

## Penelitian Efek Penggunaan Grid Tie Inverter pada Sistem Hibrid dengan Solar Panel dan Diesel

Suhaeri <sup>a\*</sup>, Masri <sup>b</sup>, Azhar <sup>c</sup>, Saifuddin <sup>d</sup>

<sup>a,b</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh, Provinsi Aceh, Indonesia.

<sup>c</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Meureubo, Kabupaten Aceh Barat, Provinsi Aceh, Indonesia.

<sup>d</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Kec. Muara Batu, Kabupaten Aceh Utara, Provinsi Aceh, Indonesia.

### ABSTRACT

The distribution system of electrical power begins from generation and is transmitted to the load, namely consumers. In this distribution, it must be effective, efficient, and reliable. The amount of electrical power reaching the load is not the same as the amount of power generated due to voltage drop or power losses. This research aims to determine the magnitude of power losses in the medium-voltage distribution network located in Pasar Aceh. The research method employed is the analysis and simulation calculation method using ETAP 12.6 software. The study analyzes power losses due to load imbalance in the JTR distribution substation of Pasar Aceh. Based on the analysis results, the load imbalance in the Pasar Aceh substation has led to power losses. The power losses in the Pasar Aceh substation, specifically at the Side Transformer of Pasar Aceh, are 0.77% with a load imbalance of 16.33%. For the second transformer in the BNI 46 area, the power losses are 0.98% with a load imbalance of 30.33%, and for the transformer in the BLKG KOTTY area, the power losses are 1.17% with a load imbalance of 50.33%. Therefore, the larger the percentage of load imbalance in an electrical distribution network, the greater the resulting power losses.

### ABSTRAK

Distribusi sistem tenaga listrik berawal dari pembangkit dan ditransmisikan menuju ke beban yaitu konsumen, dalam penyaluran ini haruslah bersifat efektif, efisien dan dapat di andalkan, jumlah daya listrik yang sampai ke beban tidak sama dengan jumlah daya listrik yang dibangkitkan karena terjadinya susut tegangan atau rugi – rugi daya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran rugi – rugi daya yang timbul pada jaringan distribusi tegangan menengah yang berada di Pasar Aceh. Metode Penelitian yang di pakai dalam penelitian ini yaitu metode analisis perhitungan dan simulasi menggunakan software ETAP 12.6. Penelitian ini di lakukan dengan menganalisis rugi – rugi daya ketidakseimbangan beban di JTR gardu distribusi penyulang Pasar Aceh. Berdasarkan hasil analisis, adanya ketidak seimbangan beban pada penyulang Pasar Aceh telah menyebabkan terjadinya rugi – rugi daya. Besar rugi – rugi daya pada penyulang Pasar Aceh yang terdapat pada Trafo Samping Pasar Aceh sebesar 0,77 % dengan ketidakseimbangan 16,33 %, untuk Trafo kedua yang berada diwilayah BNI 46 mempunyai rugi-rugi daya sebesar 0,98 % dengan ketidakseimbangan 30,33 %, dan untuk Trafo yang berada diwilayah BLKG KOTTY mempunyai rugi-rugi daya sebesar 1,17% dengan ketidakseimbangan 50,33%. Jadi semakin besar presentase ketidakseimbangan beban pada suatu jaringan distribusi tenaga listrik, maka akan semakin besar juga rugi -rugi yang ditimbulkan.

### ARTICLE HISTORY

Received 23 December 2022

Accepted 15 March 2023

Published 25 April 2023

### KEYWORDS

Diesel Generator; Genset; AC Alternator; Diesel Engine

### KATA KUNCI

Diesel Generator; Genset; Alternator AC; Motor Diesel.

