

# Evaluasi Dampak Beban Tidak Seimbang Pada Transformator Distribusi

<sup>1</sup>Nurul Agung Pratama, <sup>2</sup>A.N. Afandi, <sup>3</sup>Yuni Rahmawati

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Malang, Malang, Jawa Timur

<sup>1</sup>Pratamaagungid@gmail.com, <sup>2</sup>an.afandi@ieee.org, <sup>3</sup>yrahmawati72@gmail.com

**Abstrak**—Transformator distribusi berguna sebagai pengubah energi listrik dari yang bertegangan menengah menjadi tegangan rendah sebelum disalurkan pada konsumen. PLN memiliki standart yang digunakan, untuk jatuh tegangan tidak boleh melebihi 5% sementara untuk ketidakseimbangan arus tidak boleh melebihi 10%. Penelitian mengenai profil tegangan dan arus perlu dilakukan untuk mengevaluasi serta menjaga kualitas penyaluran tenaga listrik pada sistem distribusi. Penelitian ini menggunakan metode perhitungan matematis dengan data yang diperoleh secara langsung dari pihak PT. PLN Sumber Pucung. Dari hasil perhitungan dan analisa terdapat transformator yang memiliki kualitas tegangan arus yang tidak memenuhi standar PLN. Untuk perubahan tegangan  $\neq 220$  nilai tertinggi ada di transformator nomor 3 dengan nilai tegangan sebesar 239 Volt. Untuk ketidakseimbangan tegangan tertinggi ada pada 2% yaitu pada transformator nomor 2, 4, 5 dan 9, dengan selisih tegangan sebesar 4 Volt antar masing-masing fasa. Ketidakseimbangan arus antar fasa tertinggi terjadi pada transformator nomor 3 memiliki nilai ketidakseimbangan sebesar 150% pada fasa S-T. Untuk nilai ketidakseimbangan arus (R-S-T) tertinggi terdapat pada transformator nomor 3 dapat dikatakan sangat tinggi karena ketidakseimbangannya mencapai 41,9%.

Kata Kunci : Transformator, Tegangan, Arus

## I. Pendahuluan

Saat ini listrik merupakan kebutuhan utama bagi seluruh lapisan masyarakat seperti publik, bisnis, industri, maupun sosial. Pertumbuhan penduduk yang semakin pesat berbanding lurus dengan kebutuhan energi setiap tahun. Selain itu semakin berkembangnya ilmu pengetahuan mendorong berbagai penemuan baru yang pada dasarnya membutuhkan listrik sebagai sumber energinya. Oleh sebab itu pihak produsen energi listrik dituntut untuk menyediakan energi yang berkelanjutan dengan kualitas yang terjaga. Oleh karena dibutuhkan sistem tenaga listrik yang handal. Sistem tenaga listrik sendiri, adalah sekumpulan pusat-pusat listrik yang diinterkoneksi satu dengan lainnya, melalui transmisi atau distribusi untuk memasok ke beban [2].

Untuk mengubah tegangan dari level menengah menjadi level tegangan rendah yang umumnya bernilai 220/380 V dibutuhkan transformator *step down*.

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik [8].

Dalam transformasinya tegangan dan arus tidak selalu sesuai dengan standart yang ditentukan. PLN memiliki standart yang digunakan, untuk jatuh tegangan tidak boleh melebihi 5% sementara untuk ketidakseimbangan arus tidak boleh melebihi 10%. Penelitian mengenai profil tegangan dan arus perlu dilakukan untuk mengevaluasi serta menjaga kualitas penyaluran tenaga listrik pada sistem distribusi.

Secara konstruksinya transformator terdiri atas dua kumparan yaitu primer dan sekunder. Prinsip kerja transformator dapat dijelaskan berdasarkan hukum ampere dan hukum faraday yaitu arus listrik menimbulkan medan magnet dan sebaliknya [2].

Bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka fluks bolak-balik akan terjadi pada kumparan sisi primer, kemudian fluks tersebut akan mengalir pada inti transformator, dan selanjutnya fluks ini akan mengimbas pada kumparan yang ada pada sisi sekunder yang mengakibatkan timbulnya fluks magnet di sisi sekunder, sehingga pada sisi sekunder akan timbul tegangan [8].

