

## PENYEIMBANG BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 630 KVA DENGAN SIMULASI POSISI FASA

<sup>1)</sup>Irwan, <sup>2)</sup>Abdul Multi<sup>2</sup>

<sup>1)2)</sup>Program Studi Teknik Elektro, ISTN,  
Jl.PLN Duren Tiga Pasar Minggu Jakarta 12760

\*Email : [Irwanfisabilillah@gmail.com](mailto:Irwanfisabilillah@gmail.com)

### ABSTRAK

Pada sistem fasa tiga, ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi sering terjadi. hal ini terjadi karena pemakaian beban listrik yang tidak sama pada tiap jurusan transformator. Akibat yang ditimbulkannya adalah arus netral menjadi besar, panas pada belitan sekunder transformator dan losses yang tinggi. Penyeimbangan beban dapat dilakukan dengan cara yang paling mudah, yaitu dengan menukar posisi fasa pada tiap-tiap jurusan beban transformator. Penukaran tersebut dilakukan pada Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR). Jika jurusan beban pada transformator jumlahnya banyak dan penukaran fasa tersebut dilakukan secara manual, maka akan menemui kesulitan. Banyaknya kombinasi penukaran fasa tiap jurusan beban transformator akan memakan waktu yang lama dan perlu tenaga kerja yang banyak. Kombinasi penukaran fasa ini dilakukan agar didapatkan total arus netral transformator yang paling kecil. Kesulitan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan software simulasi penyeimbang beban. Dengan menggunakan software ini pada transformator distribusi MDK 630 kVA di penyulang Metro dengan 6 jurusan beban, maka setelah diseimbangkan dihasilkan arus netral sebesar 8,54 Amper dimana pada kondisi sebelum diseimbangkan diperoleh 106,55 Amper.

**Kata kunci :** Ketidakseimbangan beban, Arus netral, Penukaran fasa

### ABSTRACT

*In a three phase system, the load unbalance in distribution transformers often occur, this happens because the use of unequal electrical load on each transformer direction. The result is a neutral current becomes large, heat on the secondary winding of transformers and high losses. The load balancing can be done in the easiest way, by switching the phase positions of each transformer load direction. The exchange is done on the Switch Panel for Low Voltage (SPLV). If the direction load on the transformer and the number of exchanges phase is done manually, it will find difficulty. If there are so many directions of load on the transformer and swicthing of phases is done manually, it will found difficulties. The many combinations of phase exchanges for each of the transformer load directions will take a long time and need a lot of workforce. This phase exchange combination is performed in order to obtain the smallest current of the neutral transformer. The difficulties can be solved by using load balancing simulation software. By using this software on the distribution transformer MDK 630 kVA in Metro feeder with 6 directions load, then after the balancing process, the neutral current obtained is 8.54 Ampere where the condition before the balancing obtained is 106.55 Ampere.*

**Keywords :** Load unbalance, Neutral current, Phase exchange

### PENDAHULUAN

Saat ini tenaga listrik adalah kebutuhan yang utama, baik untuk kebutuhan rumah tangga, industri maupun komersial, hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Pada saat perencanaan pembagian beban pada transformator distribusi, umumnya dirancang seimbang, akan tetapi pada kenyataan yang terjadi pembagian bebannya menjadi tidak seimbang, hal ini karena ketidakserentakan waktu pemakaian beban listrik, maupun karena banyaknya penambahan beban listrik yang tidak memperhatikan ketidakseimbangan beban pada sistem, sehingga mengakibatkan ketidakseimbangan beban pada transformator. Ketidakseimbangan beban yang terjadi pada transformator distribusi fasa 3 ini dapat menimbulkan pembebanan tidak optimal, panas pada belitan sekunder transformator, arus netral menjadi besar, losses yang tinggi dan sebagainya. Bila hal ini terjadi, kerja transformator menjadi tidak handal, yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik.

*Seminar Nasional Riset dan Teknologi, Jakarta 13 Oktober 2018*

Akibat ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi di fasa R, S dan T menyebabkan mengalirnya arus di netral transformator. Arus netral yang mengalir pada penghantar netral transformator ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi). Perhitungan besarnya ketidakseimbangan beban transformator dibutuhkan untuk mengantisipasi terjadinya beban lebih pada transformator akibat penambahan beban listrik yang tidak memperhatikan ketidakseimbangan.

