

# Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 Kv Terhadap Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi pada Penyulang Hertasning Baru PT PLN (Persero) ULP Panakkukang Makassar

Zulkhulaifah<sup>1</sup>, Bakhtiar<sup>2</sup>, Hatma Rudito<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang

<sup>1</sup> [ulfazulkhulaifah@gmail.com](mailto:ulfazulkhulaifah@gmail.com)

<sup>2</sup> [Bakhtiar.poltekup@gmail.com](mailto:Bakhtiar.poltekup@gmail.com)

<sup>3</sup> [di2trudito@gmail.com](mailto:di2trudito@gmail.com)

## Abstrak

Dalam penyaluran energi listrik sering kali dijumpai pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Akibat ketidakseimbangan beban ini dapat mengakibatkan timbulnya arus pada kawat netral, rugi-rugi dan turunnya efisiensi pada transformator distribusi tersebut. Adapun transformator dikatakan tidak seimbang jika tingkat ketidakseimbangannya lebih dari 15%, data hasil pengukuran malam hari (beban puncak) yang dilakukan pada gardu distribusi. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji seberapa besar pengaruh dari ketidakseimbangan beban trafo distribusi 20 kV terhadap rugi-rugi daya dan efisiensi trafo pada penyulang Hertasning Baru. Pengumpulan data dilakukan dengan metode wawancara, observasi dan dokumentasi sedangkan analisis data dilakukan dengan deskriptif dan simulasi.

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa terdapat 4 gardu yang mengalami penyeimbangan beban yaitu GT.PHB010, GT.PHB017, GT.PHB021 dan GT.PHB050. Dengan rata-rata persentase ketidakseimbangan beban yaitu 32,75%, besar rugi-rugi daya jaringan adalah sebesar 79,35 kW dan efisiensi pada trafo sebesar 98,03% pada kondisi sebelum penyeimbang. Setelah penyeimbangan beban dilakukan, persentase ketidakseimbangan beban menurun sebesar 29,02% yaitu 3,73%, rugi-rugi daya mengalami penurunan sebesar 7,12 kW yaitu 72,29 kW dan efisiensi sebesar 99,17% , terjadi perselisihan sebesar 1,14%. Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa pada saat transformator diberi beban tak seimbang maka efisiensinya akan menurun dibandingkan dengan saat transformator diberi beban yang seimbang.

**Keywords:** Faktor ketidakseimbangan, Rugi-rugi daya, Efisiensi

## I. PENDAHULUAN

Pada penyaluran energi listrik pada jaringan tegangan rendah, salah satu peralatan utama yang digunakan adalah Transformator Distribusi 3 Fasa. Trafo distribusi ini berfungsi untuk menurunkan tegangan sehingga tegangan tersebut dapat dipakai dengan aman oleh konsumen pada jaringan tegangan rendah seperti rumah tangga, lampu jalan, sekolah, dan lain-lain. Dalam penyaluran energi listrik sering kali dijumpai pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Pembebanan yang tidak merata karena waktu penyalaan beban yang tidak serempak, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S, T, dan pemasangan beban yang tidak seimbang pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban ini dapat mengakibatkan timbulnya arus pada kawat netral, rugi-rugi, dan turunnya efisiensi trafo distribusi tersebut. Adapun transformator dikatakan tidak seimbang jika tingkat ketidakseimbangannya lebih dari 15%. Sementara di Penyulang Hertasning Baru PT PLN (Persero) ULP Panakkukang rata-rata ketidakseimbangan beban pada gardu GT. PHB 010 yaitu 47%, GT. PHB 017 yaitu 26%, GT. PHB 021 yaitu 28% dan GT. PHB 050 yaitu 29%.

Pada penelitian ini objek penelitian akan dilakukan pada transformator di Penyulang Hertasning. Pemilihan Penyulang Hertasning berdasarkan data pengukuran beban

trafo distribusi pada PT PLN (Persero) UP3 Makassar Selatan ULP Panakkukang pernah mengalami gangguan pada tahun 2020.

Berdasarkan permasalahan di atas maka penulis mengambil judul tentang “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 kV terhadap Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi pada Penyulang Hertasning Baru PT PLN (Persero) ULP Panakkukang Makassar.

## II. KAJIAN LITERATUR

### A. Transformator

Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator menggunakan prinsip hukum Faraday dan hukum Lorentz dalam menyalurkan daya, dengan arus bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet[1].