## 1. Pendahuluan

Untuk memenuhi kebutuhan listrik di Pasar Aceh, energi listrik diambil dari gardu hubung yang berada di PLN UP3 Banda Aceh dengan kapasitas 20 kV dan langsung disalurkan ke gardu distribusi di Pasar Aceh sehingga banyak rugi-rugi daya yang terjadi karena jarak PLN UP3 ke Pasar Aceh jauh dan fasilitas di Pasar Aceh terus bertambah sehingga penggunaan daya juga semakin besar dengan jarak yang cukup jauh. Saluran distribusi merupakan bagian dari penyaluran daya yang langsung terhubung dengan beban yang ada di Pasar Aceh, sehingga ketidakseimbangan beban sangat berpengaruh pada sistem. Jumlah daya listrik yang sampai ke beban tidak sama dengan jumlah daya listrik yang di bangkitkan karena terjadi susut tegangan atau rugi-rugi daya, dalam sistem distribusi permintaan daya oleh konsumen terus meningkat dan besar permintaan daya tidak sama sehingga menyebabkan terjadinya pembagian beban yang tidak merata.

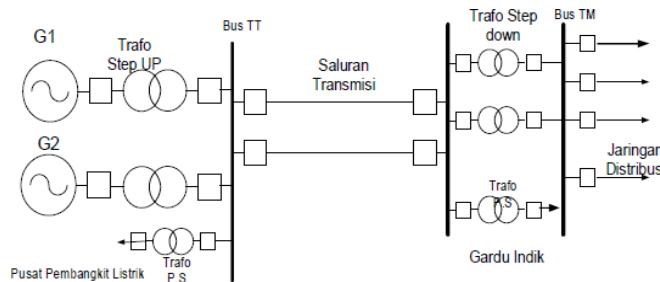
Hal ini menyebabkan distribusi beban masing-masing phasa harus dijaga agar seimbang. Namun pada kenyataannya, pembebanan masing-masing phasa tidaklah selalu seimbang, salah satu penyebabnya adalah banyaknya beban satu fasa yang beroperasi tidak merata. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan tentang rugi-rugi daya, ketidakseimbangan beban merupakan salah satu faktor yang menyebabkan rugi-rugi daya pada saluran sistem tenaga listrik. Dengan demikian diperlukan analisis rugi - rugi daya pada sistem tenaga listrik untuk mengatahui berapa rugi - rugi beban pada transformator distribusi sehingga bisa dilakukan solusi melakukan penyeimbangan beban dengan cara penataan jaringan tengangan menengah sehingga antar fasa bisa dikatakan seimbang dan mengurangi rugi-rugi daya akibat munculnya arus netral.

## 2. Metodelogi Penelitian

Dalam penelitian “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Penyalurang Pas 21” untuk bahan penelitian yang digunakan yaitu software ETAP 12.6, dan untuk alat yang digunakan yaitu laptop lenovo, dari analisis ini di lakukan pengukuran yang diselesaikan dengan cara matematis dan simulasi.

### 2.1 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 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 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 saluran transmisi maupun saluran distribusi, rugi – rugi, dan tegangan yang ada disetiap lokasi untuk dilakukan evaluasi kinerja sistem tenaga listrik.

## 2.2 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) 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)

### 2) Penghitungan 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)

### 3) 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 phasa di sekunder transformator R,S, dan T, maka mengakibatkan arus akan mengalir pada penghantar netral transformator. Arus yang berada pada penghantar netral trasformator menyebabkan *losses* (rugi-rugi). Presentase rugi -rugi daya yang diakibatkan arus netral transformator dapat dirumuskan:

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

dimana :

$P_N$  = losses Penghantar Netral Transformator

$P$  = Daya aktif transformator

4) Presentase Ketidakseimbangan beban pada Transformator

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

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

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

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

Arus  $I_R$ ,  $I_S$ , 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.

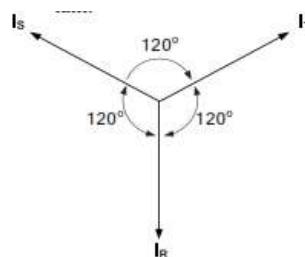
Jadi rata – rata ketidakseimbangan beban (%) adalah:

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

### 2.3 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 :

- Ketiga vektor arus/tegangan sama besarnya
- Ketiga vektor saling membentuk sudut  $120^\circ$

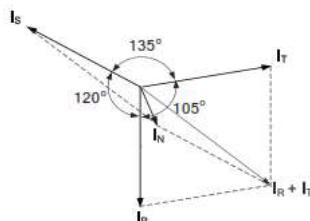


Gambar 2. Diagram Beban Dalam Keadaan Seimbang

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa semua sudutnya sama besar yang dimana membentuk sudut  $120^\circ$  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  $120^\circ$
- 2) Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut  $120^\circ$
- 3) Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^\circ$ .



