

## UNJUK KERJA SISTEM PENTANAHAN TRANSFORMATOR PADA GARDU INDUK 150 KV PT. AMMAN MINERAL NUSA TENGGARA

### Transformers Grounding System Performance at PT. Amman Mineral Nusa Tenggara 150 kV Substation

Ibnu Ziyad<sup>1[1]</sup>, Agung Budi Muljono<sup>2[1]</sup>, Abdul Natsir<sup>3[1]</sup>

<sup>[1]</sup>Electrical Engineering, University of Mataram

Jl. Majapahit 62, Mataram, Lombok NTB, INDONESIA

Email: [ibnuzyad2018@gmail.com](mailto:ibnuzyad2018@gmail.com); [agungbm@unram.ac.id](mailto:agungbm@unram.ac.id); [natsiramin@unram.ac.id](mailto:natsiramin@unram.ac.id)

---

#### ABSTRAK

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang harus dapat diatasi oleh peralatan pengaman. Salah satu peralatan pengaman yang dimaksud adalah sistem pentanahan yang berfungsi untuk mengurangi arus gangguan ke tanah. Sistem pentanahan yang akan diteliti pada penelitian ini adalah pentanahan transformator pada gardu induk 150 kV PT. Amman Mineral Nusa Tenggara (AMNT) yang kemudian dibandingkan dengan jenis pentanahan dengan tahanan dan reaktor dalam kaitannya untuk mengurangi arus gangguan hubung singkat. Penelitian ini dilakukan simulasi dengan data sekunder dari PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. Metode yang digunakan adalah metode Newton-Raphson untuk memperoleh aliran daya pada keadaan normal dari sistem. Analisis arus gangguan hubung singkat dilakukan secara simulasi menggunakan Software ETAP 12.6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pentanahan langsung yang terpasang pada transformator di gardu induk PT. AMNT mengalirkan arus gangguan yang cukup besar. Untuk gangguan 1 fase ke tanah besarnya adalah 2,658 kA pada jarak gangguan 0% atau pada awal transmisi dan nilai ini menurun seiring menjauhnya jarak gangguan dari sistem pembangkit. Pentanahan dengan tahanan baik itu pentanahan dengan tahanan rendah (12 dan 40 Ohm) maupun tahanan tinggi (500 Ohm) tidak memenuhi syarat pentanahan. Untuk pentanahan dengan menggunakan reaktor 108 Ohm, besar arus hubung singkat 1 fase ke tanahnya sebesar 1,001 kA pada jarak gangguan 0% atau pada awal transmisi dan nilai ini menurun seiring menjauhnya jarak gangguan dari sistem pembangkit. Nilai ini masih memenuhi syarat pentanahan dengan menggunakan reaktor yaitu arus hubung singkat 1 fase ke tanah 25-60% arus hubung singkat 3 fase.

**Kata kunci:** Sistem pentanahan, arus hubung singkat, transformator, gardu induk 150 kV

---

#### ABSTRACT

*Short-circuit faults is a faults that must be overcome by protective equipment. One of the protective equipment is a grounding system that serves to reduce the fault current to the ground. The grounding system that will be analyzed in this research is grounding system of the transformer at 150 kV substations PT. Amman Mineral Nusa Tenggara (AMNT) which is then compared to other type of grounding which is grounding with resistance and reactors in relation to reducing the short circuit current. This research was conducted with a simulation with secondary data from PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. The method used is the Newton-Raphson method to obtain power flow in the normal state of the system. Short-circuit fault analysis is carried out in a simulation using ETAP 12.6 Software. The results showed that solid-grounding of the transformer at 150 kV substations PT. AMNT conducts a large fault current. For single line-to-ground faults the magnitude is 2.658 kA at 0% fault distance or at the beginning of the transmission line and this value decreases with the fault distance away from the power plant system. Resistance grounding, whether with low resistance (12 and 40 Ohm) or high resistances (500 Ohm) do not fulfill its grounding requirements. For grounding using a 108 Ohm reactor, the magnitude of single line-to-ground faults is 1,001 kA at 0% fault distance or at the beginning of the transmission line and this value decreases with the faults distance away from the power plant system. This value still fulfill its grounding requirements which is the available ground-fault current should be at least 25% and preferably 60% of the three-phase fault current.*

**Key words:** Grounding system, short-circuit current, transformer, 150 kV substation

---

## PENDAHULUAN

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang memiliki karakteristik transient yang harus dapat diatasi oleh peralatan pengaman. Terjadinya gangguan hubung singkat mengakibatkan timbulnya lonjakan arus dengan magnitude lebih tinggi dari keadaan normal dan tegangan di tempat tersebut menjadi sangat rendah yang dapat mengakibatkan kerusakan pada isolasi, kerusakan mekanis pada konduktor, bunga api listrik dan keadaan terburuk yaitu kegagalan operasi sistem secara keseluruhan. Untuk mengatasi gangguan ini diperlukan adanya sistem pengamanan yang disebut dengan sistem pentanahan yang berfungsi untuk mengalirkan arus gangguan ke tanah [1].

Metode baru model pentanahan titik netral untuk jaringan distribusi tegangan menengah untuk memverifikasi kelayakan dan efektivitas mode pentanahan netral [2]. Perbandingan metode pentanahan sistem distribusi tegangan menengah dan menganalisis sifat sistem pentanahan yang tidak diketanahkan dan memperkenalkan gangguan hubung singkat ke tanaah untuk sistem tersebut [3].