**Perumusan Masalah**

Dalam penelitian ini akan dibahas bagaimana cara menyeimbangkan beban pada transformator distribusi, khususnya untuk transformator distribusi dengan kapasitas besar dengan banyak jurusan beban, dengan cara yang paling mudah, murah dan cepat, sehingga didapatkan total arus netral yang paling kecil, dapat mengurangi *losses*, sehingga menghemat biaya operasional dan dapat memperpanjang umur transformator.

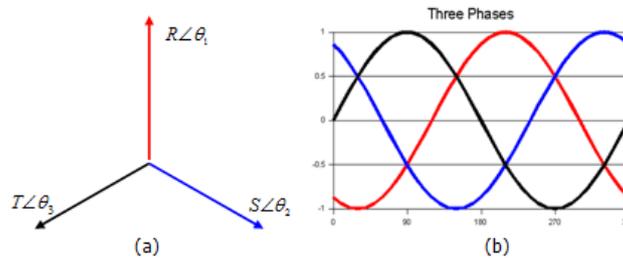
**Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penulisan makalah ini adalah menentukan arus netral yang paling kecil dengan menggunakan software simulasi penyeimbang beban, yaitu software visual studio 2010, yang dilakukan dengan cara menukar posisi fasa pada Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR).

**STUDI LITERATUR**

**Ketidakseimbangan Beban pada Transformator**

Sistem tenaga listrik fasa tiga adalah metode umum yang dipakai untuk menyalurkan tenaga listrik. Daya listrik yang dibangkitkan, ditransmisikan dan didistribusikan semuanya menggunakan sistem yang seimbang. Sistem tegangan seimbang terdiri dari tegangan fasa tunggal yang mempunyai magnitudo dan frekuensi yang sama, dengan mempunyai sudut antar fasa 120°, yang dihubungkan bintang atau delta. Gambar 2 menunjukkan diagram vektor sistem fasa tiga dan bentuk gelombangnya.



Gambar 1

- (a) Diagram vektor sistem fasa tiga
- (b) Bentuk gelombang sistem fasa tiga

Diagram vektor sistem fasa tiga pada gambar 1(a) dalam bentuk *polar*, bentuk persamaan *rectangularnya* adalah sebagai berikut :

$$I_R = I_R \cdot \cos \theta_R + j I_R \cdot \sin \theta_R \tag{1}$$

$$I_S = I_S \cdot \cos \theta_S + j I_S \cdot \sin \theta_S \tag{2}$$

$$I_T = I_T \cdot \cos \theta_T + j I_T \cdot \sin \theta_T \tag{3}$$

Arus netral ( $I_N$ ) merupakan nilai resultan secara vektoris dari arus fasa R ( $I_R$ ), arus fasa S ( $I_S$ ), dan arus fasa T ( $I_T$ ), dirumuskan sebagai berikut :

$$I_N = I_R + I_S + I_T \tag{4}$$

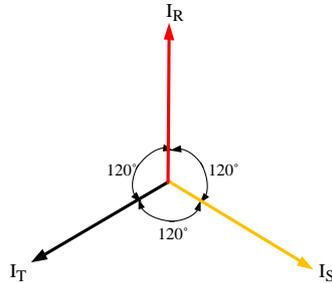
Dengan mensubstitusikan persamaan (1), (2) dan (3) ke dalam persamaan (4), maka diperoleh persamaan arus netral ( $I_N$ ).

$$I_N = ( I_R \cdot \cos \theta_R + I_S \cdot \cos \theta_S + I_T \cdot \cos \theta_T ) + j ( I_R \cdot \sin \theta_R + I_S \cdot \sin \theta_S + I_T \cdot \sin \theta_T ) \tag{5}$$

**Sistem Fasa Tiga Beban Seimbang**

Pada sistem tenaga listrik, umumnya beban listrik didistribusikan secara merata (seimbang) pada masing-masing fasa, yang dimaksud dengan keadaan beban seimbang pada fasa tiga hubungan bintang empat kawat adalah :

- Ketiga vektor arus pada tiap-tiap fasa adalah sama besar.
- Ketiga vektor arus saling membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2 Diagram vektor arus keadaan seimbang

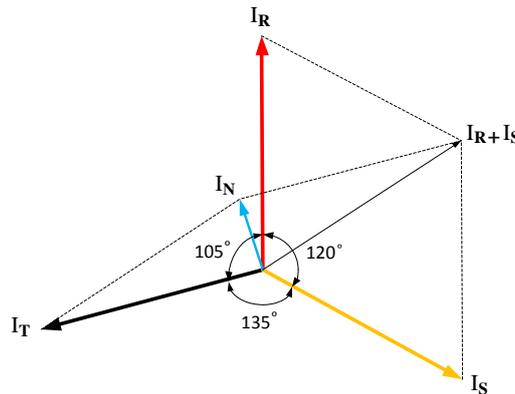
Pada gambar 2 penjumlahan ketiga vektor arus ( $I_R$ ,  $I_S$  dan  $I_T$ ) adalah sama dengan nol, sehingga tidak muncul arus netral ( $I_N$ ).

