

Kelayakan Pengaman Input-Output Trafo Dan Optimalisasi Penyeimbangan Beban Trafo Pada Gardu Distribusi

Jean Pratama^{1*}, Rosnita Rauf², Yani Ridal³

^{1,2)} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ekasakti, Sumatera Barat

³⁾ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bung Hatta, Sumatera Barat

*Email: jeandoang1311@gmail.com

ABSTRAK

Pembebanan transformator feeder Polamas di gardu distribusi No. 50kVA AA015UJP024T, 100kVA AA015LBL0255T, 160kVA AA015KAM0284T, 200kVA AA015KPK0253T. kondisi beban tidak seimbang trafo 50kVA adalah fasa R = 2.983,5 watt fasa S= 5.149,3 watt T= 1.198,5 watt. kondisi beban tidak seimbang trafo 100kVA R= 12.584,25 watt, S = 9.508,1 watt, T = 25.877,4 watt. kondisi beban tidak seimbang trafo 160 kVA fasa R= 37.393,2 watt, S= 17.977,5 watt, T= 16.449,2 watt. kondisi beban tidak seimbang trafo 200kVA fasa R = 20.99,15 watt, S = 39.808,05 watt, T= 38.352 watt. Hasil perhitungan: transformator 50kVA kondisi beban seimbang adalah efisiensi 99,85% dan kondisi beban tidak seimbang adalah efisiensi 82,5%. Untuk mengatasi ketidakseimbangan beban pada transformator feeder di gardu distribusi, beberapa langkah perbaikan yang disarankan dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem. Pertama, optimalisasi pembagian beban perlu dilakukan dengan memindahkan sebagian beban dari fasa yang terlalu tinggi, seperti fasa S pada transformator 50 kVA, ke fasa yang lebih rendah untuk mendistribusikan beban secara merata. Selain itu, ukuran fuse link harus disesuaikan agar sesuai dengan arus maksimum pada setiap fasa, dan pemasangan alat monitoring arus dan tegangan secara real-time dapat membantu mendeteksi ketidakseimbangan lebih awal. Edukasi pengguna mengenai pentingnya menjaga keseimbangan beban juga krusial, di samping peningkatan sistem pendinginan untuk mencegah kerusakan akibat suhu tinggi. Dengan menerapkan langkah-langkah ini, efisiensi operasional dapat meningkat, dan dampak negatif dari ketidakseimbangan beban pada transformator dapat diminimalkan.

Kata kunci: Gardu distribusi, Transformator, FCO, NH Fuse.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya zaman dan teknologi pada saat ini menjadikan tingkat kebutuhan manusia terhadap listrik semakin tinggi. Saat ini energi listrik menjadi salah satu kebutuhan yang memegang peranan penting bagi kehidupan manusia [1]. Dalam setiap kegiatan yang dilakukan oleh manusia tidak terlepas dari penggunaan energi listrik. Dengan bantuan energi listrik manusia dapat melakukan segala aktivitas di dalam kehidupan dengan lebih cepat dan praktis. Karena pentingnya energi listrik tersebut maka sudah seharusnya manusia memanfaatkannya dengan bijaksana [2].

PT. PLN (Persero) merupakan perusahaan BUMN yang bergerak di bidang penyediaan jasa kelistrikan indonesia PT. PLN (Persero) merupakan agen listrik yang bertugas untuk membangun kegiatan-kegiatan usaha yang berkaitan dengan kelistrikan yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat serta mendorong peningkatan ekonomi.

Sistem tenaga listrikan memegang peranan penting dalam pembangunan, baik prasarana produksi dan penggunaannya. Penyediaan tenaga listrik merupakan faktor penting terhadap kemajuan ekonomi, teknologi, dan perubahan sosial di suatu wilayah tersebut. Di dalam tenaga listrik terdapat banyak jenis komponen proteksi yang akan mengamankan seluruh bagian ataupun komponen dalam sebuah sistem tenaga listrik seperti trafo, rele, circuit breaker, dan sistem kelistrikan DC [3]. Dalam menyalurkan

energi listrik, gardu distribusi digunakan untuk mengubah sumber tegangan masukan sebesar 20kV menjadi tegangan keluaran sebesar 220V yang biasa digunakan pada peralatan listrik Indonesia umumnya. Gardu distribusi juga digunakan untuk menghubungkan jaringan listrik dari pusat pembangkitan listrik kepada konsumen atau pelanggan listrik [4].

Ketidakseimbangan beban pada transformator (trafo) berdampak signifikan terhadap efisiensi dan umur operasionalnya. Ketika beban tidak merata, terjadi peningkatan rugi-rugi daya yang menurunkan efisiensi, serta menyebabkan pemanasan berlebih pada beberapa fasa, mempercepat degradasi insulasi yang berujung pada penurunan umur trafo. Kondisi ini juga memicu ketidakseimbangan tegangan output, yang berpotensi merusak peralatan di sisi pengguna dan menurunkan kualitas daya yang diterima. Selain itu, ketidakseimbangan beban meningkatkan frekuensi perawatan dan biaya operasional, mengakibatkan biaya yang lebih tinggi bagi operator listrik dalam jangka panjang.

