

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN DAN HARMONISA TERHADAP ARUS NETRAL PADA TRAF0 DISTRIBUSI 8 KAPASITAS 500 KVA DI PPSDM MIGAS CEPU

Riki Khomarudin¹, Lukman Subekti²,

Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada^{1,2}
riki.khomarudin@mail.ugm.ac.id¹, lukmans@ugm.ac.id²

Abstract – The distribution transformer 8 at the Cepu Oil and Gas Human Resources Development Center has a capacity of 500 kVA with load connected to the boiler and refinery, where the majority of the load is inductive with 1-phase and 3-phase electric motors. load capacity is not the same and operation is not simultaneously indicated that there is an unbalanced load in the line, which can cause a current on the neutral side of the line. Inductive loads supplied, it can also cause a harmonic effect because these loads are non-linear. This study aims to determine the value of the current in the neutral channel and the harmonic content contained in the distribution system due to the installed system usage and load. The case study carried out is using the measurement method using Tang Ampere and Fluke 435, and analysis using vector addition for the calculation of the sum of Neutral Currents in the Distribution Transformer. The results of measurement and analysis of the calculation of the vector addition obtained that the current on the neutral channel side, and the value of the harmonic content on the distribution channel still meets the IEEE 519-2014 standards.

Keywords : Harmonics, neutral currents, THD currents, Unbalanced loads.

Intisari – Trafo distribusi 8 di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan gas Cepu memiliki kapasitas 500 kVA dengan terhubung beban ke boiler dan kilang, dimana mayoritas beban bersifat induktif dengan motor listrik 1 fasa dan 3 fasa. Kapasitas beban yang tidak sama dan pengoperasian yang tidak bersamaan diindikasikan adanya beban yang tidak seimbang didalam saluran, sehingga dapat menimbulkan arus di sisi saluran netral. Beban-beban induktif yang di suplai juga dapat menimbulkan pengaruh harmonisa akibat beban-beban tersebut non linier. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar nilai arus pada saluran netral dan kandungan harmonisa yang terdapat pada sistem distribusi akibat sistem penggunaan dan beban yang terpasang. Studi kasus yang dilakukan yakni menggunakan metode pengukuran menggunakan Tang Ampere, dan Fluke 435, serta analisis menggunakan penjumlahan vektor untuk perhitungan penjumlahan Arus Netral pada Trafo Distribusi. Hasil pengukuran dan analisis perhitungan penjumlahan vektor didapat arus disisi saluran netral, serta nilai kandungan harmonisa pada saluran Distribusi masih memenuhi standar IEEE 519-2014.

Kata kunci : Harmonisa, arus netral, THD arus, Ketidakseimbangan Beban.

I. PENDAHULUAN

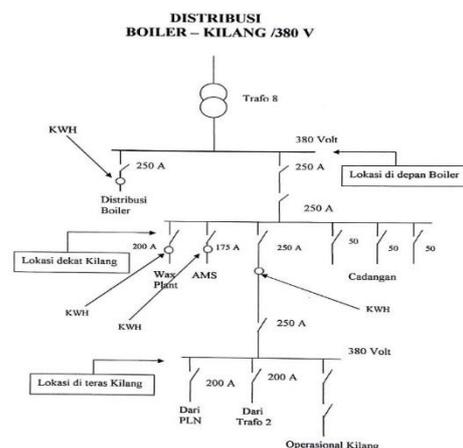
Sistem Distribusi Tenaga Listrik di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM MIGAS) digunakan untuk menyuplai listrik di bagian utilitas, Boiler, dan Kilang pengolahan minyak. Banyak beban – beban non linier seperti Mesin-Mesin Listrik, *Variable Speed Drive* (VSD), Kompresor, dan Lampu Penerangan. Menurut[9] bahwa ketidakseimbangan beban dapat menyebabkan arus di sisi netral berdasarkan metode perhitungan penjumlahan vektor. Dari analisis tersebut dilakukan pengukuran pada sisi sekunder keluaran trafo distribusi menggunakan Tang Ampere sebagai hipotesis pertama dilakukan.

