

Analisis ketidakstabilan beban arus netral dan rugi-rugi daya pada trafo distribusi penyulang Pas 21 PT. PLN UPB Banda Aceh

Suriadi ^{a*}, Ira Devi Sara ^b, Ahmad Syuhada ^c, Masri ^d, Asri ^e, Khairul Umurani ^f

^{a*,b} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh, Provinsi Aceh, Indonesia.

^{c,d} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh, Provinsi Aceh, Indonesia.

^e Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Kec. Muara Batu, Kabupaten Aceh Utara, Provinsi Aceh, Indonesia.

^f Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan, Indonesia.

ABSTRACT

This research focuses on analyzing power losses due to load imbalance in the medium-voltage distribution network in Pasar Aceh. The aim is to determine the magnitude of power losses that occur at the distribution substation in Pasar Aceh. The research method involves analysis, calculations, and simulations using the ETAP 12.6 software. The results of the analysis indicate that load imbalance in the Pasar Aceh substation leads to power losses. The Trafo Samping Pasar Aceh experiences power losses of 0.77% with a load imbalance of 16.33%. The second transformer in the BNI 46 area incurs power losses of 0.98% with a load imbalance of 30.33%, and the transformer in the BLKG KOTTY area has power losses of 1.17% with a load imbalance of 50.33%. These findings affirm that the greater the load imbalance, the higher the resulting power losses in the electrical distribution network.

ABSTRAK

Penelitian ini fokus pada analisis rugi-rugi daya akibat ketidakseimbangan beban pada jaringan distribusi tegangan menengah di Pasar Aceh. Tujuannya adalah menentukan besarnya rugi-rugi daya yang terjadi pada gardu distribusi penyulang Pasar Aceh. Metode penelitian melibatkan analisis perhitungan dan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6. Hasil analisis menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban pada penyulang Pasar Aceh menyebabkan rugi-rugi daya. Trafo Samping Pasar Aceh memiliki rugi-rugi daya sebesar 0,77% dengan ketidakseimbangan 16,33%, Trafo kedua di wilayah BNI 46 memiliki rugi-rugi daya sebesar 0,98% dengan ketidakseimbangan 30,33%, dan Trafo di wilayah BLKG KOTTY memiliki rugi-rugi daya sebesar 1,17% dengan ketidakseimbangan 50,33%. Temuan ini menegaskan bahwa semakin besar ketidakseimbangan beban, semakin tinggi pula rugi-rugi daya yang terjadi dalam jaringan distribusi tenaga listrik.

ARTICLE HISTORY

Received 22 July 2023

Accepted 19 August 2023

Published 25 December 2023

KEYWORDS

Load imbalance; power losses, distribution network, distribution substation.

KATA KUNCI

Ketidakseimbangan beban; rugi-rugi daya; jaringan distribusi; gardu distribusi.

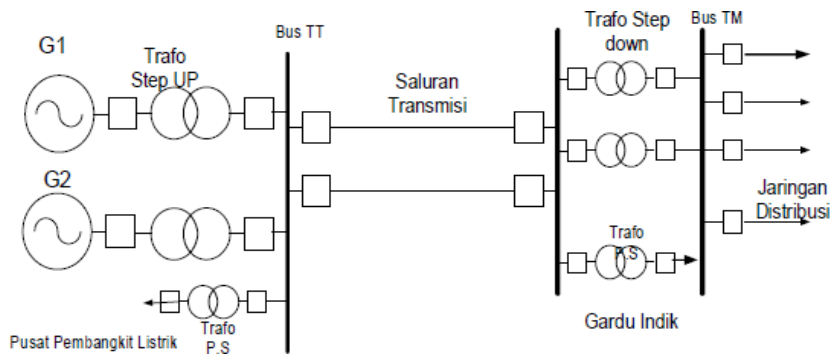
1. Pendahuluan

Guna memenuhi kebutuhan listrik di Pasar Aceh, sumber energi listrik diambil dari gardu hubung di PLN UP3 Banda Aceh dengan kapasitas 20 kV. Energi tersebut kemudian dialirkan langsung ke gardu distribusi di Pasar Aceh, yang menyebabkan rugi-rugi daya yang cukup signifikan karena jarak yang jauh antara PLN UP3 dan Pasar Aceh. Dengan fasilitas di Pasar Aceh yang terus berkembang, penggunaan daya pun meningkat seiring dengan jarak yang cukup jauh. Saluran distribusi merupakan bagian penting dari proses penyaluran daya yang terhubung langsung dengan beban di Pasar Aceh. Oleh karena itu, ketidakseimbangan beban memiliki dampak besar pada kinerja sistem tersebut. Daya listrik yang mencapai beban tidak selalu sejalan dengan jumlah daya yang dihasilkan karena terjadi susut tegangan atau rugi-rugi daya. Dalam sistem distribusi, permintaan daya dari konsumen terus meningkat, dan ketidakseimbangan besar dalam permintaan daya menyebabkan pembagian beban yang tidak merata. Kondisi ini mengharuskan distribusi beban pada setiap fasa dijaga agar tetap seimbang. Namun, pada kenyataannya, pembebanan pada setiap fasa tidak selalu seimbang, dan salah satu penyebabnya adalah operasional beban satu fasa yang tidak merata.