Permasalahan mendasar yang sering dijumpai pada gardu distribusi adalah mengenai beban yang ada pada gardu distribusi. Dalam upaya meningkatkan kualitas dari pemakaian gardu distribusi perlu mengevaluasi keandalan sistem tenaga kelistrikan, agar diharapkan dapat mengantisipasi gangguan yang terjadi pada sistem distribusi jika gangguan tersebut tidak diatasi dengan tepat maka akan memperpendek umur komponen pada sebuah gardu distribusi.

Berdasarkan pengamatan dan survei langsung kelapangan sering dijumpai Fuse Cut Out (FCO) yang tidak sesuai dengan standar untuk sebuah gardu distribusi dengan kapasitas tertentu, dimana di dalam FCO yang terpasang terdapat Fuse link fuse link tersebut berfungsi sebagai pengaman pada sisi input trafo distribusi [5]. Namun yang terjadi Fuse Link yang terdapat pada FCO sering kali tidak sesuai dengan standar yang telah ditentukan, sehingga pengaman pada sisi output trafo distribusi tidak bekerja dengan maksimal. Jika melihat pengaman pada sisi output trafo distribusi NH Fuse juga memiliki peran penting, namun berdasarkan survei dilapangan juga terdapat banyak sekali NH Fuse yang melebihi standar yang sudah ditetapkan. Hal tersebut terjadi akibat beberapa faktor seperti NH Fuse yang tidak tersedia dengan kebutuhan atau faktor permintaan energi listrik dari konsumen dari tahun ke tahun selalu meningkat dan tidak diiringi dengan penambahan gardu distribusi baru atau penggantian trafo distribusi yang baru, sehingga trafo akan dipaksa bekerja pada keadaan yang melebihi kemampuan normalnya. Menurut SPLN No. 50 Tahun 1997 beban trafo dapat dikatakan overload atau underload.

Jaringan tegangan rendah merupakan bagian dari sistem distribusi tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi kepada konsumen melalui sambungan rumah sesuai SPLN 1:1995, dengan toleransi tegangan pelayanan adalah +5% pada pangkal dan -10% pada ujung, hal ini dapat dipenuhi bila sistem pelayanan PT. PLN (Persero) mempunyai kualitas tegangan dan kontinuitas penyaluran yang baik. Kualitas penyaluran energi yang baik merupakan suatu keharusan, dimana ini merupakan bagian tujuan PT. PLN (Persero) sebagai pengelola kelistrikan di Indonesia yang bertujuan meningkatkan mutu pelayanan kepada pelanggan [6].

Dengan tingginya tingkat kebutuhan listrik bagi masyarakat tersebut, maka jumlah pelanggan PT. PLN (Persero) sebagai juga semakin meningkat. Dimana total jumlah pelanggan di salah satu unit PT. PLN (Persero) yaitu unit layanan pelanggan (ULP) Kuranji hingga saat ini sudah mencapai angka pelanggan [7]. Hal ini membuat PT. PLN (Persero) harus meningkatkan kehandalan hingga dapat memenuhi kebutuhan listrik bagi masyarakat.

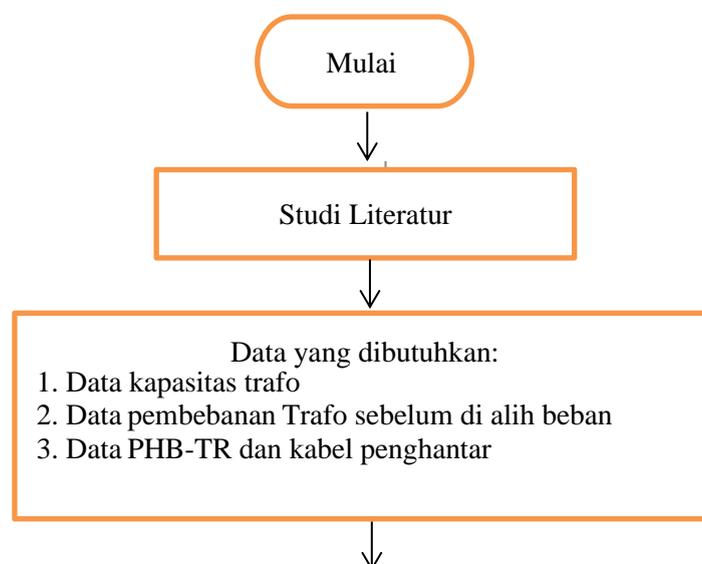
Feeder pada sistem kelistrikan yang terpasang di area Kuranji terbagi menjadi 9 feeder, di antaranya feeder Andalas, Anduring, Belimbing, Koto Tinggi, Polamas, RSUD, Siteba, Sungai Sapih, dan TVRI. merupakan salah satu Polamas Feeder yang melewati area perkotaan di kecamatan Kuranji yang dimana terjadi peningkatan dan penyeimbangan beban energi listrik dari waktu ke waktu. Penyeimbangan beban itu terjadi pada feeder Polamas transformator, gardu distribusi No 50 kVA AA015UJP0247T, 100kVA AA015LBL0255T, 160kVA AA015KAM0284T, 200kVA AA015KPK0253T [2-8]. gardu tersebut yang terletak di Kawasan yang padat penduduk, saat kondisi pembebanan tidak seimbang tegangan dan arus yang di terima konsumen tidak seimbang sehingga ini sangat berpengaruh pada transformator terjadinya efisiensi menurun. Ketidak simbangan beban menghasilkan kerugian daya yang lebih tinggi, yang gilirannya mengurangi efisiensi operasional transformator dan ketidak seimbangan beban harus dihindari untuk memastikan efisiensi dan umur Panjang transformator serta keamanan sistem listrik secara keseluruhan.