**Sistem Fasa Tiga Beban tidak Seimbang**

Yang dimaksud dengan keadaan beban tidak seimbang adalah suatu keadaan bila salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi, kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga, yaitu :

- Ketiga vektor arus sama besar, tetapi satu sama lain tidak membentuk sudut 120°.
- Ketiga vektor arus tidak sama besar, tetapi satu sama lain membentuk sudut 120°.
- Ketiga vektor arus tidak sama besar dan satu sama lain tidak membentuk sudut 120°.

Pada gambar 4 diperlihatkan diagram vektor arus keadaan tidak seimbang.



Gambar 3 Diagram vektor arus keadaan tidak seimbang

Pada keadaan beban tidak seimbang, penjumlahan ketiga vektor arus ( $I_R$ ,  $I_S$ ,  $I_T$ ) tidak sama dengan nol, sehingga muncul arus netral ( $I_N$ ),

Dari persamaan (5), bila  $I_R \neq I_S \neq I_T$ , maka  $\bar{I}_N = I_N \angle \delta$  sehingga :

$$\delta = \text{arc tan} \frac{(I_R \sin \theta_R + I_S \sin \theta_S + I_T \sin \theta_T)}{(I_R \cos \theta_R + I_S \cos \theta_S + I_T \cos \theta_T)} \tag{6}$$

$\delta$  : sudut arus netral

**Teknik Penyeimbangan Beban**

Banyak cara untuk melakukan penyeimbangan beban, yaitu :

- Memindahkan Sambungan Rumah (SR), seperti yang dapat dilihat pada gambar 5a.
- Memindahkan fasa pada Aftak Jaringan Tegangan Rendah (AJTR)
- Memindahkan fasa pada Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR) seperti yang dapat dilihat pada gambar 5b



(a)

(b)

Gambar 4

(a) Memindahkan sambungan rumah

(b) Memindahkan fasa pada panel hubung bagi tegangan rendah

### METODOLOGI PENELITIAN

#### Studi Literatur

Metode ini dilakukan dengan cara mencari bahan-bahan acuan yang berhubungan dalam penelitian ini, antara lain dari buku-buku, Pusdiklat PLN, jurnal teknik elektro dan internet.

#### Studi Lapangan

Metode ini dilakukan dengan survei lapangan dan pengambilan data di PT PLN (Persero) Depok, dengan obyek penelitian yaitu transformator distribusi MDK 630 kVA di penyulang Metro. Setelah melakukan survei lapangan, penulis mengolah data yang telah diperoleh dan meminta pengarahan pada tenaga ahli ketenagalistrikan dan dosen pembimbing.

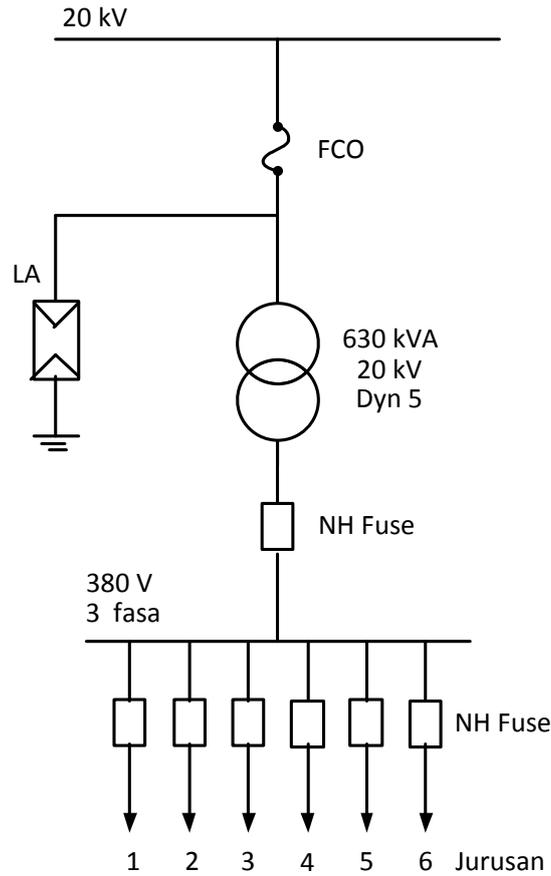
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Transformator distribusi pada penelitian ini adalah Transformator Distribusi 630 kVA di gardu MDK pada penyulang Metro. Adapun spesifikasi dari transformator distribusi tersebut adalah sebagai berikut :