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai rugi-rugi daya menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban merupakan faktor utama penyebab rugi-rugi daya pada saluran sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, diperlukan analisis rugi-rugi daya pada sistem tenaga listrik untuk menentukan besarnya rugi-rugi beban pada transformator distribusi. Hal ini menjadi langkah awal dalam mencari solusi untuk melakukan penyeimbangan beban melalui penataan ulang jaringan tegangan menengah, dengan harapan agar distribusi beban antar fasa menjadi seimbang dan mengurangi rugi-rugi daya akibat munculnya arus netral.

1.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan salah satu kesatuan dari beberapa alat yang digunakan untuk mengubah dan memindahkan energi yang mempunyai peranan penting dalam menyediakan kebutuhan energi di dunia. Sistem tenaga listrik terintegrasi dari unit pembangkit listrik, unit transmisi listrik sampai unit distribusi listrik, dan tidak banyak bacaan lain yang menambahkan substation (gardu induk) pada sistem tenaga listrik.



Gambar 1. *Single Line Diagram* yang dihubungkan melalui saluran transmisi ke GI

1.2 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan salah satu studi mengenai analisis yang terkait dengan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu ketika sedang bekerja dan menghasilkan informasi mengenai beban saluran transmisi maupun saluran distribusi, rugi – rugi, dan tegangan yang ada di setiap lokasi untuk dilakukan evaluasi kinerja sistem tenaga listrik.

1.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari GI ke beban. Gardu Induk sebagai pusat pusat beban ke pelanggan pelanggan secara langsung atau melalui gardu-gardu distribusi (gardu trafo) dengan mutu yang memadai sesuai standar pelayanan yang berlaku.

1.4 Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

Daya transformator dapat dirumuskan sebagai berikut ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer):

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

dimana :

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan Sisi Primer Transformator (kV)

I = Arus Jala – jala (A)

Dan untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (2)$$

dimana:

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

V = Tegangan Sisi Primer Transformator (kV)

I = Arus Jala – jala (A)

Presentase Pembebanan Transformator

Untuk mencari berapa persen penggunaan pembebanan transformator dapat dirumuskan:

$$\frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100 \quad (3)$$

dimana :

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

Losses (rugi -rugi) Akibat Arus Netral yang Muncul pada Penghantar Netral di Transformator

Diakibatkan karena ketidakseimbangan beban pada fasa di sekunder transformator R, S, dan T, maka mengakibatkan arus akan mengalir pada penghantar netral transformator. Arus yang berada pada penghantar netral transformator menyebabkan *losses* (rugi-rugi). Presentase rugi -tugi daya yang diakibatkan arus netral transformator dapat dirumuskan:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 \quad (4)$$

dimana :

P_N = *losses* Penghantar Netral Transformator

P = Daya aktif transformator

1.5 Presentase Ketidakseimbangan beban pada Transformator

Untuk mengetahui seberapa besar ketidakseimbangan beban maka dapat diketahui dengan menentukan besarnya arus tiap fasa yang dinyatakan dalam keffisien a, b, dan c untuk mencari presentase ketidakseimbangan beban.

$$[I_R] = a [I]$$

$$[I_S] = b [I]$$

$$[I_T] = c [I]$$

Arus I_R , I_C , dan I_T berturut – turut adalah arus pada fasa R, S, dan T. Koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya dimana arus pada fasa dalam keadaan seimbang (sama dengan 1) sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{rata-rata}$) dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$I_R = a \times I_{rata-rata}, a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \quad (5)$$

$$I_S = b \times I_{rata-rata}, b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \quad (6)$$

$$I_T = c \times I_{rata-rata}, c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \quad (7)$$

Transformator dikatakan seimbang jika nilai koefisien a, b, dan c =1. Jadi rata – rata ketidakseimbangan beban (%) adalah:

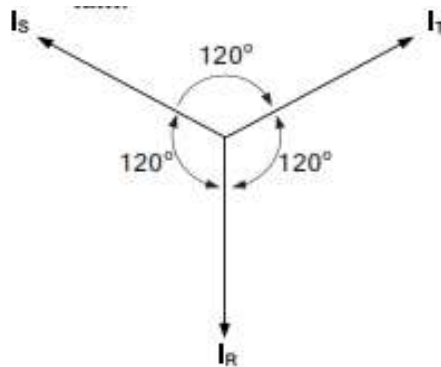
$$ul = \frac{|a-1|+|b-1|+|c-1|}{3} \times 100\% \quad (8)$$

1.6 Ketidakseimbangan Beban

Pada Sistem distribusi banyak terjadi masalah ketidakseimbangan pada beban sehingga dapat menyebabkan terjadinya rugi – rugi pada sistem, adapun yang dimaksud dengan keadaan beban seimbang adalah suatu keadaan dimana :

- 1) Ketiga vektor arus/tegangan sama besarnya
- 2) Ketiga vektor saling membentuk sudut 120°

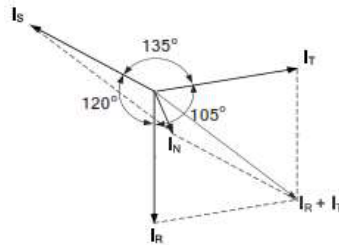
Gambar dibawah ini menunjukkan phasor diagram arus dalam keadaan arus seimbang.