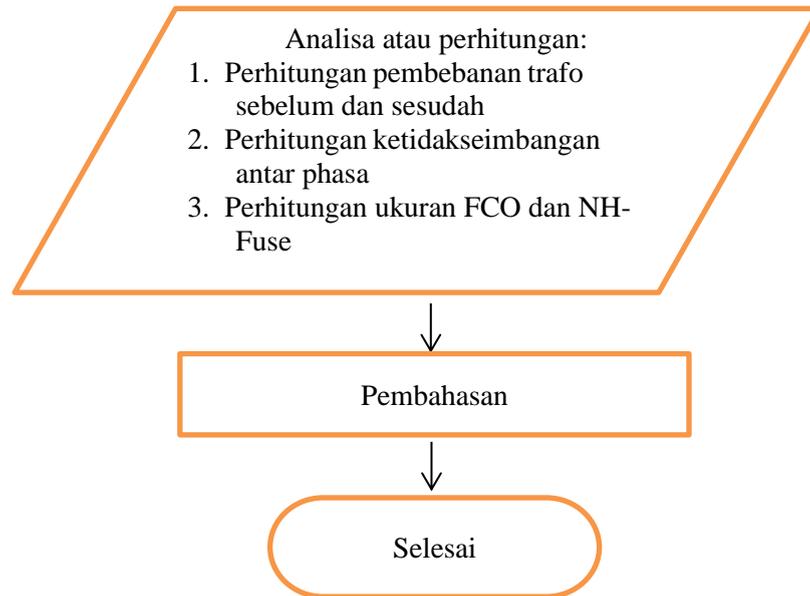
Penelitian ini adalah untuk mengetahui permasalahan yang terjadi pada transformator, penyeimbangan beban dan uji kesesuaian antara pengaman FCO dan NH Fuse sehingga penyeimbangan transformator dengan optimal serta efisiensi transformator lebih maksimal, terkhususnya pada transformator yang pembebanannya tidak seimbang. Apabila hal ini terjadi, kualitas tegangan yang akan diterima pada pelanggan tidak akan sesuai standar.

Untuk meningkatkan khandalan tersebut salah satu hal yang menjadi prioritas bagi PT.PLN (Persero) adalah dengan memberikan tegangan yang diterima pelanggan harus sesuai dengan standar yang seharusnya. Penyebab kurangnya tegangan yang diterima pelanggan salah satu penyebabnya adalah tidak seimbangnya pembebanan antar fasa pada trafo distribusi. Berdasarkan kondisi diatas melatar belakangi penulis untuk mengangkat judul “Kelayakan Pengaman Input-Output Transformator dan Optimalisasi Penyeimbangan Beban Transformator Pada Gardu Distribusi”.

2. METODE PENELITIAN

Adapun alur penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.





Gambar 1. Bagan alir penelitian

2.1. Jenis Penelitian

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kuantitatif, yang mana data kuantitatif adalah jenis data yang dapat dihitung atau diukur secara langsung, yang berupa informasi atau penjelasan yang dinyatakan dengan bilangan atau bentuk angka. Dalam hal ini data kuantitatif yang diperlukan adalah data hasil survey dilokasi.

2.2. Alat yang digunakan

Penyertaan alat yang digunakan dalam pengumpulan data, seperti alat ukur arus (ampere meter) atau voltase (voltmeter), akan memberikan detail yang lebih lengkap pada penelitian ini. Dengan mencantumkan spesifikasi alat ukur yang digunakan, seperti ketepatan (accuracy) dan rentang pengukurannya, pembaca akan memperoleh gambaran yang lebih jelas tentang kualitas dan keakuratan data yang diperoleh. Selain itu, informasi tentang metode kalibrasi alat ukur dan frekuensi pengukuran juga dapat memperkuat validitas data, menunjukkan bahwa pengumpulan data dilakukan secara sistematis dan akurat.