Gambar 3. Diagram Beban Keadaan Tidak Seimbang

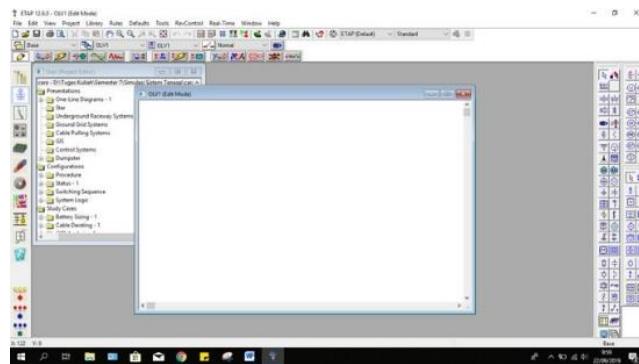
Dari gambar diatas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga phasor arusnya ( $I_R$   $I_S$   $I_T$ ) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral ( $I_N$ ) yang besarnya tergantung pada seberapa besar faktor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

#### 2.4 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:

- a) *Load Flow* (aliran daya)
- b) *Short Circuit* (hubung singkat)
- c) *Motor Starting*
- d) *Harmonica pada gelombang*
- e) *Transient Stability*
- f) Peralatan pengamanan perangkat

Metode perhitungan yang ada di ETAP 12.6 sudah terdapat beberapa metode yang digunkana untuk menganalisis aliran daya pada jaringan sistem tenaga listrik yaitu metode seperti Gauss – Seidel, Newton – Raphson, dan Fast decoupled, dan software ini sudah mampu mempresentasikan sistem yang sebenaranya.



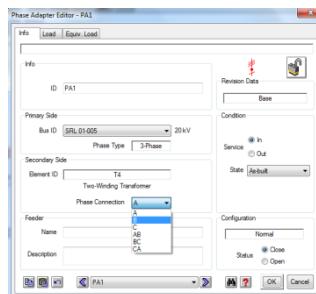
Gambar 4. Tampilan Awal Etap Power Station

Dalam ETAP *power station* memiliki tampilan untuk merancang aliran dan daya dan beberapa *tools* yang digunakan untuk merancang aliran daya.



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 3 merupakan cara merubah hubungan fasa pada ETAP.



Gambar 6. Merubah Hubungan Fasa Pada ETAP 12.6

## 2.5 Bahan dan Alat Penelitian

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. Penelitian ini dilaksanakan di Pasar Aceh Jalan Pangeran Diponegoro Kecamatan Baiturrahman Kota Banda Aceh dan waktu pelaksanaan dilakukan selama 3 bulan, data Trafo Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Sebagian Trafo di Penyulang wilayah Pasar Aceh

<b>Nama Gardu</b>	<b>Alamat</b>	<b>Fasa</b>	<b>Daya Trafo (KVA)</b>	<b>Merek</b>
<b>RJ 049-00</b>	Samping Pasar Aceh	3	400	UNINDO
<b>RJ 048-00</b>	Samping BNI 46	3	315	UNINDO
<b>RJ 047-00</b>	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. Untuk Data lengkapnya dapat dilihat dari lampiran B.

