

## Mitigasi Gangguan Transformator 60 MVA GI Panakkukang

Zairah Sapada<sup>1)</sup>, Aksan, S.T., M.T.<sup>2)</sup>, Nurhayati, S.ST., M.T.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang

Email: [zairahsapada@gmail.com](mailto:zairahsapada@gmail.com)

<sup>2)</sup> Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang

Email: [aksansubarjo@yahoo.co.id](mailto:aksansubarjo@yahoo.co.id)

<sup>3)</sup> Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang

Email: [nurhayatigazalisanusi@gmail.com](mailto:nurhayatigazalisanusi@gmail.com)

### Abstract

Transformator adalah suatu peralatan yang mentransformasikan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah di gardu induk, transformator memiliki NGR (Neutral Grounding Resistor) yang membatasi besarnya arus gangguan fasa ke tanah pada sisi sekunder trafo. Kegagalan NGR dalam menjalankan fungsinya menyebabkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang menyebabkan trip trafo sehingga terjadi pemadaman yang luas pada sistem kelistrikan yang disuplai transformator tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan sebab terjadinya gangguan transformator tenaga 60 MVA serta memberikan mitigasi yang tepat terhadap gangguan transformator 60 MVA GI Panakkukang. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah studi literatur, observasi dan wawancara, penelitian ini menggunakan aplikasi DigSILENT Powerfactory 15.1.7 untuk perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah dan melihat pengaruh nilai NGR terhadap besarnya arus hubung singkat. Hasil dari penelitian diketahui bahwa penyebab utama gangguan transformator yaitu gagalnya NGR bekerja sesuai fungsinya karena kemasukan air ketika terjadi gangguan pada penyulang Perumnas dan mitigasi yang dilakukan dengan pembersihan resistor, cat isolasi dan memberikan atap pada sisi NGR yang memiliki celah.

**Keywords** : mitigasi, transformator, neutral grounding resistor, arus hubung singkat

### I. PENDAHULUAN

Transformator tenaga merupakan salah satu peralatan yang berada di gardu induk dan berperan penting dalam penyaluran energi listrik, transformator tenaga diharapkan tetap handal dalam menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Sehingga diperlukan banyak proteksi yang berperan penting dalam melindungi transformator dari gangguan internal maupun gangguan eksternal. *Neutral Grounding Resistor* (NGR) merupakan peralatan yang dipasang dititik netral transformator kemudian ditanahkan untuk memperkecil arus yang mengalir pada transformator ketika terjadi gangguan. Penelitian mengenai gangguan – gangguan hubung singkat pada daerah gardu induk sudah sering dilakukan. Namun, pada penelitian ini terjadi gangguan fasa tanah pada penyulang perumnas Jumat, 3 Februari 2017 yang menyebabkan arus hubung singkat mengalir hingga 1000 ampere berdasarkan dari laporan gangguan PT PLN (Persero) Unit Transmisi dan Gardu Induk Panakkukang, sehingga transformator 60 MVA di GI Panakkukang trip atau hilang tegangan. Hal inilah yang

menyebabkan perlu diadakan penelitian mengenai penyebab dan upaya mitigasinya.

### II. KAJIAN LITERATUR

#### II.1 Pengertian Mitigasi

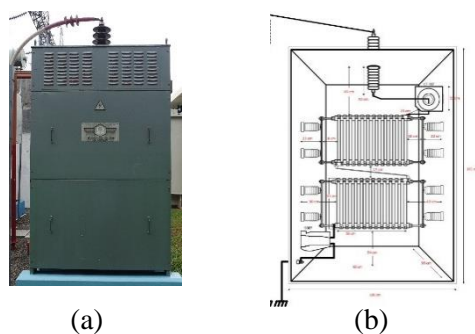
Berdasarkan UU Nomor 24 tahun 2007, mengatakan bahwa mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana<sup>[1]</sup>. Mitigasi merupakan serangkaian upaya dalam menganalisa penyebab dan penanganan untuk menormalkan gangguan tersebut.

#### II.2 Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)

Pemutus tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/ *switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/ gangguan seperti kondisi hubung singkat (*short circuit*)<sup>[2]</sup>.

### II.3 Neutral Grounding Resistor (NGR)

Salah satu metoda pentanahan titik netral adalah menggunakan NGR. NGR merupakan sebuah tahanan yang dipasang serial dengan netral sekunder pada trafo sebelum terhubung ke ground/ tanah. Tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah.