Dalam pembahasan ini yang dimaksud perubahan tegangan adalah tidak sesuai nilai tegangan keluaran transformator (fasa-netral), dalam SPLN adalah 220 Volt [3]. Perhitungannya menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta V = V1 - V2 \quad (2.1)$$

Sementara untuk menghitung presentase perubahan tegangan menggunakan persamaan 2.2 berikut.

$$\% \Delta V = (V1 - V2) \times 100\% \quad (2.2)$$

dimana,

$$V1 = \text{Tegangan ukur}$$

$V_2$  = Tegangan standar

Selain perubahan tegangan, ketidakseimbangan tegangan antar fasa juga harus dihitung. Dalam perhitungan ketidakseimbangan tegangan menggunakan persamaan 2.3 hingga 2.5 berikut [5].

$$V_{rs} = \frac{V_r - V_s}{\sqrt{3}} \quad (2.3)$$

$$V_{st} = \frac{V_s - V_t}{\sqrt{3}} \quad (2.4)$$

$$V_{tr} = \frac{V_t - V_r}{\sqrt{3}} \quad (2.5)$$

Selain perubahan tegangan, ketidakseimbangan arus juga mempengaruhi kinerja sebuah transformator. Karena semakin tinggi ketidakseimbangan arus akan semakin tinggi pula arus yang mengalir pada penghantar netral, hal ini dapat menyebabkan rugi energi listrik.

Dalam pembahasan ini digunakan persamaan berikut untuk menghitung ketidakseimbangan arus masing-masing fasa.

$$I_{rs} = \frac{I_r - I_s}{\sqrt{3}} \quad (2.6)$$

$$I_{st} = \frac{I_s - I_t}{\sqrt{3}} \quad (2.7)$$

$$I_{tr} = \frac{I_t - I_r}{\sqrt{3}} \quad (2.8)$$

Sementara untuk menghitung ketidakseimbangan arus secara keseluruhan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut :

2.4.1 Menghitung arus rata-rata menggunakan persamaan berikut.

$$I_{rata-rata} = \frac{I_r + I_s + I_t}{3} \quad (2.10)$$

2.4.2 Menghitung nilai koefisien a, b dan c dengan persamaan berikut

$$a = \frac{I_r}{I_{rata-rata}} \quad (2.11)$$

$$b = \frac{I_s}{I_{rata-rata}} \quad (2.12)$$

$$c = \frac{I_t}{I_{rata-rata}} \quad (2.13)$$

2.4.3 pada keadaan seimbang koefisien a, b dan c adalah 1, dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan arus adalah sebagai berikut.

$$I_x = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \quad (2.14)$$

dimana  $I_x$  adalah ketidakseimbangan arus.

## II. Metode Penelitian

### A. Pengambilan Data

Pengambilan data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan teknik dokumentasi, dimana data

diperoleh secara langsung dari PT. PLN (Persero) Rayon Sumber Pucung. Data yang digunakan meliputi spesifikasi transformator, data pengukuran tegangan dan data pengukuran arus.

### B. Data Penelitian

#### i. Spesifikasi Transformator

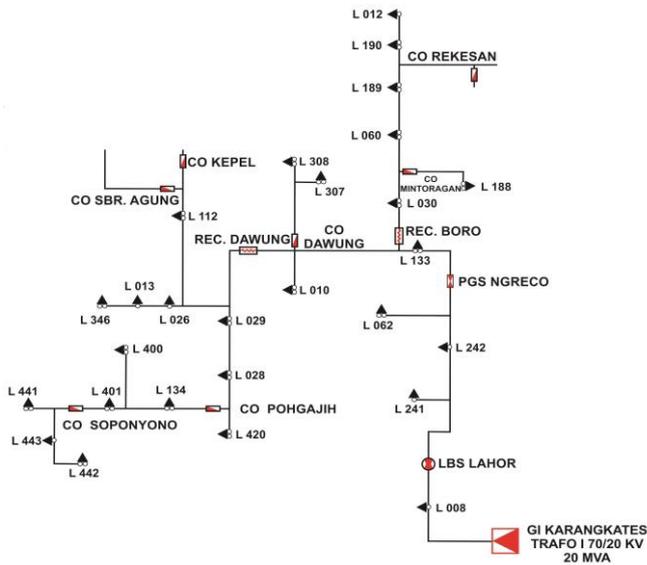
Penyulang Olak-alen pada wilayah Selorejo Selatan terdapat 27 unit transformator yang terpasang, namun dalam penelitian ini akan ditampilkan sebanyak 15 unit transformator, dari seluruh unit yang terpasang memiliki spesifikasi masing-masing. Dengan metode pengumpulan yang digunakan diperoleh data spesifikasi transformator distribusi seperti yang di tampilkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Transformator