## 2.6 Data Penghantar

Pada penelitian ini menggunakan kawat NA2XSEYBY 3x150 dengan menggunakan penghantar netral trafo berukuran 50 mm<sup>2</sup> dengan  $R=0,6842 \Omega/km$  yang digunakan dari setiap masing-masing *outgoing* pada trafo ke beban dan menggunakan kawat penghantar fasa berukuran 150 mm<sup>2</sup> dengan  $R=0,265 \Omega/km$ , 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

$$\begin{aligned} S &= 400 \text{ kVA} = 400000 \text{ VA} \\ V &= 400 \text{ V ( Fasa – fasa)} \\ I_{FL} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{400000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 577,35 \text{ A} \end{aligned}$$

- b) Samping BNI 46

$$\begin{aligned} S &= 315 \text{ kVA} = 315000 \text{ VA} \\ V &= 400 \text{ V ( Fasa – fasa)} \\ I_{FL} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{315000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 454,66 \text{ A} \end{aligned}$$

- c) Samping BLKG KOTTY

$$\begin{aligned} S &= 200 \text{ kVA} = 200000 \text{ VA} \\ V &= 400 \text{ V ( Fasa – fasa)} \\ I_{FL} &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{200000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 288,67 \text{ A} \end{aligned}$$

- 2) Analisa arus rata-rata pada outgoing trafo

- a) Arus Rata – rata (I) Samping Pasar Aceh

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

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

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

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

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

- d) Presentasi Pembebanan Pada Trafo Sebagai Berikut:

$$\begin{aligned} a. \frac{I_{\text{rata-rata}} (\text{samping pasar})}{I_{FL}} \times 100\% &= \frac{75}{577,35} \times 100\% = 12,99\% \\ b. \frac{I_{\text{rata-rata}} (\text{samping BNI 46})}{I_{FL}} \times 100\% &= \frac{61}{454,66} \times 100\% = 13,41\% \\ c. \frac{I_{\text{rata-rata}} (\text{BLKG KOTTY})}{I_{FL}} \times 100\% &= \frac{79}{288,67} \times 100\% = 27,36\% \end{aligned}$$

### 3) Kesetimbangan 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 penjabayarannya iyalah sebagai berikut:

- a) Ketidakseimbangan pada trafo wilayah samping pasar Aceh

$$\begin{aligned} RK_R &= a \times I_{\text{rata-rata}}, a = \frac{IR}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{93}{75} = 1,24 \\ RK_S &= b \times I_{\text{rata-rata}}, b = \frac{IS}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{67}{75} = 0,89 \\ RK_T &= c \times I_{\text{rata-rata}}, c = \frac{IT}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{65}{75} = 0,86 \end{aligned}$$

- b) Ketidakseimbangan pada trafo wilayah samping BNI 46

$$\begin{aligned} IR &= a \times I_{\text{rata-rata}}, a = \frac{IR}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{70}{61} = 1,14 \\ IS &= b \times I_{\text{rata-rata}}, b = \frac{IS}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{33}{61} = 0,54 \\ IT &= c \times I_{\text{rata-rata}}, c = \frac{IT}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{80}{61} = 1,31 \end{aligned}$$

- c) Ketidakseimbangan pada trafo wilayah BLKG KOTTY

$$\begin{aligned} IR &= a \times I_{\text{rata-rata}}, a = \frac{IR}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{111}{79} = 1,40 \\ IS &= b \times I_{\text{rata-rata}}, b = \frac{IS}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{70}{79} = 0,88 \\ IT &= c \times I_{\text{rata-rata}}, c = \frac{IT}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{56}{79} = 0,70 \end{aligned}$$

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

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

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:

- 4) Analisa mencari nilai  $I_N$ 
  - a) Nilai  $I_N$  pada trafo Samping Pasar Aceh
  - b) Nilai  $I_N$  pada trafo Samping BANK BNI 46
  - c) Nilai  $I_N$  pada trafo BLKG KOTTY

- 1) 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  $P = S \times \cos \varphi$ . Penelitian ini menggunakan konstanta  $\cos \varphi$  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:

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

- 2) 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  $P = S \times \cos \varphi$ . Penelitian ini menggunakan konstanta  $\cos \varphi$  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:

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

- 3) 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  $P = S \times \cos \varphi$ . Penelitian ini menggunakan konstanta  $\cos \varphi$  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 Presengtase 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.