**B. Rugi- Rugi Transformator**

Pada umumnya energi listrik yang dimasukkan ke transformator tidak sama dengan energi listrik yang dikeluarkan dari transformator tersebut. Hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi yaitu adanya pada transformator tersebut. Rugi-rugi daya dapat dibagi menjadi dua yaitu rugi inti (Pi) dan rugi tembaga (Pcu). Selain rugi inti dan rugi tembaga, ada lagi rugi-rugi yang menyebabkan berkurangnya efisiensi transformator, yaitu rugi-rugi akibat arus netral pada transformator (PN) (Muhammad Fadhliyah, 2018)[2].

- Rugi-rugi inti

Rugi-rugi inti (Pi) dapat digolongkan kepada dua bagian yaitu rugi *histeresis* dan rugi *eddy current*. Adapun persamaan untuk mencari rugi inti, yaitu :

$$P_i = P_h + P_e \tag{1}$$

- Rugi tembaga

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

$$P_{cu} = I^2 \cdot R \tag{2}$$

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

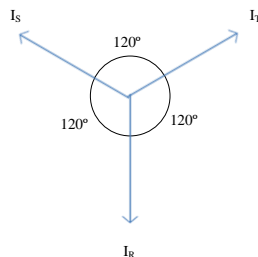
$$P_N = I_N^2 \times R_N \tag{3}$$

**C. Ketidakseimbangan Beban**

Ketidakseimbangan adalah suatu keadaan yang terjadi apabila salah satu atau semua fasa pada transformator mengalami perbedaan. Perbedaan ini bisa dilihat dari besarnya vektor arus/tegangan dan sudut dari masing-masing fasa tersebut.

Tiap-tiap fasa transformator dinyatakan dengan keadaan seimbang apabila memenuhi syarat berikut (Rizky Syahputra Siregar, 2017)[3] :

- Ketiga vektor arus dari masing-masing fasa (R, S, T) mempunyai nilai yang sama besar
- Perbedaan sudut dari ketiga vektor fasa adalah masing-masing berbeda 120°

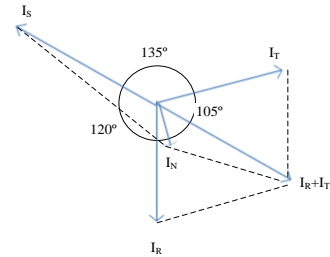


Gambar 1. Vektor Diagram Arus Keadaan Beban Seimbang (Johanes Ohoiwutun, 2019)

Sebaliknya, apabila salah satu atau kedua syarat diatas tidak terpenuhi, maka bisa dikatakan bahwa trafo tersebut mengalami keadaan tidak seimbang. Dilihat dari

vektornya, ada beberapa hal yang terjadi apabila transformator mengalami keadaan tidak seimbang[4]:

- Vektor arus pada fasa R, S, dan T mempunyai nilai yang sama besar tetapi sudut antar fasa satu dengan yang lain tidak membentuk 120°
- Sudut pada vektor antar fasa sebenarnya sudah membentuk 120° namun nilai vektor pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan
- Nilai vektor pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan sekaligus sudut pada vektor antar fasa tidak membentuk 120°



Gambar 2. Vektor Diagram Arus Keadaan Beban Tak Seimbang (Johanes Ohoiwutun, 2019)

- Penyaluran dan susut daya dalam keadaan seimbang  
Misalkan daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut (Rizky Syahputra Siregar, 2017):

$$P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \tag{4}$$

Dimana:

- P : daya pada ujung transmisi (Watt)
- V : tegangan pada ujung transmisi (Volt)
- I : arus pada ujung transmisi (Ampere)
- Cos ϕ : faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran.

- Penyaluran dan susut daya dalam keadaan tidak seimbang

Jika (I) adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut (Rizky Syahputra Siregar, 2017)[3]:

$$I_R = a \cdot I \tag{5}$$

$$I_S = b \cdot I \tag{6}$$

$$I_T = c \cdot I \tag{7}$$

Dengan I<sub>R</sub>, I<sub>S</sub>, dan I<sub>T</sub> berturut-turut adalah arus di fasa. Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai (Rizky Syahputra Siregar, 2017)[3]:

$$P = (a + b + c) \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \tag{8}$$

Apabila persamaan (4) dan persamaan (8) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua

persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu (Rizky Syahputra Siregar, 2017):

$$a + b + c = 3 \quad (9)$$

Dimana pada keadaan seimbang, nilai a = b = c = 1. Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban dalam (%), yaitu (Johanes Ohoiwutun, 2019)[4]:

$$\% \text{ketidakseimbangan beban} = \frac{(a-1)+(b-1)+(c-1)}{3} \times 100\% \quad (10)$$

Berdasarkan ketentuan ULP Panakkukang persentase ketidakseimbangan beban apabila melebihi 15% maka masuk dalam kategori buruk.