Gambar 2. Diagram Beban Dalam Keadaan Seimbang

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa semua sudutnya sama besar yang dimana membentuk sudut 120° yang menandakan bahwa semua beban dalam keadaan yang seimbang antara phasor arusnya I_R , I_S , dan I_T . Sedangkan yang dimaksud keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi, kemungkinan terjadinya keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu :

- 1) Ketiga vektor sama besar tapi tidak membentuk sudut 120°
- 2) Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120°
- 3) Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° .



Gambar 3. Diagram Beban Keadaan Tidak Seimbang

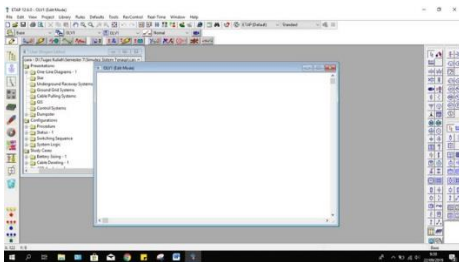
Dari gambar diatas menunjukan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga phasor arusnya (I_R I_S I_T) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya tergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

1.7 Software ETAP

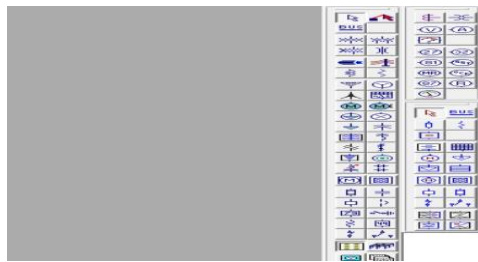
ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) merupakan salah satu program yang khusus di gunakan untuk analisis aliran daya karena sanggup melayani sampai lebih dari 2000 rel (bus), 2000 saluran (*feeder*), dan 500 buah transformator. Beberapa analisis yang dapat dilakukan oleh ETAP 12.6 yaitu:

- 1) *Load Flow* (aliran daya)
- 2) *Short Circuit* (hubung singkat)
- 3) *Motor Starting*
- 4) Harmonisa pada gelombang
- 5) *Transient Stability*
- 6) Peralatan pengaman perangkat

Metode perhitungan yang ada di ETAP 12.6 sudah terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menganalisis aliran daya pada jaringan sistem tenaga listrik yaitu metode seperti Gauss – Seidel, Newton – Rhapsion, dan Fast decoupled, dan software ini sudah mampu mempresentasikan sistem yang sebenarnya. Dalam ETAP *power station* memiliki tampilan untuk merancang aliran dan daya dan beberapa *tools* yang digunakan untuk merancang aliran daya.

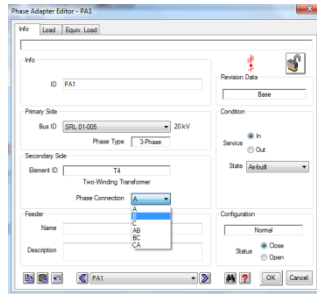


Gambar 4. Tampilan Awal Etap Power Station



Gambar 5. Tampilan tools yang berada di ETAP power station 12.6

Penyeimbangan beban dilakukan dengan cara memindahkan hubungan fasa trafo dari satu fasa ke fasa yang lain tanpa merubah nilai beban yang dipikul trafo tersebut. Merubah hubungan fasa pada ETAP 12.6 dapat dilakukan dengan merubah phase connection yang terdapat pada komponen phase adapter. Gambar 6 merupakan cara merubah hubungan fasa pada ETAP.



Gambar 6. Merubah Hubungan Fasa Pada ETAP 12.6

2. Metodologi Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan yaitu software ETAP 12.6, dan untuk alat yang digunakan yaitu laptop lenovo, dari analisis ini dilakukan pengukuran yang diselesaikan dengan cara matematis dan simulasi. Bahan Penelitian yang digunakan untuk melakukan analisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada jaringan distribusi 20 kV di pasar Aceh dilakukan analisis menggunakan aplikasi atau software ETAP 12.6 dengan berbagai *tools* yang ada pada software. Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu laptop lenovo.

2.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan di Pasar Aceh Jalan Pangeran Diponegoro Kecamatan Baiturrahman Kota Banda Aceh dan waktu pelaksanaan dilakukan selama 3 bulan.

1) Data Trafo

Tabel 1. Daftar Sebagian Trafo di Penyulang wilayah Pasar Aceh

Nama Gardu	Alamat	Fasa	Daya Trafo (KVA)	Merek
RJ 049-00	Samping Pasar Aceh	3	400	UNINDO
RJ 048-00	Samping BNI 46	3	315	UNINDO
RJ 047-00	BLKG KOTTY	3	200	Trafindo

Dari data-data trafo yang ada, akan di analisis 3 trafo yang berada pada penyulang Pas 21 yang terdapat di Samping Pasar Aceh, Samping BNI 46, dan BLKG KOTTY.

