

IMPLEMENTASI PENGGUNAAN SOFTWARE ETAP 12.6 UNTUK ANALISIS PEMBEBANAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 2000 KVA

Risky Jamil¹, Rizhky Dame Hadi Wibowo², M. Syahrudin³

Teknik Listrik^{1,2,3}, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan

riskyjamil@students.polmed.ac.id¹, rizhkydamehadiwibowo@students.polmed.ac.id²,

m_syahrudin@polmed.ac.id³

ABSTRAK

Pembebanan transformator diharapkan nilai pembebanannya tidak melebihi standard yang ditetapkan, yaitu 80%. Pada pembebanan transformator diharapkan nilai pembebanannya di masing-masing fasa (R, S, dan T) seimbang, apabila terjadi ketidakseimbangan beban maka nilainya tidak boleh melebihi 25%. Dampak dari adanya ketidakseimbangan beban tersebut maka timbul arus di penghantar netral. Arus yang terdapat pada netral membuat terjadinya losses. Langkah selanjutnya mengumpulkan data-data lapangan terkait dengan topik yang dibahas. Data-data ini diperoleh dari salah satu transformator distribusi yang berkapasitas 2000 KVA milik PT. Mulimas Nabati Asahan yang kemudian akan dilakukan beberapa perhitungan dan simulasi losses dan ketidakseimbangan beban terhadap arus netral menggunakan ETAP 12.6 pada transformator tersebut. Perhitungan dan simulasi akan dijadikan sebagai dasar analisa pembebanan pada transformator tersebut. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh persentase ketidakseimbangan beban sebesar 2,6% pada pagi hari, 4,23% pada sore hari dan 5,13% pada malam hari. Diperoleh juga losses yang disebabkan oleh munculnya arus pada penghantar netral sebesar 7,21 KW dan persentase 0,45 di pagi hari, 76,65 KW dan persentase 4,5% pada sore hari sedangkan pada malam hari sebesar 153 KW dengan persentase 8,93%.

Kata Kunci : Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral, ETAP, Rugi-Rugi, Transformator

PENDAHULUAN

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 elektromagnet. Pada transformator sering terjadi ketidakseimbangan beban antara fasa R, S dan T. Hal tersebut dapat menyebabkan timbulnya arus pada titik netral. Arus yang terdapat pada netral ini akan menyebabkan terjadinya rugi-rugi.(Nazar, 2019), Ketidakseimbangan beban pada transformator menyebabkan adanya rugi-rugi daya dimana arus mengalir dipenghantar 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.

Analisis ketidakseimbangan beban pada transformator perlu dilakukan agar dapat diketahui apa yang terjadi dengan ketidakseimbangan beban tersebut pada transformator, Mengetahui berapa besar rugi-rugi yang terjadi dan diharapkan agar dapat mengantisipasi supaya ketidakseimbangan beban tersebut bisa diminimalisir. Penguasaan ETAP 12.6 bertujuan untuk mensimulasikan ketidakseimbangan beban dan perhitungan losses yang ada pada trafo sehingga didapatkan hasil yang sesuai.

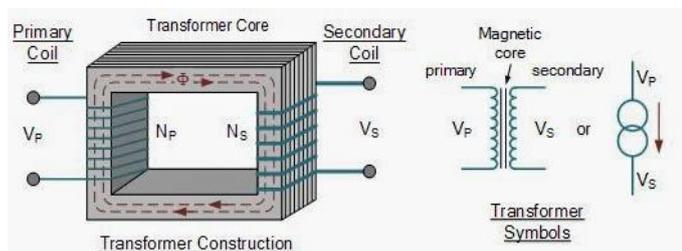
TINJAUAN PUSTAKA

Uraian Teori

1. Transformator

Transformator atau sering juga disebut trafo adalah merupakan suatu alat listrik yang mengubah dan memindahkan tegangan arus bolak-balik dari satu rangkaian ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnetik 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. (Setiadji et al., 2006). Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kumparan itu. Umumnya kumparan terbuat dari kawat tembaga atau aluminium

yang dililitkan pada kaki inti transformator. Dari gambar 1 dibawah dapat dilihat konstruksi dari transformator yang terdiri dari sebuah inti besi dan dua buah kumparan.