Penelitian[8] bahwa hamonisa gelombang dapat muncul dan disebabkan oleh adanya beban-beban non linier seperti elektronika daya, *variable speed drive, converter*. Sehingga dengan adanya kasus penelitian yang sama karena pembebanannya, maka penelitian ini menggunakan dua indikator. Indikator yang dilakukan pertama yakni dengan pengukuran arus akibat ketidakseimbangan beban dan indikator yang kedua yakni dengan melakukan pengukuran harmonisa dengan menggunakan alat Fluke 435.

II. DASAR TEORI

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi Tenaga Listrik dmerupakan sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkitan atau sumber Tegangan Menengah (TM) menuju pusat-pusat pembebanan di masing-masing penyulang[4]. Di PPSDM Migas, tenaga listrik keluaran trafo distribusi 8 digunakan untuk menyuplai kilang dan boiler.



Gambar 1. Single Line Diagram

Sistem distribusi yang digunakan di PPSDM Migas menggunakan sistem distribusi bawah tanah, dengan menggunakan kabel penghantar tipe NYFGBY, dengan diameter kabel 4 x 99 mm² pada masing-masing saluran R, S, T, dan saluran netral untuk penyaluran ke boiler 1, boiler 2, kilang 1 dan kilang 2. Dan kabel diameter 4 x 185 mm² untuk penyaluran ke kilang 3.

2.2 Transformer

Transformer atau Trafo adalah peralatan yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik antar dua rangkaian listrik yaitu disisi primer dan disisi sekunder melalui induksi elektromagnetik. Tujuannya yakni agar tenaga listrik yang digunakan sesuai dengan kebutuhan beban yang digunakan[3].

1. Prinsip kerja Transformer

Prinsip kerja Transformer menggunakan prinsip dari hukum Faraday yang berbunyi bahwa “magnitude dari Electromotive Force(emf) proposional terhadap perubahan fluks terhubung dan hukum Lenz yang menyatakan bahwa arah dari emf berlawanan dengan arah fluks sebagai reaksi perlawanan dari perubahan fluks tersebut” [9]. Sehingga ditemukan persamaan 2.2 berikut:

$$e = -\left(\frac{d\Phi}{dt}\right) \tag{1}$$

Dimana:

- e = emf sesaat (*instantaneous emf*) (V)
- $\frac{d\Phi}{dt}$ = fungsi turunan fluks terhubung (Weber)
- dt = fungsi turunan terhadap waktu (detik)

Pada trafo yang ideal atau (tidak berbeban) dengan dialiri dengan sumber sinusoidal berlaku persamaan 2 berikut:

$$E = 4.44 \times \Phi_m \times N \times f \tag{2}$$

- E = Tegangan (V)
- N = Jumlah lilitan trafo (N)
- Φ_m = Fluks puncak (Peak flux)
- f = Frekuensi (Hz)

2.3 Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan beban antar saluran pada trafo distribusi dapat diketahui besarnya, menurut [9] dirumuskan seperti persamaan 2.11 berikut:

$$\% \text{Ketidakseimbangan} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \tag{3}$$

a,b,c = koefisien yang didapatkan dari persamaan 4

Apabila arus[I] adalah besaran arus dalam fasa R, fasa S, dan fasa T dalam saluran daya nyata (P) saat keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dalam keadaan yang tidak seimbang besarnya arus fasa R, fasa S, dan fasa T dapat dinyatakan dengan koefisien a, b, dan c seperti persamaan 4 berikut :

$$\begin{aligned} [I_R] &= a \times [I] \\ [I_S] &= b \times [I] \\ [I_T] &= c \times [I] \end{aligned} \tag{4}$$

Dengan,

- I_R = Arus sisi Fasa R (A)
- I_S = Arus sisi Fasa S (A)
- I_T = Arus sisi Fasa T (A)
- a,b,c : Koefisien ketidakseimbangan