Gambar 1 NGR (a)Tampak Luar, (b) Tampak dalam<sup>[3]</sup>

Berdasarkan ketentuan SPLN 26:1980 mengenai besar tahanan pentanahan sebagai berikut :

1. Tahanan rendah 12 ohm dan arus gangguan tanah maksimum 1000 ampere dipakai pada jaringan kabel tanah.
2. Tahanan rendah 40 ohm dan arus gangguan maksimum 300 ampere dipakai pada jaringan saluran udara dan campuran saluran udara dengan kabel tanah.
3. Tahanan tinggi 500 ohm dan arus gangguan maksimum 25 ampere dipakai pada saluran udara<sup>[4]</sup>.

### II.4 Rele Restricted Earth Fault (REF)

REF untuk mengamankan transformator bila ada gangguan satu fasa ke tanah di dekat titik netral transformator yang tidak dirasakan oleh rele diferensial. REF dipasang pada belitan trafo dengan konfigurasi Y yang ditanahkan<sup>[5]</sup>.

### II.5 Gangguan Hubung Singkat

Arus hubung singkat adalah arus lebih yang diakibatkan oleh gangguan impedansi yang sangat kecil mendekati nol antara dua penghantar aktif yang dalam kondisi operasi normal berbeda potensialnya<sup>[6]</sup>. Berikut ini langkah untuk menghitung arus hubung singkat satu fasa ke tanah,

#### Menghitung Impedansi Sumber

Data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus primer trafo.

$$Z_s = \frac{kV^2}{MVA_{hs}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- $Z_s$  = Impedansi sumber ( $\Omega$ )
  - $kV$  = Tegangan pada sisi primer (kV)
  - $MVA_{hs}$  = *Short circuit* trafo tenaga (MVA)
- Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$Z_s (20 \text{ kV}) = \frac{20^2}{150^2} \times Z_s (\text{sisi } 150 \text{ kV}) \dots\dots\dots (2)$$

#### Menghitung Reaktansi Trafo

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA (\text{trafo})} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- $X_t$  = Reaktansi trafo ( $\Omega$ )
- Reaktansi urutan positif, negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ )

$$X_t = X_t \% \times X_t (\text{pada } 100\%) \dots\dots\dots (4)$$

#### Reaktansi Urutan Nol

Reaktansi urutan nol ini didapat dengan memperhatikan data trafo tenaga itu sendiri yaitu dengan melihat kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo itu, untuk trafo tenaga dengan hubungan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya  $X_{0}$  berkisar antara 9 s/d 14  $X_{t1}$ <sup>[7]</sup>.

#### Menghitung impedansi penyulang

Impedansi penyulang ini dihitung tergantung dari besarnya impedansi per meter penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTM<sup>[8]</sup>.

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times \text{Panjang penyulang} \times (R_1 + jX_1) \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

- $Z_1$  = Impedansi urutan positif ( $\Omega$ )
- $Z_2$  = Impedansi urutan negatif ( $\Omega$ )

#### Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi positif ( $Z_{1eq}$ ), negatif ( $Z_{2eq}$ ), dan nol ( $Z_{0eq}$ ) dari titik gangguan sampai ke sumber,

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{1s} + Z_{1t} + Z_{1p} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

- $Z_{1s}$  = Hitungan impedansi sumber
  - $Z_{1t}$  = Hitungan impedansi trafo
  - $Z_{1p}$  = Tergantung dari lokasi gangguan
- Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang

penyulang, maka  $Z_{1eq}$  ( $Z_{2eq}$ ) yang didapat juga pada lokasi tersebut.

Perhitungan  $Z_{0eq}$  :  
 $Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_{0penyulang}$ ..... (7)

Keterangan :

$R_N$  = Pentanahan netral pada trafo ( $\Omega$ )  
 Setelah mendapatkan impedansi ekivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus dari hubung singkat 1 fasa ke tanah<sup>[7]</sup>.

