

Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV/400V Di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban

Rizky Syahputra Siregar⁽¹⁾, Raja Harahap⁽²⁾

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: r_putra@rocketmail.com

Abstrak

Dalam penyaluran energi listrik sering kali dijumpai pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban ini disebabkan karena waktu penyalaan beban yang tidak serempak, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S, T, dan pemasangan beban yang tidak seimbang pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban ini dapat mengakibatkan timbulnya arus pada kawat netral, rugi-rugi, dan turunnya efisiensi transformator distribusi tersebut. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa ketidakseimbangan beban menyebabkan arus netral, dan rugi-rugi menjadi besar dimana nilai arus netral, rugi-rugi P_{Cu} dan P_N terbesar 96,6 A, 7,67 kW dan 1,157 kW pada transformator kedua di malam, sedangkan nilai arus netral terkecil sebesar 4,72 A pada transformator pertama di pagi hari untuk rugi-rugi P_{Cu} dan P_N terkecil sebesar 0,034 kW dan 0,004 kW pada transformator pertama di pagi hari, serta efisiensi dari ketiga transformator tiga fasa distribusi yang diteliti mengalami penerunan, walaupun penurunan efisiensi dari ketiga transformator tersebut tidak terlalu besar, dimana efisiensi tertinggi sebesar 98,183 % pada transformator pertama di pagi hari dan efisiensi terendah sebesar 92,901 % pada transformator ketiga di malam hari.

Kata Kunci : Transformator Distribusi, Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral, Rugi-rugi, Efisiensi

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini, kebutuhan energi listrik sangatlah banyak bagi umat manusia. Energi listrik banyak digunakan baik di dalam industri maupun rumah tangga. Oleh karena itu, penyediaan listrik yang stabil dan kontinu adalah hal paling utama yang harus selalu dijaga sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik.

Dalam penyaluran energi listrik pada jaringan tegangan rendah, salah satu peralatan utama yang digunakan adalah Transformator Distribusi 3 Fasa. Trafo distribusi ini berfungsi untuk menurunkan tegangan sehingga tegangan tersebut dapat dipakai dengan aman oleh konsumen pada jaringan tegangan rendah seperti rumah tangga, lampu jalan, sekolah, dan lain-lain.

Dalam penyaluran energi listrik sering kali dijumpai pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban ini disebabkan karena waktu penyalaan beban yang tidak serempak, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S, T, dan pemasangan beban yang tidak seimbang pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban ini dapat mengakibatkan timbulnya arus pada kawat netral, rugi-rugi, dan turunnya efisiensi trafo distribusi tersebut. Jika ketidakseimbangan beban ini dibiarkan, maka dapat menimbulkan kerugian besar dari PLN. 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. Transformator distribusi adalah transformator yang berfungsi untuk menurunkan tegangan utama dari sistem distribusi listrik dengan tujuan agar tegangan tersebut dapat digunakan konsumen dengan aman.

II. DASAR TEORI

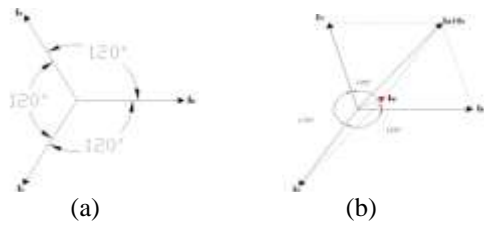
A. Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan beban adalah suatu keadaan dimana satu atau dua syarat dari beban seimbang tidak terpenuhi. Ada tiga kemungkinan keadaan beban tidak seimbang, yaitu:

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

Pada Gambar 1 (a) menunjukkan bahwa penjumlahan ketiga vektor arus (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 1 (b) menunjukkan bahwa penjumlahan ketiga vektor arus (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya

bergantung pada besar faktor ketidakseimbangannya.



Gambar 1 (a) Vektor diagram arus dalam keadaan seimbang
(b) Vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang

Pada Gambar 1 (a) menunjukkan bahwa penjumlahan ketiga vektor arus (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 1 (b) menunjukkan bahwa penjumlahan ketiga vektor arus (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung pada besar faktor ketidakseimbangannya.