2.4 Harmonisa

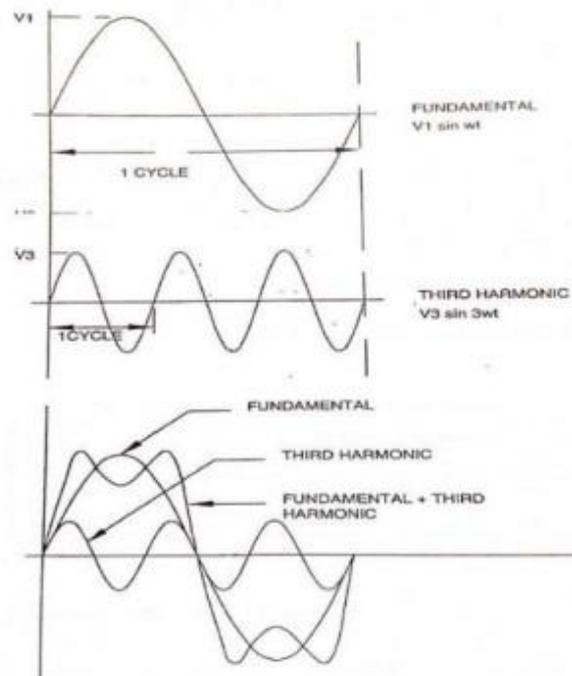
Harmonisa adalah gangguan gelombang sinus di sistem tenaga listrik yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi atau penyimpangan gelombang arus dan tegangan ini dapat disebabkan oleh beban-beban *non linier* seperti Inverter, *Uninterruptible Power Supply* (UPS), motor, kompresor dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamentalnya.

Harmonisa yang mendistorsi atau menimpa gelombang sinus fundamental dapat terdiri dari beberapa komponen harmonisa utama, yaitu misalnya harmonisa ke-1, harmonisa ke-2, harmonisa ke-3, dan seterusnya. Harmonisa ke-3 artinya harmonisa yang mempunyai frekuensi tiga kali dari frekuensi fundamentalnya. Jadi, bila frekuensi fundamental sistem 50Hz, maka harmonisa ke-3 mempunyai frekuensi sebesar 150 Hz atau dapat dituliskan dengan persamaan 5.

$$h = n \times 50 \text{ Hz} \tag{5}$$

h = harmonisa gelombang (%)

n = jumlah gelombang harmonik



Gambar 2. Gelombang Fundamental, Harmonik ke-3 & Penjumlahan gelombang

1. THD Arus

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan rasio dari nilai rms total komponen harmonisa dan nilai rms dari komponen dasar yang dinyatakan dalam bentuk persen(%). Individual Harmonic Distortion (IHD) adalah rasio antara nilai rms individu dari komponen harmonisa dan nilai arus ataupun tegangan rms dari fundamental sistem[8]. Total Harmonic Distortion (THD) dapat dihitung dari penjumlahan nilai Individual Harmonic Distortion (IHD) secara terukur seperti pada persamaan 6[2]:

$$\% \text{IHD}_i = \frac{\sqrt{I_{h^2}}}{I_1} \tag{6}$$

Dimana,

%IHD = Persentase nilai individual Harmonic Distortion (IHD) secara terukur (%)

$\sqrt{Ih^2}$ = nilai arus akibat dari harmonisa (A)

I_1 = nilai arus terukur masing-masing saluran (A)

2.5 Arus netral akibat beban tidak seimbang

Sebelum menghitung timbulnya arus netral pada trafo, hal utama yang harus kita dapatkan yaitu parameter-parameternya. Seperti arus pada masing-masing fasa R, S, T, dan faktor daya ($\cos \phi$). Dengan besaran magnitude sudut antar fasa menggunakan nilai faktor dayanya. Sehingga didapatkan arus magnitude masing-masing saluran fasa dengan memiliki arah vektor. Bisa dihitung menggunakan persamaan 7, persamaan 8, persamaan 9:

$$\begin{aligned} \vec{I}_R &= I_R \angle (0^\circ + \cos^{-1} \phi) \\ &= I_R \cos(0^\circ + \cos^{-1} \phi) + I_R \sin(0^\circ + \cos^{-1} \phi) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \vec{I}_S &= I_S \angle (120^\circ + \cos^{-1} \phi) \\ &= I_S \cos(120^\circ + \cos^{-1} \phi) + I_S \sin(120^\circ + \cos^{-1} \phi) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \vec{I}_T &= I_T \angle (240^\circ + \cos^{-1} \phi) \\ &= I_T \cos(240^\circ + \cos^{-1} \phi) + I_T \sin(240^\circ + \cos^{-1} \phi) \end{aligned} \quad (9)$$

Dimana,

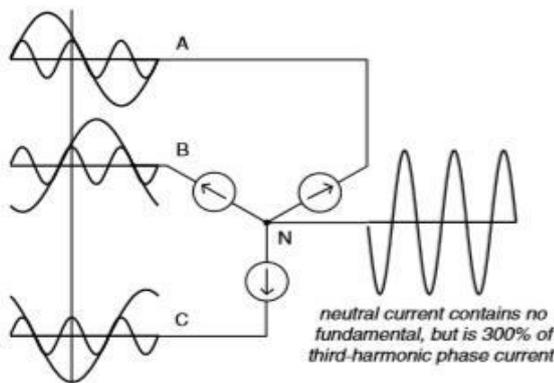
\vec{I}_R = Arus terukur pada fasa R (A)

\vec{I}_S = Arus terukur pada fasa S(A)

\vec{I}_T = Arus terukur pada fasa T (A)

2.6 Arus netral akibat harmonisa

Berdasarkan penjelasan Dugan(2003) triplen harmonik adalah gelombang harmonisa dengan kelipatan ganjil dimulai dengan harmonik ketiga ($h = 3, 9, 15, 21, \dots$). Pada sistem 3 fasa 4 kawat seimbang (Gambar 3), arus urutan nol dan arus triplen harmonik akan tetap ada dan mengalir melalui kawat netral.



Gambar 3. Arus Netral akibat harmonisa

Sehingga dengan adanya kandungan harmonisa, dapat memiliki dampak sendiri pada *Transformer* yakni adanya arus netral. Menurut[8] besarnya arus netral yang ditimbulkan akibat adanya kandungan harmonisa dapat dihitung dengan persamaan 10 dan persamaan 11.

$$THD \text{ arus urutan nol fasa} = (IHD_3^2 + IHD_9^2 + IHD_{15}^2)^2 \quad (10)$$

Dimana,

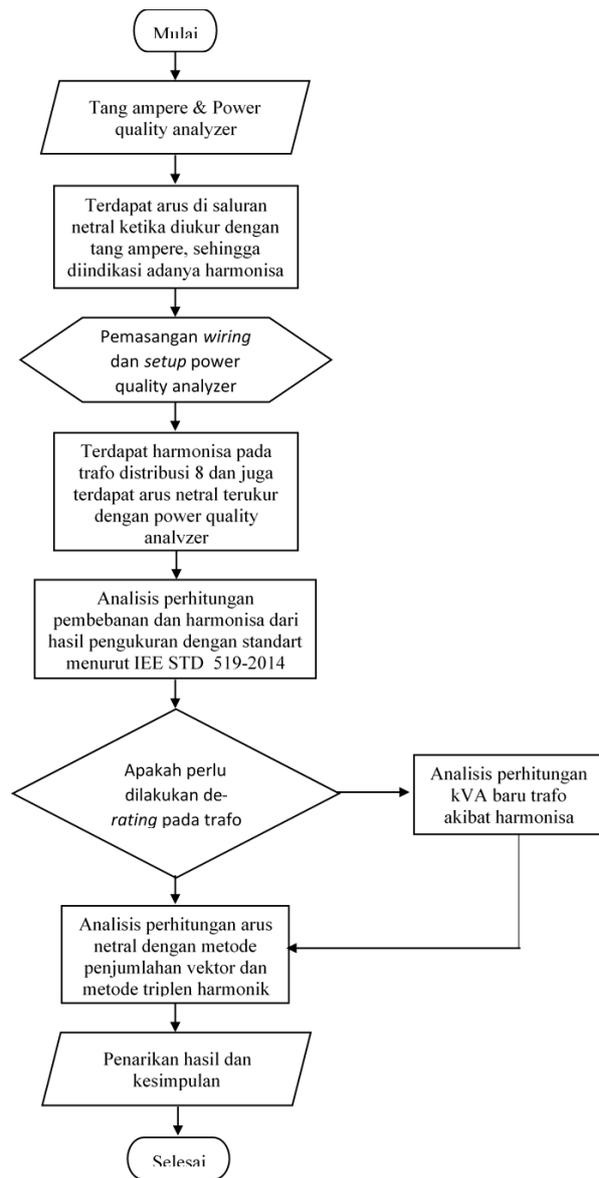
$$I_{urutan_nolR} = THD_{urutan_nol} \times I_R \quad (11)$$