Solusi nyata untuk pengembangan model matematika baru, yang memperhitungkan titik netrali menggunakan metode komponen simetris dan terendah Kirchhoff [4], [5], memberikan pemahaman yang komprehensif tentang dampak transformator pentanahan netral pada arus gangguan dan nilai tegangan, agar dapat mengoptimalkan keandalan sistem. Studi teoritis dan simulasi dari pembumian netral untuk menghindari kerusakan isolasi yang tidak disengaja di belitan transformator dan untuk mereduksi distribusi arus urutan-nol studi kasus bus IEEE-14 menggunakan software MATLAB [6]. Evaluasi sistem pengetanahan menggunakan *solid grounding* dan NGR serta GFR pada trafo 60 MVA, dapat mereduksi besarnya arus gangguan hubung singkat sehingga tidak melebihi batas aman yang diijinkan [7], simulasi dengan software ETAP 12.6 pada STL KSO Pertamina Cepu, memberikan besar arus gangguan hubung singkat yang berbeda berdasarkan letak gangguan [8].

Pada penelitian ini sistem pentanahan sebagai bahan simulasi adalah pentanahan transformator pada gardu induk PT. Amman Mineral Nusa Tenggara (AMNT). PT. AMNT memiliki beberapa departemen kerja, salah satunya dibidang pembangkitan tenaga listrik. Terdapat beberapa level tegangan yaitu mulai dari Tegangan Tinggi (TT) hingga Tegangan Rendah (TR). Adapun pembangkit yang aktif beroperasi adalah PLTU dengan jumlah generator sebanyak 4 unit dan berkapasitas masing-masing 34 MW. Total beban yang digunakan pada PT. AMNT ini adalah 112 MW. Sementara 1 unit transformatornya memiliki

kapasitas 30 MVA dengan sistem pentanahan yang terpasang adalah sistem pentanahan langsung.

Penggunaan pentanahan langsung dikarenakan kapasitas transformator yang terpasang cukup besar. Pada bus bar saluran transmisi juga terpasang Circuit Breaker berkapasitas 63 kA untuk mendukung sistem proteksi ketika terjadi gangguan hubung singkat. Listrik yang dibangkitkan kemudian disalurkan melalui saluran transmisi 150 kV.

Penelitian melakukan simulasi vvg dan perhitungan untuk menganalisis sistem pentanahan transformator yang terpasang pada gardu induk PT. AMNT dan membandingkannya dengan metode pentanahan yang lain. Untuk melakukan semua perhitungan tersebut dengan cepat dan akurat, maka diperlukan suatu media perhitungan melalui bantuan komputer yakni dengan menggunakan *software ETAP 12.6*.

### Pentanahan Netral Sistem Tenaga

Sistem pentanahan merupakan sistem hubungan penghantar yang menggabungkan perangkat-perangkat kelistrikan, peralatan dan instalasi dengan tanah sehingga dapat melindungi dari bahaya arus gangguan yang dapat merusak peralatan-peralatan instalasi dan membahayakan keselamatan manusia. Jadi sistem pentanahan merupakan bagian penting dalam sistem tenaga listrik. Berikut adalah metode-metode pengetanahan netral dari sistem tenaga, [1].

- Pentanahan melalui tahanan (*resistance grounding*)
- Pentanahan melalui reaktor (*reactor grounding*).
- Pentanahan tanpa impedansi (*solid grounding*)
- Pentanahan efektif (*effective grounding*).
- Pentanahan dengan reaktor yang impedansinya dapat berubah-ubah (*resonant grounding*) atau pentanahan dengan Kumpanan Petersen.

### Pentanahan melalui tahanan (*resistance grounding*)

Pentanahan titik netral melalui tahanan (*resistance grounding*) dimaksud adalah suatu sistem yang mempunyai titik netral dihubungkan dengan tanah melalui tahanan (resistor).

### Pentanahan melalui reaktor (*reactor grounding*)

Reaktor yang dipasang diantara titik netral transformator dengan tanah dimaksudkan untuk membatasi arus gangguan ke tanah sampai pada harga arus hubung singkat tiga fasa. Pentanahan dengan reaktor digunakan saat arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah 25% sampai 60% dari arus gangguan hubung singkat 3 fasa. Menghitung reaktor pentanahan ( $X_N$ ) menggunakan Persamaan 1 [1].

$$X_N \geq \frac{3X_1 - X_0}{3} pu \quad (1)$$

Dengan keterangan,  $X_N$  reaktansi pentanahan,  $X_1$  reaktansi urutan positif dan  $X_0$  reaktansi urutan nol.

$$I_a = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_n} \tag{3}$$

**Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik**

Berdasarkan [9] gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen, atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah. Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi.

• **Gangguan 3 Fasa**

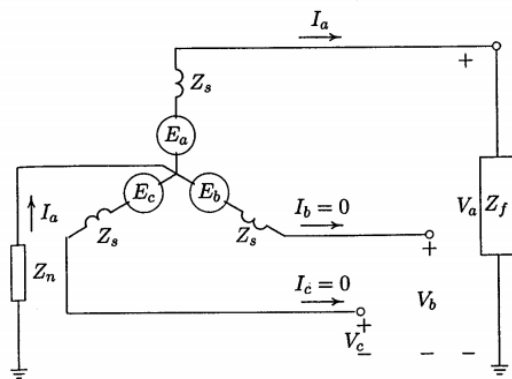
Gangguan tiga fasa termasuk gangguan simetris sehingga dalam perhitungannya tidak perlu menggunakan komponen simetris. Gangguan ini jarang terjadi, tetapi merupakan tipe gangguan yang paling parah karena pada setiap saluran arus gangguan sama besarnya. Untuk gangguan tiga fasa simetris, besarnya arus gangguan yang mengalir di setiap fasa adalah sama dengan arus urutan positif. Sehingga besar arus gangguan tiga fasa dapat dicari menggunakan Persamaan 2, [10].