2) Data Penghantar

Pada penelitian ini menggunakan kawat NA2XSEYBY 3x150 dengan menggunakan penghantar netral trafo berukuran 50 mm² dengan $R=0,6842 \Omega/\text{km}$ yang digunakan dari setiap masing-masing *outgoing* pada trafo ke beban dan menggunakan kawat penghantar fasa berukuran 150 mm² dengan $R=0,265 \Omega/\text{km}$, kawat fasa ini digunakan pada saluran bawah tanah yang digunakan dari GH Merduati menuju trafo KRJ 049-00, trafo KRJ 048-00 dan sampai ke trafo KRJ 047-00.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini akan membahas berapa besar nilai ketidakseimbangan beban yang terjadi di PT. PLN (Persero) ULP. Merduati Kota. Tepatnya pada beberapa trafo yang ada di penyulang bagian Pasar Aceh. Dimana batas toleransi ketidakseimbangan beban menurut SPLN D5.004-1:2012 yaitu sebesar 2%. Dalam penelitian ini digunakan perhitungan secara sederhana dengan menggunakan rumus – rumus sederhana yang nantinya akan di bahas di point – point setelah ini.

- 1) Analisa Pembebanan Trafo pada incoming Trafo
- a) Pasar Aceh

$$S = 400 \text{ kVA} = 400000 \text{ VA}$$

$$V = 400 \text{ V (Fasa – fasa)}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{400000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 577,35 \text{ A}$$

- b) Samping BNI 46

$$S = 315 \text{ kVA} = 315000 \text{ VA}$$

$$V = 400 \text{ V (Fasa – fasa)}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{315000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 454,66 \text{ A}$$

- c) Samping BLKG KOTTY

$$S = 200 \text{ kVA} = 200000 \text{ VA}$$

$$V = 400 \text{ V (Fasa – fasa)}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{200000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 288,67 \text{ A}$$

- 2) Analisa arus rata-rata pada outgoing trafo
- a) Arus Rata – rata (I) Samping Pasar Aceh

$$I_{rata-rata} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{93+67+65}{3} = 75 \text{ A}$$

- b) Arus Rata – rata (I) Samping BNI 46

$$I_{rata-rata} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{70+33+80}{3} = 61 \text{ A}$$

- c) Arus Rata – rata (I) Samping BLKG KOTTY

$$I_{rata-rata} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{111+70+56}{3} = 79 \text{ A}$$

Presentasi Pembebanan Pada Trafo Sebagai Berikut:

$$a. \frac{I_{rata-rata} \text{ (samping pasar)}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{75}{577,35} \times 100\% = 12,99 \%$$

$$b. \frac{I_{rata-rata} \text{ (samping BNI 46)}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{61}{454,66} \times 100\% = 13,41 \%$$

$$c. \frac{I_{rata-rata} \text{ (BLKG KOTTY)}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{79}{288,67} \times 100\% = 27,36 \%$$

- 3) Keseimbangan Beban Pada Trafo

Untuk menghitung rasio ketidakseimbangan pada trafo (RK) maka perlu dianalisa menggunakan persamaan koefisien a,b dan c = 0 ketika a,b,c = Ø maka itu menandakan ada ketidakseimbangan yang terjadi pada sistem, adapun penjabayarnya ialah sebagai berikut:

- a) Ketidakseimbangan pada trafo wilayah samping pasar Aceh

$$RK_R = a \times I_{rata-rata}, a = \frac{IR}{I_{rata-rata}} = \frac{93}{75} = 1,24$$

$$RK_S = b \times I_{rata-rata}, b = \frac{IS}{I_{rata-rata}} = \frac{67}{75} = 0,89$$

$$RK_T = c \times I_{rata-rata}, c = \frac{IT}{I_{rata-rata}} = \frac{65}{75} = 0,86$$

b) Ketidakseimbangan pada trafo wilayah samping BNI 46

$$IR = a \times I \text{ rata-rata}, a = \frac{IR}{I \text{ rata-rata}} = \frac{70}{61} = 1,14$$

$$IS = b \times I \text{ rata-rata}, b = \frac{IS}{I \text{ rata-rata}} = \frac{33}{61} = 0,54$$

$$IT = c \times I \text{ rata-rata}, c = \frac{IT}{I \text{ rata-rata}} = \frac{80}{61} = 1,31$$

c) Ketidakseimbangan pada trafo wilayah BLKG KOTTY

$$IR = a \times I \text{ rata-rata}, a = \frac{IR}{I \text{ rata-rata}} = \frac{111}{79} = 1,40$$

$$IS = b \times I \text{ rata-rata}, b = \frac{IS}{I \text{ rata-rata}} = \frac{70}{79} = 0,88$$

$$IT = c \times I \text{ rata-rata}, c = \frac{IT}{I \text{ rata-rata}} = \frac{56}{79} = 0,70$$

Untuk menghitung presentase ketidakseimbangan dari hasil diatas, maka digunakan persamaan berikut:

a) Presentase Ketidakseimbangan di Samping Pasar Aceh

$$\begin{aligned} ul &= \frac{|a-1| + |b-1| + |c-1|}{3} \times 100\% \\ &= \frac{|1,24-1| + |0,89-1| + |0,86-1|}{3} \times 100\% \\ &= 16,33\% \end{aligned}$$

b) Presentase Ketidakseimbangan di Samping BNI 46

$$\begin{aligned} ul &= \frac{|a-1| + |b-1| + |c-1|}{3} \times 100\% \\ &= \frac{|1,14-1| + |0,54-1| + |1,31-1|}{3} \times 100\% \\ &= 30,33\% \end{aligned}$$

c) Presentase Ketidakseimbangan di BLKG KOTTY

$$\begin{aligned} ul &= \frac{|a-1| + |b-1| + |c-1|}{3} \times 100\% \\ &= \frac{|1,40-1| + |0,88-1| + |0,70-1|}{3} \times 100\% \\ &= 27,33\% \end{aligned}$$