2.3. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT.PLN (Persero) ULP Kuranji beralamat di Jl. By Pass kecamatan Kuranji, Sumatera Barat, Indonesia. PT. PLN (Persero) ULP Kuranji kota memiliki pegawai sebanyak 21 orang, jumlah pelanggan 65,841, pelanggan pasca bayar sebanyak 62.335 dan pelanggan prabayar sebanyak 3.506 pelanggan.

2.4. Tahapan Analisa Data

Berdasarkan metode yang digunakan dalam proses pengumpulan data, di Analisa data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan atas masalah yang dibahas, maka data-data yang dikumpulkan ialah sebagai berikut:

- Single line diagram sistem 20kV di PT. PLN (persero) ULP Kuranji, yang mana termasuk single line diagram untuk feeder Polamas.

- Data transformator dan beban transformator sebelum dilakukan pemindahan beban
- Data PHB-TR serta jumlah jurusan

Dimana rumus perhitungan pembebanan trafo yaitu:

$$\text{Pembebanan Trafo} = \frac{\text{kVA Trafo}}{\text{Kapasitas Trafo}} \times 100\% \quad (1)$$

Adapun rumus untuk menghitung beban tidak seimbang yaitu:

$$\text{Fasa R : } P_R = V_{RN} \times I_R \cos \varphi \quad (2)$$

$$\text{Fasa S : } P_S = V_{SN} \times I_S \cos \varphi \quad (3)$$

$$\text{Fasa T : } P_T = V_{TN} \times I_T \cos \varphi \quad (4)$$

Menghitung arus netral akibat beban tidak seimbang dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_N = \sqrt{(I_R^2 + I_S^2 + I_T^2) - (I_R \cdot I_S + I_R \cdot I_T + I_S \cdot I_T)} \quad (5)$$

Untuk menghitung rugi-rugi daya keadaan seimbang sebagai berikut :

$$P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \quad (6)$$

Menghitung mengetahui rugi-rugi daya keadaan tidak seimbang tiap-tiap Fasa adalah:

$$P_{LR} = I_R^2 \cdot R \cdot L \quad (7)$$

$$P_{LS} = I_S^2 \cdot R \cdot L \quad (8)$$

$$P_{LT} = I_T^2 \cdot R \cdot L \quad (9)$$

$$P_{LN} = I_N^2 \cdot R \cdot L \quad (10)$$

Untuk menghitung rugi-rugi pada beban trafo sebagai berikut :

$$P_{L_{TOTAL}} = P_{LR} + P_{LS} + P_{LT} + P_{LN} \quad (11)$$

Dimana rumus untuk menentukan ukuran fuse link sebagai berikut :

$$\text{Fuse Link} = \frac{\text{Kapasitas Trafo (kVA)}}{\text{Tegangan TM (V)} \times \sqrt{3}} \quad (\text{Ampere}) \quad (12)$$

Adapun menentukan ukuran *NH-Fuse*

$$I_n = \frac{\text{Kapasitas Trafo (kVA)}}{\text{Tegangan Keluaran} \times \sqrt{3}} \quad (\text{Ampere}) \quad (13)$$

$$I_{\text{Tiap jurusan}} = \frac{I_n}{\text{Jumlah Jurusan}} \quad (\text{Ampere}) \quad (14)$$

$$\text{NH Fuse dipilih} = I_{\text{tiap jurusan}} \times 0,9 \quad (\text{faktor keamanan beban trafo}) \quad (15)$$

Adapun menghitung besarnya daya input transformator sebagai berikut :

$$P_{In} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (16)$$

Adapun menghitung besarnya daya output transformator sebagai berikut:

$$P_O = P_{In} - \sum P_{Losses} \quad (17)$$

Adapun menghitung efisiensi transformator sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_O}{P_{In}} \times 100\% \quad (18)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data

- Pengukuran Beban No Gardu Distribusi AA015UJP0247T, Transformator 50 kVA di Ujung Jalur Dua Polamas Feeder Polamas.

