

ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI AREA RAYON YOGYAKARTA KOTA DI PT. PLN (PERSERO) APJ GEDONG KUNING YOGYAKARTA

Egi Suyandi, Safriyudin S.T.,M.T, dan Ir. Muhammad Suyanto M.T.,
Mahasiswa, Dosen Pembimbing 1, Dosen Pembimbing 2
Jurusan Teknik Elektro,Fakultas Teknologi Industri,Institut Sains & Teknologi Akprind, Yogyakarta
Jl.Kalisahak 28 Komplek Balapan Tromol,Pos 45 Yogyakarta 55222
E-Mail: solalogamang@gmail.com

INTISARI

Ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan ketidakseimbangan tersebut terjadi karena ketidaksamaan pemakaian energi listrik. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut mengalir arus di netral trafo. Arus yang mengalir di penghantar netral trafo ini menyebabkan terjadinya rugi-rugi, yaitu rugi akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo. Rugi-rugi yang terdapat pada trafo adalah rugi daya, rugi inti dan rugi tembaga. Dalam menganalisis masalah menggunakan model matematis meliputi persamaan ketidakseimbangan beban trafo, rugi- rugi daya dan efisiensi. Setelah dianalisis menunjukkan bahwa trafo dalam keadaan tidak seimbang dimana bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar, maka arus netral yang muncul juga besar. Efisiensi trafo akan semakin besar jika selisih daya masuk dan daya keluar kecil. Rugi daya yang terjadi pada malam hari di Jl. Kaliurang sebesar 7,901kW dan di Jl. Urip Sumoharjo efisiensinya 97,8%

Kata kunci : Ketidakseimbangan, Transformator, Rugi-rugi daya, Efisiensi

ABSTRACT

The unbalanced load in electric power distribution transformer always happen and it is caused by unsame weared energy. The effect of the unbalanced load is appear as a neutral current. These neutral current cause losses, those are losses caused by neutral current in neutral conductor on distribution transformers. Losses in transformer is energy losses, eddy current loseses, hysteresis losses and copper losses. In analysing used model mathematical the problem covering equation unbalanced load, losses and efficiency. In conclusion, when high unbalanced load happened, then the neutral current that appear is also high, ultimately the losses that caused by the neutral current flows to ground will be high too. Transformer efficiency will be ever greater if energy difference enter and small losses or energi out. Energy losses in transformer at Jl. Kaliurang is 7,901 kW and efficiencys at Jl. Urip Sumoharjo is 97,8%

Keywords : Unbalanced, Transformers, Lossles, efficiencys

I. PENDAHULUAN

Indonesia sedang melaksanakan pembangunan disegala bidang. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukungnya seperti tersedianya tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan kedalam bentuk tenaga yang lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan laju pembangunan yang semakin pesat di Yogyakarta khususnya didaerah perkotaan akan menuntut energi listrik yang semakin besar dan lebih berkualitas. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya aktivitas masyarakat di berbagai sektor kehidupan, baik sektor industri maupun dalam kegiatan rumah tangga. Peningkatan aktivitas masyarakat ini akan mengakibatkan semakin meningkat pula kebutuhan konsumsi energi listrik. Untuk memenuhi kebutuhan yang semakin besar tersebut, pihak PLN terus berusaha untuk memenuhi kebutuhan itu dengan berbagai cara termasuk membangun pusat-pusat

pembangkit energi listrik di berbagai daerah. (Sudiartha, 2012).

Ketidakseimbangan beban pada transformator menyebabkan adanya rugi-rugi daya dimana arus mengalir di penghantar netral. Untuk mengoptimalkan pembebanan daya listrik agar tidak ada daya yang hilang sia-sia, maka peneliti mengadakan penelitian tentang analisis ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi.

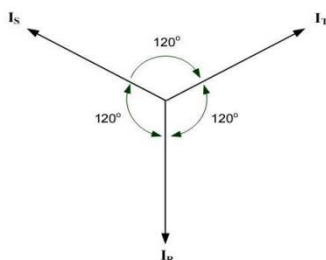
Arus yang mengalir di penghantar netral trafo distribusi ini dikatakan dengan rugi-rugi. Dilakukan penelitian ini supaya diketahui berapa rugi-rugi yang terjadi pada trafo distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Yogyakarta Kota yang disebabkan ketidakseimbangan beban tersebut.

Analisis ketidakseimbangan beban pada trafo perlu dilakukan agar dapat diketahui apa yang terjadi dengan ketidaksetimbangan beban tersebut pada trafo, mengetahui berapa besar rugi-rugi yang terjadi dan diharapkan agar dapat mengantisipasi supaya ketidaksetimbangan beban tersebut bisa diminimalisir.

A. Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi-elektromagnet dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Transformator 3 Fasa

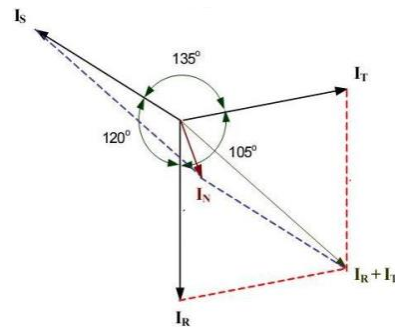
Dalam trafo distribusi hubung tiga fasa seperti yang terlihat dalam gambar 2.4, ada beberapa arus yang mengalir. Jadi arus yang terdapat pada trafo adalah arus yang mengalir dimasing-masing fasa (fasa R, fasa S dan fasa T).