No	Fasa	Daya (kVA)	Impedansi (%)	Merk	Tahun	Beban (kVA)
1	3	100	4	Trafindo	2012	40,14
2	3	200	4	Trafindo	1985	57,41
3	3	100	4	Trafindo	2013	2,84
4	3	100	4	Starlite	2012	56,95
5	3	160	4	Hico	1976	74,38
6	3	200	4	Unindo	1987	118,87
7	3	100	4	Unindo	1985	56,49
8	3	100	4	-	-	68,63
9	3	100	4	Trafindo	2002	49,08
10	3	160	4	Unindo	1991	87,18
11	3	160	4	Unindo	2004	41,80
12	3	160	4	Hico	1997	56,01
13	3	160	4	Starlite	1986	119,66
14	3	160	4	B&D	2011	78,53
15	3	100	4	Starlite	1989	62,20

#### ii. Single Line Wilayah Selorejo Selatan

Unit transformator yang akan diteliti tersebar pada titik yang telah ditentukan. Gambar 1 berikut adalah *single line* dari transformator Wilayah Selorejo Selatan.



Gambar 1. Single Line Wilayah Selorejo Selatan

iii. Data Pengukuran Tegangan

Berikut adalah data pengukuran tegangan yang telah dilakukan oleh pihak PT. PLN (Persero) Rayon Sumber Pucung

Tabel 2. Data Pengukuran Tegangan

NO TRAF0	TEGANGAN PADA TRAF0		
	R	S	T
1	227	228	225
2	221	225	222
3	239	236	236
4	227	230	226
5	225	224	228
6	224	226	223
7	230	229	230
8	227	226	229
9	221	223	219
10	220	220	222
11	230	227	228
12	231	228	229
13	237	236	234
14	231	234	233
15	229	232	230

iv. Data Pengukuran Arus

Berikut adalah hasil pengukuran yang telah dilakukan oleh pihak PT. PLN (Persero) Rayon Sumber Pucung.

Tabel 3. Data Pengukuran Arus

NO TRAF0	ARUS PADA TRAF0			
	R	S	T	N
1	49	67	61	27
2	118	84	56	47
3	5	5	2	6
4	61	98	91	58
5	118	125	87	67
6	177	166	187	124
7	83	87	76	38
8	97	110	95	100
9	65	85	72	35
10	106	149	140	93
11	71	58	54	58
12	97	60	87	73
13	166	146	196	97
14	157	90	91	94
15	94	100	76	56

C. Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan metode perhitungan matematis menggunakan persamaan-persamaan yang telah ditetapkan sebagai acuan. Langkah pertama adalah mengolah data hasil pengukuran tegangan dilanjutkan dengan hasil pengukuran arus, untuk menentukan nilai profil dari masing-masing transformator.

Variabel penting dalam proses perhitungan ini adalah hasil pengukuran tegangan dan arus tersebut, selain itu data-data spesifikasi transformator yang diperoleh dari name plate-nya. Dalam pengolahan data ini menggunakan bantuan software Microsoft Excel. Dimana hasil dari perhitungan tersebut akan di keluarkan dalam bentuk data grafik.

### III. Hasil dan Pembahasan

Pada dasarnya PLN telah menetapkan prosedur yang tepat untuk menjaga kualitas tegangan dan arus dalam sistem distribusinya. Namun seiring berjalannya waktu kualitas tersebut dapat berkurang, hal itu disebabkan oleh berbagai faktor. Dari hasil pengukuran dan analisa perhitungan didapatkan terdapat beberapa unit transformator distribusi di Wilayah Selorejo Selatan yang tidak memenuhi standart yang telah ditetapkan oleh pihak PLN sendiri. Berikut adalah hasil analisa perhitungan dalam penelitian ini.

Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan perubahan tegangan, perubahan yang dimaksudkan yaitunilai tegangan pengukuran yang kurang dari atau melebihi tegangan nominal yang telah ditetapkan dalam SPLN.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Perubahan Tegangan

PERUBAHAN TEGANGAN			
NO TRAF0	R	S	T
1	3%	4%	2%
2	0%	2%	1%
3	9%	7%	7%
4	3%	5%	3%
5	2%	2%	4%
6	2%	3%	1%
7	5%	4%	5%
8	3%	3%	4%
9	0%	1%	0%
10	0%	0%	1%
11	5%	3%	4%
12	5%	4%	4%
13	8%	7%	6%
14	5%	6%	6%
15	4%	5%	5%

Selanjutnya Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan ketidakseimbangan tegangan. Dimana untuk menghitungnya menggunakan persamaan 2.3-2.5. Ketidakseimbangan yang dimaksudkan adalah selisih nilai tegangan masing-masing fasa.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Ketidakseimbangan Tegangan

KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN			
NO TRAF0	R-S	S-T	T-R
1	0%	1%	-1%
2	-2%	1%	0%
3	1%	0%	-1%
4	-1%	2%	0%
5	0%	-2%	1%
6	-1%	1%	0%
7	0%	0%	0%
8	0%	-1%	1%
9	-1%	2%	-1%
10	0%	-1%	1%
11	1%	0%	-1%
12	1%	0%	-1%
13	0%	1%	-1%
14	-1%	0%	1%
15	-1%	1%	0%

Tabel 7 menunjukkan hasil perhitungan ketidakseimbangan arus, data untuk perhitungan diperoleh dari hasil pengukuran yang diperoleh dari pihak PT. PLN. Ketidakseimbangan arus pada tabel tersebut dihitung pada masing-masing fasa.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Ketidakseimbangan Arus Antar Fasa

KETIDAKSEIMBANGAN ARUS ANTAR FASA			
NO TRAF0	R-S	S-T	T-R
1	-26,9%	9,8%	125,9%
2	40,5%	50,0%	19,1%
3	0,0%	150,0%	-66,7%
4	-37,8%	7,7%	56,9%
5	-5,6%	43,7%	29,9%
6	6,6%	-11,2%	50,8%
7	-4,6%	14,5%	100,0%
8	-11,8%	15,8%	-5,0%
9	-23,5%	18,1%	105,7%
10	-28,9%	6,4%	50,5%
11	22,4%	7,4%	-6,9%
12	61,7%	-31,0%	19,2%
13	13,7%	-25,5%	102,1%
14	74,4%	-1,1%	-3,2%
15	-6,0%	31,6%	35,7%

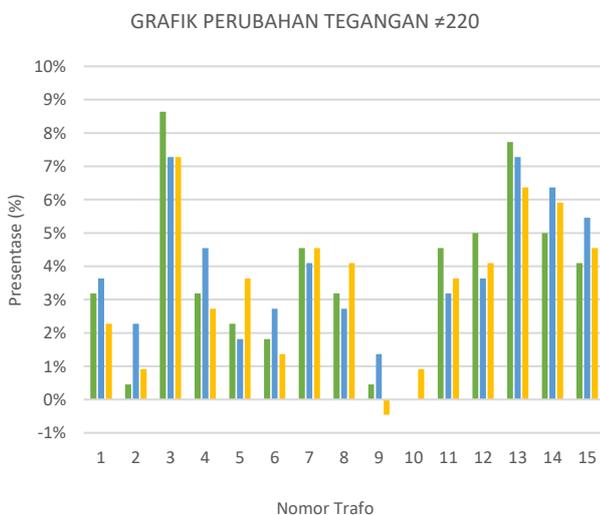
Tabel 8 menunjukkan hasil perhitungan ketidakseimbangan arus pada seluruh fasa (R,S, dan T).

PLN telah menetapkan standart ketidakseimbangan arus yaitu 10% namun dalam perhitungan ini terdapat beberapa unit transformator yang tidak sesuai standart.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Ketidakseimbangan Arus

KETIDAKSEIMBANGAN ARUS		
NO TRAF0	RATA-RATA ARUS (A)	KETIDAK-SEIMBANGAN
1	59,0	14,9%
2	86,0	4,3%
3	4,0	41,9%
4	83,3	20,9%
5	110,0	20,7%
6	176,7	8,0%
7	82,0	8,5%
8	100,7	11,2%
9	74,0	15,9%
10	131,7	15,5%
11	61,0	8,9%
12	81,3	28,7%
13	169,3	19,0%
14	112,7	26,9%
15	90,0	16,3%

Gambar 2 berikut menunjukkan grafik perubahan tegangan, grafik tersebut diperoleh dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dan sesuai dengan tabel 5 diatas.