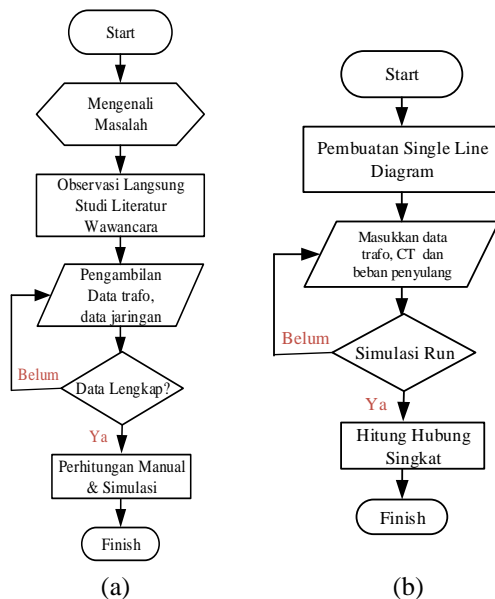
$$I_{1\text{ fasa}} = \frac{E_{f\text{ asa}}}{Z_{1\text{ sQ}}} = \frac{3xV_{ph}}{Z_{1\text{ sQ}} + Z_{2\text{ sQ}} + Z_{0\text{ sQ}}}$$

$$= \frac{3x \frac{20000}{\sqrt{3}}}{Z_{1\text{ sQ}} + Z_{2\text{ sQ}} + Z_{0\text{ sQ}}}$$

$$= \frac{34641,016}{Z_{1\text{ sQ}} + Z_{2\text{ sQ}} + Z_{0\text{ sQ}}} = \frac{34641,016}{2xZ_{1\text{ sQ}} + Z_{0\text{ sQ}}}$$

arus gangguan 1 Fasa ketanah juga dihitung untuk lokasi gangguan yang di asumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, sesuai lokasi gangguannya<sup>[7]</sup>.

**III. FLOW CHART PENELITIAN**



Gambar 2 (a) Flow chart Penelitian, (b) Flow chart Program

Alat yang digunakan dalam kegiatan ini adalah sebuah PC yang dilengkapi dengan software DIgSILENT PowerFactory 15.1.7 yang digunakan untuk menjalankan simulasi gangguan transformator 60 MVA, kalkulator, pulpen dan kertas yang digunakan untuk menghitung arus hubung singkat gangguan fasa ke tanah.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**IV.1 Data Komponen**

Berikut ini beberapa data komponen yang berada di gardu induk Panakkukang.

Tabel 1 Spesifikasi Trafo 60 MVA GI Panakkukang

MVA hubung singkat	: 1009.7	MVA
Kapasitas	60	MVA
Reaktansi X1	13.282%	
Teg. Prim	150	kV
Teg. Sek.	20	kV
Belitan D	Tidak Ada	
I nom	1732.1	Ampere
Rasio CT	2000	5
NGR	40	Ohm

Tabel 2 Spesifikasi NGR

Merk	MS RESISTENCE
Type	6.20.0300-10-s-LH-00-TT
Tegangan Nominal	12 kV
Arus Maksimum	300 A
Rasio Trafo Arus	
Untuk Rele REF 1	150-300/5A
Untuk Rele REF 2	600-1200/5A

Tabel 3 Data Rele REF

Data Rele	REF 1	REF 2
Merek/Tipe	AREVA	
Set Rele	0.20 A	0.20 A
(Batas Maks)	60 A	240 A
Waktu Kerja	0.1	0.1
In Rele	5 A	5 A
Rasio CT	300/5 A	1200/5 A

Tabel 4 Data Jaringan Distribusi

Penampang Nominal (mm <sup>2</sup> )	Jari-jari (mm)	Urut	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (ohm/km)	Impedansi Urutan Nol (ohm/km)
16	2,2563	7	1,638	2,0161 + j 0,4036	2,1641 + j 1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903 + j 0,3896	1,4384 + j 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 + j 0,3790	1,0697 + j 1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452 + j 0,3678	0,7932 + j 1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3396 + j 0,3449	0,4876 + j 1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688 + j 0,3376	0,4168 + j 1,6251
150	6,9084	19	5,2365	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744 + j 0,3239	0,3224 + j 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6033

## IV.2 Perhitungan Hubung Singkat

Menghitung Arus Hubung Singkat dengan titik lokasi 100% dari panjang penghantar

$$Z_{s(\text{sisi } 150 \text{ kV})} = \frac{150^2}{1009.7} = 22.28 \Omega$$

$$Z_{s(\text{sisi } 20 \text{ kV})} = \frac{20^2}{150^2} \times 22.28 = 0.396 \Omega$$