- Merk : SINTRA
- Tipe : Indoor
- Daya pengenal : 630 kVA
- Tegangan pengenal : 20 /0,4 kV
- Arus pengenal : 18,18 / 909,32 A
- Impedansi : 4 %
- Tingkat isolasi dasar : 125 kV
- Jumlah Sadapan : 5
- Kelompok vektor : Dyn5

Transformator Distribusi 630 kVA tersebut terdiri dari 6 jurusan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.

*Seminar Nasional Riset dan Teknologi, Jakarta 13 Oktober 2018*



Gambar 5 Diagram garis tunggal transformator distribusi 630 kVA 6 jurusan Pengukuran beban pada masing-masing fasa dan arus netral ( $I_N$ ) dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Pengukuran beban pada transformator distribusi 630 kVA

JURUSAN TRAFO	FASA			Arus Netral ( $I_N$ ) hasil pengukuran
	$I_R$	$I_S$	$I_T$	
I	96	115	135	52
II	103	138	73	63
III	158	209	116	56
IV	84	149	112	74
V	106	78	99	40
VI	146	68	99	43
<b>TOTAL</b>	<b>693</b>	<b>757</b>	<b>634</b>	

ARUS RERATA 694.67 AMPERE

**Perhitungan Arus Netral dan Sudut Netral pada Transformator Distribusi 630 kVA**

Dari tabel 1, untuk menentukan arus netral dan sudut netral dari hasil perhitungan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (5) dan (6). Dengan menggunakan program Microsoft Excel, arus netral dan sudut netral dari hasil perhitungan untuk arus sefasa terhadap tegangan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Arus netral dan sudut netral dari hasil perhitungan pada arus sefasa terhadap tegangan

JURUSAN TRAFO	FASA DAN SUDUT FASA						Sudut Netral ( $\delta_N$ ) = Arc tan2 (Cos, Sin)	Arus Netral ( $I_N$ ) hasil perhitungan	Arus Netral ( $I_N$ ) hasil pengukuran
	$I_R$	$\theta_R$	$I_S$	$\theta_S$	$I_T$	$\theta_T$			
I	96	90	115	330	135	210	-120.85	33.78	52
II	103	90	138	330	73	210	-2.54	56.35	63
III	158	90	209	330	116	210	-3.20	80.67	56
IV	84	90	149	330	112	210	-55.43	56.47	74
V	106	90	78	330	99	210	136.10	25.24	40
VI	146	90	68	330	99	210	113.25	68.02	43
<b>TOTAL</b>	<b>693</b>	<b>90.0</b>	<b>757</b>	<b>330</b>	<b>634</b>	<b>210</b>	<b>-1.34</b>	<b>106.55</b>	

ARUS RERATA 694.67

**Simulasi Penyeimbangan Beban**

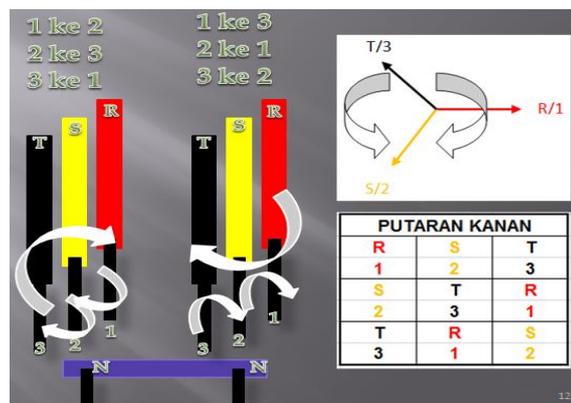
Simulasi penyeimbangan beban yang paling mudah dilakukan adalah dengan menukar posisi fasa yang ada di Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR). Arus netral hasil perhitungan pada arus sefasa terhadap tegangan, dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Arus netral hasil perhitungan sebelum dilakukan simulasi penyeimbangan beban

KONDISI AWAL				
JURUSAN TRAFO	FASA			Arus Netral ( $I_N$ ) hasil perhitungan
	$I_R$	$I_S$	$I_T$	
I	96	115	135	33.78
II	103	138	73	56.35
III	158	209	116	80.67
IV	84	149	112	56.47
V	106	78	99	25.24
VI	146	68	99	68.02
<b>TOTAL</b>	<b>693</b>	<b>757</b>	<b>634</b>	<b>106.55</b>