Tabel 1. Standar Persentase Ketidakseimbangan Beban Menurut SE:NO:17:14[5]

Characteristic Group	Characteristic	Health Index			
		Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Load Reading and Profiling	Ketidakeimbangan Arus Antar Fasa	3<10%	10% <20%	20%-<25%	≥ 25%
	Besar arus netral TR (% Terhadap arus beban trafo)	<10%	10% <15%	15%-<20%	≥ 20%
	Pembebanan Trafo (%terhadap kapasitas)	60%	60%-<80%	80%-<100%	≥ 100%

Sumber : SE:NO:17:14

#### E. Rugi- Rugi Daya pada Jaringan Distribusi

Rugi-rugi daya listrik pada sistem distribusi dipengaruhi beberapa faktor yang antara lain faktor konfigurasi dari sistem jaringan distribusi, transformator, kapasitor, isolasi dan rugi – rugi daya listrik. Jika suatu arus mengalir pada suatu penghantar, maka pada penghantar tersebut akan terjadi rugi-rugi daya menjadi panas karena pada penghantar tersebut terdapat resistansi. Akibat dari hambatan penghantar tenaga listrik maka akan ada hilangnya energi listrik yang disalurkan yang disebut dengan rugi-rugi daya listrik. Rugi-rugi dengan beban terpusat pada ujung saluran distribusi primer dirumuskan sebagai berikut (Kartika I Putu Gede, 2018)[6]:

$$\Delta V = I ( R \cos \phi + X \sin \phi ) L \quad (11)$$

$$\Delta P = 3 I^2 \cdot R \cdot L \quad (12)$$

$\Delta P$  = Rugi-rugi daya pada jaringan (kW)

I = Arus yang mengalir per fasa (Ampere)

R = Resistansi saluran per fasa (Ohm/km)

X = Reaktansi saluran per fasa (Ohm/km)

Cos  $\phi$  = Faktor daya beban (0,85)

L = Panjang Penghantar (km)

#### F. Efisiensi pada Transformator

Efisiensi pada transformator adalah perbandingan antara daya keluaran (output) dengan daya masukan (input). Sebuah transformator yang ideal akan memiliki efisiensi sebesar 100 %. Ini berarti bahwa semua daya yang diberikan pada kumparan primer dipindahkan ke kumparan sekunder tanpa adanya kerugian. Sebuah transformator

yang real memiliki efisiensi di bawah 100%. Untuk transformator yang bekerja pada tegangan dan frekuensi yang konstan, efisiensinya dapat mencapai 98%. Dalam keadaan seimbang dan tidak seimbang efisiensi suatu transformator dinyatakan sebagai berikut (Tandioga Remigius, 2018)[7]:

$$\eta = P_{out} / P_{in} \times 100\% \quad (13)$$

$$P_{in} = P_{out} + \sum R_{ugi} - r_{ugi} \quad (14)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (13) ke dalam persamaan (14), maka diperoleh persamaan berikut untuk mencari efisiensi transformator (Ohoiwutun Johanes, 2019)[4]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum R_{ugi} - r_{ugi}} \times 100\% \quad (15)$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi (%)

$P_o$  = Daya Output (W)

$P_i$  = Daya Input (W)

$\sum R_{ugi} - r_{ugi}$  = Rugi-Rugi daya (W)

### III. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, penyulang Hertasing Baaru pada GI Panakukkang menjadi salah satu objek dengan terfokus pada data pembebanan trafo didistribusi pada tahun 2020, berikut *flowchartnya* pada Gambar 3.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