Gambar 1 Vektor Diagram Arus Seimbang

Gambar 4 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N) (Dahlan, 2009). Hal ini menunjukkan hukum *kirchoff* yaitu jumlah arus yang mengalir disemua sisi adalah nol.

Dengan melihat Gambar 5, maka arus yang mengalir pada trafo tiga fasa adalah I_R, I_S, I_T dan I_N . Arus I_R adalah arus yang mengalir pada fasa R yang biasa di tulis dengan a [I]. Arus I_S adalah arus yang mengalir pada fasa S yang bisa di tulis dengan b [I]. Arus I_T adalah arus yang mengalir pada fasa T yang biasa di tulis dengan c [I] (Sentosa, 2006). Arus I_N adalah arus yang mengalir di titik netral karena keadaan beban tidak seimbang pada transformator dan besarnya tergantung seberapa besar faktor ketidakseimbangannya (Watiningsih, 20012).



Gambar 2 Vektor diagram arus tidak seimbang

II. METODELOGI PENELITIAN

Dalam penelitian “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi”, penulis akan menggunakan jenis penelitian kuantitatif dan kualitatif. Kuantitatif adalah melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran dalam yang dilakukan dalam penelitian ini yang hasil dari pengukuran itu diselesaikan dalam bentuk matematis sedangkan jenis penelitian kualitatif adalah melakukan analisis penelitian berdasarkan data pengukuran kuantitatif.

A. Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan dalam pelaksanaan penyusunan dan pengambilan data skripsi adalah :

1. Metode Studi Pustaka

Dengan metode studi pustaka penulis mengumpulkan, memilih dan menganalisa beberapa sumber bacaan yang berkaitan dengan masalah relai sebagai acuan dalam penyusunan laporan.

2. Metode Dokumentasi

Yaitu penulis melakukan pengambilan dan pengumpulan data penelitian di PT. PLN (persero) APJ Yogyakarta data primer peralatan yang terpasang.

3. Metode Survei

Dengan cara melakukan pengamatan, dan tanya jawab dengan beberapa pegawai yang bertugas dalam memelihara transformator listrik yang ada di PT. PLN (persero) APJ Gedong Kuning Yogyakarta

Untuk menjalankan penelitian langkah yang dilakukan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Persiapan

Pada tahap ini beberapa hal yang dilakukan adalah :

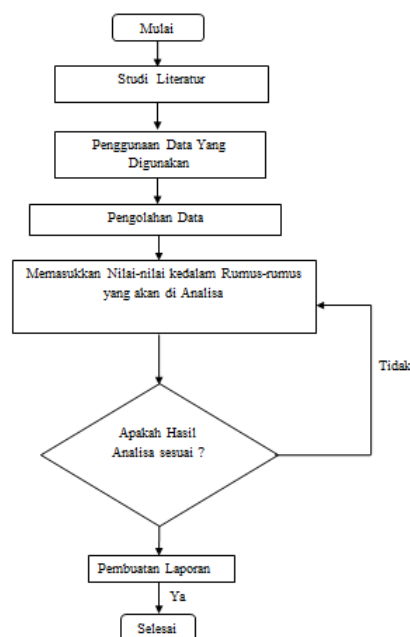
- Menyusun proposal untuk melaksanakan penelitian
- Membuat surat pengantar dari kampus untuk pelaksanaan
- Melakukan observasi lokasi serta melengkapi syarat-syarat administrasi

2. Pelaksanaan

Pada tahap ini beberapa hal yang dilakukan adalah :

- Memahami mekanisme kerja objek
- Memahami dokumen-dokumen yang dibutuhkan
- Mengumpulkan data-data yang diperlukan

Untuk lebih jelas penulis membuat diagram alir penelitian. Diagram alir penelitian yang dilakukan oleh penulis guna menyelesaikan penulisan laporan seperti pada gambar 6



Gambar 3 Data alir penelitian

• Data Arus

Data arus yang dibutuhkan adalah data arus yang mengalir dimasing-masing fasa (fasa R,S,T dan N). Data arus ini dibutuhkan untuk mengetahui besar arus rata-rata yang mengalir di fasa R, S dan T, sedangkan data arus netral di butuhkan untuk mengetahui besar rugi daya yang terjadi pada trafo distribusi. Hal ini merujuk gambar 2.4 yang menunjukkan adanya arus yang mengalir dimasing-masing fasa untuk keadaan beban tidak seimbang. Data arus ini dibutuhkan untuk menghitung besar rugi-rugi daya.

