

ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN BANDARA SULTAN MAHMUD BADARUDDIN II PALEMBANG

Usuluddin¹, Yuslan Basir², Muhammad Helmi³

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Tridianti

Email : Usuluddin77@gmail.com

ABSTRAK

Ketidakseimbangan adalah suatu keadaan yang terjadi apabila salah satu atau semua fasa pada Transformator mengalami perbedaan. Perbedaan ini dapat dilihat dari perbedaan Magnitude Arus maupun Tegangan dan perbedaan sudut dari masing-masing fasa. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi ketidakseimbangan pada Transformator 1 Sub Station 1 Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang. Metode yg digunakan adalah komponen simetris dengan menggunakan aplikasi vektor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata ketidakseimbangan beban dari hasil perhitungan pada tanggal 31 Oktober sampai 6 November 2022 sebesar 14,13%. Dimana Transformator 1 Sub Station 1 berada dalam kategori ketidakseimbangan yang Cukup Menurut SE.DIR.PLN.No.0017 Tahun 2014 dan Menurut Standart IEEE ketidakseimbangan beban pada Transformator 1 Sub Station 1 masih dalam batas Standart yang diizinkan. Losses yang terjadi disebabkan Arus Netral yang mengalir pada Transformator 1 Sub Station 1 sebesar 1,98 kW dengan persentase beban 0,46%.

Kata kunci : Rugi-rugi Daya, Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral, Transformator.

ABSTRACT

Imbalance is a condition that occurs when one or all of the phases in a transformer experience a difference. This difference can be seen from the difference in the Magnitude of Current and Voltage and the difference in the angle of each phase. This study aims to obtain imbalance information on Transformer 1 Sub Station 1 of Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang Airport. The method used is a symmetrical component using vector applications. The results of the study show that the average load imbalance from the calculation results from October 31 to November 6 2022 is 14.13%. Where Transformer 1 Sub Station 1 is in the Sufficient unbalanced category according to SE.DIR.PLN.No.0017 of 2014 and according to the IEEE Standard the load imbalance on Transformer 1 Sub Station 1 is still within the permitted Standard limits. The losses that occur are caused by the Neutral Current flowing in Transformator 1 Sub Station 1 of 1.98 kW with a load percentage of 0.46%.

Keywords: Power Losses, Load Unbalance, Neutral Current, Transformer.

1. Pendahuluan

Penyaluran daya listrik dari pusat pembangkit kepada konsumen diperlukan suatu jaringan tenaga listrik. Sistem jaringan ini terdiri dari jaringan transmisi, jaringan distribusi (sistem tegangan menengah dan tegangan rendah).

Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi juga disebabkan oleh Jarak Penghantar, pembebanan yang tidak seimbang antara ketiga fasa jaringan, panas yang timbul pada konduktor saluran maupun transformator, serta panas yang timbul pada sambungan konduktor yang buruk (*loss contact*).

Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II merupakan bandara udara internasional yang terletak di kota Palembang, dengan landas pacu 3.000 m. Suplai energi listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) guna memenuhi kebutuhan Daya Listrik 20 kV.

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem tenaga listrik selalu terjadi. Beban yang tidak seimbang di setiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T) akan mengakibatkan arus mengalir pada netral trafo (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya. Berdasarkan informasi dan data yang didapatkan bahwa pada Transformator distribusi beban pada fasa R,S,T terjadinya ketidakseimbangan beban. Arus yang mengalir pada penghantar netral transformator ini akan menyebabkan terjadinya rugi-rugi (losses) daya disepanjang penghantar tersebut.

Berdasarkan itu, maka penulis akan mengambil judul skripsi “*Analisis Rugi-Rugi daya pada Sistem Kelistrikan Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang*”

Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk Menganalisa Rugi-Rugi daya pada sistem kelistrikan Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang dengan menggunakan Standar IEEE std 446-1995 dan SE. DIR. PLN. No 0017 Tahun 2014 .

2. Dasar Teori

2.1 Jaringan Distribusi

Sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik ke konsumen (beban), merupakan hal penting untuk dipelajari. Mengingat penyaluran tenaga listrik ini, prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, disalurkan ke jaringan transmisi (SUTET) langsung ke gardu induk. Dari gardu induk tenaga listrik ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan ke konsumen.⁽⁹⁾