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1} \tag{2}$$

Dimana:  $I_{a1}$  arus gangguan tiga fasa urutan positif,  $V_f$  tegangan generator sesaat sebelum terjadi gangguan,  $Z_1$  impedansi urutan positif (Ohm).

• **Gangguan 1 Fasa ke Tanah**

Gangguan satu fasa ke tanah adalah gangguan yang terjadi pada sistem yang tidak seimbang dimana salah satu fasanya mengalirkan arus gangguan ke tanah. Misalkan gangguan terjadi pada fasa a, sehingga terlihat bahwa dari fasa a tersebut (fasa yang terganggu) mengalir arus gangguan ke tanah.



Gambar 1. Gangguan 1 fasa ke tanah [11]

Besar arus gangguan 1 fasa ke tanah dapat dicari menggunakan Persaman 3 [12]:

Dimana:

- $I_a$  = Arus gangguan 1 fase ke tanah (pu)
- $V_f$  = Tegangan sesaat sebelum terjadi gangguan (pu)
- $Z_1$  = Impedansi urutan positif (pu)
- $Z_2$  = Impedansi urutan negatif (pu)
- $Z_0$  = Impedansi urutan nol (pu)
- $Z_n$  = Impedansi pentanahan (pu)

**Prosedur Penentuan Besar Impedansi Alat Pengetanahan**

Untuk menentukan besar impedansi alat pengetanahan, alat pengetanahan harus dirancang sedemikian rupa agar dapat memenuhi persyaratan-persyaratan yang dibutuhkan untuk tiap metode pengetanahan yang bersangkutan. Syarat-syarat yang dimaksud mengacu pada [13]. Adapun syarat-syaratnya adalah sebagai berikut:

- Pentanahan melalui tahanan rendah :  $I_{1\phi-g} = 100$  A - 1 kA, tahanan tinggi :  $I_{1\phi-g} < 10$  A, pentanahan melalui reaktor:  $I_{1\phi-g} = 25\% - 60\%$  dari  $I_{3\phi}$ , entanahan langsung :  $I_{1\phi-g} > 60\%$  dari  $I_{3\phi}$

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sistem pentanahan transformator pada gardu induk 150 kV PT. AMNT yang kemudian dibandingkan dengan jenis pentanahan dengan tahanan dan reaktor dalam kaitannya untuk mengatasi arus gangguan hubung singkat. Data penelitian merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. AMNT, dapat dilihat pada Table 1 dan 2. Analisis gangguan hubung singkat disimulasikan menggunakan *Software ETAP 12.6*.

Spesifikasi Generator, dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1 . Data spesifikasi dari generator

No.	Unit	Daya (MVA)	Teg (kV)	$X'd$ (%)	$X''d$ (%)	$X_0$ (%)
1	51-GE-TG100	40,27	11	15	15	6,3
2	52-GE-TG100	40,27	11	15	15	6,3
3	53-GE-TG100	40,27	11	15	15	6,3
4	54-GE-TG100	40,27	11	15	15	6,3

Spesifikasi Transformator, dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Data spesifikasi dari transformator

No.	Unit	Daya (MVA)	Teg. (kV)	Z (%)	Sistem Pentanahan
1	51-TL-EM301	30	11/150	6,5	Langsung
2	52-TL-EM301	30	11/150	6,5	Langsung
3	53-TL-EM301	30	11/150	6,5	Langsung
4	54-TL-EM301	30	11/150	6,5	Langsung

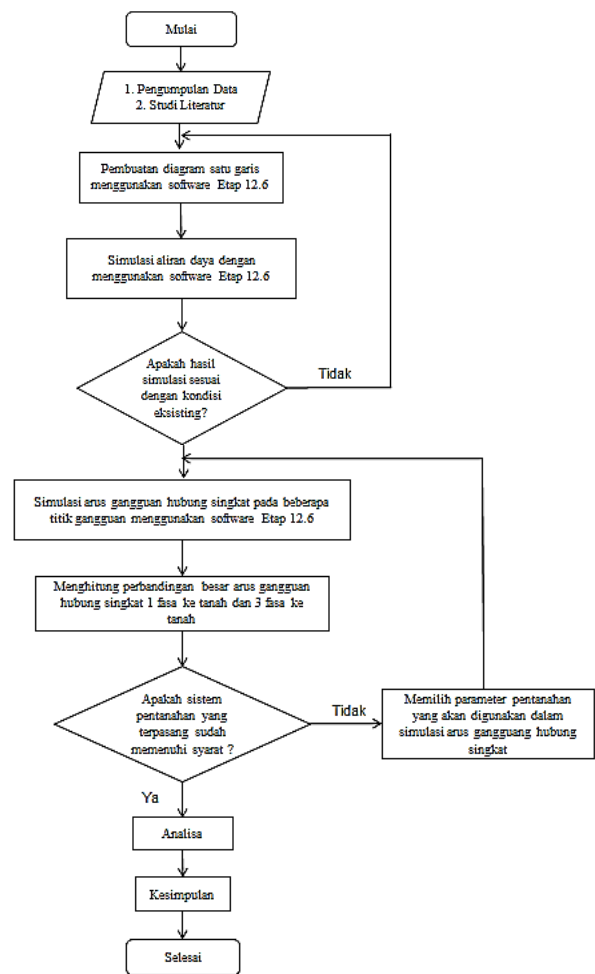
Spesifikasi saluran transmisi 150 kV.