• Data Tegangan

Tegangan yang terdapat pada trafo distribusi ini adalah tegangan yang mengalir dimasing- masing fasa dan tegangan kerja yang terdapat pada trafo. Data tegangan yang dibutuhkan adalah data tegangan kerja trafo. Data ini dibutuhkan untuk mengetahui berapa besar arus puncak dimana data ini dibutuhkan merujuk pada persamaan (2-16) yaitu :

$$I_f = \frac{S}{\sqrt{3} V}$$

• Data Tahanan Atau Resistansi

Dalam transformator distribusi terdapat beberapa tahanan yaitu tahanan masing- masing fasa, tahanan pada trafo itu sendiri dan tahanan di netral trafo. Data tahanan yang dibutuhkan adalah tahanan yang terdapat pada trafo distribusi dimana

data ini dibutuhkan sesuai dengan persamaan (2-21) yaitu:

$$P_{CU} = I^2 R$$

Dimana persamaan diatas adalah untuk menghitung rugi tembaga pada trafo. Data tahanan lain yang dibutuhkan adalah data tahanan yang mengalir di penghantar netral trafo dimana hal ini merujuk pada persamaan (2-22) yaitu:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N$$

- Data Daya *Input* dan Daya *Output*

Data daya input dan output dibutuhkan untuk memenuhi persyaratan persamaan (2-24) dimana dalam persamaan ini jelas terlihat untuk mengetahui besar efisiensi harus diketahui besarnya daya input dan daya output yaitu:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

- Analisis Data

Analisa data dilakukan setelah pengambilan data di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru. Data-data yang diperoleh diubah kedalam bentuk matematis dan dianalisis menggunakan persamaan yang telah ada. Dalam menganalisis data yang diperoleh, tidak menggunakan metode apapun, karena perhitungan yang digunakan adalah perhitungan biasa.

- Analisis Beban Puncak

Analisa beban trafo dilakukan dengan menghitung arus beban penuh trafo terlebih dahulu menggunakan persamaan (2-16). Persamaan ini adalah untuk mengetahui arus total yaitu Analisa beban trafo dilakukan dengan menghitung arus beban penuh trafo terlebih dahulu menggunakan persamaan (2-16). Persamaan ini adalah untuk mengetahui arus total yaitu

$$I_{rata} = \frac{I_{FL}}{3}$$

Setelah arus rata-rata diketahui, seterusnya perbandingan arus rata-rata dan arus total dikali 100 % untuk mengetahui berapa persen pembebanan yang terdapat pada trafo distribusi yang mana dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{I_{rata}}{I_{FL}} \times 100\%$$

- Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo

Dengan menggunakan koefisien keseimbangan beban yaitu $a = b = c = 1$, maka arus rata-rata adalah arus fasa dalam keadaan seimbang. Jadi untuk mengetahui berapa besar ketidakseimbangan beban digunakan persamaan (2-10), (2-11) dan (2-12) sebagai berikut:

$$I_R = a \cdot I \text{ jadi } a = I_R / I_{rata-rata}$$

$$I_S = b \cdot I \text{ jadi } b = I_S / I_{rata-rata}$$

$$I_T = c \cdot I \text{ jadi } c = I_T / I_{rata-rata}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a , b dan c adalah 1. Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$\frac{(a-1)+(b-1)+(c-1)}{3} \times 100\%$$

- Analisis Rugi-rugi Daya

Adanya arus yang mengalir di netral trafo mengakibatkan rugi-rugi daya. Besarnya rugi daya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2-21) dan (2-22). Setelah diketahui besar rugi daya, maka persentase rugi daya dapat dihitung dengan membandingkan rugi daya dengan daya trafo.

- Analisis Efisiensi

Efisiensi adalah perbandingan antara daya masuk dan daya keluar. Analisis efisiensi perlu dilakukan supaya diketahui berapa daya yang hilang pada transformator distribusi. Perhitungan efisiensi dilakukan menggunakan persamaan (2-24).

- Hasil

Hasil adalah penyelesaian dari permasalahan yang ada dalam penelitian ini. Permasalahan yang ada diselesaikan dengan cara matematis menggunakan persamaan yang sudah ada. Hasil penelitian ini berupa kesimpulan yang menunjukkan trafo distribusi pada PT. PLN (Persero) Rayon Yogyakarta Kota dalam keadaan seimbang atau tidak, efisiensi trafo dan berapa rugi-rugi daya pada trafo distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Yogyakarta Kota.

III Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 Hasil Pengukuran Transformator siang

NO	GARDUINDUK	LOKASI	MERK	BEBAN (A)				TEG FASA (V)		
				R	S	T	N	RS	RT	ST
1	GI GEJAYAN	JL URIP SUMOHARJO	BD	92	58	38	51	369	369	369
2	GI GEJAYAN	JL AMSANGAJI	SINTRA	23	62,9	61,6	40,5	184	184	184
3	GI GEJAYAN	JL SUROTO	BD	94,4	55	36,2	47,8	182	182	182
4	GI BANTUL	JOGORAGAN	BD	74,4	77,1	29,6	40,1	159	159	159
5	GI WIROBRAJAN	JL DAGEN	TP	27,1	75,2	178,5	58,7	209	209	209
6	GI KENTUNGAN	JL C SIMANJUNTAK	STARLITE	43	111	122	34	183	183	183
7	GI KENTUNGAN	JL KALIURANG	TP	52,7	91,4	184,7	104,8	184	184	184
8	GI KENTUNGAN	KLASEMAN	SCHIEDER	60,4	66,5	18	27	190	190	190