Arus yang mengalir pada kawat netral yang merupakan arus bolak-balik untuk sistem distribusi tiga fasa empat kawat adalah penjumlahan vektor dari ketiga arus fasa dalam komponen simetris. Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini jumlah arus saluran sama dengan arus netral yang kembali lewat kawat netral, menjadi :

$$I_N = I_a + I_b + I_c \quad (1)$$

B. Penyaluran dan Susut Daya Pada Transformator

Daya sebesar P daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P = 3.V.I.\cos \varphi \quad (2)$$

Jika (I) adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$I_R = a.I \quad (3)$$

$$I_S = b.I \quad (4)$$

$$I_T = c.I \quad (5)$$

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai:

$$P = (a + b + c)V.I.\cos \varphi \quad (6)$$

Apabila persamaan (4) dan persamaan (7) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \quad (8)$$

Dimana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$

III. METODE PENELITIAN

A. Studi Literatur

Studi literatur berkaitan dengan studi kepustakaan dan kajian dari berbagai sumber pustaka yang relevan dan mendukung serta membaca teori-teori yang berkaitan.

B. Studi Lapangan

Studi lapangan berkaitan dengan melaksanakan pengambilan data ukur yang dibutuhkan pada beberapa transformator distribusi di sisi tegangan rendah (sisi sekunder) di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur.

D. Bahan Dan Peralatan

Dalam penelitian ini bahan dan peralatan yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut:

1. Transformator distribusi 3 fasa 100 kVA, 20 kV/ 400 V
2. Transformator distribusi 3 fasa 160 kVA, 20 kV/ 400 V
3. Transformator distribusi 3 fasa 50 kVA, 20 kV/ 400V
4. Tang *ampere* meter

E. Variabel yang diamati

Variabel-variabel yang diamati dalam penelitian ini meliputi:

1. Arus *full load*
2. Arus rata-rata
3. persen (%) pembebanan pada trafo distribusi 3 fasa
4. ketidakseimbangan beban dan rata-rata ketidakseimbangan beban dalam (%)
5. Rugi-rugi tembaga, dan rugi-rugi akibat adanya arus netral pada transformator
6. Efisiensi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Percobaan

Dalam melakukan penelitian di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur ada tiga buah transformator distribusi 3 fasa yang dianalisis yang mana lokasi ketiga transformator tersebut berada di dekat kantor wilayah PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur itu sendiri. Waktu penelitian dilakukan pada pagi hari (pukul 10.30-11.30) dan malam hari (pukul 19.30-20.30). Berikut ini adalah data-data dari ketiga transformator distribusi 3 fasa tersebut.

- Data transformator pertama SINTRA
Kode gardu distribusi : MT 807
Daya : 50 kVA
Rating tegangan : 20 kV / 400 V
Jenis kabel ketiga fasa: NYY 95 mm²
dengan $R = 0,193 \Omega/\text{Km}$

Jenis kabel netral: NYY 95 mm² dengan
R = 0,193 Ω/Km
Cos phi : 0,85

Tabel 1. Hasil pengukuran pada transformator pertama pada pagi hari

Hari	V _R (V)	V _S (V)	V _T (V)	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _N (A)
1	400	400	400	9,14	6,22	7,63	4,72
2	407	407	407	8,94	15,37	11,61	5,01
3	405	405	405	12,7	7,91	8,15	5,62
4	407	407	407	11,8	4,48	9,13	6,79
5	406	406	406	14	11,61	6,71	6,93
6	413	413	413	7,23	15,10	13,57	7,23
7	402	402	402	13,46	6,08	12,41	7,76
8	404	404	404	14,24	5,83	9,11	9,39

Tabel 2 Hasil pengukuran pada transformator pertama pada malam hari

Hari	V _R (V)	V _S (V)	V _T (V)	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _N (A)
1	397	401	402	21,3	12,4	9,8	9,4
2	406	406	406	11,57	17,03	15,97	4,89
3	406	406	406	11,47	17,22	12,97	4,96
4	408	408	408	17,8	15,41	10,06	5,15
5	407	407	407	20,7	13,28	13,65	5,31
6	404	404	404	19,8	17,97	10,17	6,72
7	407	407	407	7,63	16,99	15,04	7,81
8	407	407	407	19,8	7,52	15,32	7,92

- Data transformator kedua STARLITE
Kode gardu distribusi : MT 186
Daya : 160 kVA
Rating tegangan : 20 kV / 400 V
Jenis kabel setiap fasa : NYY 150 mm²
dengan R = 0,124 Ω/km
Jenis kabel netral: NYY 150 mm²
dengan R = 0,124 Ω/km
Cos phi : 0,85