Sistem transmisi 150 kV pada PT. AMNT mempunyai dua buah sakuran Line A dan Line B beroperasi secara paralel dengan panjang 16 km, menggunakan penghantar ACSR 477.000 CM. Mempunyai nilai impedansi urutan positif dan negatif  $Z_1=Z_2 = 1,97026 + j6,46135$  ohm dan impedansi urutan nol  $Z_0 = 4,93757 + j21,5728$  ohm. Diagram satu garis sistem 150 kV PT. AMNT dan data beban.

**Prosedur Penelitian**

Prosedur dan langkah penelitian sesuai pada diagram alir penelitian Gambar 2., dengan langkah sebagai berikut :

1. Studi literatur  
Untuk memperoleh data dan informasi tentang pentanahan sistem khususnya pentanahan titik netral, kemudian analisis gangguan hubung singkat beserta prosedurnya.
2. Survei dan Pengumpulan Data  
Mencari data berbasis real-time yang dapat digunakan sebagai bahan penelitian, didapatkan dari data penelitian.
3. Pengolahan Data  
Data-data yang sudah diperoleh tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan hasil yang bisa langsung dimasukkan ke persamaan-persamaan perhitungan untuk menentukan arus gangguan hubung singkat dan tegangan pada fasa yang tidak terganggu.
4. Analisis  
Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut, kemudian dilakukan analisis untuk mendapatkan bahan pertimbangan dalam memilih metode mana yang memenuhi syarat pentanahan dan cocok digunakan oleh PT. AMNT

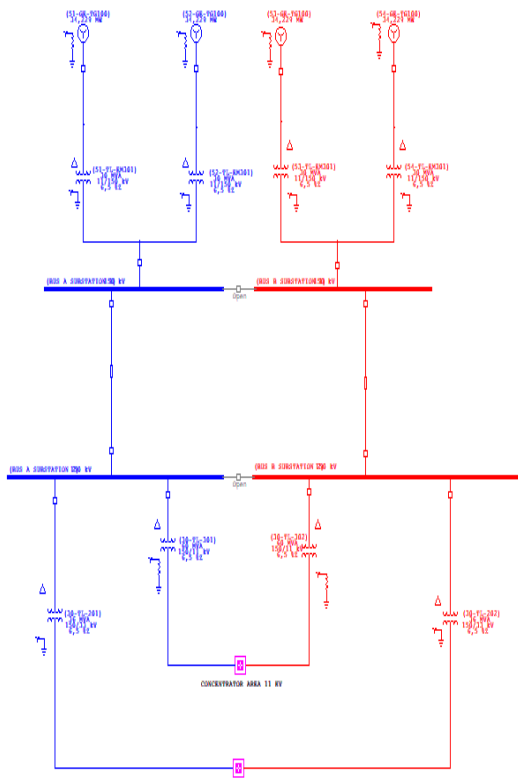


Gambar 2. Diagram alir penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Sistem Kelistrikan PT. Amman Mineral Nusa Tenggara**

PT. Amman Mineral Nusa Tenggara memiliki sistem pembangkit berupa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), terdiri dari 4 unit generator masing-masing berkapasitas 40,27 MVA (34 MW) dengan total beban yang digunakan mencapai 112 MW. Tegangan keluaran generator kemudian di *step-up* oleh 4 unit transformator tenaga yang memiliki kapasitas masing-masing 30 MVA dengan sistem pentanahan langsung. Setelah dinaikkan, tegangan kemudian disalurkan melalui sistem transmisi tegangan tinggi 150 kV. Untuk lebih jelasnya, sistem kelistrikan PT. AMNT dapat dilihat pada Gambar 3. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem pentanahan transformator pada PT. AMNT ketika terjadi gangguan hubung singkat pada kawat transmisi 150 kV. Analisis gangguan hubung singkat akan disimulasikan menggunakan *software ETAP 12.6*.



Gambar 3. Single Line Sistem Kelistrikan PT.AMNT

**Simulasi Aliran Daya pada Kondisi Normal**

Sebelum melakukan analisis gangguan hubung singkat, terlebih dahulu dilakukan simulasi aliran daya menggunakan *software Etap 12.6* untuk mengetahui besar arus pada kondisi normal pada sistem 150 kV PT. AMNT. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan besar arus yang mengalir melalui saluran transmisi 1 adalah sebesar 244,3 Ampere, sementara pada saluran transmisi 2 adalah sebesar 239,3 Ampere. Arus ini kemudian nanti dibandingkan dengan besar arus gangguan.

**Simulasi Pentanahan Transformator menggunakan Software Etap 12.6**

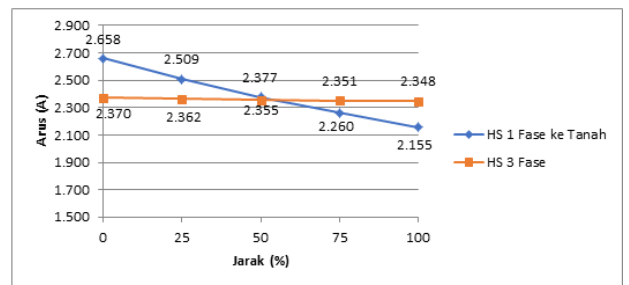
**a. Hasil Simulasi Hubung Singkat dengan Pentanahan Langsung**

Gangguan hubung singkat disimulasikan menggunakan *Software ETAP 12.6* dengan menggunakan metode pentanahan langsung. Hasil simulasi untuk besar arus gangguan hubung singkat dengan metode pentanahan langsung dapat dilihat pada Tabel 3:

Tabel 3. Hasil simulasi untuk syarat pentanahan langsung

Metode Pentanahan	Jarak (%)	Hubung Singkat 3 Fase (kA)	Hubung Singkat 1 Fase ke tanah (kA)	Persentase (%)	Syarat	Hasil
Langsung	0	2,370	2,658	112,15	HS 1 Fase ke tanah > 60% HS 3 Fase	M
	25	2,362	2,509	106,22		M
	50	2,355	2,377	100,93		M
	75	2,351	2,260	96,13		M
	100	2,348	2,155	91,78		M

Berdasarkan Tabel 3. diketahui bahwa di beberapa titik gangguan (0-100%) metode pentanahan langsung memenuhi syarat untuk pentanahan langsung sesuai standar IEEE [1]. Adapun perbandingan besar arus gangguan terhadap jarak gangguan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik perbandingan besar arus gangguan hubung singkat terhadap jarak untuk pentanahan langsung

**b. Hasil Simulasi Hubung Singkat dengan Pentanahan 12 Ohm**

Gangguan hubung singkat disimulasikan menggunakan *Software ETAP 12.6* dengan menggunakan metode pentanahan langsung. Hasil simulasi untuk besar arus gangguan hubung singkat dengan metode pentanahan 12 ohm dapat dilihat pada Tabel 4.

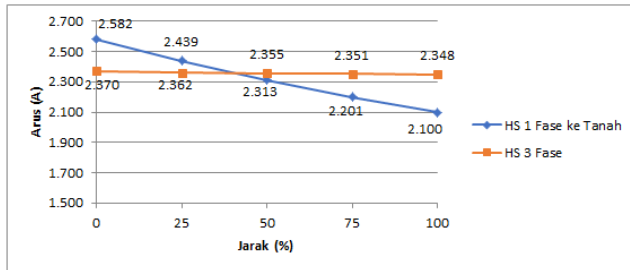
Tabel 4. Hasil simulasi untuk syarat pentanahan 12 ohm

Metode Pentanahan	Jarak (%)	Hubung Singkat 3 Fase (kA)	Hubung Singkat 1 Fase ke tanah (kA)	Persentase (%)	Syarat	Hasil
R = 12 Ω	0	2,370	2,582	-	HS 1 Fase ke tanah > 100 A - 1 kA	TM
	25	2,362	2,439	-		TM
	50	2,355	2,313	-		TM
	75	2,351	2,201	-		TM
	100	2,348	2,100	-		TM

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa di beberapa titik gangguan (0-100%) metode



pentanahan 12 Ohm memenuhi syarat untuk pentanahan dengan tahanan rendah. Adapun perbandingan besar arus gangguan terhadap jarak gangguan dapat dilihat pada Gambar 5,



Gambar 5. Grafik perbandingan besar arus gangguan hubung singkat terhadap jarak untuk pentanahan 12 ohm

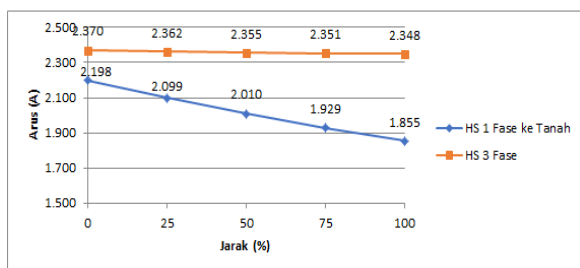
**c. Hasil Simulasi Hubung Singkat dengan Pentanahan 40 Ohm**

Gangguan hubung singkat disimulasikan menggunakan *Software ETAP 12.6* dengan menggunakan metode pentanahan langsung. Hasil simulasi untuk besar arus gangguan hubung singkat dengan metode pentanahan 40 ohm dapat dilihat pada Tabel 5:

Tabel 5. Hasil simulasi untuk syarat pentanahan 40 Ohm

Meto de Pent anah an	Jarak (%)	Hubung Singkat 3 Fase (kA)	Hubung Singkat 1 Fase ke tanah (kA)	Persentase (%)	Syarat	Hasil
R = 40 Ω	0	2,370	2,198	-	HS 1 Fase ke tanah 100 A - 1 kA	TM
	25	2,362	2,099	-		TM
	50	2,355	2,010	-		TM
	75	2,351	1,929	-		TM
	100	2,348	1,855	-		TM

Berdasarkan Tabel 5. diketahui bahwa di beberapa titik gangguan (0-100%) metode pentanahan 40 ohm memenuhi syarat untuk pentanahan dengan tahanan rendah. Adapun perbandingan besar arus gangguan terhadap jarak gangguan dapat dilihat pada Gambar 6:



Gambar 6. Grafik perbandingan besar arus gangguan hubung singkat terhadap jarak untuk pentanahan 40 Ohm

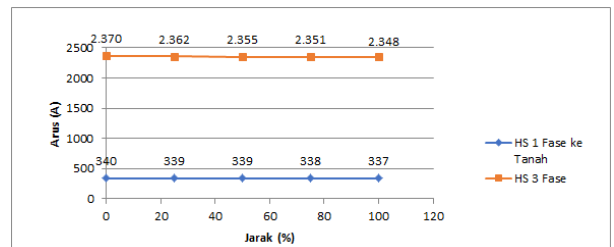
**d. Hasil Simulasi Hubung Singkat dengan Pentanahan 500 Ohm**

Gangguan hubung singkat disimulasikan menggunakan *Software ETAP 12.6* dengan menggunakan metode pentanahan langsung. Hasil simulasi untuk besar arus gangguan hubung singkat dengan metode pentanahan 500 ohm dapat dilihat pada Tabel 6:

Tabel 6. Hasil simulasi untuk syarat pentanahan 500 Ohm

Meto de Pent anah an	Jarak (%)	Hubung Singkat 3 Fase (kA)	Hubung Singkat 1 Fase ke tanah (kA)	Persentase (%)	Syarat	Hasil
R = 500 Ω	0	2,370	0,340	-	HS 1 Fase ke tanah < 0,01 kA	TM
	25	2,362	0,339	-		TM
	50	2,355	0,339	-		TM
	75	2,351	0,338	-		TM
	100	2,348	0,337	-		TM

Berdasarkan Tabel 6. diketahui bahwa di beberapa titik gangguan (0-100%) metode pentanahan 500 Ohm memenuhi syarat untuk pentanahan dengan tahanan tinggi. Adapun perbandingan besar arus gangguan terhadap jarak gangguan dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 7. Grafik perbandingan besar arus gangguan hubung singkat terhadap jarak untuk pentanahan 500 Ohm

**e. Hasil Simulasi Hubung Singkat dengan Pentanahan Reaktor**

Sebelum melakukan simulasi hubung singkat dengan menggunakan reaktor, terlebih dahulu harus dihitung nilai reaktor yang akan dimasukkan ke dalam simulasi.

Menghitung nilai reaktansi pentanahan dalam pu

$$X_N \geq \frac{3X_1 - X_0}{3}$$

$$X_N \geq \frac{3(0.216) - 0.216}{3}$$

$$X_N \geq 0.144 \text{ pu}$$

Menghitung nilai reaktansi pentanahan dalam Ohm

$$X_{base} = \frac{(kV\ base)^2}{MVA\ base}$$

$$X_{base} = \frac{(150)^2}{30} = 750\ Ohm$$

$$X_{pu} = \frac{X_{actual}}{X_{base}}$$

$$X_{actual} = X_{pu} \times X_{base}$$

$$X_{actual} = 0.144 \times 750$$

$$X_{actual} = 108\ Ohm$$

Menghitung nilai induktansi berdasarkan reaktansi induktif yang didapatkan

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$108\ Ohm = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot L$$

$$L = \frac{108}{2 \cdot \pi \cdot 50}$$

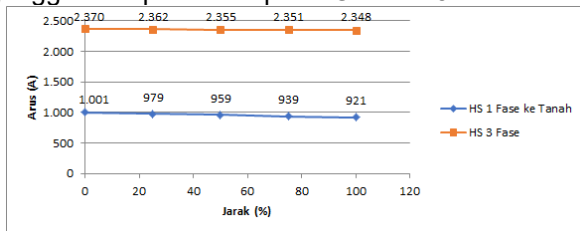
$$L = 0.343\ H$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai reaktansi induktif yaitu 108 Ohm atau dalam nilai induktansinya yaitu 0.343 H. Nilai ini kemudian nanti yang akan dimasukkan ke dalam program ETAP sebagai nilai reaktor pentanahannya. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil untuk besar arus gangguan hubung singkat dengan metode pentanahan reaktor seperti yang terlihat pada Tabel 7:

Tabel 7. Hasil simulasi untuk syarat pentanahan reaktor 108 Ohm

Meto de Pent anahan	Jarak (%)	Hubung Singkat 3 Fase (kA)	Hubung Singkat 1 Fase ke tanah (kA)	Persentase (%)	Syarat	Hasil
Reaktor (X <sub>L</sub> ) = 108 Ω	0	2,370	1,001	42,23	HS 1 Fase ke tanah 25-60% HS 3 Fase	M
	25	2,362	0,979	41,44		M
	50	2,355	0,959	40,72		M
	75	2,351	0,939	39,94		M
	100	2,348	0,921	39,22		M

Berdasarkan Tabel 7. diketahui bahwa di beberapa titik gangguan (0-100%) metode pentanahan reaktor 108 Ohm memenuhi syarat untuk pentanahan dengan reaktor. Adapun perbandingan besar arus gangguan terhadap jarak gangguan dapat dilihat pada Gambar 8:



Gambar 8. Grafik perbandingan besar arus gangguan hubung singkat terhadap jarak untuk pentanahan dengan reaktor 108 Ohm

**f. Hasil Lengkap Simulasi Arus Gangguan Hubung Singkat untuk Beberapa Metode Pentanahan di Beberapa Titik Gangguan Menggunakan Software Etap 12.6**

Hasil lengkap simulasi arus gangguan hubung singkat untuk beberapa metode pentanahan di beberapa titik gangguan menggunakan Software ETAP 12.6 dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil simulasi hubung singkat 3 fase dan 1 fase ke tanah

Meto de Pentanahan	Jarak (%)	Hubung Singkat 3 Fase (kA)	Hubung Singkat 1 Fase ke tanah (kA)	Persentase (%)	Syarat	Hasil
Langsung	0	2,370	2,658	112,15	HS 1 Fase ke tanah > 60% HS 3 Fase	M
	25	2,362	2,509	106,22		M
	50	2,355	2,377	100,93		M
	75	2,351	2,260	96,13		M
	100	2,348	2,155	91,78		M
R = 12 Ω	0	2,370	2,582	-	HS 1 Fase ke tanah 100 A - 1 kA	TM
	25	2,362	2,439	-		TM
	50	2,355	2,313	-		TM
	75	2,351	2,201	-		TM
	100	2,348	2,100	-		TM
R = 40 Ω	0	2,370	2,198	-	HS 1 Fase ke tanah 100 A - 1 kA	TM
	25	2,362	2,099	-		TM
	50	2,355	2,010	-		TM
	75	2,351	1,929	-		TM
	100	2,348	1,855	-		TM
R = 500 Ω	0	2,370	0,340	-	HS 1 Fase ke tanah < 0,01 kA	TM
	25	2,362	0,339	-		TM
	50	2,355	0,339	-		TM
	75	2,351	0,338	-		TM
	100	2,348	0,337	-		TM
Reaktor (X <sub>L</sub> ) = 108 Ω	0	2,370	1,001	42,23	HS 1 Fase ke tanah 25-60% HS 3 Fase	M
	25	2,362	0,979	41,44		M
	50	2,355	0,959	40,72		M
	75	2,351	0,939	39,94		M
	100	2,348	0,921	39,22		M