Tabel 2 Hasil Pengukuran Transformator malam

NO	GARDUINDUK	LOKASI	MERK	BEBAN (A)				TEG FASA (V)		
				R	S	T	N	RS	RT	ST
1	GI GEJAYAN	JL URIP SUMOHARJO	BD	100	63	42	56	400	400	400
2	GI GEJAYAN	JL AMSANGAJI	SINTRA	28,1	76,8	75,2	49,5	225	225	225
3	GI GEJAYAN	JL SUROTO	BD	115,2	67,1	44,2	58,3	222	222	222
4	GI BANTUL	JOGORAGAN	BD	102,5	106,1	40,8	55,2	220	220	220
5	GI WIROBRAJAN	JL DAGEN	TP	29,8	82,5	195,6	64,4	230	230	230
6	GI KENTUNGAN	JL C SIMANJUNTAK	STARLITE	52	133	147	41	220	220	220
7	GI KENTUNGAN	JL KALIURANG	TP	62,9	109,1	220,5	125,5	220	220	220
8	GI KENTUNGAN	KLASEMAN	SCHIEDER	72,1	79,4	21,5	32,3	227	227	227

Dalam menganalisis data yang telah didapat dari PT. PLN (Persero) Rayon Yogyakarta Kota ini dilakukan secara perhitungan manual karena persamaan matematis yang digunakan hanya persamaan biasa yang bisa diselesaikan dengan cara manual tanpa menggunakan metode tertentu. Karena perhitungannya sama maka peneliti akan menghitung dari salah satu data siang dan malam harinya

Data Transformator 3 fasa yang berlokasi di Jalan Urip Sumoharjo, Gejayan.

- Merek Trafo : BAMBANG DJAJA (B&D)
- Daya : 160 KVA
- Kabel Optik Masuk : BC 3x150 mm² dengan tahanan R = 2,0526 Ω/Km
- Kabel Optik Keluar : BC 4x70 mm² dengan tahanan R = 0, 5049 Ω/Km
- Cos φ : 0,85

Tabel 3 Perhitungan Transformator di Jl. Urip Sumoharjo

12-Jan-17		Arus Fasa (A)				Tegangan Fasa (V)		
	Jam	R	S	T	N	RS	RT	ST
Pengukuran Siang Hari	13.00	92	58	38	51	369	369	369
Pengukuran Malam Hari	20.59	100	63	42	56	400	400	400

Dari tabel diatas tabel 4.3 dapat terlihat ketidakseimbangan beban yang terjadi dimasing-masing fasa R, S, T jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi di Yogyakarta khususnya Rayon Yogyakarta Kota di daerah Gejayan. Dimana dari tabel terlihat bahwa pemakaian listrik lebih banyak terjadi malam hari dibandingkan siang hari.

1. Analisis Beban Puncak

Dalam analisis beban ini perlu diketahui terlebih dahulu arus beban penuh dengan menggunakan persamaan (2-25) yaitu:

- Data tegangan Siang

$$I_F = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_F = \frac{160.000}{\sqrt{3} \times 369} = \frac{160.000}{639,1} = 250,35 \text{ A}$$

- Data tegangan Malam

$$I_F = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_F = \frac{160.000}{\sqrt{3} \times 400} = \frac{160.000}{692,8} = 230,9 \text{ A}$$

$$I_{rata-rata\ siang} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{92 + 58 + 38}{3} = 62,6 \text{ A}$$

$$I_{rata-rata\ malam} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{100 + 63 + 42}{3} = 68,33 \text{ A}$$

Jadi presentase beban adalah

a. Beban pada siang hari

$$\frac{I_{rata-rata\ siang}}{I_F} \times 100\% = \frac{62,6}{250,35} \times 100\% = 25\%$$

b. Beban pada malam hari

$$\frac{I_{rata-rata\ malam}}{I_F} \times 100\% = \frac{68,33}{230,9} \times 100\% = 29,5\%$$

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa beban puncak terjadi pada malam hari yaitu 29,5%.

2. Analisis Ketidakseimbangan Beban

Dari data diatas dapat dilihat bahwa beban dalam keadaan tidak seimbang. Besar ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2-19), (2-20) dan (2-21) yaitu:

$$I_R = a \cdot I \text{ jadi } a = I_R / I_{rata-rata}$$

$$I_S = b \cdot I \text{ jadi } b = I_S / I_{rata-rata}$$

$$I_T = c \cdot I \text{ jadi } c = I_T / I_{rata-rata}$$

a. Ketidakseimbangan beban pada siang hari

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{92}{62,6} = 1,46$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{58}{62,6} = 0,92$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{38}{62,6} = 0,60$$

Rata-rata ketidakseimbangan :

$$= \frac{a + b + c}{3} = \frac{1,46 + 0,92 + 0,60}{3} = 0,993$$

Jadi presentase ketidakseimbangan beban adalah

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

$$= \frac{\{|1,46 - 1| + |0,92 - 1| + |0,60 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 31,33\%$$

b. Ketidakseimbangan pada malam hari

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{100}{68,33} = 1,46$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{63}{68,33} = 0,92$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{42}{68,33} = 0,61$$

Rata-rata ketidakseimbangan :

$$= \frac{a + b + c}{3} = \frac{1,46 + 0,92 + 0,61}{3} = 0,996$$

Jadi presentase ketidakseimbangan beban adalah :

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

$$= \frac{\{|1,46 - 1| + |0,92 - 1| + |0,61 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 31\%$$

Dari hasil perhitungan diatas terlihat bahwa rata-rata ketidakseimbangan lebih besar terjadi malam hari dibandingkan siang hari yaitu sebesar 0,996.