ARUS RERATA 694.67 AMPERE

Penukaran posisi fasa dilakukan searah jam/putaran kanan RST atau berlawanan arah jam /putaran kiri RTS, seperti yang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 6 Penukaran posisi fasa R, S dan T

Banyaknya kombinasi penukaran fasa yang dilakukan pada PHBTR tergantung dari jumlah jurusan yang ada pada transformator tersebut. Kombinasi penukaran fasa pada jurusan transformator harus dilakukan sampai tuntas

sehingga didapatkan  $I_N$  paling kecil atau  $I_N$  mendekati nol. Banyaknya kombinasi penukaran fasa dapat ditentukan dengan rumus  $3^n$ , dengan :

- 3 : jumlah fasa tiap jurusan
- n : jumlah jurusan pada transformator

Transformator distribusi 630 kVA di penyulang Metro ada 6 jurusan beban, sehingga kombinasi penukaran posisi fasa yang dilakukan sebanyak  $3^6$  atau 729 kali. Dari banyaknya kombinasi penukaran fasa tersebut, akan memakan waktu yang lama dan tenaga kerja yang banyak bila dilakukan secara manual. Kesulitan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan *Software Simulasi Penyeimbangan Beban* seperti yang dapat dilihat pada tabel 4, *Software* ini dibuat untuk mendapatkan keseimbangan beban secara mudah, cepat dan tepat.

Tabel 4 Software simulasi penyeimbang beban

Kombinasi Awal				Efisiensi			Total Kombinasi: 729
IR	IS	IT	No.	IR	IS	IT	
96	115	135	1.	96	115	135	
103	138	73	2.	103	138	73	
158	209	116	3.	209	116	158	
84	149	112	4.	112	84	149	
106	78	99	5.	78	99	106	
146	68	99	6.	99	146	68	

Nilai Awal		Efisiensi	
Total Ir	693	Total Ir	697
Total Is	757	Total Is	698
Total It	634	Total It	689
In	106	In	8
Sudut In	-1	Sudut In	26

Dengan memasukkan hasil pengukuran beban yang ada pada tabel 3 ke dalam *Software Simulasi Penyeimbang Beban* pada tabel 4, maka penukaran fasa pada kondisi sesudah diseimbangkan diperoleh :  $I_R = 697$  A,  $I_S = 698$  A,  $I_T = 689$  A dan total  $I_N = 8$  A.

Dari *software simulasi penyeimbang beban* pada tabel 4, jurusan dari transformator yang akan dilakukan proses penyeimbangan beban atau jurusan yang akan dilakukan penukaran fasa, yaitu jurusan III, IV, V dan VI. Langkah-langkah simulasi penyeimbangan beban dari kondisi awal, kondisi perubahan dan tindakan yang dilakukan, dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Langkah-langkah simulasi penyeimbangan beban

KONDISI AWAL					KONDISI PERUBAHAN					TINDAKAN YANG DILAKUKAN			
JURUSAN TRAF0	FASA			Arus Netral ( $I_N$ ) hasil perhitungan	JURUSAN TRAF0	FASA			Arus Netral ( $I_N$ ) hasil perhitungan	JURUSAN TRAF0	FASA		
	$I_R$	$I_S$	$I_T$			$I_R$	$I_S$	$I_T$			$I_R$	$I_S$	$I_T$
I	96	115	135	33.78	I	96	115	135	33.78	I	TETAP	TETAP	TETAP
II	103	138	73	56.35	II	103	138	73	56.35	II	TETAP	TETAP	TETAP
III	158	209	116	80.67	III	209	116	158	80.67	III	1 KE 3	2 KE 1	3 KE 2
IV	84	149	112	56.47	IV	112	84	149	56.47	IV	1 KE 2	2 KE 3	3 KE 1
V	106	78	99	25.24	V	78	99	106	25.24	V	1 KE 3	2 KE 1	3 KE 2
VI	146	68	99	68.02	VI	99	146	68	68.02	VI	1 KE 2	2 KE 3	3 KE 1
<b>TOTAL</b>	<b>693</b>	<b>757</b>	<b>634</b>	<b>106.55</b>	<b>TOTAL</b>	<b>697</b>	<b>698</b>	<b>689</b>	<b>8.54</b>				

ARUS RERATA 694.67 AMPERE      ARUS RERATA 694.67 AMPERE

Untuk menggambarkan diagram fasor yang ada di tabel 5, maka sudut masing-masing fasa dan sudut netralnya harus dimasukkan ke dalam tabel 5 tersebut. Dari Software Simulasi Penyeimbang Beban (tabel 4) didapat pada kondisi sebelum diseimbangkan sudut netral ( $\delta_N$ ) =  $-1^\circ$  (tabel 6a) dan pada kondisi sesudah diseimbangkan sudut netral ( $\delta_N$ ) =  $24^\circ$  (tabel 6b).