Tabel 3. Hasil pengukuran pada transformator kedua pada pagi hari

Hari	V _R (V)	V _S (V)	V _T (V)	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _N (A)
1	400	400	400	76,7	48,1	97,3	49,7
2	416	416	416	83,5	65	80,6	30,2
3	425	425	425	107,6	91,3	66,8	50,5
4	417	417	417	101,5	78,6	62,7	45,8
5	415	415	415	87,9	56,5	51,5	32
6	415	415	415	75,3	57,3	110	47,3
7	413	413	413	72	49	101,6	50,8
8	418	418	418	60	52,4	103,3	51,5

Tabel 4. Hasil pengukuran pada transformator kedua pada malam hari

Hari	V _R (V)	V _S (V)	V _T (V)	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _N (A)
1	406	410	405	124,4	97,5	192,2	96,6
2	417	417	417	111,1	87,8	121,3	44,6
3	418	418	418	88,1	112,4	122,5	49,6
4	418	418	418	85,2	111,5	120,7	47,8
5	420	420	420	160,5	118,6	100,2	66,7
6	417	417	417	135,4	88,8	152,9	56,2
7	418	418	418	108,6	81,2	144,6	70,5
8	414	414	414	129,5	75,8	141,3	70,3

- Data transformator ketiga tp TRAFINDO
Kode gardu distribusi : MT 851
Daya : 100 kVA
Rating tegangan : 20 kV / 400 V
Jenis kabel setiap fasa : NYY 95 mm² dengan
R = 0,193 Ω/km
Jenis kabel netral: NYY 95 mm²
dengan R = 0,193 Ω/km
Cos phi : 0,85

Tabel 5. Hasil pengukuran pada transformator ketiga pada pagi hari

Hari	V _R (V)	V _S (V)	V _T (V)	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _N (A)
1	399	399	399	61,9	99,4	42,6	51
2	400	400	400	55,2	72,7	60,4	25,6
3	402	402	402	83	78,7	50,1	31
4	400	400	400	93,7	81,5	53,2	33,5
5	403	403	403	104,3	80,7	54,4	52,7
6	400	400	400	96,6	85,8	51,7	35
7	400	400	400	93,1	60,6	47,6	46,3
8	407	407	407	113	64,6	41,6	60,5

Tabel 6. Hasil pengukuran pada transformator ketiga pada malam hari

Hari	V _R (V)	V _S (V)	V _T (V)	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _N (A)
1	395	398	399	94,4	73,3	53,6	42,2
2	401	401	401	117,1	78,8	66,6	35,3
3	402	402	402	135,5	79,8	76,1	56,9
4	407	407	407	122,2	90,4	52,4	63,2
5	403	403	403	114,9	75,6	52,4	47,9
6	402	402	402	111,5	71,4	51,3	52,2
7	403	403	403	113,1	73,5	50,9	48,7
8	398	398	398	155,5	81,6	64,1	61,8

B. Analisis Data

Dari analisis yang dilakukan pada ketiga transformator, maka didapatkan hasil perhitungan untuk pembebanan, ketidakseimbangan beban, rugi-rugi, dan efisiensi dari setiap transformator, yang dapat dilihat pada tabel-tabel berikut :

Tabel 7. Hasil analisis pembebanan pada ketiga transformator

Hari	Waktu	Transformator pertama	Transformator kedua	Transformator ketiga
		% b	% b	% b
1	Pagi	10,617	32,055	47,087
	Malam	20,091	59,767	51,198
2	Pagi	16,585	33,064	43,459
	Malam	20,584	46,214	56,39
3	Pagi	13,282	38,346	48,911
	Malam	19,232	46,621	67,292
4	Pagi	11,736	35,042	52,743
	Malam	19,98	45,811	61,202
5	Pagi	14,923	28,275	55,285
	Malam	21,989	54,744	56,089
6	Pagi	16,571	35,012	54,059
	Malam	22,142	54,428	54,08
7	Pagi	18,317	32,128	46,487
	Malam	14,756	48,262	54,84
8	Pagi	13,468	31,132	50,616
	Malam	19,689	50,024	69,557