Tabel 1. Data Pengukuran Beban No Gardu Distribusi AA015UJP0247T, Transformator 50kVA Feeder Polamas

No	Trafo (kVA)	Panjang Saluran (m)	Besar Andongan (m)	Total Panjang Saluran (m)
1	50	40	0,8	40,8
2	100	240	4,8	244,8
3	160	280	5,6	285,6
4	200	280	5,6	285,6

- Panjang Penghantar Aluminium Konduktor XLPE Isolasi Kabel Pilin Udara dengan Penggantung NFA2X-T

Tabel 2. Data Panjang Penghantar Aluminium Konduktor XLPE Isolasi Kabel Pilin Udara Dengan Penggantungan NFA2X-T

Arus Beban (A)				Daya (kVA)			Tegangan pangkal (volt)					
R	S	T	N	Terpakai	Sisa	%	R-S	R-T	S-T	R-N	S-N	T-N
15	26	6	23	18	32	37	406	409	408	234	233	235
Tegangan ujung		Arus rata-rata		Daya terpakai		Sisa daya		Trafo			Waktu pengukuran	
				KVA	%	KVA	%	KVA	I Nom	TAP	Tanggal	Beban
209,7		15,6		18	37	32	63	50	72,3	20kv	8-14-2023	malam

3.2. Perhitungan

- Perhitungan **Pembebanan Transformator 50kVA**

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya arus beban dan tegangan dapat dilihat pada tabel 2 data pengukuran trafo 50 kVA Untuk menentukan ukuran pembebanan trafo dapat kita hitung dengan kVA beban trafo dan persentase beban trafo.

$$\begin{aligned}
 kVA \text{ Beban} &= (I_R \times V_{R-N}) + (I_S \times V_{S-N}) + (I_T \times V_{T-N}) \\
 &= (15 \times 234) + (26 \times 233) + (6 \times 235) \\
 &= 10.978 \text{ VA} \\
 &= 10,978 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{Beban Trafo} &= \frac{\text{kVA Trafo}}{\text{Kapasitas Trafo}} \times 100\% \\
 &= \frac{10,978 \text{ kVA}}{50 \text{ kVA}} \times 100\% \\
 &= 21,956\%
 \end{aligned}$$

- Perhitungan **Beban Tidak Seimbang pada Transformator 50kVA**

➤ Beban Tidak Seimbang Fasa R

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya arus beban dan tegangan dapat dilihat pada tabel 2 data pengukuran trafo 50 kVA, untuk menentukan ukuran beban tidak seimbang pada fasa R maka :

$$\begin{aligned}
 P_R &= V_{RN} \times I_R \cdot \cos \varphi \\
 P_R &= 234 \times 15 \cdot 0,85 \\
 P_R &= 2.983,5 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

➤ Beban Tidak Seimbang Fasa S

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya arus beban dan tegangan dapat dilihat pada tabel 2 data pengukuran trafo 50 kVA, untuk menentukan ukuran beban tidak seimbang pada fasa S maka :

$$P_S = V_{SN} \times I_S \cdot \cos \varphi$$

$$P_S = 233 \times 26 \cdot 0,85$$

$$P_S = 5.149,3 \text{ watt}$$

➤ **Beban Tidak Seimbang Fasa T**

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya arus beban dan tegangan dapat dilihat pada tabel 2 data pengukuran trafo 50 kVA, untuk menentukan ukuran beban tidak seimbang pada fasa T maka :

$$P_T = V_{TN} \times I_T \cdot \cos \varphi$$

$$P_T = 235 \times 6 \cdot 0,85$$

$$P_T = 1.198,5 \text{ watt}$$

• **Perhitungan Arus Netral Akibat Beban Tidak Seimbang pada Transformator 50kVa**

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya arus beban pada fasa R = 15 A, S = 26 A, T=6 A, N = 23 A Untuk menentukan besarnya arus netral pada transformator maka dapat di hitung.

$$I_N = \sqrt{\{I_R^2 + I_S^2 + I_T^2\} - \{I_R \cdot I_S + I_R \cdot I_T + I_S \cdot I_R\}}$$

$$= \sqrt{\{15^2 + 26^2 + 6^2\} - \{15 \cdot 26 + 15 \cdot 6 + 26 \cdot 15\}}$$

$$= \sqrt{67}$$

$$= 8,185 \text{ Ampere}$$

• **Perhitungan Daya Keadaan Beban Seimbang pada Tranformator 50kVA**

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya arus rata-rata pada transformator $I_{rata-rata} = \frac{15+26+6}{3} = 15,6 \text{ A}$, tahanan penghantar LVTC $3 \times 70 \text{ mm}^2$ yaitu $0,443 \Omega/\text{km}$ dan panjang saluran penghantar $0,0408 \text{ km}$. Untuk menentukan besarnya daya transformator dalam keadaan seimbang, maka:

$$P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L$$

$$= 3 \cdot 15,6^2 \text{ A} \cdot 0,443 \Omega/\text{km} \cdot 0,0408 \text{ km}$$

$$= 13,1957 \text{ Watt}$$

• **Perhitungan Rugi-rugi Daya Tidak Seimbang Tiap-tiap Fasa dan Total Rugi-rugi Daya Pada Transformator**