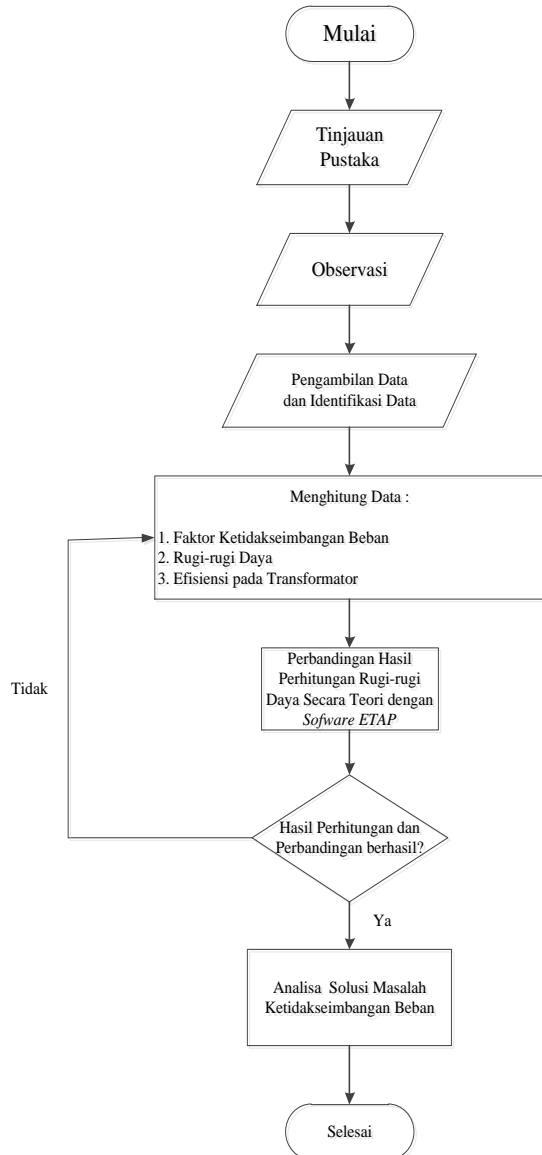
#### A. Menentukan Beban Tak Seimbang pada Trafo Distribusi

Karena banyaknya jumlah gardu trafo yang ada pada penyulang Hertasing Baru maka diambil beberapa gardu trafo saja yang tercatat oleh ULP Panakukkang pernah mengalami gangguan ketidakseimbangan beban selama tahun 2020 yaitu dari bulan Juni – Desember 2020. Dan diperoleh 4 buah gardu trafo yang mengalami gangguan yaitu GT.PHB010, GT.PHB017, GT.PHB050 Berikut datanya:

Tabel 2. Data Gardu Trafo Penyulang Hertasing Baru yang Mengalami Gangguan

No.	Tanggal Gangguan	Kode Gardu	Alamat/Lokasi Gardu	Kapasitas Trafo/S (kVA)	Arus (A)			Tegangan V (Volt) F-F
					I <sub>R</sub>	I <sub>S</sub>	I <sub>T</sub>	
1	Agustus 2020	GT.PHB010	Jl. Borong Indah Depan Pasar	25	32	24	6	386
2	Agustus 2020	GT.PHB017	Jl. Permata Hijau	200	289	203	218	382
3	Agustus 2020	GT.PHB021	Jl. Permata Hijau Dalam	160	255	120	162	382
4	September 2020	GT.PHB050	Jl. Komplek Angrek Minasaupe blok M17	200	132	64	150	386

Sumber: PT. PLN (Persero) ULP



Gambar 3. Flowchart Prosedur Kegiatan

### B. Menghitung Nilai Persentase Ketidakseimbangan Beban Sebelum Penyeimbangan

Dengan mengambil satu sampel trafo yaitu GT. PTP028 dan dengan menggunakan persamaan (5), (6) dan (7) maka berikut penyelesaiannya:

Tabel 3. Tabel Data Pembebanan Trafo GT.PHB010/ Jl. Borong Indah Depan Pasar

No.	Kode Gardu	Alamat/Lokasi Gardu	Kapasitas Trafo/S (kVA)	Arus (A)			Tegangan V (Volt) F-F
				$I_R$	$I_S$	$I_T$	
1	GT.PTP010	Jl. Borong Indah Depan Pasar	25	32	24	6	386

Sumber: PT. PLN (Persero) ULP Panakukkang

Diketahui:  $I_R = 32 \text{ A}$                        $I_N = 25 \text{ A}$   
 $I_S = 24 \text{ A}$                                  $V = 386 \text{ Volt}$   
 $I_T = 6 \text{ A}$