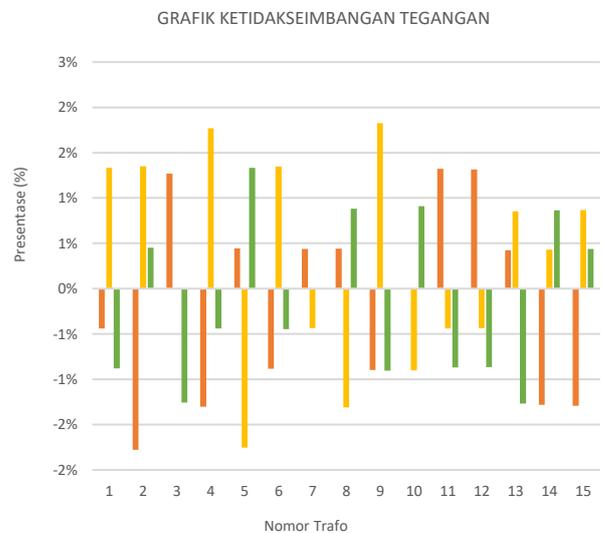


Gambar 2. Grafik Perubahan Tegangan

Dari grafik diatas dapat dianalisa bahwa terdapat dua unit transformator yang mengalami perubahan tegangan melebihi standart SPLN (tahun 2007) yaitu sebesar 5% dari tegangan nominal (220V).

Nilai perubahan tertinggi terjadi pada transformator nomor 3, pada fasa R memiliki nilai perubahan sebesar 9% (*over voltage* sebesar 19 Volt), untuk fasa S yaitu sebesar 7% (*over voltage* sebesar 16 Volt), sedangkan untuk fasa T yaitu sebesar 7% (*over voltage* sebesar 16 Volt). Selanjutnya perubahan tegangan yang melebihi standart PLN terjadi pada transformator nomor 13, dimana perubahan tertinggi terjadi fasa R dengan nilai sebesar 8% (*over voltage* sebesar 17 Volt), untuk fasa S sebesar 7% (*over voltage* sebesar 16 Volt), sedangkan untuk fasa T sebesar 6% (*over voltage* sebesar 14 Volt).

Grafik ketidakseimbangan tegangan ditunjukkan oleh Gambar 3 Grafik tersebut sesuai dengan perhitungan yang ada pada Tabel 6.



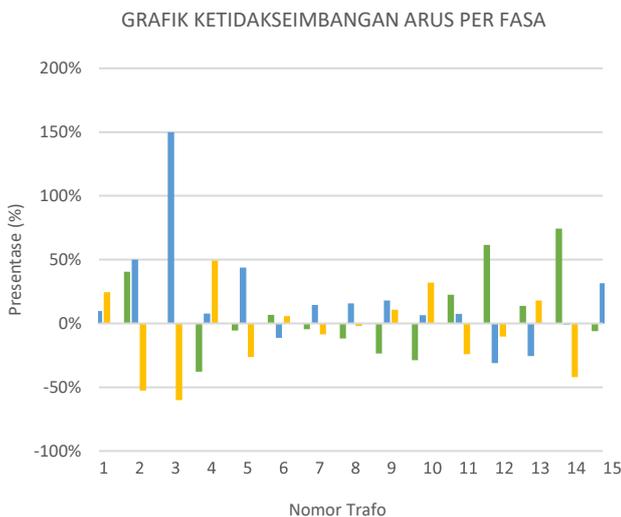
Gambar 3. Grafik Ketidakseimbangan Tegangan

Dari grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2 dapat dianalisa bahwa nilai ketidakseimbangan antara fasa R, fasa S dan fasa T dalam kategori standart PLN yaitu tidak melebihi 5%. Presentase rata-rata dari ketidakseimbangan tersebut adalah 1%

Nilai ketidakseimbangan tertinggi ada pada 2% yaitu pada transformator nomor 2, 4, 5 dan 9. Ketidakseimbangan tegangan pada transformator nomor 2 untuk fasa R-S berada pada nilai -2% (selisih -4 Volt). Ketidakseimbangan tegangan pada transformator nomor 4 untuk fasa S-T berada pada nilai 2% (selisih 4 Volt). Ketidakseimbangan tegangan pada transformator

nomor 5 untuk fasa S-T berada pada nilai -2% (selisih -4 Volt). Ketidakseimbangan tegangan pada transformator nomor 9 untuk fasa S-T berada pada nilai 2% (selisih 4 Volt).