➤ **Rugi-Rugi Daya Pada Fasa R**

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya arus pada fasa $I_R=15 \text{ A}$, tahanan penghantar LVTC $3 \times 70 \text{ mm}^2$ yaitu $0,443 \Omega/\text{km}$ dan panjang saluran penghantar $0,0408 \text{ km}$. Untuk menentukan besarnya daya transformator dalam keadaan tidak seimbang, maka:

$$P_{LR} = I_R^2 \cdot R \cdot L$$

$$= 15^2 \text{ A} \cdot 0,443 \Omega/\text{km} \cdot 0,0408 \text{ km}$$

$$= 4,06674 \text{ Watt}$$

➤ **Rugi-Rugi Daya Pada Fasa S**

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya arus pada fasa $I_S=26 \text{ A}$, tahanan penghantar LVTC $3 \times 70 \text{ mm}^2$ yaitu $0,443 \Omega/\text{km}$ dan panjang saluran penghantar $0,0408 \text{ km}$. Untuk menentukan besarnya daya transformator dalam keadaan tidak seimbang, maka:

$$P_{LS} = I_S^2 \cdot R \cdot L$$

$$= 26^2 A \cdot 0,443 \Omega/km \cdot 0,0408 km$$

$$= 12,2182 Watt$$

➤ Rugi-Rugi Daya Pada Fasa T

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya arus pada fasa $I_T=6$ A, tahanan penghantar LVTC $3 \times 70 mm^2$ yaitu $0,443 \Omega/km$ dan panjang saluran penghantar $0,0408$ km. Untuk menentukan besarnya daya transformator dalam keadaan tidak seimbang. maka:

$$P_{LT} = I_T^2 \cdot R \cdot L$$

$$= 6^2 A \cdot 0,443 \Omega/km \cdot 0,0408 km$$

$$= 0,6506 Watt$$

➤ Rugi-Rugi Daya Pada Fasa N

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya arus pada fasa $I_N=23$ A, tahanan penghantar LVTC $3 \times 70 mm^2$ yaitu $0,418 \Omega/km$ dan panjang saluran penghantar $0,0408$ km. Untuk menentukan besarnya daya transformator dalam keadaan tidak seimbang. maka:

$$P_{LN} = I_N^2 \cdot R \cdot L$$

$$= 23^2 A \cdot 0,418 \Omega/km \cdot 0,0408 km$$

$$= 9,0217 Watt$$

➤ Rugi-Rugi Daya Grounding

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya arus grounding $I_G = I_N = 23$ A dan tahanan grounding $R_G = 3 \Omega$ untuk menentukan rugi-rugi daya grounding. maka :

$$P_{LG} = I_G^2 \cdot R_G$$

$$= 23^2 A \cdot 3 \Omega$$

$$= 1.587 watt$$

➤ Total Rugi-Rugi Daya Pada Transformator 50kVA

Ukuran kapasitas transformator 50kVA, besarnya rugi-rugi daya pada fasa R = $4,0667 Watt$, fasa S = $12,2182 Watt$, fasa T = $0,6506 Watt$ dan fasa N = $9,0217 Watt$. Untuk menentukan besarnya rugi-rugi daya pada transformator dalam keadaan tidak seimbang. maka:

$$P_{TOTAL} = P_{LR} + P_{LS} + P_{LT} + P_{LN} + P_{LG}$$

$$= 4,0667 + 12,2182 + 0,6506 + 9,0217 + 1.587$$

$$= 1.612,9572 watt$$

• **Perhitungan Menentukan Ukuran Fuse Link Pada Transformator 50kVA**

Ukuran kapasitas transformator 50kVA dengan besarnya tegangan primer $20kVA$, untuk menentukan besarnya ukuran fuse link, maka:

$$Fuse Link = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \text{ Ampere}$$

$$Fuse Link = \frac{50.000 VA}{20.000v \times \sqrt{3}}$$

$$= 1,443 \text{ Ampere}$$

Fuse link yang tersedia = 2 Ampere

• **Perhitungan Menentukan Ukuran NH-Fuse pada Tranformator 50kVA**

Ukuran kapasitas transformator 50kVA dengan besarnya tegangan 3fasa L-L = 403 Volt, untuk menentukan besarnya NH Fuse di perlukan perhitungan I nominal dan I tiap line, maka:

$$I \text{ Nominal} = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \text{ Ampere}$$

$$= \frac{50.000 \text{ VA}}{403 \text{ V} \times \sqrt{3}} \text{ Ampere}$$

$$= 71,6315 \text{ Ampere}$$

$$I \text{ tiap line} = \frac{I_n}{\text{Jumlah Line}} \text{ Ampere}$$

$$= \frac{71,6315}{2} \text{ Ampere}$$

$$= 35,81575 \text{ Ampere}$$

$$\text{NH - Fuse di pilih} = I \text{ tiap line} \times 0,9$$

$$= 35,81575 \times 0,9$$

$$= 32,2341 \text{ Ampere}$$

NH-Fuse yang tersedia di pasar adalah 35 Ampere

$$I_{\text{rating}} = K \times I_n$$

$$= 1,25 \times 71,6315$$

$$= 89,53 \text{ A}$$

MCCB 3P 100 A

3.3. Analisa

Berdasarkan hasil perhitungan, transformator 50 kVA kondisi beban seimbang adalah $\eta = 99,85\%$ dan kondisi beban tidak seimbang adalah $\eta = 82,5\%$. Efisiensi yang ideal untuk transformator adalah sekitar 80-90%, transformator tidak mungkin mempunyai efisiensi sebesar 100% karena adanya energi listrik yang berubah menjadi energi panas, arus eddy dan kehilangan garis gaya magnet antara lilitan primer dan sekunder. (standar SPLN (1997: 67) untuk efisiensi transformator adalah 99,57%.