Dengan,

IHD_3 = Individual Harmonics Distortion orde urutan ke-3 (%)

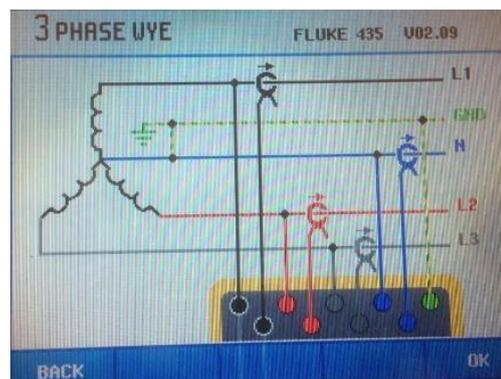
I_R = Arus pada sisi saluran R

III. METODOLOGI



Gambar 4. Alur studi kasus

Dalam pengumpulan dan pencarian data dalam studi kasus ini menggunakan alat ukur Tang Ampere dan Fluke tipe 435(Power Quality Analyzer). Dalam sistem pengkoneksian untuk fluke tipe 435 seperti pada Gambar 5 berikut,



Gambar 5. Wiring Fluke 435

IV. PEMBAHASAN

4.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

| |
|---|
| No: 1 |
| Nama Penulis : Julius Sentosa Setiadji , Tabrani Machmudsyah , Yanuar Isnanto |
| Judul : Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi |
| Hasil Penelitian : Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Setelah dianalisa, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar (28,67%), maka arus netral yang muncul juga besar (118,6A), dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula (8.62%). |
| No : 2 |
| Nama Penulis : Julius Sentosa Setiadji , Tabrani Machmudsyah , Yohanes Cipta Wijaya |
| Judul : Pengaruh Harmonisa Pada Gardu Trafo Tiang Daya 100 kVA di PLN APJ Surabaya Selatan |
| Hasil : Dengan kemajuan teknologi informasi maka komputer dan printer semakin banyak digunakan di rumah tinggal. Di sisi lain, krisis energi menjadi pemicu meningkatnya penggunaan Lampu Hemat Energi (LHE). Komputer, printer & LHE merupakan beban non linier yang menjadi penyebab munculnya harmonisa yang dapat mengganggu sistem distribusi listrik termasuk Trafo Tiang (TT). Dengan melakukan pengukuran di TT maka dapat diketahui bahwa pada TT timbul arus harmonisa yang dapat meningkatkan rugi-rugi pada TT. Setelah dianalisa, diperoleh bahwa semakin besar pembebanan pada TT (83,14%) maka rugi-rugi beban akan semakin besar (6%) dan THD (Total Harmonic Distortion) arus akan naik (18,3%) & melebihi standard THD (8%) |

4.2 Data Trafo

Sebagai hipotesis data karena adanya arus di sisi saluran netral, maka dilakukan pengukuran pertama adanya arus di saluran netral dengan menggunakan alat ukur tang amper. Didapatkan hasil pengukuran arus di masing-masing saluran fasa dan saluran netral seperti tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengukuran

| Arus saluran | Ir(A) | Is(A) | It(A) | In(A) |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Nilai | 192.8 | 121.8 | 199.1 | 12.0 |

Arus terukur yang digunakan untuk analisis mengacu sesuai dengan data Inominal pada tabel 1. Inominal merupakan besar nilai arus yang terukur dengan alat ukur.