Menghitung reaktansi trafo

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{20^2}{60} = 6.667 \Omega$$

Reaktansi urutan positif, negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ )

$$X_{t1} = 13.282\% \times 6.667 = 0.88 \Omega$$

Reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ )

$$X_{t0} = 10X_{t1} = 10(0.88) = 8.8 \Omega$$

$$Z_1 = Z_2$$

$$1.00 \times 10 \text{ Km} \times (0.1344 + j0.3158)$$

$$= 1.344 + j3.158 \Omega$$

Impedansi Urutan Nol ( $Z_0$ )

$$1.00 \times 10 \text{ Km} \times (0.2824 + j1.6033)$$

$$= 2.824 + j16.033 \Omega$$

Menghitung impedansi jaringan ekuivalen

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = j0.396 + j0.88 + Z_{1\text{penyulang}}$$

$$j1.276 + (1.344 + j3.158) = 1.344 + j4.434 \Omega$$

$$Z_{0eq} = j8.8 + 3(0) + Z_{0\text{penyulang}}$$

$$j8.8 + (2.824 + j16.033) = 2.824 + j24.833 \Omega$$

$$I_{\text{fasa}} = \frac{34641.016}{\sqrt{(2 \times 1.344 + 2.824)^2 + (2 \times 4.434 + 24.833)^2}}$$

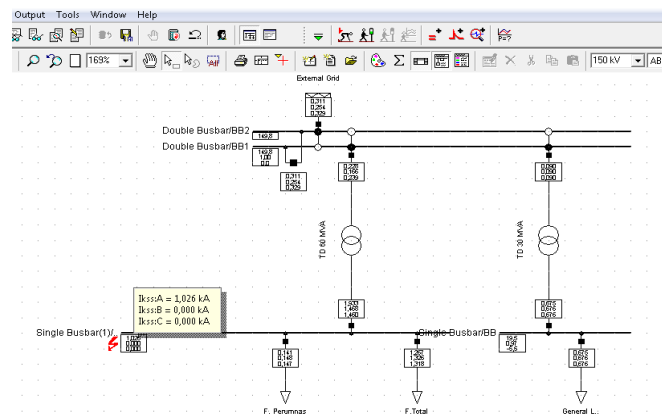
$$= \frac{34641.016}{\sqrt{30.382 + 1135.757}} = \frac{34641.016}{34.14}$$

$$= 1014.67 \text{ A}$$

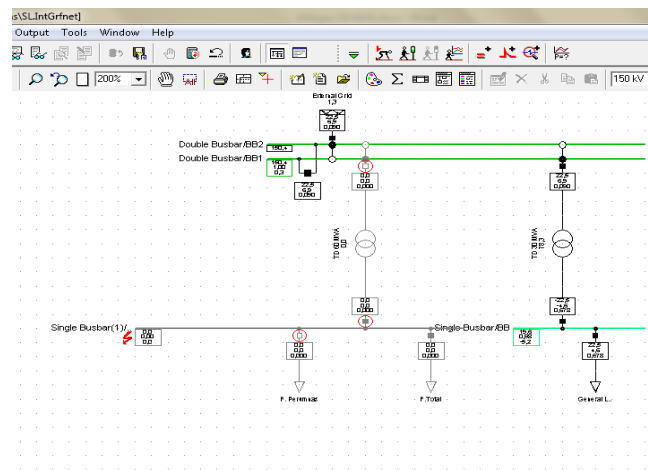
Tabel 5 Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Berdasarkan Lokasi Gangguan

	Lokasi Gangguan			
	25%	50%	75%	100%
$Z_1$ ( $\Omega$ )	0.336+j0.789	0.672+j1.579	1.008+j2.368	1.334+j3.158
$Z_0$ ( $\Omega$ )	0.706+j4.0082	1.412+j8.0165	2.118+j12.025	2.824+j16.033
$Z_{eq1}$ ( $\Omega$ )	0.336+j2.065	0.672+j2.855	1.008+j3.645	1.334+j4.434
$Z_{eq0}$ ( $\Omega$ )	0.706+j12.8082	1.412+j16.815	2.118+j20.825	2.824+j24.833
$I_{\text{fasa}}$ (A)	2038.9	1526.71	1219.06	1014.67

Berikut ini adalah hasil simulasi gangguan hubung singkat dengan menggunakan DigSILENT Powerfactory 15.1.7



Gambar 3 Simulasi Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah



Gambar 4 Saat Rele Bekerja dan PMT "open"

Gambar 4.1 menunjukkan besarnya arus gangguan satu fasa ke tanah adalah 1.026 kA atau 1026 A, dibandingkan dengan hasil perhitungan secara manual sebesar 1014.67 A. Perhitungan manual dan simulasi Digsilent memiliki selisih yang sedikit berbeda karena tidak diketahui secara pasti letak gangguannya, namun dapat diketahui bahwa gangguannya, namun dapat diketahui bahwa gangguan berada disekitar 75% hingga 100% dari panjang penghantar. Secara teori, jika lokasi gangguan semakin jauh dari sumber, maka impedansi gangguan semakin besar dan arus gangguan yang sampai di sisi peralatan semakin kecil. Pada kasus dalam simulasi ini arus gangguan sangat besar hingga PMT 150 kV dan 20 kV "open" seperti gambar 4.2. Padahal jika di tinjau letak gangguan berasal dari jaringan distribusi penyulang Perumnas,

namun karena rele REF ikut bekerja sehingga PMT 150 kV ikut membaca arus gangguan padahal gangguan tidak berasal dari internal trafo.