Gambar 1 Konstruksi Transformator
Sumber: (Setiadji et al., 2006)

2. Arus beban penuh transformator

Daya kerja pada transformator menunjukkan kapasitas dari transformator tersebut (Sari, 2018). Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (1)$$

Dimana:

S = daya transformator (KVA)

V = Tegangan pada transformator (VA)

I = Arus (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh sebagai berikut:

$$IFL = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \text{ (Ampere)} \quad (2)$$

Dimana:

IFL = arus beban penuh (A)

S = daya transformator (KVA)

V = tegangan transformator (kV)

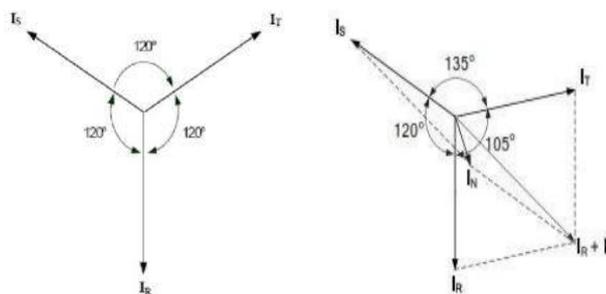
3. Ketidakseimbangan Beban Transformator

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana:

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidakseimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain. (Latupeirissa, 2017)



Gambar 2 Vektor Diagram Arus Ketika Seimbang Dan Ketika Beban Tidak Seimbang
Sumber: (Suyandi et al., 2017)

Tabel 1. standar persentase ketidakseimbangan beban transformator menurut surat edaran direksi PT PLN No.17 Tahun 2014.

Characteristic Group	characteristic	Health Index			
		baik	cukup	kurang	Buruk
Load Reading and Profilling	Ketidakseimbangan Arus antar Fasa	<10%	10% - <20%	20% - <25%	≥ 25%
	Besar arus netral TR (%) terhadap arus beban trafo	<10%	10% - <15%	15% - <20%	≥ 20%
	Pembebanan trafo (%) persen terhadap kapasitas	<60%	10% - <80%	80% - <100%	≥ 100%

4. Rugi-Rugi (*Losses*) Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Transformator

Pada umumnya energi yang dimasukkan ke transformator tidak sama dengan energi yang dikeluarkan dari transformator tersebut. Hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi pada transformator tersebut. rugi-rugi dapat dibagi menjadi dua yaitu rugi inti (P_i) dan rugi tembaga (P_{cu}). Selain rugi inti dan tembaga, ada lagi rugi-rugi yang diakibatkan arus netral pada transformator (P_N)

- Rugi-rugi inti

Rugi-rugi inti (P_i) dapat digolongkan menjadi dua yaitu rugi *histerisis* dan *eddy current*. Adapun persamaan untuk mencari rugi inti yaitu

$$P_i = P_h + P_e \quad (3)$$

- Rugi Tembaga

Rugi tembaga sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir pada kumparan. Besar rugi tembaga dapat dinyatakan dengan

$$P_{CU} = I^2 R \quad (4)$$

- Rugi-rugi (*losses*) pada penghantar netral yang disebabkan oleh munculnya arus netral

$$P_N = I_N^2 \times R \quad (5)$$

5. Software ETAP 12.6

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi sistem tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan sistem tenaga listrik, sistem transmisi, maupun sistem distribusi tenaga listrik. (Irawati Bursa, 2021).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Jl. Acces Road Inalum, Kuala Tanjung, Kec. Sei Suka, Kabupaten Batu Bara, Sumatera Utara 21258. di PT. Multimas Nabati Asahan khususnya di plant Revenery 1000, pada transformator 04.

Jenis Penelitian

Penelitian tentang *losses* dan ketidakseimbangan beban terhadap arus netral merupakan penelitian kuantitatif guna mengetahui seberapa besar *losses* dan ketidakseimbangan beban terhadap arus netral yang terjadi pada transformator distribusi 2000 KVA di PT. Multimas Nabati Asahan, dengan menggunakan data hasil pengukuran berupa angka. Penelitian dilakukan dengan mengukur arus tiap fasa pada panel utama (fasa R, fasa S, dan fasa T), dan menghitung serta melakukan simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6, guna mengetahui seberapa besar ketidakseimbangan dan *losses* yang terjadi pada transformator tersebut. Berikut ini adalah tahapan-tahapan dalam penelitian:

1) Studi Literatur

penelitian yang dilakukan dengan metode mengumpulkan dan membaca buku-buku, jurnal, karya ilmiah dan literature yang berkaitan dengan judul permasalahan yang dibahas. Jadi keterangan-keterangan yang dikumpulkan sifatnya masih dalam bentuk teori.

2) Observasi Lapangan

Observasi adalah metode pengumpulan data melalui pengamatan atau peminjaman langsung di lapangan atau lokasi penelitian.