Data Trafo

$$S = 500 \text{ kVA}$$

$$V = 380 \text{ VAC (line to line)}$$

$$I_{FL} = \frac{500000}{\sqrt{3} \times 380}$$

$$= 759.67A$$

Tabel 2 Arus Pembebanan Fasa

| Fasa | Inominal(A) | I _{FL} (A) | %Pembebanan |
|------|-------------|---------------------|-------------|
| R | 346 | 759,67 | 46% |
| S | 306 | 759,67 | 40.3% |
| T | 318 | 759,67 | 42% |

4.3 Persentase ketidakseimbangan

Dari hasil perhitungan rumus 3 didapatkan tabel hasil ketidakseimbangan,

Tabel 3 hasil ketidakseimbangan

| Irata-rata(A) | a | b | c | %Ketidakseimbangan |
|---------------|------|------|------|--------------------|
| 323.33 | 1.07 | 0.95 | 0.98 | 4.6% |

4.4 Kandungan harmonisa dalam saluran

Kandungan harmonisa didapat nilai %IHF dari alat Power Quality Analyzer tipe Fluke 435.

Tabel 4 Nilai arus harmonisa

| Urutan fasa | Harmo nik ke- | IHD(%) | Ih(A) | Urutan |
|----------------------|---------------|--------|-------|---------|
| R | 3 | 1.7 | 5.9 | Nol |
| | 5 | 2.6 | 9 | Negatif |
| | 7 | 1.0 | 3.46 | Positif |
| | 9 | 0.2 | 0.7 | Nol |
| | 11 | 0.5 | 1.73 | Negatif |
| S | 13 | 0.2 | 0.7 | Positif |
| | 15 | 0.1 | 0.35 | Nol |
| | 3 | 1.6 | 4.9 | Nol |
| | 5 | 2.2 | 6.73 | Negatif |
| | 7 | 1.2 | 3.7 | Positif |
| T | 9 | 0.3 | 0.92 | Nol |
| | 11 | 0.7 | 2.14 | Negatif |
| | 13 | 0.2 | 0.6 | Positif |
| | 15 | 0.1 | 0.3 | Nol |
| | 3 | 1.0 | 3.2 | Nol |
| Netral | 5 | 2.5 | 8.0 | Negatif |
| | 7 | 1.2 | 3.82 | Positif |
| | 9 | 0.1 | 0.32 | Nol |
| | 11 | 0.5 | 1.6 | Negatif |
| | 13 | 0.2 | 0.64 | Positif |
| I _N = 14A | 15 | 0.1 | 0.03 | Nol |
| | 3 | 18.5 | 2.6 | Nol |
| | 5 | 7.0 | 0.98 | Negatif |
| THD%f | 7 | 2.5 | 0.35 | Positif |
| | 9 | 5.3 | 0.74 | Nol |

| | | | | |
|-------|----|-----|------|---------|
| =29.0 | 11 | 3.7 | 0.52 | Negatif |
| | 13 | 2.1 | 0.29 | Positif |
| | 15 | 2.6 | 0.36 | Nol |