#### IV.4 Mitigasi Gangguan Transformator

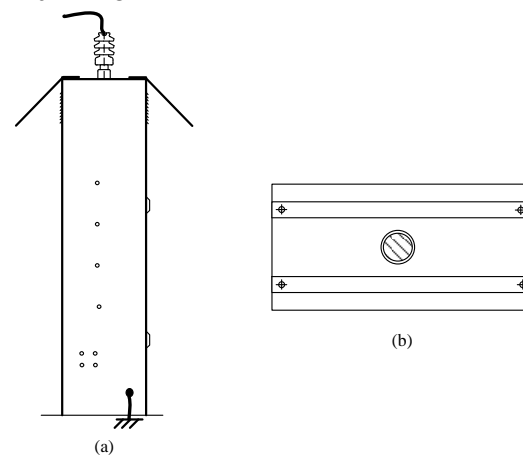
Penyebab trafo tenaga dan beberapa penyulang ikut trip yakni gagalnya NGR memperkecil arus gangguan fasa ke tanah sehingga semua penyulang yang disuplai dari trafo 60 MVA ikut trip begitupun dengan trafonya, hal ini dibuktikan dengan adanya bekas *flashover* dan air pada NGR trafo 60 MVA. Padahal NGR memiliki batas maksimal melewati arus sesuai spesifikasinya yaitu maksimal 300 A, namun karena adanya kejadian kemasukan air yang bersamaan dengan gangguan satu fasa ke tanah pada penyulang Perumnas menyebabkan NGR melewati arus hingga 1014,67 A berdasarkan hasil perhitungan, hal inilah yang menyebabkan transformator 60 MVA ikut trip karena rele REF membaca adanya gangguan dan memerintahkan PMT untuk melepas beban. Seperti penjelasan di perhitungan arus hubung singkat dan spesifikasi rele REF batas maksimumnya adalah 240 A sehingga REF trip dan mengamankan trafo. Padahal REF tidak seharusnya bekerja karena hal ini bukan merupakan gangguan internal trafo.

Ketika gangguan terjadi, awalnya PMT 20 kV pada penyulang Perumnas trip tapi karena besarnya arus gangguan, arus tersebut juga mengalir pada sisi incoming sehingga incoming trip dan seluruh penyulang ikut trip. Namun, besarnya arus gangguan fasa ke tanah ini juga menyebabkan PMT pada sisi 20 kV dan 150 kV pada trafo 60 MVA ikut melepas beban. Sehingga terjadi hilang tegangan pada trafo tenaga 60 MVA GI Panakkukang.

Beberapa upaya mitigasi yang dilakukan antara lain adalah menghubungi pihak UPB (Unit Pengatur Beban) dan DCC (*Distribution Control Center*) untuk perbaikan dalam hal ini statusnya *emergency* serta izin *manuver* beban agar penyulang 20 kV yang tidak gangguan bisa beroperasi lagi.

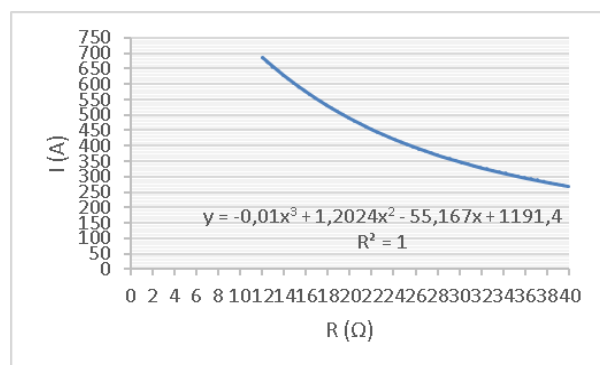
- Sebelum pekerjaan dimulai memastikan menggunakan APD (Alat Pelindung Diri) dan memasang grounding peralatan.
- Melepaskan sambungan terminal NGR dengan sisi sekunder trafo, kemudian membuka penutup NGR

