEE
 - [6] Elfizon, S.Pd., M.Pd.T (2014) *Studi Pengaruh Petanahan Netral Trafo Daya 2 x 42 MVA Terhadap gangguan satu fasa ketanah dengan Simulasi EMTP.* Universitas Negeri Padang.
 - [7] *IEEE Guide for Generator Ground Protection*, IEEE Standard C37.101, 1993.
 - [8] Johannesburg, South Africa (2012). *Fundamentals of Short Circuit Protection For Transformers*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc
 - [9] Suroso, Aryawa Prasada., Pujiantara, Margo., dan Priyadi, Ardyono (2006). *Arus Ground-Fault Di Dalam Rangkaian Generator Dengan Perbedaan Unsur-Unsur Yang Meng-Ground-Kan Neutral*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, Vol. 9, No. 2.
 - [10] Kongdoro, Rusli (2006). *Analisa Gangguan Satu Fasa ke Tanah yang Mengakibatkan Sympathetic Trip pada Penyulang yang tidak Terganggu di PLN APJ Surabaya Selatan* Jurnal Teknik Elektro Vol. 6, No. 1, Maret 2006.