4.5 Timbunya Harmonisa terhadap Arus Netral

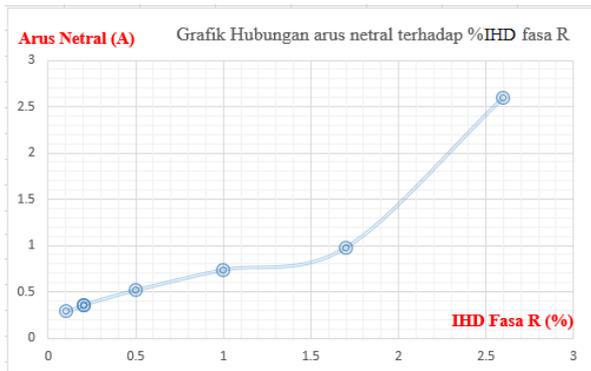
Pengaruh harmonisa juga dapat menghasilkan arus di sisi saluran netral, hal ini karena pengaruh dari teori triplen harmonik. Triplen harmonik ini terjadi pada sistem hubungan bintang di trafo dengan sistem 3 fasa dan 4 kawat penyaluran. Dalam triplen harmonik ini terjadi pada orde kelipatan nol. THD arus urutan nol seperti persamaan 6.

$$\begin{aligned}
 \text{THD arus urutan nol fasa R} &= (IHD_3^2 + IHD_9^2 + IHD_{15}^2)^{1/2} \\
 &= (1.7^2 + 0.2^2 + 0.1^2)^{1/2} \\
 &= 5.92A
 \end{aligned}$$

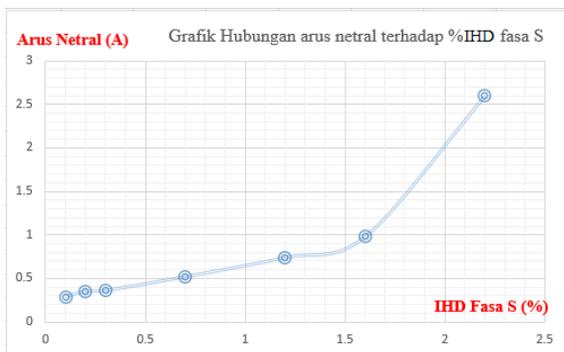
Dari tabel 5 dibawah diketahui bahwa nilai arus netral saling menjumlahkan di orde nol nilai harmonisa. Nilai IHDi urutan nol didapatkan dengan menggunakan persamaan 6 diatas.

Tabel 5 Arus Netral Akibat Harmonisa

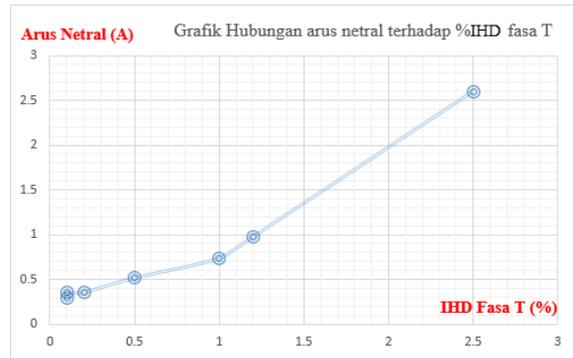
| Fasa | Iurutan_nol A | THDi urutan nol (%) |
|--------|---------------|---------------------|
| R | 5.92 | 1.71 |
| S | 5.98 | 1.63 |
| T | 3.2 | 1.01 |
| Netral | 15.1 | 4.35 |



Gambar 6. Pengaruh harmonisa fasa R terhadap arus netral



Gambar 7. Pengaruh harmonisa fasa S terhadap arus netral



Gambar 8. Pengaruh harmonisa fasa T terhadap arus netral

4.6 Pengaruh beban tidak seimbang terhadap arus netral

Perhitungan besarnya arus pada saluran netral merupakan penjumlahan akibat adanya beban yang tidak seimbang. Besarnya nilai ketidakseimbangan dari analisis diatas sebesar 4.6%.

Dari adanya arus netral tersebut dapat menyebabkan rugi-rugi saluran penghantar. Rugi-rugi inilah yang menyebabkan terjadinya panas di saluran penghantar, terutama di penghantar sisi netral.

$$I_R = 346A$$

$$I_S = 306A$$

$$I_T = 318A$$

$$\text{Cos } \phi = 0.86 \text{ (terukur)}$$

$$\phi^0 = 30.86^0$$

Sehingga dari nilai faktor daya (Cos $\phi = 0.86$ (terukur)) diperoleh besar sudut 30.86^0 .