Selanjutnya Gambar 4 menunjukkan grafik ketidakseimbangan arus yang mengalir pada transformator distribusi yang diteliti. Untuk standar ketidakseimbangan arus sesuai (SPLN, 2007) adalah sebesar 10%. Namun dalam penelitian interdadapt banyak transformator yang melebihi standart tersebut. Berikut adalah grafik ketidakseimbangan arus antar fasa.



Gambar 4. Grafik Ketidakseimbangan Arus Antar Fasa

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4 diatas dapat dianalisa bahwa, terdapat beberapa transformator yang memiliki nilai sangat jauh dari standart yang telah ditentukan. Terdapat 1 unit tranformator yang memiliki nilai ketidakseimbangan sangat tinggi, nilainya melebihi dari 100% dan terdapat 4 unit transformator yang memiliki nilai ketidakseimbangan tinggi besarnya diatas 50% namun dibawah 100%. Dan terdapat 12 unit transformator yang memiliki besaran ketidakseimbangan cukup tinggi.

Transformator nomor 3 memiliki nilai ketidakseimbangan sebesar 150% pada fasa S-T. Ketidakseimbangan ini akan mempengaruhi kondisi transformator dan dapat menyebabkan susut yang sangat besar yang disebabkan adanya arus netral yang besar.

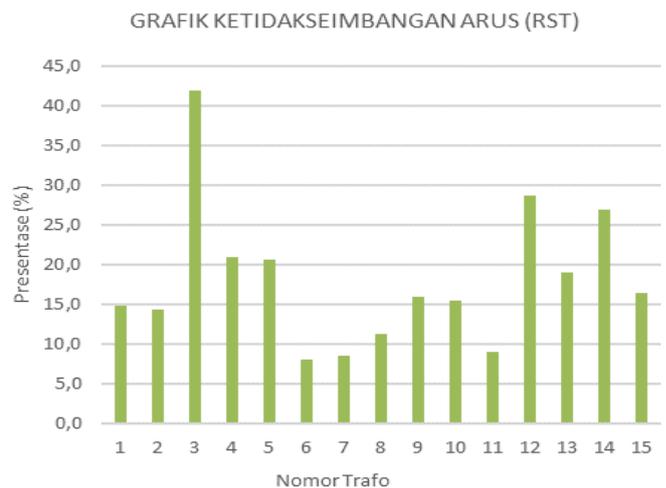
Selanjutnya 4 beberapa transformator yang memiliki ketidakseimbangan tinggi. Transformator nomor 2 terdapat ketidakseimbangan dengan nilai 50% antara fasa S-T dan 53% antara fasa T-R. Transformator nomor 3 terdapat ketidakseimbangan mencapai 60%

pada fasa T-R. Transformator nomor 12 memiliki nilai ketidakseimbangan 62% pada fasa R-S. Terakhir transformator 14 yang memiliki nilai sebesar 74%

Pada kategori ketidakseimbangan arus cukup tinggi terdapat 12 unit transformator. Transformator nomor dua pada fasa R-S sebesar 40%, nomor 4 sebesar -33 pada fasa R-S dan 49% pada fasa T-R, nomor 5 sebesar 44% pada fasa S-T dan -26% pada fasa T-R, nomor 9 sebesar -24% R-S, nomor 10 sebesar -29% pada fasa R-S dan 32% T-R, nomor 12 sebesar 61% pada fasa R-S dan -31% pada fasa S-T, nomor 13 sebesar -26% pada fasa S-T, pada nomor 14 sebesar -42% pada fasa T-R. Dan terakhir pada nomor 15 memiliki nilai ketidakseimbangan sebesar 32% pada fasa S-T.