Tahapan Penelitian

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

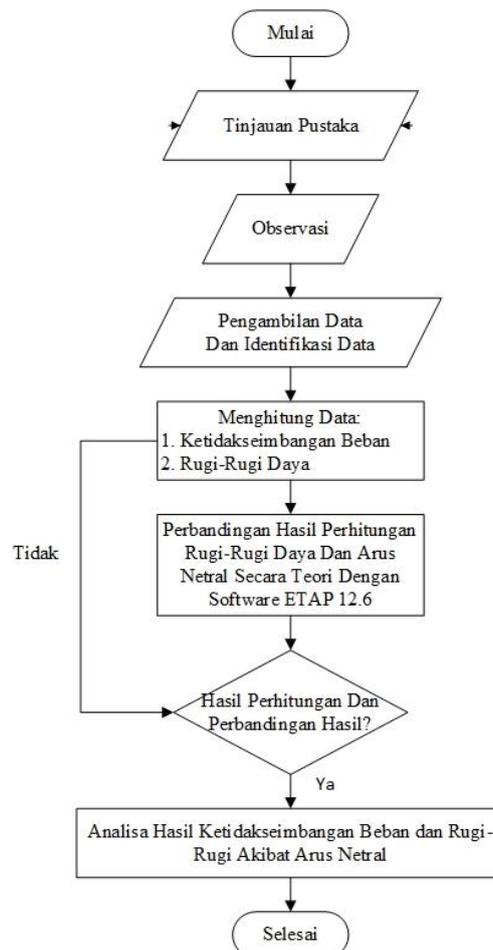
1. Menganalisis potensi bahaya yang bisa terjadi saat penelitian dilaksanakan.
2. Mempersiapkan APD dan peralatan kerja yang dibutuhkan saat akan melakukan penelitian.
3. Observasi lapangan yaitu dengan melakukan pengecekan pada kondisi trafo distribusi.
4. Melakukan pengukuran arus dan tegangan pada trafo menggunakan tang ampere.
5. Melakukan pendataan hasil pengukuran arus dan tegangan pada trafo.
6. Membuat *single line diagram* pembebanan trafo dan melakukan simulasi ketidak seimbangan beban pada ETAP 12.6.
7. Melakukan analisis ketidakseimbangan beban yang terjadi pada trafo.
8. Melakukan perhitungan ketidaksimbangan beban dan losses pada trafo.
9. Membersihkan dan merapikan area kerja (*Housekeeping*)

Rancangan Penelitian

Perancangan penelitian awal kegiatan dalam menentukan tujuan dan langkah-langkah yang harus dilakukan agar tujuan pengamatan dapat tercapai.

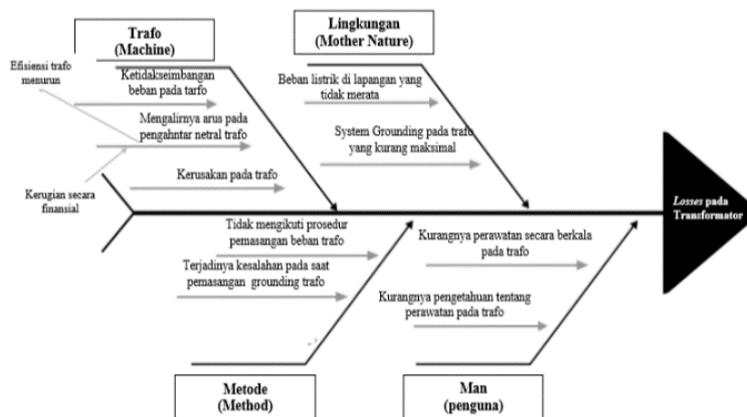
1. Flowchat Diagram

Flowchart diagram merupakan gambaran yang memberikan alur pengerjaan atau proses penelitian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Flowchat
Sumber: (Penulis,2023)

2. Fishbone Diagram



Gambar 4 Fishbone Diagram
Sumber: (Penulis,2023)

Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini penulis menggunakan dua cara untuk mengumpulkan data, yaitu:

1. Penelitian kepustakaan (*library research*)

penelitian yang dilakukan dengan metode mengumpulkan dan membaca buku-buku, jurnal, karya ilmiah dan literature yang berkaitan dengan judul permasalahan yang dibahas. Jadi keterangan-keterangan yang dikumpulkan sifatnya masih dalam bentuk teori.

2. Penelitian lapangan atau secara langsung (*field research*)

penelitian dengan mengumpulkan data secara langsung pada objek yang diteliti untuk mengumpulkan data-data yang otentik.

a) Observasi

metode dengan melakukan penelitian dengan cara pengamatan secara langsung dan pencatatan secara sistematis terhadap gejala yang berdampak pada objek penelitian yang berkaitan dengan permasalahan yang ada dilapangan.

b) wawancara

teknik pengumpulan data dengan melakukan tanya jawab secara langsung dengan pegawai atau petugas yang berkaitan dengan judul penelitian. menggunakan dokumen-dokumen yang terdapat pada perusahaan yang ada kaitannya dengan judul penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penghantar Pada Transformator

Pada penelitian ini akan menganalisa perhitungan dengan menggunakan penghantar kabel NYY ($1 \times 400 \text{ mm}^2$) memiliki tahanan penghantar sebesar $0,061 \Omega/\text{km}$, untuk Panjang penghantarnya adalah sebesar 400 m.