Keadaan WBP:

$$I_{rata-rata} = \frac{32 + 24 + 6}{3}$$

$$I_{rata-rata} = 20.67 \text{ A}$$

Setelah nilai rata-rata diketahui, maka mencari nilai koefisien a, b dan c untuk menghitung nilai persentase ketidakseimbangan beban sebagai berikut:

$$a = \frac{I_r}{I_{rata-rata}} = \frac{32}{20.67}$$

$$a = 1.55 \text{ A}$$

$$b = \frac{I_s}{I_{rata-rata}} = \frac{24}{20.67} \quad b = 1.16 \text{ A}$$

$$c = \frac{I_t}{I_{rata-rata}} = \frac{6}{20.67} \quad c = 0.29 \text{ A}$$

Dengan menggunakan persamaan (10) maka persentase ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi adalah:

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

$$\text{Ketidakseimbangan (\%)} = \frac{(|1.55 - 1| + |1.16 - 1| + |0.29 - 1|)}{3} \times 100\%$$

$$\text{Ketidakseimbangan (\%)} = 47\%$$

### C. Proses Penyeimbangan Beban

Proses penyeimbangan beban dilakukan dengan cara memindahkan beban dari fasa yang berat ke fasa yang lebih ringan pembebanannya. Dimana terdapat perbedaan yang signifikan dari pembagian beban fasa R, fasa S, dan fasa T pada trafo distribusi. Maka dari itu, harus diketahui beban masing masing fasa dan besar beban yang harus dipindahkan dari fasa R atau fasa S dan fasa T .

- $I'_R = I_{rata-rata} - I_R$   
 $I'_R = 20,67 - 32$   
 $I'_R = -11,33 \text{ A}$
- $I'_S = I_{rata-rata} - I_S$   
 $I'_S = 20,67 - 24$   
 $I'_S = -3,33 \text{ A}$
- $I'_T = I_{rata-rata} - I_T$   
 $I'_T = 20,67 - 6$   
 $I'_T = +14,67 \text{ A}$

Tabel 4. Data hasil perhitungan selisih arus beban tiap fasa pada GT.PHB010 sebelum penyeimbangan beban

Nama Trafo	$I_{rata-rata}$ (A)	$I'$		Keterangan
		Fasa	Selisih arus rata-rata (A)	
GT.PHB 010	20,67	R	-11,33	Dipindahkan
		S	-3,33	Dipindahkan
		T	+14,67	Ditambahkan

Sumber : Perhitungan manual

D. Mengidentifikasi Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi pada Keadaan Tak Seimbang

Dengan menggunakan persamaan (3) dan (12) dengan sampel yang sama pada GT.PHB010 maka berikut penyelesaiannya:

Tabel 5. Karakteristik Penghantar Aluminium JTR[8]

Penghantar		KHA (A)	Resistansi Penghantar Pada 28 °C (ohm / km)	
Jenis	Ukuran		Fasa	Netral
Kabel Twisted	3x35+1x25 mm <sup>2</sup>	125	0,868	1,38
	3x50+1x35 mm <sup>2</sup>	154	0,641	0,986
	3x70+1x50 mm <sup>2</sup>	196	0,443	0,690
	3x95+1x50 mm <sup>2</sup>	242	0,320	0,450

Sumber: SPLN 42-10 Tahun 1993

a. Rugi-Rugi Daya pada Penghantar Netral

$$P_n = I_n^2 \cdot R_n \cdot L$$

$$P_n = (25)^2 \cdot 0,690 \cdot 0,6 \text{ watt}$$

$$P_n = 258,75 \text{ watt}$$

$$P_n = 0,258 \text{ kW}$$

b. Rugi-Rugi Daya pada Jaringan

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

$$P = 3 \cdot (20,67)^2 \cdot 0,443 \cdot 0,6 \text{ watt}$$

$$P = 340,578 \text{ watt}$$

$$P = 0,34 \text{ kW}$$

E. Efisiensi

Dengan menggunakan persamaan (15), maka persentase efisiensi sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{rugi-rugi}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{20,35}{20,35 + 0,25} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{20,35}{20,58} \times 100\%$$

$$\eta = 98,75\%$$

Tabel 6. Tabel Perhitungan Persentase Ketidakeimbangan, Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi pada Gardu Trafo Penyulang Hertasning Baru Sebelum Penyeimbangan