2.1.1 Jaringan Pada Sistem Distribusi

Primer

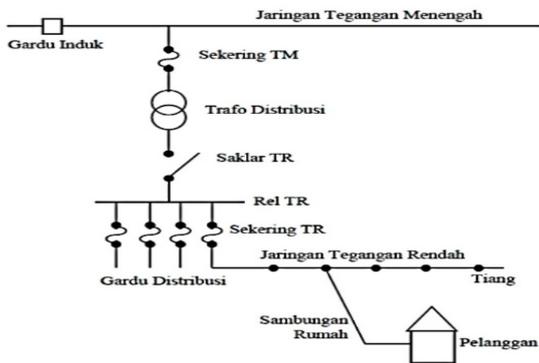
Jaringan Sistem Distribusi Primer Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang

daerah yang akan di suplay tenaga listrik sampai ke pusat beban.⁽⁹⁾

2.1.2 Jaringan Pada Sistem Distribusi

Skunder

Sistem distribusi skunder seperti pada Gambar dibawah ini merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai akhir atau konsumen.⁽⁹⁾

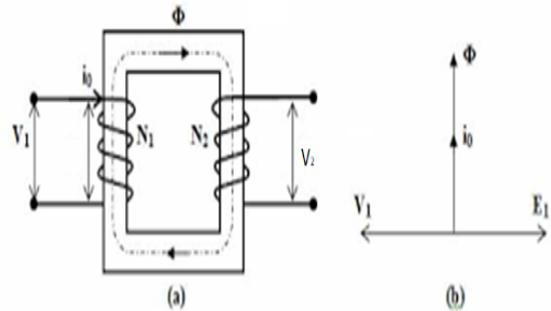


2.2 Transfrimator

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.⁽¹²⁾

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandingan impedansi antara sumber dan beban; untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian

yang lain, dan untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan atau mengalirkan arus bolak-balik antara rangkaian. Berdasarkan frekuensi.⁽¹²⁾



2.2.1 Perhitungan Arus Beban Penuh pada Transformator

Daya transformator tiga fasa bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) maupun tegangan rendah (sekunder) dapat dirumuskan sebagai berikut⁽²⁾:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots(2.2)$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots(2.3)$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \dots\dots(2.4)$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif Transformator(VAR)

P = Daya Aktif Transformator (kW)

S = Daya Semu Transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer Transformator (kV)

I = Arus Jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (full load) dapat menggunakan rumus⁽²⁾:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times VLL} \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk menghitung arus rata-rata pada pembebanan Transformator dapat menggunakan persamaan sebagai berikut⁽⁴⁾:

$$I_{Rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk menghitung persentase nilai dari arus rata-rata dapat menggunakan persamaan sebagai berikut⁽⁴⁾:

$$\%I_{\text{Rata-rata}} = \frac{I_{\text{Rata-rata}}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dimana :

$I_{\text{Rata-rata}}$ = Arus yang mengalir pada fasa R

I_S = Arus yang mengalir pada fasa S

I_R = Arus yang mengalir pada fasa R

I_T = Arus yang mengalir pada fasa T

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan antar fasa sisi sekunder (kV)

2.2.2 Losses (Rugi-rugi) akibat Arus Netral pada Transformator

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalir arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi).

Losses pada arus netral transformator ini dapat dapat dirumuskan sebagai berikut⁽⁴⁾:

$$P_N = I_N^2 \cdot Z_N \quad (2.8)$$

Sehingga untuk menghitung persentase Losses akibat arus netral pada Transformator menggunakan persamaan sebagai berikut⁽⁴⁾:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% \quad (2.9)$$

Sedangkan losses yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan rumus sebagai

berikut⁽⁴⁾:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \quad (2.10)$$

Dimana:

P_N = Losses pada penghantar netral transformator (watt)

I_N = Arus yang mengalir pada netral transformator (A)

Z_N = Tahanan penghantar netral transformator (Ω)

P_G = Losses Akibat arus netral ke tanah (watt)

I_G = Arus yang mengalir ke tanah (A)

R_G = Tahanan pembumian netral transformator (Ω)

2.2.3 Penyaluran dan Susut Daya

Tujuan sistem distribusi adalah untuk mengambil tenaga listrik dari sistem transmisi dan mengirimkannya ke pelanggan untuk memenuhi kebutuhannya. Besarnya daya dapat dihitung apabila ketiga fasa dalam keadaan seimbang dapat menggunakan persamaan sebagai berikut⁽⁶⁾:

$$P = 3 \cdot |V| \cdot |I| \cos \varphi \quad (2.11)$$

Dimana:

P = Daya pada ujung transmisi (Watt)

V = Tegangan pada ujung transmisi (V)

I = Arus pada ujung transmisi (Ω)

Cos φ = Faktor daya

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

saluran. Jika [I] adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tidak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut⁽⁶⁾:

$$[I_R] = a [I] \dots\dots\dots (2.12)$$

$$[I_S] = b [I] \dots\dots\dots (2.13)$$

$$[I_T] = c [I] \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana IR , IS dan IT berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T. Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai⁽⁶⁾:

$$P = (a + b + c) \cdot |V| \cdot |I| \cdot \cos \varphi (2.15)$$

Apabila Persamaan menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu⁽⁶⁾ :