3. Analisis Rugi-rugi Daya

Besar rugi daya yang terjadi pada trafo ini akibat arus yang mengalir di netral trafo adalah:

a. Pada siang hari

$$P_N = I_{N^2} R_N$$

$$P_N = 51^2 \cdot 0,5049 = 1313,24 \text{ Watt}$$

$$= 1,313 \text{ KW}$$

Daya aktif trafo adalah :

$$P = S \cos \varphi = 160 \cdot 0,85 = 136 \text{ KW}$$

Jadi persentase rugi-rugi daya akibat daya yang mengalir di netral trafo adalah:

$$\frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{1313,24}{136000} \times 100\% = 0,96 \%$$

b. Pada malam hari

$$P_N = I_{N^2} R_N$$

$$P_N = 56^2 \cdot 0,5049 = 1583,366 \text{ Watt}$$

$$= 1,583 \text{ KW}$$

Jadi presentase rugi daya pada malam hari adalah :

$$\frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{1583,366}{136000} \times 100\%$$

$$= 1,16 \%$$

Dari hasil perhitungan rugi-rugi daya diatas, dapat diketahui semakin besar ketidakseimbangan beban yang terjadi maka akan semakin besar rugi daya pada trafo.

4. Analisis Efisiensi

Untuk mengetahui besar efisiensi adalah dengan menggunakan rumus persamaan (2-33) yaitu :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

a. Pada siang hari

$$P_{out} = (a + b + c) V \cdot I \cos \varphi$$

$$= (1,46 + 0,92 + 0,61) 369 \cdot 62,6 \cdot 0,85$$

$$= 58707,12 \text{ Watt} = 58,707 \text{ KW}$$

Jadi efisiensi pada siang hari adalah :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{58,707 \text{ KW}}{P_{out} + \text{rugi daya}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{58,707 \text{ KW}}{58,707 \text{ KW} + 1,313 \text{ KW}} \times 100\%$$

$$= \frac{58,707 \text{ KW}}{60,02 \text{ KW}} \times 100\%$$

$$= 97,8\%$$

b. Pada malam hari
 $P_{out} = (a + b + c) V . I \cos\phi$

$$= (1,46 + 0,92 + 0,61) 400 \cdot 68,33 \cdot 0,85$$

$$= 69464,278 \text{ Watt} = 69,464 \text{ KW}$$

Jadi efisiensi pada malam hari adalah

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{69,464 \text{ KW}}{P_{out} + \text{rugi daya}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{69,464 \text{ KW}}{69,464 \text{ KW} + 1,583 \text{ KW}} \times 100\%$$

$$= \frac{69,464 \text{ KW}}{71,047 \text{ KW}} \times 100\%$$

$$= 97,7\%$$

Dari perhitungan efisiensi diatas, dapat diketahui untuk memperoleh nilai efisiensi yang besar maka harus diusahakan rugi-rugi yang terjadi kecil. Pada penelitian ini efisiensi yang besar terjadi pada siang hari.

Hasil Analisis Tabel

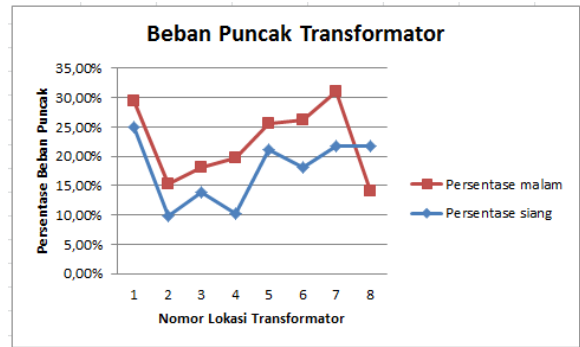
Tabel 4. Hasil Beban Puncak Siang

No	Lokasi	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _{rata-rata} (A)	Persentase (%)
1	JL URIP SUMOHARJO	98	58	38	62,6	25
2	JL AM SANGAJI	23	62,9	61,6	49,1	9,77
3	JL SUROTO	94,4	55	36,2	70,3	13,8
4	JOGORAGAN	74,4	77,1	29,6	60,3	10,3
5	JL DAGEN	27,1	75,2	178,5	93,6	21,1
6	JL C SIMANJUNTAK	43	111	122	92	18,22
7	JL KALIURANG	52,7	91,4	184,7	109,6	21,8
8	KLASEMAN	60,4	66,5	18	48,3	9,93