4) Analisa rugi daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo

Untuk mengetahui berapa besar rugi – rugi daya yang terjadi pada trafo akibat adanya arus netral di trafo maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

Analisa mencari nilai I_N :

- 1) Nilai I_N pada trafo Samping Pasar Aceh
- 2) Nilai I_N pada trafo Samping BANK BNI 46
- 3) Nilai I_N pada trafo BLKG KOTTY

a) Besar Rugi Daya yang Terjadi pada Trafo Samping Pasar Aceh

$$P_N = I_{N^2} \times R_N = (62A)^2 \times 0,6842\Omega = 2,63 \text{ kW}$$

Daya aktif pada trafo dapat dihitung menggunakan rumus $P = S \times \cos \phi$. Penelitian ini menggunakan konstanta $\cos \phi$ sebesar 0,85:

$$P = 400 \text{ kVA} \times 0,85 = 340 \text{ kW}$$

Presentase losses yang disebabkan oleh munculnya arus netral pada penghantar netral trafo terhadap daya aktif trafo di wilayah ini dapat dihitung sebagai berikut:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 = \frac{2,63 \text{ KW}}{340 \text{ KW}} \times 100 = 0,77 \%$$

b) Besar rugi daya yang terjadi di trafo Samping BNI 46

$$P_N = I_{N^2} \times R_N = (62A)^2 \times 0,6842\Omega = 2,63 \text{ kW}$$

Daya aktif pada trafo dapat dihitung menggunakan rumus $P = S \times \cos \phi$. Penelitian ini menggunakan konstanta $\cos \phi$ sebesar 0,85:

$$P = 315 \text{ kVA} \times 0,85 = 267 \text{ kW}$$

Presentase losses yang disebabkan oleh munculnya arus netral pada penghantar netral trafo terhadap daya aktif trafo di wilayah ini dapat dihitung sebagai berikut:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 = \frac{2,63 \text{ KW}}{267 \text{ KW}} \times 100 = 0,98 \%$$

c) Besar rugi daya yang terjadi di trafo BLKG KOTTY

$$P_N = I_{N^2} \times R_N = (54A)^2 \times 0,6842\Omega = 1,99 \text{ kW}$$

Daya aktif pada trafo dapat dihitung menggunakan rumus $P = S \times \cos \phi$. Penelitian ini menggunakan konstanta $\cos \phi$ sebesar 0,85:

$$P = 200 \text{ kVA} \times 0,85 = 170 \text{ kW}$$

Presentase losses yang disebabkan oleh munculnya arus netral pada penghantar netral trafo terhadap daya aktif trafo di wilayah ini dapat dihitung sebagai berikut:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 = \frac{1,99 \text{ KW}}{170 \text{ KW}} \times 100 = 1,17 \%$$

3.1 Hasil Analisa

Dari hasil analisa yang ada dapat disimpulkan bahwa beberapa trafo di ULP MERDUATI KOTA tepatnya di wilayah Samping Pasar Aceh, Samping Bank BNI, dan di BLKG KOTTY mengalami ketidak seimbangan beban dimana yang harusnya $a+b+c = 0$ malah menjadi $a+b+c = \emptyset$ sehingga akan timbul arus di netral trafo, yang jika itu terjadi maka akan menyebabkan terjadinya losses atau rugi-rugi daya, semakin besar ketidak seimbangan yang terjadi semakin besar juga losses yang terjadi.

Nama Trafo	Wilayah	Arus rata-rata	Presentase Pembebanan Pada Trafo
KRJ 049-00	Samping Pasar Aceh	75 A	12,99 %
KRJ 048-00	Samping BANK BNI	61 A	13,41 %
KRJ 047-00	BLKG KOTTY	79 A	27,36 %

Gambar 7. Diagram Arus Rata – rata dan Beban Penuh

Dari gambar 7 terlihat jelas bahwa arus rata – rata dan beban penuh tertinggi terdapat pada wilayah BLKG KOTTY yaitu 79 A dan beban penuh tertinggi presentase trafo berada di wilayah BLKG KOTTY mencapai 27,36 %.

Nama Trafo	Wilayah	Presentase Ketidakseimbangan
KRJ 049-00	Samping Pasar Aceh	16,33 %
KRJ 048-00	Samping BANK BNI	30,33 %
KRJ 047-00	BLKG KOTTY	27,33 %

Gambar 8. Diagram Presentgase Ketidakseimbangan beban pada trafo

Dari gambar 8 terlihat wilayah Samping BNI 46 memiliki tingkat ketidakseimbangan yang paling tinggi diantara yang lain yaitu 30,33%.