- Membersihkan bekas *flashover* pada bagian – bagian NGR dengan amplas dan majun serta mengukur nilai NGR untuk mengetahui masih bisa digunakan atau harus diganti.
- Memberikan cat isolasi agar tidak mudah terjadi *flashover* dan gangguan hubung singkat lagi.
- Memberikan penutup atau atap pada bagian atas konstruksi NGR pada sisi yang terdapat celah misalnya atap yang terbuat dari seng, selain harganya murah, juga lebih mudah dibengkokkan agar NGR tidak kemasukan air lagi saat terjadi cuaca buruk sehingga tidak terjadi kehilangan beban lagi pada trafo tenaga ketika terjadi gangguan eksternal yang merugikan. Seperti yang terlihat pada gambar 4.3 di bawah ini yang merupakan salah satu solusi agar kejadian NGR kemasukan air tidak terjadi lagi.



Gambar 5 Kontruksi NGR dengan atap (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas

Secara teori, Untuk NGR dengan tahanan rendah 40 ohm hanya bisa melewati arus maksimal sebesar 300 A, apabila melebihi dari arus tersebut berarti kemungkinan terjadi masalah pada NGR atau nilai tahanannya sudah tidak sesuai lagi.



Gambar 6 Grafik Hubungan Tahanan NGR dan Arus Hubung Singkat Fasa Tanah



Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin kecil arus gangguan maka semakin besar nilai tahanan, hanya saja jenis nilai tahanan NGR yang digunakan PLN hanya 3 yaitu 500  $\Omega$ , 40  $\Omega$  dan 12  $\Omega$ . Persamaan  $y = -0,01x^3 + 1,2024x^2 - 55,167x + 1191,4$  merupakan fungsi dari grafik di atas. Namun, berdasarkan grafik di atas juga diketahui bahwa tahanan 40  $\Omega$  telah mampu mengontrol besarnya arus yang mengalir ketika terjadi gangguan.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan penyebab terjadinya gangguan transformator 60 MVA GI Panakkukang adalah karena adanya gangguan pada penyulang Perumnas yang bersamaan dengan terjadinya *flashover* pada NGR karena kemasukan air sehingga arus hubung singkatnya sangat besar. Hubung singkat pada penyulang Perumnas termasuk salah satu faktor penyebab gangguan pada trafo, karena nilai yang didapat dari hasil perhitungan sebesar 1014.67 A dan simulasi DigSILENT sebesar 1026 A, Berdasarkan simulasi dari DigSILENT juga diketahui bahwa besarnya nilai dari NGR memberikan pengaruh kepada besarnya arus hubung singkat pada peralatan. Semakin besar nilai NGR maka semakin kecil pula besarnya arus hubung singkat peralatan begitupun sebaliknya.

Adapun solusi mitigasi gangguan transformator 60 MVA GI Panakkukang yaitu dengan membersihkan bekas *flashover* pada bodi NGR dan memberi cat isolasi serta memberikan atap pada bagian atas NGR agar terlindung dari cuaca buruk dan kemasukan air lagi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, PT PLN (Persero) Unit Transmisi dan Gardu Induk Panakkukang yang telah membantu dalam pengumpulan data dan pembelajaran serta teman – teman 3B D3 Listrik 2014.

## REFERENSI

- [1] <https://brainly.co.id/tugas/5670970>. Diakses 14 April 2017.
- [2] PT PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Primer GI Kepdir 0520-2.K.Dir.2014*.
- [3] Fatunisa K, Arum dkk. 2013. Dalam Laporan OJT. *Modifikasi Sistem Pentanahan Tahanan Rendah pada Transformator Tenaga untuk Mengurangi Lama Padam*.
- [4] PT PLN (Persero) P3B. 2005. *Buku Pelatihan O&M Rele Proteksi Penghantar*.
- [5] Kamal, A.Rahmi Wahyuni dan Siti Mustabsyirah Dahlan. 2016. Tugas Akhir: *Analisis Penyebab Terjadinya Ledakan di PMT Penyulang Takalar 20 Kv GI Sungguminasa*.
- [6] Badan Standarisasi Nasional. *PUIL 2000*.
- [7] Yulistiawan, dkk. 2012. “Analisis Penggunaan Gas SF6 Pada Pemutus Tenaga (PMT) Di Gardu Induk Cigereleng Bandung”. Dalam Jurnal *Upi Edu*, XI (2): 81 – 93.
- [8] Wahyudi, dkk. 2008. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: APEI.