Tabel 2. Data Transformator 04

Data Transformator Distribusi	
Kapasitas	2000 KVA
Kode Gardu/No transformator	04
Jumlah fasa	3
Jenis minyak	ONAN
Merek Transformator	B&D
Impedansi	7%
Frekuensi	50 Hz
Voltage	20 KV/400 V
Cos ϕ	0.85
Hubungan	Dyn5
Kabel masuk	N2XY 3($1 \times 70 \text{ mm}^2$)
Kabel keluar	NYN ($1 \times 400 \text{ mm}^2$)

Tabel 3. hasil pengukuran transformator pada pagi hari pukul 8:30

Pengukuran pagi hari pukul 8:30				
Urutan fasa	Arus Terukur (A)	Tegangan terukur (V)	Kapasitas Trafo (KVA)	Jarak distribusi (M)
R	311.4	398	2000KVA	400
S	308.8	402		
T	327	399		
N	17,71	-		

Tabel 4. hasil pengukuran transformator pada sore hari pukul 15:00

Pengukuran sore hari pukul 15:00				
Urutan fasa	Arus Terukur (A)	Tegangan fasa-fasa (V)	Kapasitas Trafo (KVA)	Jarak distribusi (M)
R	966	401	2000KVA	400
S	1084	406		
T	1037	403		
N	102	-		

Tabel 5. hasil pengukuran transformator pada malam hari pukul 19:30

Pengukuran pada malam hari pukul 19:30				
Urutan fasa	Arus Terukur (A)	Tegangan terukur (V)	Kapasitas Trafo (KVA)	Jarak distribusi (M)
R	1344	400	2000KVA	400
S	1492	404		
T	1522	399		
N	165	-		

Analisa Beban Puncak

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

Bila diketahui:

$$S = 2000 \text{ KVA} = 2.000.000 \text{ VA}$$

$$V = 400 \text{ V}$$

Maka,

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

$$IFL = \frac{2.000.000}{\sqrt{3} \times 400} = 2886,75 \text{ A}$$

Dari perhitungan terlihat bahwa arus beban penuh sebesar 2886,75A

$$I_{\text{Rata-rata pagi}} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{311,4+308,8+327}{3} = 315,75 \text{ A}$$

$$I_{\text{Rata-rata sore}} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{966+1084+1037}{3} = 1029 \text{ A}$$

$$I_{\text{Rata-rata malam}} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{1344+1492+1522}{3} = 1452,6 \text{ A}$$

Jadi persentase pembebanan adalah:

$$1) \text{ Beban pada pagi hari}$$

$$\frac{I_{\text{Rata-rata pagi}}}{IFL} \times 100\%$$

$$\frac{315,75}{2886,75} \times 100\% = 10,93\%$$

$$2) \text{ Beban pada sore hari}$$

$$\frac{I_{\text{Rata-rata sore}}}{IFL} \times 100\%$$

$$\frac{1029}{2886,75} \times 100\% = 35,64\%$$

$$3) \text{ Beban pada malam hari}$$

$$\frac{I_{\text{Rata-rata malam}}}{IFL} \times 100\%$$

$$\frac{1452,6}{2886,75} \times 100\% = 50,31\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, persentase pembebanan terbesar atau beban puncak dari ketiga

beban diatas terjadi pada malam hari yaitu 50,31%.

Analisa Ketidakseimbangan Beban

Dari data diatas dapat dilihat bahwa beban dalam keadaan yang tidakseimbang. Besar ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c, dengan mengingat bahwa arus rata-rata (I rata-rata) akan sama besar dengan arus fasa dalam keadaan seimbang (I).

$$IR = a \times I \quad \text{jadi} \quad a = IR/I \text{ rata-rata}$$

$$IR = b \times I \quad \text{jadi} \quad b = IR/I \text{ rata-rata}$$

$$IR = c \times I \quad \text{jadi} \quad c = IR/I \text{ rata-rata}$$

1) Ketidakseimbangan beban pada pagi hari

$$A = \frac{IR}{I \text{ rata-rata}} = \frac{311,4}{315,75} = 0,98$$

$$B = \frac{IS}{I \text{ rata-rata}} = \frac{308,8}{315,75} = 0,97$$

$$C = \frac{IT}{I \text{ rata-rata}} = \frac{327}{315,75} = 1,03$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban pada pagi hari:

$$= \frac{A+B+C}{3} = \frac{0,98+0,97+1,03}{3} = 0,993$$

Berdasarkan perhitungan di atas, persentase rata-rata ketidakseimbangan beban pada transformator dapat dihitung dengan persamaan rumus (2.16) sebagai berikut:

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

$$= \frac{\{|0,98-1| + |0,97-1| + |1,03-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 2,6\%$$

2) Ketidakseimbangan beban pada sore hari

$$A = \frac{IR}{I \text{ rata-rata}} = \frac{966}{1029} = 0,93$$

$$B = \frac{IS}{I \text{ rata-rata}} = \frac{1084}{1029} = 1,05$$

$$C = \frac{IT}{I \text{ rata-rata}} = \frac{1037}{1029} = 1,007$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban pada sore hari:

$$= \frac{A+B+C}{3} = \frac{0,93+1,05+1,007}{3} = 0,993 = 0,995$$

Berdasarkan perhitungan di atas, persentase rata-rata ketidakseimbangan beban pada transformator dapat dihitung dengan persamaan rumus (2.16) sebagai berikut:

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

$$= \frac{\{|0,93-1| + |1,05-1| + |1,007-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 4,23 \%$$

3) Ketidakseimbangan beban pada malam hari

$$A = \frac{IR}{I \text{ rata-rata}} = \frac{1344}{1452,6} = 0,92$$

$$B = \frac{IS}{I \text{ rata-rata}} = \frac{1492}{1452,6} = 1,027$$

$$C = \frac{IT}{I \text{ rata-rata}} = \frac{1522}{1452,6} = 1,047$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban pada malam hari:

$$= \frac{A+B+C}{3} = \frac{0,92+1,027+1,047}{3} = 0,993 = 1,0056$$

Berdasarkan perhitungan di atas, persentase rata-rata ketidakseimbangan beban pada transformator dapat dihitung dengan persamaan rumus (2.16) sebagai berikut:

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

$$= \frac{\{|0,92-1| + |1,027-1| + |1,047-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 5,13\%$$

Dari hasil perhitungan ketidakseimbangan beban diatas terlihat bahwa persentase ketidakseimbangan lebih besar terjadi pada malam hari dibandingkan dengan pagi dan sore hari yaitu sebesar 5,13%.

Arus Netral

Ketidakeimbangan beban pada transformator akan menimbulkan timbulnya arus netral. Nilai arus netral sendiri akan bernilai nol apabila beban setiap fasa transformator seimbang, dan apabila beban transformator tidakseimbangan maka nilai arus netralnya dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut.

1) Arus netral pada pagi hari

- $I_R = I_R (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ)$

$$I_R = 311 (1 + j 0)$$

$$I_R = (311 + j0) \text{ A}$$

$$I_R = \sqrt{311^2 + 0^2}$$

$$I_R = 311$$

Agar dapat menentukan arah sudut pada fasa R dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0}{311} = 0^\circ$$

- $I_S = I_S (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ)$

$$I_S = 308 (-0,5 + j 0,866)$$

$$I_S = (-154 + j 266,72) \text{ A}$$

$$I_S = \sqrt{-154^2 + 266,72^2}$$

$$I_S = 308$$

Agar dapat menentukan arah sudut pada fasa S dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{266,72}{-154} = -59^\circ$$

- $I_T = I_T (\cos 240^\circ + j \sin 240^\circ)$

$$I_T = 327 (-0,5 - j 0,866)$$

$$I_T = (-163,5 - j 283,18)$$

$$I_T = \sqrt{(-163,5)^2 + (-283,18)^2}$$

$$I_T = 327$$

Agar dapat menentukan arah sudut pada fasa T dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{283,18}{163,5} = -59^\circ$$

$$I_N = I_R (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) + I_S (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ) + I_T (\cos 240^\circ + j \sin 240^\circ)$$

$$I_N = 311 + 308 (-0,5 + j 0,866) + 327 (-0,5 - j 0,866)$$

$$I_N = 311 + (-154 + j 266,72) + (-163,5 - j 283,18)$$

$$I_N = (-6,5 - j 16,48) \text{ A}$$

$$I_N = \sqrt{6,5^2 + 16,48^2}$$

$$I_N = 17,71 \text{ A}$$

Agar dapat menentukan arah sudut pada fasa N dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{16,48}{-6,5} = -68^\circ$$



Gambar 5 vektor sudut transformator
Sumber: (Penulis,2023)

Analisa Rugi-Rugi Daya (*losses*)