Nama Trafo	Wilayah	Presentase Rugi-rugi Daya
KRJ 049-00	Samping Pasar Aceh	0,77 %
KRJ 048-00	Samping BANK BNI	0,98 %
KRJ 047-00	BLKG KOTTY	1,17 %

Gambar 9. Diagram Presentase Rugi-rugi daya pada Trafo

Pada gambar 9 menunjukan wilayah BLKG KOTTY dengan presentase rugi – rugi daya pada trafo yang paling besar dibandingkan daerah lain hal itu sebanding lurus dengan tingkat ketidakseimbangan yang lebih tinggi dari wilayah lain. Dari semua hasil maka akan dirangkum kembali pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Rangkuman Semua Analisa dan Perhitungan

Nama Tempat	(%) pembebanan	(%)ketidakseimbangan	(%) rugi daya
Samping Pasar Aceh	12,99	16,33	0,77
BNI 46	13,41	30,33	0,98
BLKG KOTTY	27,36	27,33	1,17

Di table 2 menunjukan semua presentase ketidakseimbangan melebihi angka 2%, yang menurut aturan SPLN D5.004-1:2012 batas toleransi beban tidak seimbang yaitu maksimal sbesar 2% hal ini menandakan bahwa semua trafo diatas belum memenuhi standar.

1) Penanganan ketika terjadi beban tidak seimbang pada transformator

Adapun penanganan ketika terjadi ketidakseimbangan yaitu dengan cara melakukan penyeimbangan pada beban. Misalkan arus rata – rata yang ada diwilayah Samping Pasar Aceh yaitu sebesar 75 A dengan arus disetiap fasanya yaitu $I_R = 93$, $I_S = 67$, $I_T = 63$ maka cara untuk penyeimbangannya yaitu dengan cara menghitung selisih arus pada masing – masing phasanya.

$$I_R = 75 - 93 = (-) 18 \text{ A}$$

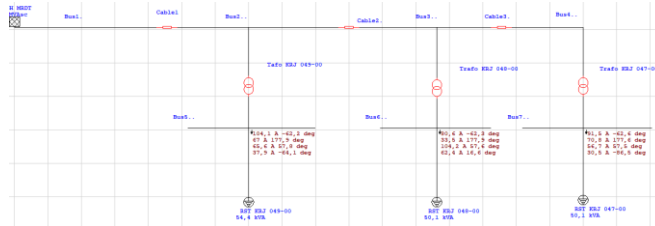
$$I_S = 75 - 67 = 8 \text{ A}$$

$$I_T = 75 - 63 = 12 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa untuk mencapai keadaan pembebanan yang seimbang pada setiap phasanya di wilayah itu, maka phasa R perlu dikurangi sebanyak 18 A sementara pada phasa S ditambah sebanyak 8 A dan pada phasa T ditambah sebesar 12 A. Sehingga nantinya akan didapatkan beban yang seimbang seperti berikut :

$$\begin{aligned}\text{Phasa R} &= 93 - 18 = 75 \text{ A} \\ \text{S} &= 67 + 8 = 75 \text{ A} \\ \text{T} &= 63 + 12 = 75 \text{ A}\end{aligned}$$

2) Analisa dengan Menggunakan ETAP 12.6



Gambar 10. Hasil run rangkaian single line diagram pada ETAP sebelum beban diseimbangkan

	Trafo KRJ 049-00	Trafo KRJ 049-00	Trafo KRJ 049-00
R	104,1 A	80,6 A	91,5 A
S	67 A	33,5 A	70,8 A
T	65,5 A	104,2 A	56,7 A
N	37,9 A	62,4 A	30,5 A

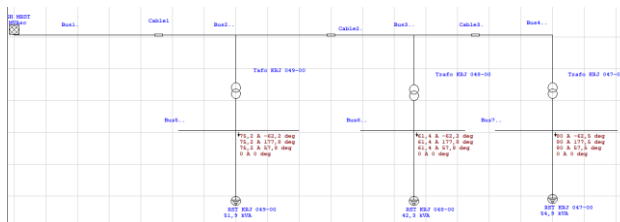
Gambar 11. Nilai arus perphasa dan arus netral menggunakan simulasi ETAP 12.6.0 pada saat keadaan beban tidak seimbang

Pada gambar 11 hasil dari simulasi ETAP tersebut menunjukkan nilai arus perphasa dan juga arus netral dari masing-masing trafo. Pada trafo KRJ 049-00 nilai arus pada phasa R sebesar 104,1 A, pada phasa S sebesar 67 A dan pada phas T sebesar 65,5 A serta arus netralnya sebesar 37,9 A. Pada trafo KRJ 048-00 nilai arus pada phasa R sebesar 80,6 A, pada phasa S sebesar 33,5 A dan pada phas T sebesar 104,2A serta arus netralnya sebesar 62,4 A dan pada trafo KRJ 047-00 nilai arus pada phasa R sebesar 91,5 A, pada phasa S sebesar 70,8 A dan pada phas T sebesar 56,7 A serta arus netralnya sebesar 30,5 A.

Daya Aktif	Daya Reaktif
0,7 kW	2,1 KVar

Gambar 12. Hasil Analisis susut daya pada simulasi ETAP sebelum beban seimbang

Berdasarkan gambar 12 menunjukkan nilai susut daya pada simulasi ETAP 12.6.0 dari ketiga trafo sebelum beban seimbang yaitu trafo KRJ 049-00, trafo KRJ 048-00 dan trafo KRJ 047-00, dimana untuk daya aktifnya didapat 0,7 kW sedangkan daya reaktifnya sebesar 2,1 KVar.



Gambar 13. Hasil run rangkaian single line diagram pada ETAP setelah beban seimbang

Untuk nilai arus perphasa yang ada pada masing-masing trafo setelah dilakukan penyeimbangan dari hasil simulasi ETAP dan hasil perhitungan manual dapat dilihat dari gambar berikut.