Analisa perhitungan terakhir dilakukan dengan cara menghitung nilai ketidakseimbangan pada seluruh fasa R-S-T, dimana dampak dari ketidakseimbangan yang terlalu besar akan memunculkan nilai rugi-rugi yang tinggi disebabkan oleh adanya arus netral, namun perhitungan rugi-rugi pada arus netral tidak dibahas dalam penelitian ini.

Gambar 5 menunjukkan grafik ketidakseimbangan arus R-S-T sesuai dengan perhitungan menggunakan persamaan 2.14 yang hasil perhitungannya sudah ditampilkan pada Tabel 8 Berikut



adalah grafik ketidakseimbangan arus.

Gambar 5. Grafik Ketidakseimbangan Arus

Dari grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 5 diatas dapat dianalisa bahwa dari 15 unit transformator hanya terdapat 3 unit transformator yang telah

memenuhi standar PLN (2007) dengan ketidakseimbangan kurang dari 10%. Yaitu transformator nomor 6, nomor 7 dan nomor 11.

Selain 3 unit transformator yang tersebut yaitu sebanyak 12 unit transformator memiliki nilai ketidakseimbangan melebihi SPLN, untuk transformator nomor 3 dapat dikatakan sangat tinggi karena ketidakseimbangannya mencapai 41,9%, hal ini dapat disebabkan oleh kurangnya pemerataan beban oleh pihak PT. PLN. Selanjutnya 11 unit transformator memiliki nilai ketidakseimbangan rata-rata sebesar 18%, nilai ini termasuk cukup tinggi dan dapat menyebabkan rugi-rugi yang dapat mengurangi kualitas daya yang disalurkan oleh pihak PT. PLN.

#### IV. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa mengenai kualitas tegangan dan arus pada 15 transformator yang terdapat pada Penyulang Olak-alen terdapat unit-unit transformator yang memiliki kualitas tegangan arus yang tidak memenuhi standar PLN. Untuk perubahan tegangan  $\neq 220$  nilai tertinggi terdapat pada transformator nomor 3 dengan nilai tegangan sebesar 239 Volt. Sementara untuk penurunan tegangan terendah terdapat pada transformator nomor 9 yaitu sebesar 0,8 Volt. Untuk ketidakseimbangan tegangan tertinggi ada pada 2% yaitu pada transformator nomor 2, 4, 5 dan 9, dengan selisih tegangan sebesar 4 Volt antar masing-masing fasa. Selanjutnya, ketidakseimbangan arus antar fasa tertinggi terjadi pada transformator nomor 3 memiliki nilai ketidakseimbangan sebesar 150% pada fasa S-T. Ketidakseimbangan ini akan mempengaruhi kondisi

transformator dan dapat menyebabkan susut yang sangat besar yang disebabkan adanya arus netral yang besar. Untuk nilai ketidakseimbangan arus (R-S-T) tertinggi terdapat pada transformator nomor 3 dapat dikatakan sangat tinggi karena ketidakseimbangannya mencapai 41,9%, hal ini dapat disebabkan oleh kurangnya pemerataan beban oleh pihak PT. PLN.

#### Daftar Pustaka

- [1] Hermandos, Roni., dkk. Jurnal Universitas Maritim Raja AL-Haji. *Perhitungan Susut Tegangan Sistik Distribusi 20kV pada Penyulang Panaran PT. PLN Batam*. Batam: Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- [2] Sarimun, Wahyudi. 2014. *Buku Saku Pelayanan Teknik*. Depok: Penerbit Garamont.
- [3] Standart Perusahaan Listrik Negara. 2007. Spesifikasi Transformator Distribusi. Nomor : D3.002-1. Jakarta : Perusahaan Listrik Negara (PLN).
- [4] Suswanto, Daman. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik Untuk Mahasiswa Elektro. Padang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang.
- [5] Simamora, Yoakim., dkk. 2014. Jurnal Sains Vol.7 No.3. *Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih dan Estimasi Rug-rugi pada Jaringan Tegangan Rendah*. Sumatra : Universitas Sumatra Utara.
- [6] Sujito. 2009. Jurnal Tekno, Vol 11. *Perhitungan Life Time Transformator Jaringan Distribusi 20kV di APJ Malang*. Malang : Universitas Negeri Malang.
- [7] PT. PLN (Persero). 2010 *Final Pedoman O dan M Transformator Tenaga*. Jakarta: Perusahaan Listrik Negara.
- [8] Zuhail. 2000. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.