Tabel 6a Penyeimbangan beban pada kondisi awal (sebelum diseimbangkan)

JURUSAN TRAF0	KONDISI AWAL						SUDUT NETRAL ( $\delta_N$ ) = Arc tan <sup>2</sup> (Cos, Sin)	ARUS NETRAL hasil perhitungan
	FASA							
	$I_R$	$\theta_R$	$I_S$	$\theta_S$	$I_T$	$\theta_T$		
I	96	90	115	330	135	210	-120.85	33.78
II	103	90	138	330	73	210	-2.54	56.35
III	158	90	209	330	116	210	-3.20	80.67
IV	84	90	149	330	112	210	-55.43	56.47
V	106	90	78	330	99	210	136.10	25.24
VI	146	90	68	330	99	210	113.25	68.02
<b>TOTAL</b>	<b>693</b>	<b>90.0</b>	<b>757</b>	<b>330</b>	<b>634</b>	<b>210</b>	<b>-1.34</b>	<b>106.55</b>

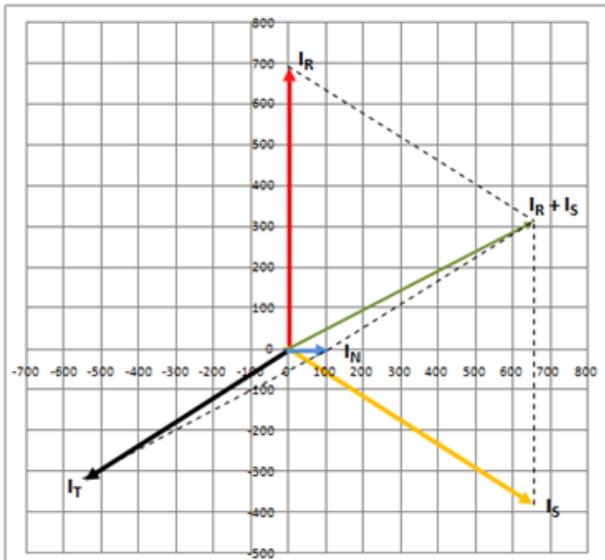
ARUS RERATA 694.67

Tabel 6b Penyeimbangan beban pada kondisi perubahan (sesudah diseimbangkan)

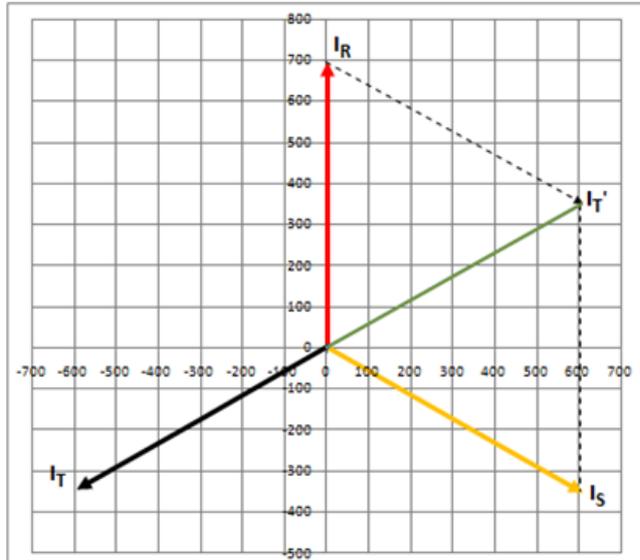
JURUSAN TRAF0	KONDISI PERUBAHAN						SUDUT NETRAL ( $\delta_N$ ) = Arc tan <sup>2</sup> (Cos, Sin)	ARUS NETRAL hasil perhitungan
	FASA							
	$I_R$	$\theta_R$	$I_S$	$\theta_S$	$I_T$	$\theta_T$		
I	96	90	115	330	135	210	-120.85	33.78
II	103	90	138	330	73	210	-2.54	56.35
III	209	90	116	330	158	210	116.80	80.67
IV	112	90	84	330	149	210	-175.43	56.47
V	78	90	99	330	106	210	-103.90	25.24
VI	99	90	146	330	68	210	-6.75	68.02
<b>TOTAL</b>	<b>697</b>	<b>90.00</b>	<b>698</b>	<b>330</b>	<b>689</b>	<b>210</b>	<b>24.18</b>	<b>8.54</b>

ARUS RERATA 694.67

Dari data pada tabel 6a dan tabel 6b, maka dapat dibuat diagram fasornya dengan menggunakan program Microsoft Excel, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7a dan 7b.