Jenis Metode	Trafo KRJ 049-00			Trafo KRJ 049-00			Trafo KRJ 049-00		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T
Simulasi ETAP	75,2 A	75,2 A	75,2 A	61 A	61 A	61 A	80 A	80 A	80A
Perhitungan	75 A	75 A	75 A	61 A	61 A	61 A	79 A	79 A	79 A

Gambar 14. Arus perphasa hasil simulasi ETAP dan perhitungan manual

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan ETAP, setelah dilakukan penyeimbangan beban dapat dilihat pada setiap phasanya memiliki nilai arus yang sama. Seperti pada trafo KRJ 049-00 didapat nilai arusnya sebesar 75,2 A, pada trafo KRJ 048-00 sebesar 61 A dan pada trafo KRJ 047-00 sebesar 80 A. Dan pada perhitungan manual juga mendapatkan nilai arus perphasanya bernilai sama. Seperti pada trafo KRJ 049-00 didapat arus sebesar 75 A, pada trafo KRJ 048-00 sebesar 61 A dan pada trafo KRJ 047-00 sebesar 79 A. Nilai yang didapatkan dari perhitungan manual dan dengan menggunakan simulasi memiliki nilai yang tidak jauh berbeda, sehingga dapat disimpulkan bahwa penelitian ini dikatakan berhasil.

	Trafo KRJ 049-00	Trafo KRJ 049-00	Trafo KRJ 049-00
R	75,2 A	61,4 A	80 A
S	75,2 A	61,4 A	80 A
T	75,2 A	61,4 A	80 A
N	0 A	0 A	0 A

Gambar 15. Nilai arus perphasa dan arus netral menggunakan simulasi ETAP 12.6.0 pada saat keadaan beban seimbang

Berdasarkan gambar 15 hasil dari simulasi ETAP setelah dilakukan penyeimbangan beban tersebut menunjukkan nilai arus perphasa dan juga arus netral dari masing-masing trafo. Pada trafo KRJ 049-00 nilai arus pada phasa R S T sebesar 75,2 A serta arus netralnya sebesar 0 A. Pada trafo KRJ 048-00 nilai arus pada phasa R S T sebesar 61,4 A serta arus netralnya sebesar 0 A dan pada trafo KRJ 047-00 nilai arus pada phasa R S T sebesar 80 A serta arus netralnya sebesar 0 A.

Daya Aktif	Daya Reaktif
0,6 kW	2 KVar

Gambar 16. Hasil Analisis Susut Daya Pada Simulasi ETAP Setelah Seimbang

Berdasarkan nilai susut daya pada simulasi ETAP 12.6.0 dari ketiga trafo setelah beban diseimbangkan yaitu trafo KRJ 049-00, trafo KRJ 048-00 dan trafo KRJ 047-00, dimana untuk daya aktifnya didapat 0,6 kW sedangkan daya reaktifnya sebesar 2 KVar. Untuk nilai daya aktif dan reaktif yang terdapat pada nilai susut daya atau losses yang didapat dari simulasi ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai losses yang didapat sebelum dilakukan penyeimbangan. Hal itu disebabkan karena losses itu berpengaruh pada kualitas daya, dimana dayanya itu adalah daya aktif dan reaktif. Ketika dilakukan penyeimbangan beban maka nilai daya akan berkurang atau lebih bagus.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah dijabarkan, tentang analisis ketidakseimbangan beban yang terjadi pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) ULP. Merduati Kota, tepatnya yang berada di penyulang Pasar Aceh, maka penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan:

- 1) Setelah melakukan analisa ketidakseimbangan beban pada transformator menggunakan koefisien a, b dan c didapat nilai koefisien dari masing-masing a, b dan c bernilai tidak sama dengan 0 yang menandakan adanya ketidakseimbangan yang terjadi. Dapat dilihat pada perhitungan ketidakseimbangan pada trafo KRJ 049-00 dimana nilai a sebesar 1,24, b bernilai 0,89 dan c bernilai 0,86.
- 2) Dari ketiga transformator yang dibahas di penelitian ini maka didapatkan hasil akhir yang menunjukkan wilayah (Samping BNI) yang memiliki tingkat ketidakseimbangan yang paling tinggi sebesar 30,33 % dengan rugi daya mencapai 0,98 %, kemudian pada transformator di wilayah (BLKG KOTTY) dengan besar ketidakseimbangan 27,33 % dan rugi daya mencapai 1,17 %, dan yang terakhir transformator yang berada di (Samping Pasar Aceh) dengan nilai ketidakseimbangan 16,33 %, dengan rugi – rugi mencapai 0,77 %, dari hasil tersebut dapat disimpulkan juga bahwa semakin besar ketidakseimbangan beban yang terjadi pada transformator distribusi maka semakin besar juga rugi – rugi daya yang terjadi.