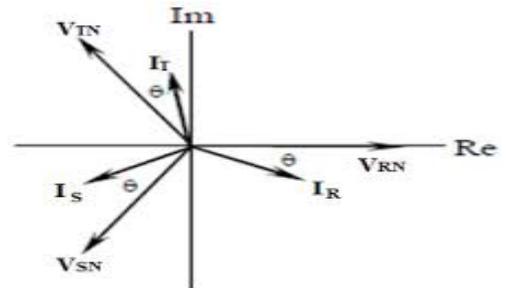
$$a + b + c = 3 \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

Pada keadaan seimbang nilai a = b = c = 1

2.2.4 Arus Netral

Ketidakseimbangan beban berpengaruh terhadap besarnya arus netral, dimana arus netral besar mengakibatkan losses bertambah dan kualitas tenaga yang rendah sehingga berpengaruh terhadap kualitas sistem penyaluran tenaga listrik.⁽¹⁾



Dari gambar fasor diatas dapat dilihat bahwa jumlah arus-arus fasa adalah⁽¹⁾:

$$I_R + I_S + I_T = 0 \dots\dots\dots (2.17)$$

Untuk titik netral maka persamaannya⁽¹⁾:

$$I_N + I_R + I_S + I_T = 0 \dots\dots\dots (2.18)$$

Maka,

$$I_N = -(I_R + I_S + I_T) = 0 \dots (2.19)$$

Jadi untuk beban seimbang arus netral sama dengan nol. Sistem 3 fasa 4 kawat yang terhubung bintang, karena adanya ketidakseimbangan beban maka akan ada arus yang mengalir pada penghantar netralnya. Pada keadaan tak seimbang terdapat komponen urutan nol pada penghantar netralnya. Persamaan arus netralnya dapat ditulis sebagai berikut⁽¹⁾:

$$I_N = I_R + I_S + I_T = 3I_0 \dots\dots (2.20)$$

Arus netral yang tinggi dapat mempengaruhi sistem, berikut ini merupakan pengaruh yang dapat disebabkan oleh arus netral yaitu timbulnya panas berlebih pada transformator, menurunnya kualitas daya.

Menentukan persentase ketidakseimbangan dan daya yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut⁽⁴⁾:

$$\% = \left| \frac{I_{RST} - I_{Rata-rata}}{I_{Rata-rata}} \right| \times 100\% \quad (2.21)$$

atau

$$\% = \left\{ \frac{[a-1] + [b-1] + [c-1]}{3} \right\} \times 100\% \quad (2.22)$$

Persentase arus netral terhadap arus total

$$\% = \left| \frac{I_N}{I_R + I_S + I_T} \right| \times 100\% \quad \dots\dots (2.23)$$

2.3 Hukum Ohm

Jika sebuah impedansi dilewati oleh sebuah arus maka pada kedua ujung impedansi tersebut akan muncul beda potensial. Hukum Ohm menyatakan bahwa tegangan melintasi berbagai jenis bahan penghantar adalah berbanding lurus dengan arus yang mengalir melalui bahan tersebut. Dapat digunakan persamaan yaitu⁽¹²⁾:

$$Z_{beban} = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana:

Z_{beban} = Tahanan pada saluran (Ω)

V = Tegangan (V)

I = Arus yang mengalir (A)

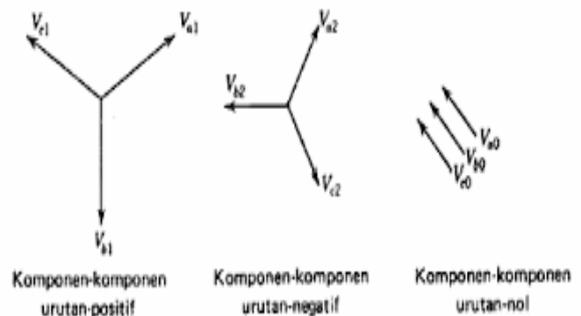
2.4 Teori Simetris

Menurut Menurut toerama Fortescue, tiga fasa tidak seimbang pada suatu sistem tiga fasa dapat diturunkan menjadi tiga fasor seimbang, yaitu⁽¹⁰⁾:

1. Komponen-komponen urutan positif (positive sequence components) yang terdiri dari tiga fasor yang sama

besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam sudut fasa 120° dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.