No.	Kode Gardu	Arus (A)			%Ketidak Seimbangan an Beban	P (kW)	Pn (kW)	$\eta$ (%)
		Ir	Is	It				
1	GT.PHB010	32	24	6	47,08%	0,34	0,26	98,77
2	GT.PHB017	289	203	218	26%	43,66	2,78	98,09
3	GT.PHB021	255	120	162	28%	24,97	1,39	98,08
4	GT.PHB050	132	64	150	29 %	10,38	3,58	98,32

Sumber: Perhitungan Manual

F. Mengidentifikasi Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi pada Keadaan Seimbang

Tabel 7. Tabel Perhitungan Persentase Ketidakeimbangan, Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi pada Gardu Trafo Penyulang Hertasning Baru Setelah Penyeimbangan

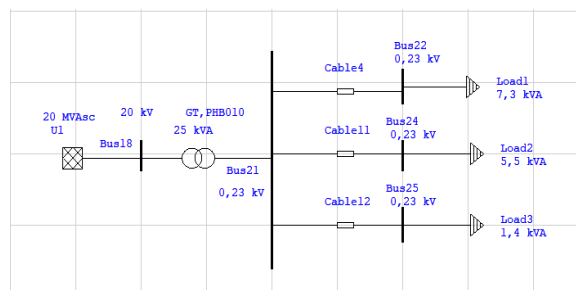
No.	Kode Gardu	Arus (A)			%Keseimbangan Beban	P (kW)	Pn (kW)	$\eta$ (%)
		Ir	Is	It				
1	GT.PHB010	17	20	16	8,7%	0,24	0,06	98,99
2	GT.PHB017	238	223	226	2,7 %	40,87	1,49	99,13
3	GT.PHB021	167	169	160	0,2%	21,30	1,04	99,19
4	GT.PHB050	117	110	110	3,33%	9,84	0,51	99,36

Sumber: Perhitungan Manual

Dengan cara yang sama seperti poin B dan D maka berikut adalah hasil perhitungannya setelah penyeimbangan beban :

G. Mengitung Nilai Rugi-Rugi Daya dengan ETAP 12.16.0

Dengan menggunakan data pada sampel yang sama seperti sebelumnya maka berikut adalah diagram satu garis yang muncul pada simulasi ETAP 12.16.0 :



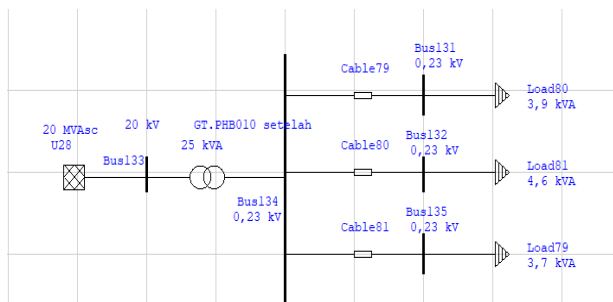
Gambar 4. Single Line Diagram Pembebanan Sebelum Penyeimbangan

Project	ETAP	Page
Location	12.6.0H	Date
Contract		SN
Engineer	Study Case: LF	Revision: Base
Filename: TA		Config: Nomal

Branch Losses Summary Report

Ckt / Branch	From To Bus Flow				Losses		% Bus Voltage		VE % Drop
	MW	MVar	MW	MVar	kW	kVar	From	To	
OTPHB010	0.014	0.001	-0.014	-0.001	0.2	0.3	100.0	99.7	1.33
Cable4	0.007	0.000	-0.007	0.000	0.1	0.0	99.7	97.8	0.84
Cable1	0.001	0.000	-0.001	0.000	0.0	0.0	99.7	98.2	0.47
Cable2	0.001	0.001	-0.001	-0.001	0.0	0.0	99.7	98.3	0.14
					0.3	0.3			

Gambar 5. Data Hasil Simulasi Gardu Distribusi GT.PHB010 Sebelum Penyeimbangan



Gambar 6. Single Line Diagram Pembebanan Setelah Penyeimbangan

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	07-09-2021
Contract:		SN:	
Engineer:		Revision:	Base
Filename:	itr	Study Case:	LF
		Config:	Normal

**Branch Losses Summary Report**

Ckt / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		% Drop in Voltage
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
Cable79	-0.004	0.000	0.004	-0.000	0.0	0.0	98.3	98.7	0.45
Cable80	-0.004	0.000	0.004	-0.000	0.0	0.0	98.3	98.7	0.39
GT.PHB010 setelah	0.011	0.002	-0.011	-0.002	0.1	0.2	100.0	98.7	1.27
Cable81	0.003	0.002	-0.003	-0.002	0.0	0.0	98.7	98.4	0.37
					0.2	0.2			