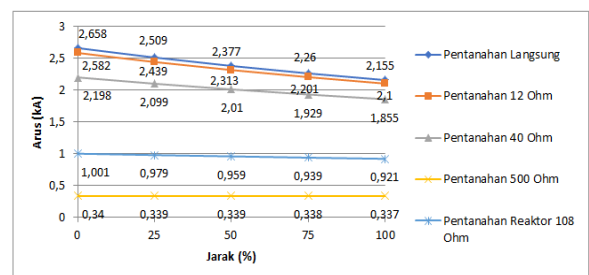
Berdasarkan Tabel 8. maka dapat dianalisis bahwa:

1. Arus yang mengalir pada saat gangguan hubung singkat jauh diatas arus pada keadaan normal. Arus pada keadaan normal berkisar

- pada 240 Ampere sementara arus saat terjadi gangguan hubung singkat mencapai 2000 Ampere.
- Arus gangguan terbesar dihasilkan pada saat menggunakan metode pentanahan langsung (kondisi eksisting pada transformator gardu induk 150 kV PT. AMNT). Contohnya ketika disimulasikan arus gangguan pada jarak 0% dari saluran transmisi, dihasilkan arus gangguan 1 fase ke tanah sebesar 2,658 kA. Besar arus gangguan ini lebih besar dibandingkan dengan besar arus gangguan ketika menggunakan metode pentanahan yang lain. Begitupun juga dengan besar arus gangguan pada jarak yang lain. Walaupun demikian, penggunaan metode pentanahan langsung ini tidak serta merta tanpa alasan. Alasan pemilihan jenis pentanahan ini antara lain frekuensi terjadinya gangguan yang kecil serta saluran transmisinya dirancang melalui area yang bebas hambatan yang mungkin bisa menyebabkan gangguan seperti pepohonan dll. Alasan lain adalah potensi terjadi sambaran petir di daerah tersebut juga kecil karena curah hujan yang kurang.
  - Penggunaan metode pentanahan dengan tahanan baik itu tahanan rendah (12 dan 40 Ohm) maupun tahanan tinggi (500 Ohm) belum memenuhi syarat pentanahan berdasarkan standard yang telah ditetapkan. Hal ini disebabkan karena besar arus gangguan yang timbul jauh melampaui batas arus gangguan yang diperbolehkan.
  - Penggunaan metode pentanahan dengan reaktor 108 Ohm memenuhi syarat pentanahan berdasarkan standard yang telah ditetapkan. Hal ini disebabkan karena besar arus gangguan yang dihasilkan masih dalam batas besar arus gangguan yang diperbolehkan.
  - Dari beberapa metode pentanahan yang telah dianalisis, terdapat 2 metode pentanahan yang memenuhi masing-masing syarat pentanahannya. Kedua metode ini yaitu metode pentanahan langsung dan metode pentanahan dengan menggunakan reaktor 108 Ohm. Jika dilihat dari besar arus gangguan yang dihasilkan antara kedua metode ini, arus gangguan ketika menggunakan metode pentanahan dengan reaktor nilainya lebih kecil dibandingkan ketika menggunakan metode pentanahan langsung. Namun ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam menggunakan pentanahan dengan reaktor. Pentanahan dengan reaktor biasa digunakan pada gardu induk tegangan ekstra tinggi (GITET) serta dengan saluran transmisi menengah hingga panjang. Jadi dengan beberapa faktor tersebut, penggunaan

pentanahan dengan reaktor untuk transformator pada gardu induk 150 kV PT. AMNT juga perlu dipertimbangkan lagi.

- Untuk besar arus hubung singkat 3 fase pada semua jenis pentanahan nilainya sama karena perhitungan arus hubung singkat 3 fase hanya menggunakan impedansi urutan positif saja dan tidak tergantung pada besar impedansi pentanahan sistem. Sementara untuk besar arus hubung singkat 1 fase ke tanah berbeda-beda pada setiap jenis pentanahan karena tergantung dari besar impedansi pentanahan yang digunakan. Perbandingan besar arus gangguan hubung singkat 1 fase ke tanah untuk semua jenis pentanahan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik perbandingan besar arus gangguan hubung singkat 1 fase ke tanah untuk beberapa metode pentanahan

Berdasarkan Gambar 9 dapat dianalisis bahwa untuk semua jenis pentanahan, besar arus gangguan hubung singkat 1 fase ke tanahnya berkurang jika jarak gangguannya semakin jauh dari sistem pembangkit. Saat menggunakan pentanahan langsung, arus gangguan yang dihasilkan paling besar. Namun setelah sistem pentanahan tersebut diganti menggunakan pentanahan dengan tahanan maupun reaktor, besar arus gangguannya dapat dikurangi.