Analisis rugi-rugi daya pada penghantar fasa dan netral

dari hasil pengukuran dan data penghantar, rugi-rugi pada penghantar dapat dihitung dengan persamaan (5). Jenis penghantar yang digunakan adalah kabel NYY ($1 \times 400 \text{ mm}^2$) memiliki tahanan penghantar sebesar $0,061 \text{ } \Omega/\text{km}$, untuk Panjang penghantarnya adalah sebesar 400 m. Maka nilai resistansi pada penghantar dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$R_{\text{penghantar}} = \left(\frac{400}{1000} \right) \times 0,061 = 0,024 \text{ } \Omega$$

Analisa rugi-rugi daya pada saat pagi hari

a) Rugi-rugi pada fasa R

$$P_R = I_R^2 \times R_{\text{penghantar}}$$

$$P_R = (311,4)^2 \times 0,024 = 2327,27 \text{ W} = 2,32 \text{ kW}$$

b) Rugi-rugi pada fasa S

$$P_S = I_S^2 \times R_{\text{penghantar}}$$

$$P_S = (308,8)^2 \times 0,024 = 2288,5 \text{ W} = 2,28 \text{ kW}$$

c) Rugi-rugi pada fasa T

$$P_T = I_T^2 \times R_{\text{penghantar}}$$

$$P_T = (327)^2 \times 0,024 = 2566,2 \text{ W} = 2,56 \text{ kW}$$

d) Rugi-rugi pada penghantar netral

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

$$P_N = (17,71)^2 \times 0,024 = 7,52 \text{ W} = 0,007 \text{ kW}$$

Daya aktif transformator dapat dihitung dengan rumus $P = S \times \text{Cos } \phi$, pada penelitian ini menggunakan konstanta $\text{Cos } \phi$ sebesar 0,85.

$$P = S \times \text{Cos } \phi = 2000 \text{ kVA} \times 0,85 = 1700 \text{ kW}$$

Sehingga persentase rugi-rugi daya pada penghantar transformator adalah:

$$\%P_R = \frac{P_R}{P} \times 100\% = \frac{2,32 \text{ kW}}{1700 \text{ kW}} \times 100\% = 0,136\%$$

$$\%P_S = \frac{P_S}{P} \times 100\% = \frac{2,28 \text{ kW}}{1700 \text{ kW}} \times 100\% = 0,134\%$$

$$\%P_T = \frac{P_T}{P} \times 100\% = \frac{2,56 \text{ kW}}{1700 \text{ kW}} \times 100\% = 0,150\%$$

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{0,007 \text{ kW}}{1700 \text{ kW}} \times 100\% = 0,004\%$$

Dimana total rugi-rugi daya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_T = P_F + P_N$$

$$P_T = (2327,27 + 2288,5 + 2566,2) + 7,52 = 7189,49 \text{ W} = 7,18 \text{ kW}$$

Tabel 6. Hasil Akhir Perhitungan

waktu	Pembebanan transformator (%)	Ketidakseimbangan beban (%)	Rugi-rugi daya (Kw)				
			I _R	I _S	I _T	I _N	TOTAL
Pagi	10,93%	2,6 %	2,32	2,28	2,56	0,035	7,21
sore	35,64%	4,23 %	22,3	28,2	25,8	0,013	76,65
malam	50,31%	5,13 %	43,35	53,45	55,59	0,027	153

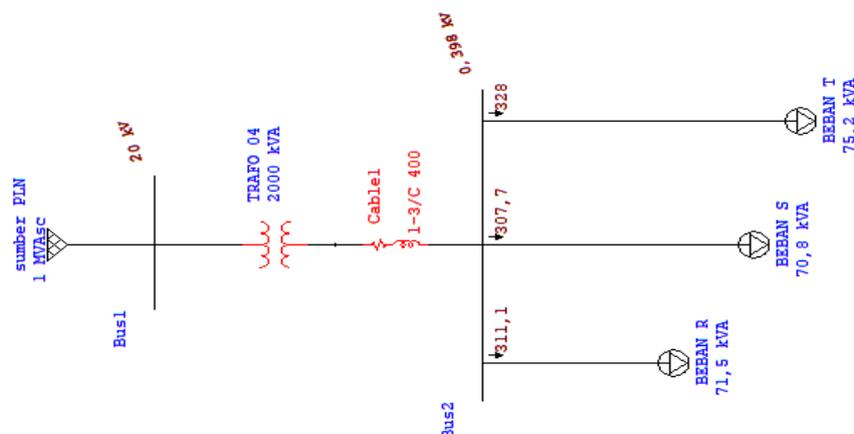
Dari tabel 6 di atas dapat dilihat bahwa pesentase pembebanan transformatorRugi-rugi daya lebih besar terjadi pada malam hari yaitu sebesar 153 Kw, hal tersebut terjadi karena pemakaian beban lebih banyak terjadi pada malam hari dan ketidakseimbangan beban juga lebih besar terjadi pada malam hari sehingga menyebabkan arus mengalir di penghantar netral lebih besar, jadi dapat dikatakan bahwa semakin besar arus yang mengalir pada penghantar netral trafo maka akan menyebabkan semakin besar pula rugi-rugi daya dan semakin besar pula persentase rugi-rugi daya tersebut.