Adapun penanganan yang harus dilakukan ketika terjadi ketidakseimbangan beban yaitu dengan cara menyeimbangan beban tersebut, dengan menambah atau mengurangi masing-masing beban yang ada di setiap fasa R,S,T sehingga nanti akan didapatkan beban yang seimbang pada setiap fasanya. Contohnya pada penanganan yang dilakukan pada arus rata-rata di trafo KRJ 049-00 yaitu sebesar 75 A dengan arus di setiap fasa R S T nya berturut-turut yaitu 93 A, 67 A, dan 63 A. Dimana didapatkan selisih arus masing-masing fasanya yaitu sebesar -18 A untuk fasa R, 8 A untuk fasa S dan 12 A untuk fasa T. Sehingga dari perhitungan tersebut pada fasa R di kurangi sebanyak 18 A sementara pada fasa S ditambah sebesar 8 A dan pada fasa T ditambah sebanyak 18 A untuk mencapai keadaan pembebanan yang seimbang.

Referensi

- [1] Hermawan. (n.d.). "Analisis Terhadap Performance Sistem Tenaga Listrik Memakai Metode Aliran Daya." [Judul Jurnal], 17–28.
- [2] D. Menggunakan, & S. Powerworld. (2015). "Studi Aliran Daya Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara (Sumbagut) 150 Kv Dengan Menggunakan Software Powerworld Versi 17." Singuda ENSIKOM, 11(30), 47–52.
- [3] D. S. W. Jayabadi, B. Winardi, & M. Facta. (2017). "Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo 1 Gi Srdol Terhadap Rugi-Rugi Akibat Arus Netral Dan Suhu Trafo Menggunakan Etap 12.6.0." Transient Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 5(4),

425–431. Retrieved from
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/16826>.

- [4] G. National, & H. Pillars. (n.d.). "Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Software ETAP 12.6." [Judul Jurnal], 6(3).
- [5] G. National, & H. Pillars. (n.d.). "Analisis Rugi - Rugi Daya Sistem Distribusi dengan Peningkatan Injeksi Jumlah Pembangkit Terbesar."
- [6] Kartika. (2017). "Analisa Rugi-Rugi Daya Diakibatkan Arus Kapasitif." *Jurnal Surya Energy*, 1(2), 100–111.
- [7] J. Mangundap, S. Silimang, & H. Tumaliang. (2018). "Analisa Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Di PT. PLN (Persero) Area Manado 2017." *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 7(3), 219–226.
- [8] J. Sentosa Setiadji, T. Machmudsyah, & Y. Isnanto. (2008). "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi." *Jurnal Teknik Elektro*, 7(2), 68–73. doi: 10.9744/jte.7.2.68-73.
- [9] J. Sinaga, Y. Hanif, F. Ramadhan, & U. D. Agung. (2017). "Studi Ketidakseimbangan Beban Jaringan Tegangan Rendah." *Seminar Nasional Peranan Ipteks Menuju Industri Masa Depan*, 25–34. Retrieved from <http://eproceeding.itp.ac.id/index.php/pimimd2017>.
- [10] L. S. P. S. M. Nolki Jonal Hontong, Maickel Tuegeh ST. MT. (2015). "Analisa Rugi Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di Pt. Pln Palu." *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 4(1), 64–71.
- [11] M. D. Tobi. (2018). "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di Pt Pln (Persero) Area Sorong." *Electro Luceat*, 4(1).
- [12] M. K. Huda, W. G. Ariastina, & I. W. Sukerayasa. (2020). "Bali Saat Rekonduktoring Sutt Gilimanuk – Negara – Antosari." [Judul Jurnal], 7(3), 83–90.
- [13] M. T. Hilmansyah, N. Hariyanto, & S. Saodah. (2018). "Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Daya Di Penyulang CDM Mochammad Toha - Bandung Hingga Trafo Distribusi." *TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi, dan Kontrol*, 4(1), 24–32. doi: 10.15575/telka.v4n1.24-32.
- [14] Mustamin, W. Rudi, & H. Sahabuddin. (2009). "Analisis Aliran Daya Pada Instalasi Pemanfaatan Tenaga Listrik Menggunakan Etap 12.6." *Seminar Nasional Teknologi Terapan Berbasis Kearifan Lokal*, 224–236.
- [15] R. Syahputra Srg, & R. Harahap. (2017). "Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV/400V Di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban." *Journal of Electrical Technology*, 2(3), 79–85.
- [16] Reza Rolianda, Salahuddin. (2020). "Konfigurasi Ulang Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Newton Raphson." *Jurnal [Judul Jurnal]*, 9, 1–7.

- [17] S. Pandapotan. (2017). "Penggunaan ETAP 12.6 Sebagai Software Analisis Power Quality." *Teknik Elektro, Prodi Teknik Listrik Negeri Jakarta*, 1(Electrical Software), 123–127.
- [18] S. Sugianto, A. Jaya, & B. A. Ashad. (2020). "Analisis Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Penyulang POLDA Area Makassar Utara Dengan ETAP 12.6." *PROtek Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 7(1), 51–54. doi: 10.33387/protk.v7i1.1690.
- [19] T. Distribusi, & V. D. I. Pt. (2017). "Universitas Sumatera Utara."
- [20] T. Hasannuddin, S. Aiyub, & A. B. Pulungan. (2017). "Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Sistem Interkoneksi 150 kV Nanggroe Aceh Darussalam Menggunakan Distributed Generation." [Judul Jurnal], 14(1), 13–17.
- [21] W. Waluyo, et al. (2007). "Perhitungan Susut Daya pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah Saluran Udara dan Kabel." *Sains dan Teknologi EMAS*, 17(3), 169–182.