Gambar 7. Data Hasil Simulasi Gardu Distribusi GT.PHB010 Setelah Penyeimbangan

Tabel 8. Tabel Perbandingan Nilai Rugi-Rugi Daya pada Perhitungan Manual dan Aplikasi ETAP 12.6.0 pada Gardu Trafo Penyulang Hertasing Baru

No.	Kode Gardu	Alamat/Lokasi Gardu	Sebelum Penyeimbangan		Setelah Penyeimbangan	
			Rugi-Rugi Daya/P (kW)		Rugi-Rugi Daya/P (kW)	
			Manual	ETAP 12.6.0	Manual	ETAP 12.6.0
1.	GT.PHB 010	Jl. Borong Indah Depan Pasar	0,34	0,3	0,24	0,2
2.	GT.PHB 017	Jl. Permata Hijau	43,66	38,5	40,87	37,2
3.	GT.PHB 021	Jl. Permata Hijau Dalam	24,97	19,5	21,34	18,0
4.	GT.PHB 050	Jl. Komp Anggrek Minasaupa Blok M17	10,36	10,5	9,84	8,8

**V. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari perhitungan yang telah dilakukan pada Penyulang Hertasing Baru, maka diperoleh empat gardu trafo distribusi yang mengalami ketidakseimbangan beban. Hal ini dibuktikan dari nilai persentase ketidakseimbangan beban dari gardu GT.PHB010 sebesar 47%, GT.PHB017 sebesar 26%, GT.PHB021 sebesar 28% dan GT.PTP050 sebesar 29%. Dimana nilai dari keempat gardu trafo distribusi tersebut berada pada nilai yang melebihi standar yaitu

>15% sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi keempat gardu trafo distribusi mengalami ketidakseimbangan beban.

2. Pengaruh dari adanya ketidakseimbangan beban yang muncul pada gardu trafo distribusi adalah munculnya arus di netral trafo. Sehingga arus yang mengalir ini menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya. Dimana nilai rugi-rugi daya terbesar berasal dari kode gardu GT.PHB017 yaitu 43,66 kW dengan rugi-rugi daya pada penghantar netralnya sebesar 2,78 kW. Dan selisih terbesar antara perhitungan manual dengan simulasi pada *Software ETAP Power Station 12.6.0* mengenai rugi-rugi daya jaringan dimiliki oleh kode gardu GT.PHB017 dan GT.PHB021.
3. Berdasarkan perhitungan efisiensi transformator GT.PHB010, GT.PHB017, GT.PHB021, dan GT.PHB050 pada saat beban takseimbang nilai total rata-rata efisiensi transformator yaitu 98,03%, kemudian nilai total rata-rata efisiensi transformator pada saat beban seimbang yaitu 99,17% , terjadi perselisihan sebesar 1,14%. Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa pada saat transformtor diberi beban takseimbang maka efisiensinya akan menurun dibandingkan dengan saat transformator diberi beban yang seimbang.

**REFERENSI**

- [1] Zuhail, Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta: Gramedia Pustaka, 1992.
- [2] Fadhliansyah, Muhammad, Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Transformator Akibat Harmonisa (Studi Kasus Gardu Distribusi Smti Pontianak), 2018.
- [3] Siregar Syahputra Rizky, Perhitungan Arus Netral, Rugi-rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 kV/400 V di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban. *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 2, No. 3, 2017. (diakses Oktober 2017).
- [4] Ohoiwutun, Johanes, Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Efisiensi Transformator Distribusi 100 kVA Pada PT. PLN (Persero) AIMAS Unit. *Jurnal Elektro Luceat*, Vol. 5, No.2, 2019. (diakses November 2019).
- [5] SE: No : 17 : 14 . Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset.
- [6] Kartika, I Putu Gede dkk, Analisis Beban Takseimbang Terhadap Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi Transformator KL0005 Jaringan Distribusi Sekunder pada Penyulang Klungkung, 2018.
- [7] Tandioaga, Remigius dkk., Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Tiga Fasa di PT. PLN (Persero) Rayon Makassar Timur Penyulang Kima, 2015.
- [8] SPLN 42-10 Tahun 1993 Kabel Pilin Udara Tegangan Pengenal 0,6/1 KV (NFA2X-T/ NFA2X/NF2X).