Ideal sebuah pembebanan sebuah transformator bernilai 60%-80% dari kapasitas trafo distribusi, lebih dari standar tersebut dapat dikatakan berada dalam kategori trafo overload. Saat transformator mengalami overload atau beban lebih terdapat beberapa solusi yaitu rekonfigurasi jaringan, pemasangan gardu sisip atau uprating transformator.

Untuk optimalkan pembebanan transformator dari beban tidak seimbang menjadi beban seimbang sehingga menghasilkan efisiensi yang tinggi pada transformator dan mengeliminasi losses maka:

Transformator 50 kVA

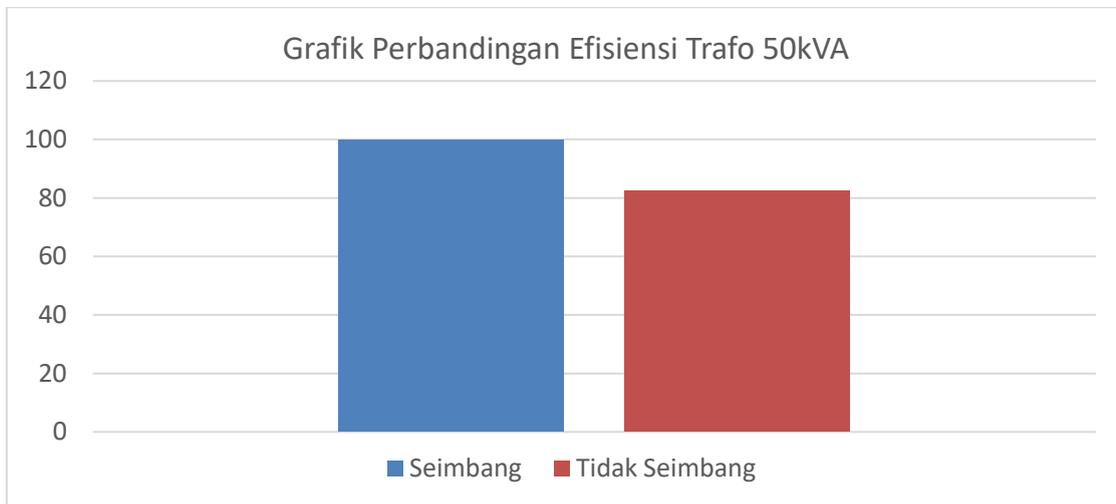
$$I_R = 15 \text{ A di tambah } 0,6 \text{ A}$$

$$I_S = 26 \text{ A di kurang } 10,4 \text{ A}$$

$$I_T = 6 \text{ A di tambah } 9,6 \text{ A}$$

Arus rata-rata pada transformator $I_{\text{rata-rata}} = (15+26+6)/3 = 15,6 \text{ A}$ merupakan arus dalam keadaan seimbang, setelah di pindahkan dari arus beban yang tinggi ke yang rendah sehingga di dapatkan arus seimbang masing-masing fasa yaitu $I_R = I_S = I_T = 15,6$. Ketidakseimbangan beban biasanya disebabkan oleh distribusi beban yang tidak merata pada fasa-fasa trafo, sehingga ada fasa yang terbebani lebih tinggi dibandingkan fasa lainnya. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan kebutuhan daya di setiap titik pengguna, adanya beban satu fasa yang dominan, atau fluktuasi beban secara mendadak pada waktu-waktu tertentu. Faktor eksternal seperti perubahan pola konsumsi, kualitas kabel distribusi, dan kondisi lingkungan (misalnya, suhu tinggi yang mempengaruhi arus listrik) juga dapat mempengaruhi tingkat ketidakseimbangan beban. Dengan memahami faktor-faktor penyebab ini, penelitian dapat lebih fokus pada identifikasi kondisi yang

memicu ketidakseimbangan beban dan strategi untuk meminimalkan dampaknya pada trafo.