Gambar 7a



Gambar 7b

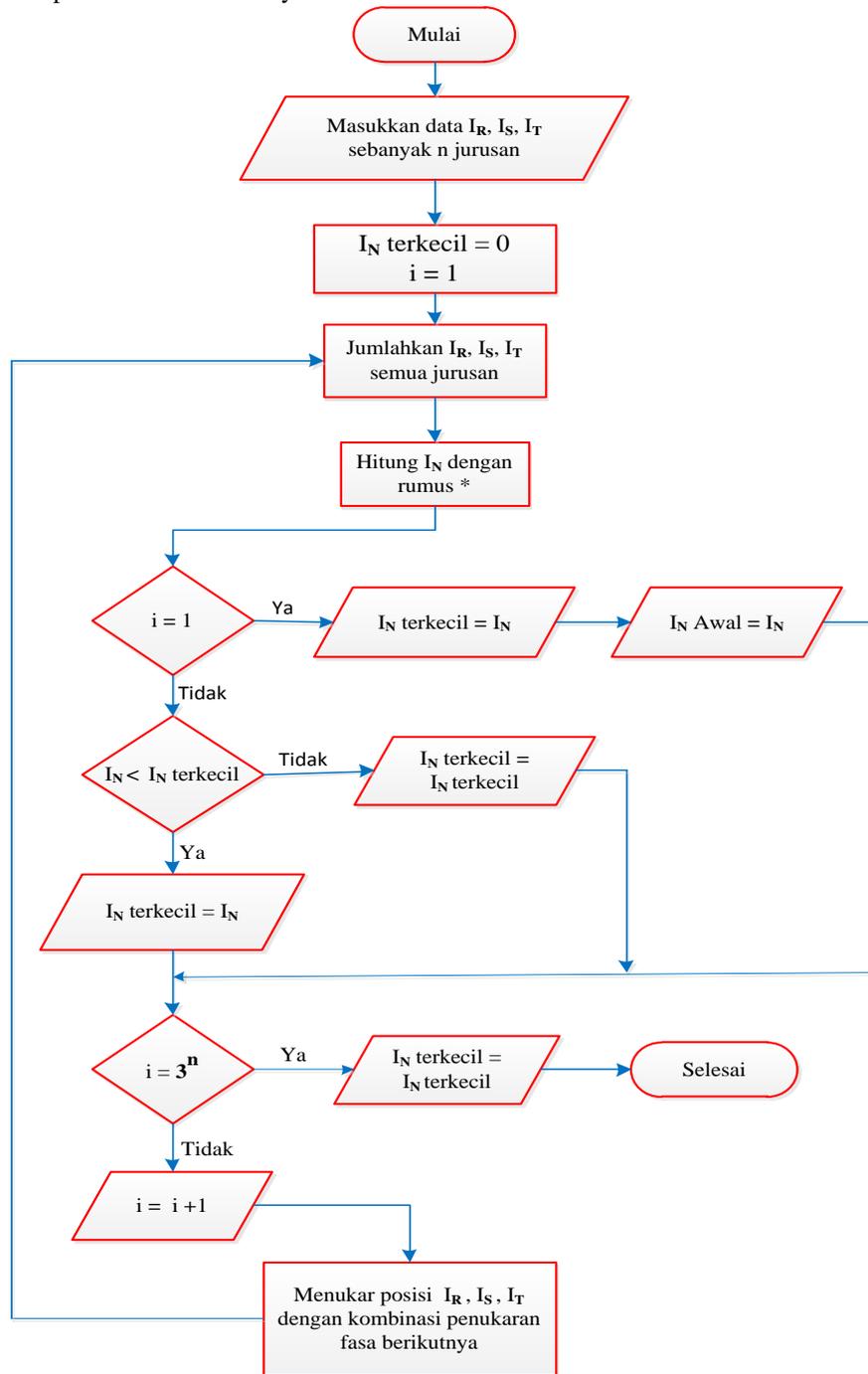
Gambar 7a Diagram fasor penyeimbangan beban pada kondisi sebelum diseimbangkan  
 Gambar 7b Diagram fasor penyeimbangan beban pada kondisi sesudah diseimbangkan.