Simulasi Ketidakseimbangan Beban Transformator Menggunakan *Software* ETAP 12.6

Simulasi ketidakseimbangan beban transformator pada *software* ETAP 12.6 disini bertujuan agar dapat membandingkan data yang diambil dari lapangan atau data hasil perhitungan menggunakan

rumus dengan hasil simulasi menggunakan ETAP 12.6. Simulasi yang digunakan pada *software ETAP 12.6* adalah simulasi *Unbalanced Load Flow Analysis*.

Simulasi Pada Saat Pagi Hari



Gambar 6. Hasil Run Rangkaian Single Line Diagram Pagi Hari Menggunakan ETAP
Sumber: (Penulis,2023)

Tabel 7. Unblanced Load Flow Analysis ETAP 12.6

Bus		Load Flow				
ID	KV	Phase	MW	Mvar	Amp	% PF
BUS 1	20.000	A	0,062	0,043	6,6	82,1
		B	0,062	0,042	6,4	82,8
		C	0,064	0,041	6,6	84,1
		N			0,0	
BUS 2	0,400	A	0,061	0,038	311,4	85
		B	0,060	0,037	307,7	85
		C	0,64	0,040	328	85
		N			20,7	

Hasil diatas merupakan tabel 7 *Unblanced Load Flow Analysis* dari hasil simulasi menggunakan ETAP 12.6 menunjukkan setiap fasa dilambangkan A, B, C dan N, Dimana A merupakan fasa R, B untuk fasa S dan C melambangkan fasa T dan N melambangkan fasa netral. Berdasarkan tabel diatas hasil simulasi ETAP tersebut menunjukkan nilai arus netral sebesar 20,7 A hal ini mendekati nilai dari pengukuran atau perhitungan yang telah dilakukan secara manual.

Tabel 8. Unblanced Load Flow Analysis ETAP 12.6

Branch Losses Summary Report			
Transformator	Losses		
ID	Phase	KW	Kvar
Cable	A	2,4	5,2
	B	2,5	4,8
	C	3,1	6,0
Transformator 04	A	1,6	5,6
	B	1,2	4,2
	C	-0,1	1,5
TOTAL		10,7	27,4

Berdasarkan tabel 8 menunjukkan nilai losses pada simulasi ETAP 12.6 yang mana *From-To Bus Flow* menunjukkan nilai daya yang terdapat pada masing-masing fasa pada kabel ataupun trafo pada simulasi, sedangkan *To-From Bus Flow* menunjukkan daya yang terpakai pada system distribusi simulasi ETAP 12.6 sehingga dapat diketahui nilai *losses* yang tertampil pada gambar *Branch losses summary report* di atas yaitu sebesar 10,7 KW.

Tabel 9. Hasil keseluruhan Simulasi ETAP 12.6

waktu	Daya Trafo (kva)	Beban ampere				susut		Tegangan Rata-Rata (V)
		R	S	T	N	kw	kvar	
Pagi	2000	311	308	327	20,7	10,7	27,7	398
sore	2000	966	1084	1037	104	166,4	254,7	393
malam	2000	1344	1492	1522	169	239,4	528,5	390

Dari tabel 9 dapat diperoleh kesimpulan bahwa beban dalam keadaan tidakseimbang sehingga terdapat arus netral yang mengakibatkan susut atau rugi-rugi daya. Susut terbesar terjadi pada malam hari dengan 239,4 KW dan terendah terjadi pada pagi hari sebesar 10,7 KW. Dan pada tegangan semakin tidakseimbangan suatu beban maka tegangannya akan cenderung turun dan semakin seimbang suatu beban maka tegangan juga akan semakin stabil.