Tabel 5. Hasil Beban Puncak Malam

No	Lokasi	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _{rata-rata} (A)	Persentase (%)
1	JL URIP SUMOHARJO	100	63	42	68,33	29,5
2	JL AM SANGAJI	28,1	76,8	61,6	60	15,3
3	JL SUROTO	115,2	67,1	44,2	75,5	18,1
4	JOGORAGAN	102,5	106,1	40,8	83,1	19,7
5	JL DAGEN	29,8	82,5	195,6	102,6	25,5
6	JL C SIMANJUNTAK	52	133	147	110	26,1
7	JL KALIURANG	62,9	109,1	220,5	130,8	31,1
8	KLASEMAN	72,1	79,4	21,5	57,6	14,1

Dari tabel 4.4 dan 4.5 menunjukkan bahwa arus yang mengalir di fasa R, S dan T berbeda baik itu siang hari dan malam hari. Berdasarkan pengukuran ini dapat dikatakan bahwa beban trafo dalam keadaan tidak seimbang dan ketidakseimbangan lebih besar terjadi pada malam hari. Beban puncak terjadi pada malam hari pada transformator di Jl. Kaliurang dengan persentase sebesar 31,1% dengan I_{rata-rata} sebesar 130,8 Ampere.



Gambar 6 Grafik beban puncak transformator

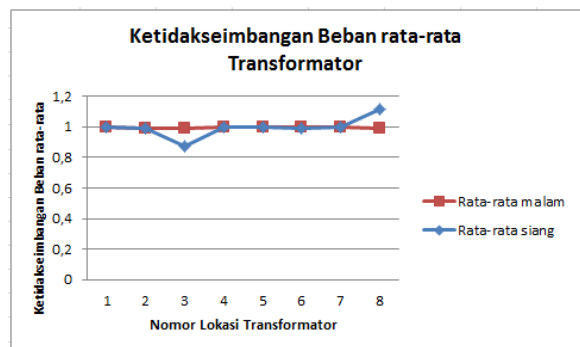
Tabel 6. Hasil Ketidakseimbangan beban siang

No	Lokasi	a	b	c	Ketidakseimbangan rata-rata	Persentase (%)
1	JL URIP SUMOHARJO	1,46	0,92	0,60	0,993	31,33
2	JL AM SANGAJI	0,46	1,28	1,25	0,99	35,6
3	JL SUROTO	1,34	0,78	0,51	0,87	35
4	JOGORAGAN	1,23	1,27	0,49	0,996	33,66
5	JL DAGEN	0,28	0,80	1,90	0,993	60,6
6	JL C SIMANJUNTAK	0,46	1,20	1,32	0,99	35,33
7	JL KALIURANG	0,48	0,83	1,68	0,996	45,66
8	KLASEMAN	1,39	1,53	0,41	1,11	50

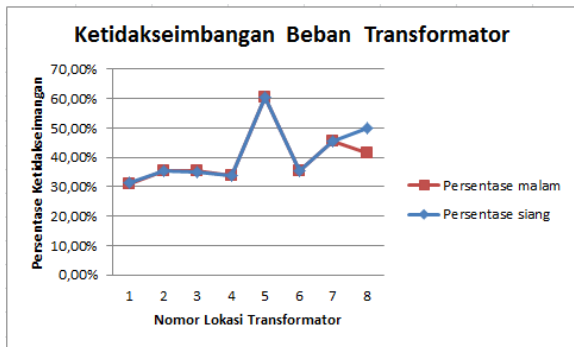
Tabel 7. Hasil Ketidakseimbangan beban malam

No	Lokasi	a	b	c	Ketidakseimbangan an rata-rata	Persentase (%)
1	JL URIP SUMOHARJO	1,46	0,92	0,61	0,996	31
2	JL AM SANGAJI	0,46	1,28	1,25	0,99	35,6
3	JL SUROTO	1,52	0,88	0,58	0,99	35,33
4	JOGORAGAN	1,23	1,27	0,49	0,996	33,66
5	JL DAGEN	0,29	0,80	1,90	0,996	60,3
6	JL C SIMANJUNTAK	0,46	1,20	1,33	1	35,33
7	JL KALIURANG	0,48	0,83	1,68	0,996	45,66
8	KLASEMAN	1,25	1,37	0,37	0,99	41,6

Dari tabel 7 dan 8 menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban rata-rata terjadi pada malam hari sebesar 2,99 di Jl. Urip Sumoharjo dan persentase ketidakseimbangan beban di Jl. Dagen sebesar 60 % terjadi dimalam hari.