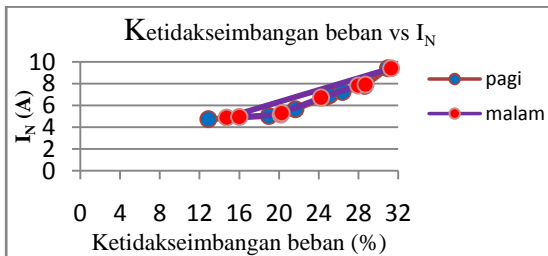
Tabel 8. Hasil analisis ketidakseimbangan beban dan rugi-rugi pada ketiga transformator

Hari	Waktu	Transformator pertama			Transformator kedua			Transformator ketiga		
		Ketidakseimbangan beban (%)	PCu _{Tot} (kW)	P _N (kW)	Ketidakseimbangan beban (%)	PCu _{Tot} (kW)	P _N (kW)	Ketidakseimbangan beban (%)	PCu _{Tot} (kW)	P _N (kW)
1	Pagi	12,867	0,034	0,004	23,367	2,188	0,306	30,83	2,995	0,501
	Malam	31,267	0,134	0,017	26,167	7,67	1,157	18,5	3,321	0,343
2	Pagi	18,96	0,086	0,004	9,9	2,192	0,113	10,567	2,312	0,126
	Malam	14,73	0,1298	0,0046	11,8	4,309	0,246	21,73	4,7	0,24
3	Pagi	21,633	0,056	0,006	16,33	3,021	0,316	18,433	3,008	0,185
	Malam	16	0,1143	0,0047	12,067	4,388	0,305	26,367	5,889	0,624
4	Pagi	24,733	0,045	0,008	17	3,021	0,316	20,3	3,521	0,216
	Malam	20,167	0,1258	0,0051	12,93	4,247	0,283	27,1	4,988	0,77
5	Pagi	25,1	0,071	0,009	23,1	2,53	0,26	21,23	3,926	0,536
	Malam	20,267	0,152	0,0054	17,967	6,182	0,551	27,967	4,179	0,442
6	Pagi	26,4	0,089	0,01	24,03	2,61	0,277	22,467	3,7367	0,236
	Malam	24,233	0,156	0,008	19,567	6,148	0,391	28,567	3,889	0,525
7	Pagi	28,6	0,07	0,011	24,63	2,218	0,319	25,83	2,312	0,126
	Malam	27,967	0,109	0,0117	19,833	4,871	0,616	28,6	4,0102	0,457
8	Pagi	30,967	0,061	0,017	29,13	2,109	0,328	36,43	2,817	0,413
	Malam	28,7	0,1311	0,012	22,9	5,266	0,612	36,6	6,744	0,737

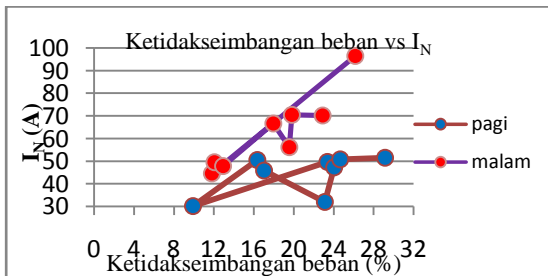
Tabel 9. Hasil analisis efisiensi pada ketiga transformator

Hari	Waktu	Transformator pertama	Transformator kedua	Transformator ketiga
		η (%)	η (%)	η (%)
1	Pagi	97,649	96,307	94,794
	Malam	98,013	93,988	94,99
2	Pagi	98,103	96,767	96,33
	Malam	98,183	95,813	94,462
3	Pagi	97,902	96,249	95,44
	Malam	98,162	95,748	93,604
4	Pagi	97,741	96,424	95,042
	Malam	98,17	95,808	93,8
5	Pagi	97,978	96,904	94,51
	Malam	98,167	94,994	94,413
6	Pagi	98,061	96,229	94,901
	Malam	98,127	95,063	94,43
7	Pagi	97,926	96,441	95,093
	Malam	98,069	95,277	94,46
8	Pagi	97,774	96,416	94,269
	Malam	97,468	95,098	92,901

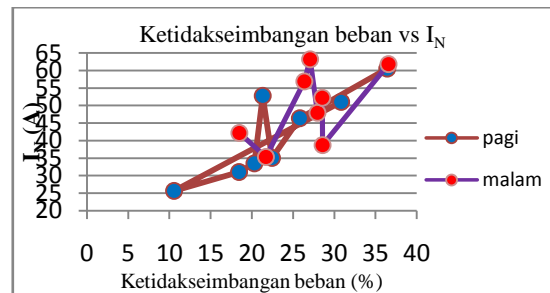
Adapun pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral, rugi-rugi, dan efisiensi pada ketiga transformator dapat dilihat pada kurva-kurva berikut.