### 3.2 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.

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

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

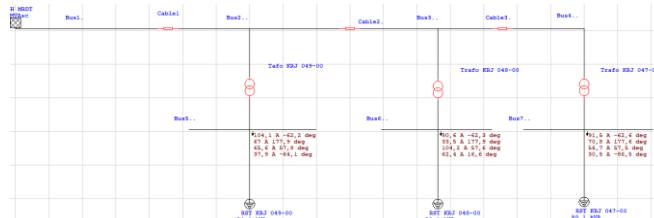
$$I_T = 75 - 63 = 12 \text{ A}$$

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 :

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

### 3.3 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

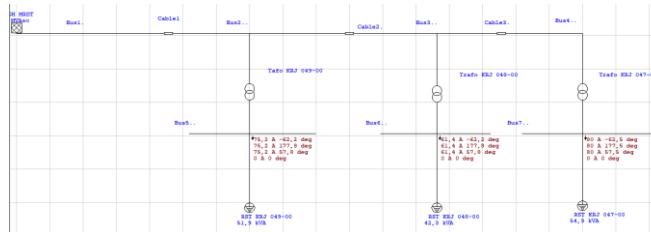
Gambar 11. Nilai arus perphasa dan arus netral menggunakan simulasi ETAP 12.6.0 pada saat keadaan beban tidak seimbang

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 perphasanya 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 048-00			Trafo KRJ 047-00		
	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	80 A
Perhitungan	75 A	75 A	75 A	61 A	61 A	61 A	79 A	79 A	79 A

Gambar 14. Arus perphasanya 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 bernali 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 perphasanya 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 perphasanya dan juga arus netralnya 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 tabel 4.9 menunjukkan 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. 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 keidakseimbangan 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.

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 di simpulkan 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 menyeimbangkan beban tersebut, dengan menambah atau mengurangi masing-masing beban yang ada di setiap phasa R,S,T sehingga nanti akan di dapatkan beban yang seimbang pada setiap phasanya.

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] Hasannuddin, T., Aiyub, S., & Pulungan, A. B. (2017). Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Sistem Interkoneksi 150 kV Nanggroe Aceh Darussalam Menggunakan Distributed Generation. Jurnal [nama jurnal], 14(1), 13–17.
- [2] Hermawan, A. (n.d.). Analisis Terhadap Performance Sistem Tenaga Listrik Memakai Metode Aliran Daya. Halaman 17–28.
- [3] Hilmansyah, M. T., Haryanto, N., & Saodah, S. (2018). Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Daya di Penyulang CDM Mochammad Toha - Bandung Hingga Trafo Distribusi. TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol, 4(1), 24–32.

doi: 10.15575/telka.v4n1.24-32.

- [4] Huda, M. K., Ariastina, W. G., & Sukerayasa, I. W. (2020). Bali Saat Rekonduktoring Sut Gilimanuk – Negara – Antosari. Jurnal [nama jurnal], 7(3), 83–90.
- [5] Kartika, I. (2017). Analisa Rugi-Rugi Daya Diakibatkan Arus Kapasitif. J. Surya Energy, 1(2), 100–111.
- [6] Mangundap, J., Silimang, S., & Tumaliang, H. (2018). Analisa Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi di PT. PLN (Persero) Area Manado 2017. J. Tek. Elektro dan Komput., 7(3), 219–226.
- [7] Menggunakan, D., & Powerworld, S. (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.
- [8] National, G., & Pillars, H. (n.d.). Analisis Rugi-Rugi Daya Sistem Distribusi dengan Peningkatan Injeksi Jumlah Pembangkit Terbesar.
- [9] Reza Rolienda, Salahuddin. (2020). Konfigurasi Ulang Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Newton Raphson. Jurnal [nama jurnal], 9, 1–7.
- [10] Sugianto, S., Jaya, A., & Ashad, B. A. (2020). Analisis Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Penyalang POLDA Area Makassar Utara dengan ETAP 12.6. PROtek J. Ilm. Tek. Elektro, 7(1), 51–54. doi: 10.33387/protk.v7i1.1690.
- [11] Syahputra Srg, R., & Harahap, R. (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. Jurnal Electr. Technol., 2(3), 79–85.