Gambar 7 Ketidakseimbangan rata-rata



Gambar 8 Grafik Persentase Ketidakseimbangan transformator

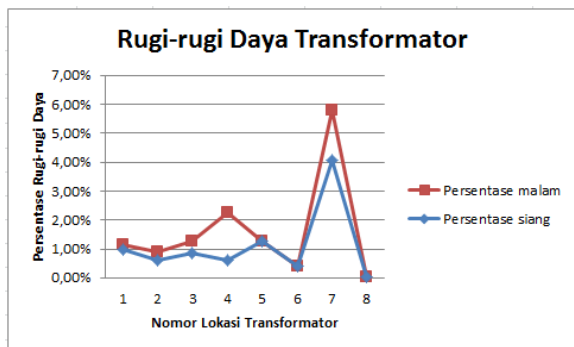
Tabel 8. Rugi-rugi Daya Siang

No	Lokasi	$R_{\text{in}} (\Omega)$	$I_{\text{n}} (\text{A})$	$P_{\text{n}} (\text{KW})$	Persentase (%)
1	JL URIP SUMOHARJO	0,5049	51	1,313	0,96
2	JL AM SANGAJI	0,5049	40,3	8,28	0,60
3	JL SUROTO	0,5049	47,8	1,153	0,84
4	JOGORAGAN	0,5049	40,1	8,11	0,59
5	JL DAGEN	0,5049	58,7	1,739	1,27
6	JL C SIMANJUNTAK	0,5049	34	5,83	0,42
7	JL KALIURANG	0,5049	104,2	5,545	4,07
8	KLASEMAN	0,5049	32,3	3,68	0,002

Tabel 9. Rugi-rugi Daya Malam

No	Lokasi	$R_{\text{in}} (\Omega)$	$I_{\text{n}} (\text{A})$	$P_{\text{n}} (\text{KW})$	Persentase (%)
1	JL URIP SUMOHARJO	0,5049	56	1,583	1,16
2	JL AM SANGAJI	0,5049	40,5	1,237	0,90
3	JL SUROTO	0,5049	58,3	1,716	1,26
4	JOGORAGAN	0,5049	55,2	3,047	2,24
5	JL DAGEN	0,5049	64,4	1,739	1,27
6	JL C SIMANJUNTAK	0,5049	41	5,83	0,42
7	JL KALIURANG	0,5049	125,1	7,901	5,81
8	KLASEMAN	0,5049	32,3	5,25	0,003

Dari tabel 8 dan 9 terlihat bahwa rugi-rugi daya lebih besar terjadi pada malam hari di Jl. Kaliurang sebesar 7,901 KW dengan persentase malam hari sebesar 5,81%. Hal ini terjadi karena pemakaian beban lebih banyak terjadi pada malam hari dan ketidakseimbangan beban juga lebih besar terjadi pada malam hari sehingga menyebabkan arus mengalir di penghantar netral trafo lebih besar. Jadi dapat dikatakan bahwa semakin besar arus yang mengalir di penghantar netral trafo akan menyebabkan semakin besar rugi daya dan semakin besar pula persentase rugi-rugi daya.



Gambar 9 Grafik rugi-rugi daya

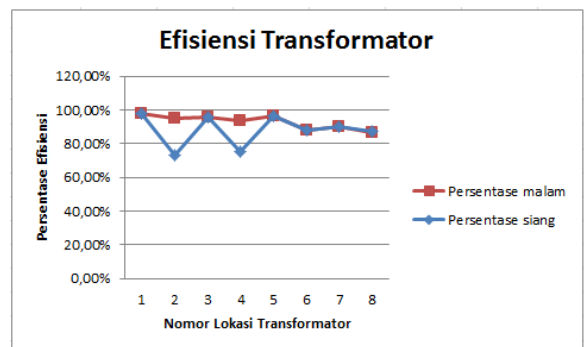
Tabel 10. Hasil Efisiensi Siang

No	Lokasi	$P_{\text{in}} (\text{KW})$	$P_{\text{out}} (\text{KW})$	Efisiensi (%)
1	JL URIP SUMOHARJO	60,02	71,047	97,8
2	JL AM SANGAJI	31,24	22,960	73,4
3	JL SUROTO	29,755	28,602	96,1
4	JOGORAGAN	32,477	24,367	75
5	JL DAGEN	51,29	49,551	96,6
6	JL C SIMANJUNTAK	48,615	42,788	88
7	JL KALIURANG	56,797	51,252	90,2
8	KLASEMAN	29,655	25,975	87,59

Tabel 11. Hasil Efisiensi Malam

No	Lokasi	$P_{\text{in}} (\text{KW})$	$P_{\text{out}} (\text{KW})$	Efisiensi (%)
1	JL URIP SUMOHARJO	71,047	69,464	97,7
2	JL AM SANGAJI	36,197	34,310	94,7
3	JL SUROTO	44,171	42,455	96,1
4	JOGORAGAN	49,51	46,463	93,84
5	JL DAGEN	62,041	59,974	96,6
6	JL C SIMANJUNTAK	70,19	61,710	87,9
7	JL KALIURANG	81,035	73,134	90,24
8	KLASEMAN	30,48	33,230	86,35

Dari tabel 4.10 dan 4.11 terlihat bahwa efisiensi trafo lebih besar pada siang hari yaitu sebesar 97,8% berbeda sedikit dengan malam hari. Hal ini terjadi karena pemakaian beban lebih banyak terjadi pada siang hari. Dari sini dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar pemakaian beban listrik maka akan semakin besar efisiensi trafo dan semakin kecil rugi daya akan semakin besar efisiensi trafo.