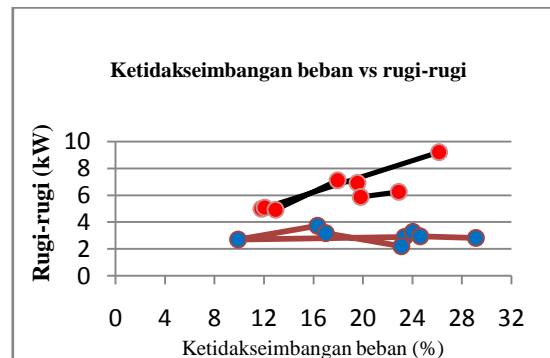
Gambar 2 Kurva ketidakseimbangan beban terhadap I_N trafo pertama pada pagi hari dan malam hari



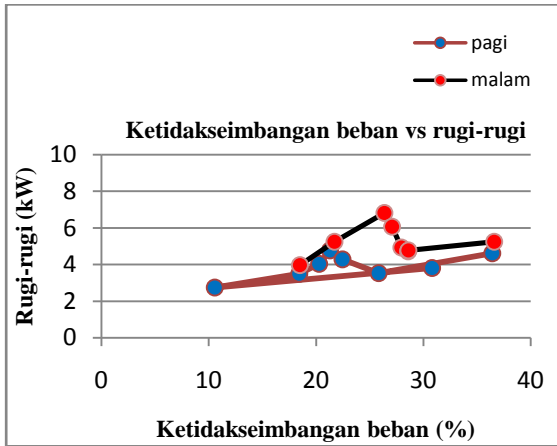
Gambar 3. Kurva ketidakseimbangan beban terhadap I_N trafo kedua pada pagi hari dan malam hari



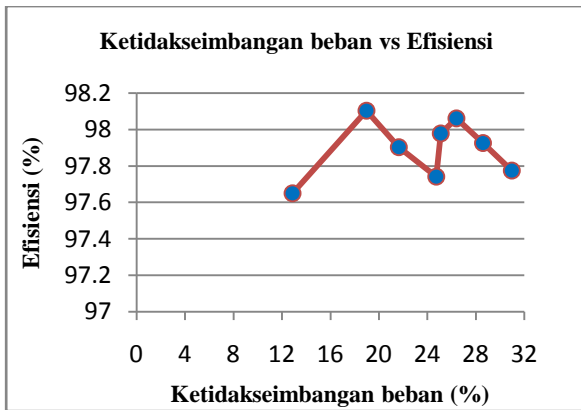
Gambar 4. Kurva ketidakseimbangan beban terhadap I_N trafo ketiga pada pagi hari dan malam hari



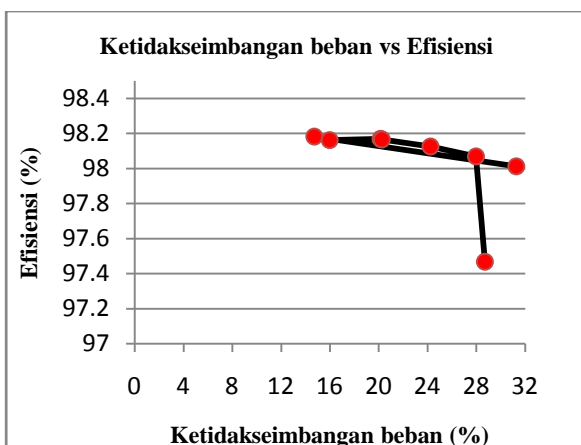
Gambar 5. Kurva ketidakseimbangan beban terhadap rugi-rugi transformator kedua pada pagi hari dan malam hari



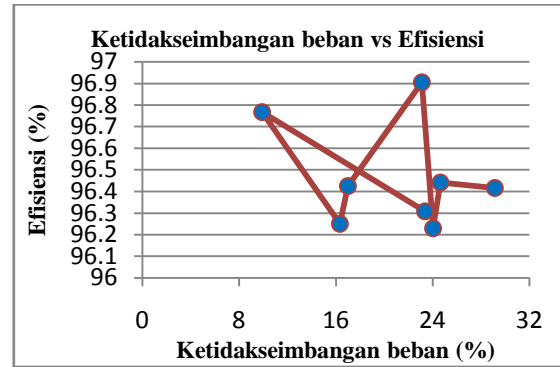
Gambar 6. Kurva ketidakseimbangan beban terhadap rugi-rugi transformator ketiga pada pagi hari dan malam hari