Dari gambar 7a dapat dilihat, sebelum dilakukan penyeimbangan beban, didapat total Arus Netral ( $I_N$ ) = 106,55 A dengan sudut netral ( $\delta_N$ ) =  $-1,34^\circ$ .

Dari gambar 7b dapat dilihat, setelah dilakukan penyeimbangan beban, didapat total Arus Netral ( $I_N$ ) = 8,54 A dengan sudut netral ( $\delta_N$ ) =  $24,18^\circ$ .

Pada gambar 7b arus netral ( $I_N$ ) tidak kelihatan karena skala gambarnya terlalu besar, sedangkan nilai  $I_N$  terlalu kecil/mendekati nol.

Pada gambar 8 diperlihatkan diagram alir simulasi penyeimbang beban pada transformator distribusi 6 jurusan beban dengan kombinasi penukaran fasa sebanyak  $3^n$ .



Rumus \*

$$I_N = \sqrt{(I_R \cos \theta_R + I_S \cos \theta_S + I_T \cos \theta_T)^2 + (I_R \sin \theta_R + I_S \sin \theta_S + I_T \sin \theta_T)^2}$$

Gambar 8 Diagram alir simulasi penyeimbang beban pada transformator distribusi dengan 6 jurusan beban

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi, untuk menyeimbangkan beban pada transformator distribusi MDK 630 kVA di Penyulang Metro, dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut :

### Kesimpulan

1. Banyaknya kombinasi penukaran fasa yang dilakukan pada Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR) tergantung dari jumlah jurusan yang ada pada transformator tersebut dengan rumus  $3^n$ , n adalah jumlah jurusan transformator, 3 adalah jumlah fasa tiap jurusan sehingga dengan 6 jurusan transformator ada 729 kali penukaran fasa. Kombinasi penukaran fasa pada jurusan transformator harus dilakukan sampai tuntas sehingga didapatkan Arus Netral ( $I_N$ ) paling kecil atau  $I_N$  mendekati nol.
2. Dengan menggunakan software simulasi penyeimbang beban pada transformator distribusi untuk 6 jurusan beban, maka penukaran fasa pada PHBTR dilakukan pada jurusan III IV V dan VI. Dari tabel simulasi penyeimbang beban pada tabel 4 dapat dilihat kondisi sebelum diseimbangkan  $I_N = 106$  Amper dan setelah diseimbangkan  $I_N = 8$  Amper.

### Saran

Untuk menyeimbangkan beban pada transformator distribusi dengan kapasitas besar, dianjurkan menggunakan Software Simulasi Penyeimbang Beban, sehingga didapatkan kombinasi penukaran posisi fasa yang tepat, maka diperoleh Arus Netral yang paling kecil (mendekati nol), sehingga pembebanan menjadi optimal, dapat mengurangi losses pada sisi tegangan rendah transformator dan umur transformator bertambah

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abdul Kadir, "*Transformator*", PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1989.
- [2]. Badaruddin, Ir, MT, "*Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Arus Netral dan Losses pada Transformator Distribusi Proyek Rusunami Gading Icon*", Universitas Mercu Buana, Jakarta, 2012.
- [3]. Cecep Munawar, H, Ir, "*Cara Mudah Melakukan Penyeimbangan Beban*", Pusdiklat PT PLN(Persero), Jakarta, 2017.
- [4]. Cecep Munawar, H, Ir, "*Teori Penyeimbangan Beban*", Pusdiklat PT PLN(Persero), Jakarta, 2017.
- [5]. Djuhana Djoekardi, H, Ir, "*Transformator*", Balai Penerbit ISTN, Jakarta, 1992
- [6]. Gonen, Turan, "*Modern Power Sistem*", John Wiley and Sons, Inc., Canada, 1988.
- [7]. James J.Burke, "*Power Distribution Engineering*" – *Fundamentals And Applications*, New York, Marcel Dekker Inc., 1994
- [8]. J.Duncan Glover/Mulukutia Sarma, "*Power System Analysis and Design*", Northeastern University, PWS-KENT Publisher Company Boston, 1987.
- [9]. Sri Budi Santoso, "*Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi metode SBS (Sistem Beban Sehari)*", PT PLN (Persero) Wilayah SulSel, SulTra, SulBar, 2017.
- [10]. 10.Yoakim Simamora, "*Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi untuk Identifikasi Beban Lebih dan Estimasi Rugi-rugi pada Jaringan Tegangan Rendah*" jurnal Singuda Ensikom vol.7 No.3, Kampus USU Medan, 2014.
- [11]. 11. Zuhail, "*Dasar Tenaga Listrik*", ITB, Bandung, 1991.