Gambar 10 Grafik Efisiensi transformator

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

1. Trafo distribusi yang terdapat di Rayon Yogyakarta Kota khususnya di Kota Yogyakarta dalam keadaan tidak seimbang karena arus yang mengalir dimasing-masing fasa R, S, T, N berbeda-beda, hal ini merujuk saat pengukuran siang dan malam hari.
2. Beban puncak terjadi pada malam hari di Jl. Urip Sumoharjo dimana persentase beban adalah 28,84 % dengan $I_{\text{rata-rata}}$ 68,33 A.

3. Ketidakseimbangan beban lebih besar terjadi pada siang hari, yang mana semakin besar ketidakseimbangan beban maka akan semakin besar pula persentase ketidakseimbangan beban tersebut, dimana pada trafo ini persentase ketidakseimbangan beban di Jl. Dagen pada siang hari sebesar 60,6%, berbanding sedikit dengan persentase malam harinya.
4. Rugi-rugi daya transformator di Jl. Kaliurang lebih besar terjadi pada malam hari dibandingkan pada siang hari yaitu sebesar 7,901 KW dan dengan persentase 5,81%.
5. Efisiensi transformator distribusi yang berada di Jalan Urip Sumoharjo ini cukup besar pada siang hari yaitu 97,8%. Efisiensi akan semakin besar apabila daya masuk dan daya keluar tidak mempunyai selisih yang besar atau efisiensi akan besar apabila rugi-rugi daya semakin kecil.

b. Saran

1. Diharapkan dalam perencanaan pembangunan transformator distribusi agar memperhatikan pemasangan beban agar didapatkan keseimbangan beban dimana jika beban dalam keadaan seimbang arus yang mengalir di netral trafo semakin kecil dan sebaliknya apabila ketidakseimbangan beban semakin besar maka akan semakin besar pula arus yang mengalir di netral trafo yang mengakibatkan semakin besar pula rugi daya (*losses*).
2. Bagi yang ingin meneruskan penelitian ini diharapkan agar peneliti bisa memberikan cara untuk mengatasi supaya ketidakseimbangan beban tidak terjadi ataupun ketidakseimbangan beban dapat diminimalisir.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Deni Mulyadi, 2011, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Rugi Daya Saluran Netral Jaringan Distribusi Tegangan Rendah", [Online], <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja>
- Antonius Ibi Weking, 2009, "Pengembangan Analisis Aliran Daya Dengan Memperhitungkan Pengaruh Kualitas Energi Listrik", [Online], <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=analisis%20ketidakseimbangan>
- Aprilian P. Kawihing, 2013, "Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder", [online], ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/download/920/73 6. (diakses 16 april 2017)
- Bambang Winardi, dkk. 2009, "perhitungan Dan Analisis Keseimbangan Beban Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadap Rugi-rugi Daya (Studi Kasus Pada PT. PLN UPJ SLAWI", [Online], <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDQQFjAB&url=http%3A%2F%2Fejournal.undip.ac.id%2Findex.php%2F>
- Dimas Mahardhika, 2010, "Pengembangan Trafo Distribusi Berdasarkan Pertumbuhan Beban Tahun 2012-2016 di UPJ Batang", [online], ejournal.undip.ac.id/index.php/transmisi/article/download/3605/pdf.
- Ermawanto, "Analisa Berlangganan Listrik Antara Tegangan Menengah (TM) Dengan Tegangan Rendah (TR) dan Analisa Efisiensi Trafo Dalam Rangka Konservasi Energi Kampus UNDIPTembalang", [online], <http://eprints.undip.ac.id/25715/1/ML2F001595.pdf>.
- I Wayan Sudiarta, 2012, "Optimalisasi Pembebanan Transformator Daya di Gardu Induk Gianyar", [online], http://p3m.pnb.ac.id/dokument/jurnal/1336100689_Sudirtha.pdf. (diakses 05 april 2017)
- Moh. Dahlan, 2009, "Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi", [online], http://eprints.umk.ac.id/77/1/AKIBAT_KETIDAKSEIMBANGAN_BEBAN_TERHADAP.pdf. (diakses 11 april 2017)
- Sentosa, dkk. 2006, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi", PT. PLN (persero), Surabaya, [online], puslit.petra.ac.id/journals/request.php?PublishedID=ELK07070202 (diakses 3 Januari 2017)
- Sulasno, 2009, "Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan", Yogyakarta, Graha Ilmu.
- Trevor linsley, 2002 "Instalasi Listrik Tingkat Lanjut", edisi ketiga, Jakarta, Erlangga.
- Tri Watiningsih, 2012, "pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo distribusi", [online], <http://ejournal.unwiku.ac.id/index.p>

[hp/jite/article/download/169/48](http://jite/article/download/169/48). (diakses 1 Januari 2017)

Tri Watiningsih, 2012, " Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah", [online], e-journal.unwiku.ac.id/index.php/jite/article/download/172/46.

PT. PLN (PERSRO) APJ GEDONG KUNING YOGYAKARTA Jurnal Buku panduan jaringan distribusi

D. S. William, Jr., *Analisis Sistem Tenaga*, Edisi keempat, Alih Bahasa oleh Ir. Kamal idris, Penerbit erlangga, Jakarta, 1993.