Besarnya arus gangguan yang terjadi dipengaruhi oleh nilai pentanahan yang terpasang. Semakin besar nilai pentanahan yang digunakan maka arus gangguan akan direduksi dan nilainya akan semakin kecil. Adapun hasil simulasi untuk arus gangguan 2 fase ke tanah dan 2 fase dapat dilihat pada Tabel 9:

## KESIMPULAN DAN SARAN

Pentanahan langsung pada sisi tegangan tinggi transformator gardu induk PT. AMNT mengalirkan arus gangguan yang cukup besar. Untuk gangguan 1 fase ke tanah sebesar 2,658 kA pada jarak gangguan 0% atau pada awal transmisi dan nilai ini menurun seiring menjauhnya jarak gangguan dari sistem pembangkit. Nilai arus hubung singkat 1 fase ke tanah yang didapatkan ketika menggunakan metode pentanahan langsung adalah yang paling



besar dibandingkan dengan metode pentanahan dengan tahanan maupun reaktor. Pentanahan dengan tahanan baik itu pentanahan dengan tahanan rendah (12 dan 40 Ohm) maupun tahanan tinggi (500 Ohm) tidak memenuhi syarat pentanahan. Untuk pentanahan dengan menggunakan reaktor 108 Ohm, besar arus hubung singkat 1 fase ke tanahnya sebesar 1,001 kA pada

jarak gangguan 0% atau pada awal transmisi dan nilai ini menurun seiring menjauhnya jarak gangguan dari sistem pembangkit. Nilai ini masih memenuhi syarat pentanahan dengan menggunakan reaktor yaitu arus hubung singkat 1 fase ke tanah 25-60% arus hubung singkat 3 fase.

Tabel 9. Hasil simulasi hubung singkat 2 fase dan 2 fase ke tanah

Metode Pentanahan	Jarak (%)	HS 2 Fasa (kA)			HS 2 Fasa ke tanah (kA)		
		Fasa A	Fasa B	Fasa C	Fasa A	Fasa B	Fasa C
Langsung	0	0	2,043	2,043	0	2,513	2,595
	25	0	2,035	2,035	0	2,431	2,462
	50	0	2,029	2,029	0	2,369	2,365
	75	0	2,025	2,025	0	2,321	2,293
	100	0	2,022	2,022	0	2,284	2,239
R = 12 Ω	0	0	2,043	2,043	0	2,843	2,034
	25	0	2,035	2,035	0	2,709	2,012
	50	0	2,029	2,029	0	2,606	1,997
	75	0	2,025	2,025	0	2,536	1,987
	100	0	2,022	2,022	0	2,463	1,980
R = 40 Ω	0	0	2,043	2,043	0	2,770	1,489
	25	0	2,035	2,035	0	2,701	1,539
	50	0	2,029	2,029	0	2,640	1,582
	75	0	2,025	2,025	0	2,586	1,620
	100	0	2,022	2,022	0	2,540	1,655
R = 500 Ω	0	0	2,043	2,043	0	2,130	1,958
	25	0	2,035	2,035	0	2,121	1,950
	50	0	2,029	2,029	0	2,115	1,944
	75	0	2,025	2,025	0	2,110	1,940
	100	0	2,022	2,022	0	2,107	1,938
Reaktor (X <sub>L</sub> ) = 108 Ω	0	0	2,043	2,043	0	2,044	2,094
	25	0	2,035	2,035	0	2,036	2,083
	50	0	2,029	2,029	0	2,031	2,073
	75	0	2,025	2,025	0	2,028	2,066
	100	0	2,022	2,022	0	2,026	2,061

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Hutaeruk, T.S., 1999, *Pengetahuan Netral Sistem Tenaga dan Pengetahuan Peralatan*, Penerbit Erlangga, Jakarta Grainger, J. J., Stevenson W. D, Jr., 1994, *Power System Analysis*, WCB McGraw-Hil, New York.
- [2] Liu, H., Xiong, X., Ouyang, J., Gong, X., Xie, Y. and Li, J. (2014) 'Study on decision method of neutral point grounding mode for medium-voltage distribution network', *Journal of Power and Energy Engineering*, Vol. 2, pp.656–664.
- [3] Roberts, J., Altuve, H.J. and Hou, D. (2001) Review of Ground Fault Protection Methods for Grounded, Ungrounded, and Compensated Distribution Systems, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Pullman, WA.
- [4] Kirtley Jr., J. (2003) Introduction to Symmetrical Components, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- [5] Weedy, B.M. (1979) *Electric Power Systems*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Chichester/New York/Brisbane/Toronto.
- [6] Asma Meddeb and Souad Chebbi, (2016) Fault analysis and control of grounding power transformer, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Tunis, Int. J. Signal and Imaging Systems Engineering, Vol. 9, Nos. 4/5.
- [7] Yuli, N., 2019, *Analisis Sistem Pentanahan Menggunakan Metode Neutral Grounding Resistance Pada Gardu Induk Banaran – Kediri*, Skripsi thesis, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang.
- [8] Saputra, B. V., 2016, *Analisis Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Tenaga Listrik di KSO Pertamina EP-GEO CEPU Indonesia Distrik 1 Kawangan menggunakan Software ETAP 12.6*, Surakarta, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [9] Christopher J. Booth (1993), IEEE Std 100-1992, IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms.
- [10] Grainger, J. J., Stevenson W. D, Jr., 1994, *Power System Analysis*, WCB McGraw-Hil, New York.
- [11] Saadat, Hadi., 1999, *Power System Analysis*, WCB McGraw-Hil, New York.
- [12] Stevenson W. D, Jr., 1983, *Element of Power System Analysis 4 Edition*, WCB McGraw-Hil, New York.
- [13] IEEE Std 142™-(2007), IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, Power Systems Engineering Committee of the IEEE Industry Applications Society.