Gambar 2. Grafik perbandingan efisiensi antara kondisi seimbang dan tidak seimbang

Tabel 3. Hasil Perhitungan Transformator 50kVA

Transformator 50 kVA							
Beban trafo (kVA)		beban tidak seimbang tiap fasa (Watt)			Beban seimbang (Watt)	Arus netral (A)	NH-Fuse (A)
kVA beban	% beban	R	S	T	13,1957	8,185	35
10,978	21,956	2.983,5	5.149,3	1.198,5			
Losses tiap fasa (Watt)					Total losses (Watt)	Fuse link (A)	MCCB (A)
R	S	T	N	G	1.612,9572	2	100
4,06674	12,2182	0,6506	9,0217	1.587			

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari perhitungan studi kelayakan pengaman input-output trafo dan optimalisasi penyeimbangan beban trafo pada gardu distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Kuranji Padang. Dapat di ambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya pembebanan yang terkapakai pada transformator dengan kapasitas 50 kVA adalah 10,978kVA, %beban trafo = 21,956%
2. Besarnya beban tidak seimbang antar fasa pada transformator 50kVA ,Fasa R adalah 2.983,5 Watt, fasa S adalah 5.149,3Watt dan fasa T adalah 1.198,5 Watt.
3. Akibat beban tidak seimbang maka muncullah arus netral. Besarnya netral pada transformator 50 kVA adalah 8,185A.
4. Namun di setelah pengalihan beban transformator sehingga mendapatkan beban menjadi dalam keadaan seimbang maka besarnya daya pada transformator 50 kVA adalah 13,1957 Watt.
5. Pada saat beban tidak seimbang muncullah arus netral sehingga mengakibatkan

rugi-rugi daya. Besarnya rugi-rugi daya pada transformator 50 kVA adalah 1.613,4968 Watt.

6. Besarnya ukuran pengaman input (FCO) dan output (NH-Fuse) pada transformator Transformator 50kVA, Ukuran fuse link adalah 1,443 (2) Ampere Ukuran NH Fuse di pilih adalah 32,2341 (35) Ampere.
7. Untuk meningkatkan kehandalan trafo 50 kVA, diperlukan optimalisasi pembagian beban antar fasa dan penyusunan ulang fuse input-output. Langkah pertama adalah menyeimbangkan beban antar fasa dengan memindahkan sebagian beban dari fasa yang paling tinggi (fasa S dengan 5.149,3 Watt) ke fasa yang lebih rendah (fasa R dan T), sehingga dapat mengurangi arus netral dan rugi-rugi daya. Selain itu, diperlukan analisis pola beban secara berkala untuk memastikan beban tetap seimbang meskipun ada perubahan pola penggunaan. Penggunaan alat pemantau arus dan tegangan secara real-time juga dapat membantu menjaga keseimbangan secara berkelanjutan. Dalam hal proteksi, ukuran fuse link dan NH Fuse perlu disesuaikan—misalnya, ukuran fuse link 2 Ampere dan NH Fuse 35 Ampere—untuk memberikan perlindungan yang optimal terhadap lonjakan arus, sehingga komponen trafo lebih terlindungi dari risiko kerusakan akibat arus berlebih.

4.2. Saran

Penambahan beban baru atau penyambungan kabel SR konsumen baru pada kabel SKUTR disarankan melihat besarnya arus pada trafo agar menghindari beban tidak seimbang yang berkelanjutan memungkinkan timbulnya arus netral dan rugi-rugi daya yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Nugroho and I. Setiono, 'Koordinasi Recloser Dengan FCO(Fuse Cut Out) Sebagai Pengaman Terhadap Gangguan Arus Lebih Pada Penyulang Dengan 1 Fasa Di Gardu Induk Sanggrahan Magelang', 2015.
- [2] I. A Fahrezi and L. Liliana, 'Studi Kelayakan Pengaman Input-Output Trafo Distribusi Fuse Cut Out (FCO) dan NH Fuse di Area Payakumbuh', *MSI Trans. Educ.*, vol. 2, no. 4, pp. 159–168, Nov. 2021, doi: 10.46574/mted.v2i4.66.
- [3] P. Harahap, M. Adam, and A. Prabowo, 'Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jatuh Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6.0', *J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, 2019.
- [4] A. Bachtiar and B. Dirgantara, 'Optimalisasi Penyeimbangan Beban Transformator dengan Metode Seimbang Beban Sehari (SBS) pada Gardu Depan Kantor Rayon PT. PLN (Persero) Rayon Kayu Aro', *J. Tek. ELEKTRO ITP*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [5] R. Nasution, 'Pemilihan Fuse Cut Out Untuk Pengaman Transformator Distribusi 400 KVA', vol. 4, no. 2.
- [6] D. Oleh, 'PT PLN (PERSERO) Jalan Trunojoyo Blok M-I / 135, Kebayoran Baru Jakarta Selatan', 2010.
- [7] T. Penyusun, 'PT. PLN (PERSERO) Edisi 1 Tahun 2010'.
- [8] A. Fitriyanto, 'ANALISIS SISTEM PENTANAHAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS RIAU', vol. 6, 2019.