Untuk mencari arus sisi netral akibat ketidakseimbangan beban digunakan persamaan 7, persamaan 8 dan persamaan 9 berikut,

$$\begin{aligned}
 \vec{I}_R &= 346 \angle (0 + \phi)^0 \\
 &= 346 + \cos 30.68 + (j346 \sin 30.68^0) \\
 &= 297.6 + (j176.5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \vec{I}_S &= 306 \angle (120 + 30.68)^0 \\
 &= 346 + \cos(150.68) + (j306 \sin 150.68^0) \\
 &= -266.8 + (j149.8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \vec{I}_T &= 318 \angle (240 + 30.68)^0 \\
 &= 318 + \cos 270.68^0 + (j318 \sin 270.68^0) \\
 &= 3.77 + (-j317.98)
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk menghitung arus netral dengan menjumlahkan dari ketiga arus masing-masing saluran penghantar dari hasil perhitungan dengan penjumlahan vektor, didapatkan :

$$\begin{aligned}
 \vec{I}_n &= \vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T \\
 &= 297.6 + (j176.5) + (-266.8 + (149.8)) + 3.77 + (-j317.98) \\
 &= 34.57 + j8.32 \\
 &= 35.6 \angle 13.5^0 \\
 &= 36 A
 \end{aligned}$$

Jadi memang terdapat arus disisi netral akibat dari beban yang tidak seimbang.

V. KESIMPULAN

1. Nilai pembebanan arus fasa R adalah 192,8A, fasa S adalah 121,8A, dan fasa T adalah 199,1A dengan nilai terukur di saluran Netral sebesar 12,0A.
2. Prosentase pembebanan trafo saluran terdiri-dari fasa R sebesar 46%, saluran fasa S sebesar 40.3 %, saluran fasa T sebesar 42 %. Dengan nilai ketidakseimbangan pembebanan didapatkan hasil perhitungan sebesar 4.6 %.
3. Pada harmonisa tegangan didapatkan nilai THDv fasa R sebesar 1.7%, fasa S sebesar 1.5%, dan fasa T sebesar 1.6%. Dengan tegangan kerja pengukuran dibawah 1 kV dengan batas harmonisa 8.0 %, maka harmonisa tegangan masih memenuhi standart.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cheng,John. (1996). IEEE Standart 519-2014 (Compliances, Updates, Solutions, and Case Studies). Schneider Electric : Halaman 26 dan Halaman 28
- [2] F.Abidin,Janny. (2013). Evaluasi Nilai Total Harmonic Distortion (THD) pada Transformator di Jaringan Distribusi (studi di Feeder GJN 6 GI Gejayan). Seminar Nasional Ke-8.Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta.
- [3] JR Stevenson, D William, diterjemahkan oleh : Idris,Kamal Ir.(1984). *Analisis*
- [4] *Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta Pusat : Erlangga
- [5] Kabelindo,Datasheet. (2010). *Kabelindo NYFGBY Datasheet*. PT Kabelindo Murni Tbk.
- [6] McGraw-Hill.Copyrighted Material By : Dugan, Roger D.McGranaghan,Mark F. Santosa.Surya, Beaty.H. Wayne. (2004). *Electrical Power System Quality*.Downloaded from Digital Engineering Library
- [7] Setiadji, Julius Sentosa; Machmudsyah, Tabrani; Cipta Wijaya, Yohanes. 2006. *Pengaruh Harmonisa Pada Gardu Trafo Tiang Daya 100 kVA di PLN APJ Surabaya Selatan*. Universitas Kristen Petra.
- [8] Setiadji, Julius Sentosa; Machmudsyah, Tabrani; Isnanto, Yanuar. (2006). *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi*. Universitas Kristen Petra.
- [9] *Repository unila*, <http://digilib.unila.ac.id/5705/14/BAB%20II.pdf>, diakses tanggal 23 April 2018