Tabel 10. Perbandingan Hasil Simulasi Menggunakan ETAP 12.6 Dengan perhitungan manual

waktu	Daya trafo	Beban (A)				Susut (Kw)		
		R	S	T	N		Simulasi	perhitungan
					Simulasi	Perhitungan		
pagi	2000 Kva	311	308	327	20,7	17,71	10,7	7,21
sore		966	1084	1037	104	102	166,4	76,41
malam		1344	1492	1522	169	165	239,4	152,4

Dari tabel 10 Perbandingan Hasil Simulasi Menggunakan ETAP 12.6 Dengan perhitungan manual atau pengukuran dilapangan diperoleh kesimpulan bahwa hasil pengukuran dilapangan dengan hasil simulasi memiliki perbedaan, karena pada simulasi menganggap bahwa semua kondisi ideal, seperti sambungan pada kabel, nilai pentanahan grounding transformator, grounding pada netral semua dianggap ideal sedangkan jika dilapangan belum tentu semua kondisi ideal sehingga arus netral dilapangan dengan hasil simulasi memiliki perbedaan namun dari hasil simulasi dan pengukuran dilapangan sudah mendekati dalam artian ketika beban memiliki ketidakseimbangan yang persentasenya kecil maka arus netral dilapangan juga akan kecil begitu juga jika persentase ketidakseimbangan transformator tinggi maka arus netral disimulasi juga akan tinggi. Begitu juga dengan *losses* pada transformator.

SIMPULAN

Transformator distribusi 2000 KVA di PT. Multimas Nabati Asahan dalam keadaan tidak seimbang karena arus yang mengalir pada masing-masing fasa berbeda. Dari ketiga sampel penelitian yaitu pagi, sore dan malam ketidakseimbangan beban lebih besar terjadi pada malam hari, dimana persentase ketidakseimbangan beban transformator pada malam hari adalah sebesar 5,13%, Dan terendah terjadi pada pagi hari yaitu sebesar 2,6%. Agar beban pada transformator dapat seimbang maka dapat dilakukan penyeimbangan beban pada setiap fasa transformator. Beban puncak pada transformator terjadi pada malam hari dimana persentase beban puncaknya adalah 50,31%. Dan terendah terjadi pada pagi hari dengan persentase 10,93%. Sedangkan rugi rugi daya lebih besar terjadi pada malam hari dibandingkan dengan pagi dan sore hari, yaitu sebesar 153 kW. Berdasarkan hasil simulasi ETAP 12.6 dapat diketahui bahwa hasil simulasi cukup akurat mendekati nilai dari perhitungan secara manual. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan manual dapat digunakan tetapi membutuhkan waktu yang lebih lama dalam pengerjaannya. Akibat dari besarnya nilai ketidakseimbangan beban pada transformator akan mengakibatkan timbulnya arus di penghantar netral transformator. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses*. Serta timbulnya panas pada transformator sehingga dapat memicu kerusakan pada transformator tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Medan Melalui pusat penelitian dan pengabdian kepada Masyarakat (P3M) yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, M. (2022). *Transformator Untuk Identifikasi Beban Lebih Gardu E308*. 11(1), 108–111.
- Dwiyanto. (2018). *Issn:2527-4724, eissn:2597-4467*. 1–10.
- Ermawanto, U. D. (2011). Analisa berlangganan listrik antara tegangan menengah (tm) dengan tegangan rendah (tr) dan analisa efisiensi trafo dalam rangka konservasi energi kampus undip tembalang. *Spektrum*, 5, 1–7.
- Irawati Bursa, S. T. (2021). *Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder di PT . PLN (Persero) ULP Watang*. September, 122–128.
- Kawihing, A. P., Tuegeh, M., Patras, L. S., & Pakiding, M. (2013). Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder. *E-Journal Teknik Elektro Dan Komputer*, 1–9.
- Latupeirissa, H. L. (2017). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi Gardu Kp-01 Desa Hative Kecil. *Jurnal Simetrik*, 7(2), 2017.
- Nazar, M. (2019). *Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Transformator Distribusi Ma 01*. 16(2), 52–55.
- Sari, G. A. K. (2018). Analisa Pengaruh Ketidak Seimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses pada Trafo Distribusi Studi Kasus Pada PT.PLN (Persero) Rayon Blora. *Naskah Publikasi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 1–14.
- Setiadji, J. S., Machmudsyah, T., Isnanto, Y., & Siwalankerto, J. (2006). *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi*. 6(1), 68–73.
- Suyandi, E., Ir Muhammad Suyanto, dan M., Pembimbing, D., Teknik Elektro, J., Teknologi Industri, F., Sains, I., Akprind, T., JIKalisahak, Y., & Balapan Tromol, K. (2017). Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Area Rayon Yogyakarta Kota Di Pt. Pln (Persero) Apj Gedong Kuning Yogyakarta. *Jurnal Elektrikal*, 4(2), 1–10.
- Tondok, Y. P., Patras, L. S., & Lisi, F. (2019). Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 8(2), 83–92.
- Yaved Pasereng, Patras, L. S., & Lisi, F. (2019). Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 8(2), 83–92.