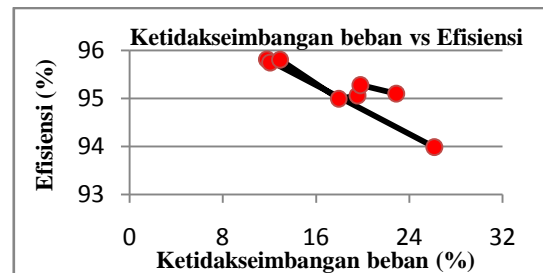
Gambar 7. Kurva ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi pada transformator pertama pada pagi hari



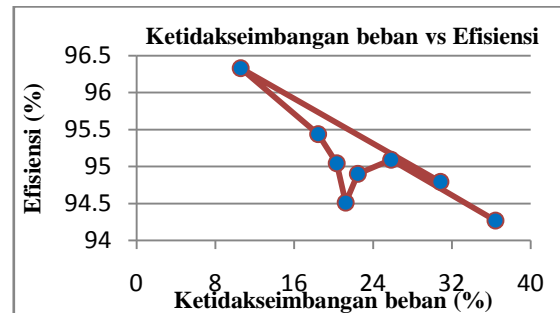
Gambar 8. Kurva ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi pada transformator pertama pada malam hari



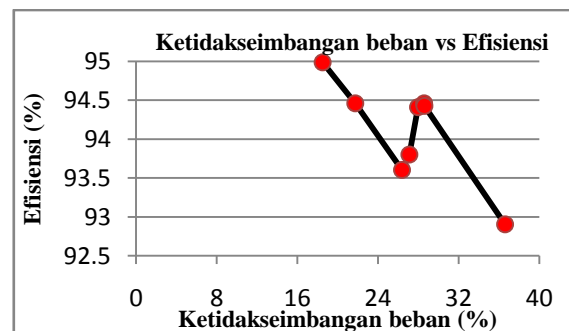
Gambar 9. Kurva ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi pada transformator kedua pada pagi hari



Gambar 10. Kurva ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi pada transformator kedua pada malam hari



Gambar 11. Kurva ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi pada transformator ketiga pada pagi hari



Gambar 12. Kurva ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi pada transformator ketiga pada malam hari

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisis pada penelitian ini, maka diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

1. Adanya ketidakseimbangan beban pada transformator pertama, kedua, dan ketiga di rayon medan timur mengakibatkan efisiensi dari ketiga transformator berkurang tetapi dampaknya tidak terlalu besar, dimana efisiensi terendah sebesar 92,901 % pada trafo ketiga di malam hari, sedangkan efisiensi tertinggi sebesar 98,183 % pada trafo pertama di pagi hari.
2. Adanya ketidakseimbangan beban pada trafo pertama, kedua, dan ketiga di rayon medan timur menyebabkan timbulnya arus netral yang kecil untuk transformator pertama, tetapi menimbulkan arus netral yang besar pada transformator kedua dan ketiga, dimana I_N tertinggi sebesar 96,6 A pada trafo pertama di malam hari, sedangkan I_N terendah sebesar 4,72 A di pagi hari.
3. Adanya ketidakseimbangan beban pada transformator pertama, kedua, dan ketiga di rayon medan timur menyebabkan rugi-rugi transformator semakin besar, dimana P_{Cu} dan P_N tertinggi sebesar 7,67 kW dan 1,157 kW pada transformator kedua di malam hari, sedangkan P_{Cu} dan P_N terendah sebesar 0,034 kW dan 0,004 kW pada transformator pertama di pagi hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chapman Stephen J., 1999, *Electric Machinery Fundamentals*, Third Edition Mc Graw Hill Companies, New York.
- [2] Kadir, Abdul, 2000, *Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta.
- [3] Sibarani, Randi F., 2015, *Pengaruh Arus Netral Terhadap Rugi-Rugi Beban Pada Transformator Distribusi PLN Rayon Johor Medan*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara
- [4] Simamora, Yoakim, 2014, *Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih Dan Estimasi Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara.
- [5] Stevenson, Jr, William D, 1983, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.