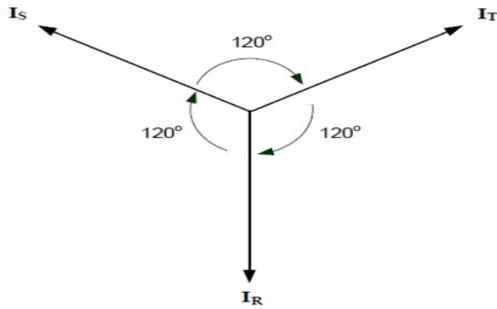
2. Komponen-komponen urutan negatif (negative sequence components) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam sudut sebesar 120° dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
3. Komponen-komponen urutan nol (zero sequence components) yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara yang satu dengan yang lainnya.



2.4.1 Beban Seimbang

Keadaan seimbang adalah suatu keadaan yang terjadi apabila syarat-syarat berikut terpenuhi⁽⁵⁾:

1. Ketiga vektor arus / tegangan sama besar ,dan
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

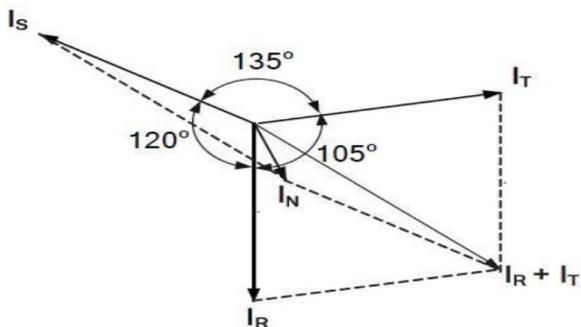


2.4.2 Beban Tak Seimbang

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu⁽⁵⁾:

- (a) Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- (b) Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- (c) Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

Pada gambar dibawah menunjukkan besar ketiga vector tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120°. Walau ketiga sudutnya sama besar tetapi arus tetap mengalir pada penghantar Netral.



Dengan menggunakan notasi-notasi pada tegangan didapatkan persamaan untuk arus fasanya⁽¹⁰⁾:

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 \dots\dots\dots (2.27)$$

$$I_b = a^2 I_1 + I_2 + I_0 \dots\dots\dots (2.28)$$

$$I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 \dots\dots\dots (2.29)$$

Operator a biasanya digunakan untuk menunjukkan operator yang menyebabkan suatu perputaran sebesar 120° dalam arah berlawanan dengan arah jarum jam⁽¹⁰⁾.

Dimana:

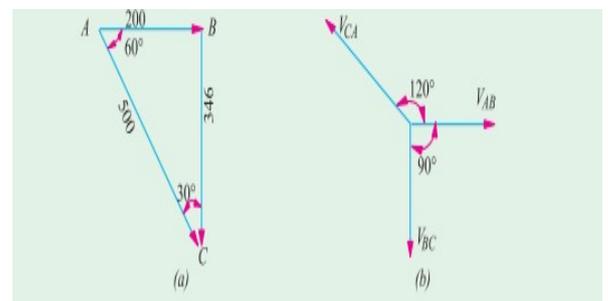
$$a = 1 \angle 120^\circ$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ$$

Untuk menentukan Sudut phasa pada transformator yang tidak diketahui dapat menggunakan metode⁽¹¹⁾:

$$\tan^{-1} = bc/ab \dots\dots\dots (2.38)$$



Contoh: $\tan^{-1} = \left(\frac{346}{200}\right) = \tan^{-1}(1,732) = 60^\circ$

Gambar a merupakan metode resultan vektor, dan gambar b merupakan hasil dari Metode resultan Vektor tegangan atau arus yang membentuk segitiga siku-siku tertutup.⁽¹¹⁾

Untuk mendapatkan tiga phasor tidak seimbang dapat dilakukan dengan penjumlahan secara Grafis komponen-komponen pada Setiap Urutan.⁽¹¹⁾

$$I_R = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$I_S = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} \dots \dots \dots (2.40)$$

$$I_T = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} \dots \dots \dots (2.41)$$

3. Metodologi Penelitian

3.1 Data Transformator



- Nama Transformator : Unindo
- Daya : 500 kVA
- Tegangan : 20 kV / 0,4 kV
- Kabel Input : XLPE 35mm²
- Kabel Output : 1CoreNYY 500mm²
- Cos φ : 0,85
- Impedansi : 4 %
- Panjang Saluran : 1,75 km

Tabel 3.2 Data Beban Harian Transformator

• Senin, 31 Oktober 2022

No	Jam	Ampere			
		R	S	T	N
1	08.00	64	49	68	26
2	09.00	50	30	56	22
3	10.00	42	30	55	21
4	11.00	44	29	55	25
5	12.00	72	55	74	23
6	13.00	64	67	72	28
7	14.00	51	42	59	21
8	15.00	72	60	75	18
9	16.00	72	60	70	22
10	17.00	58	29	41	21

Volt					
RS	RT	ST	RN	SN	TN
381	380	381	221	220	221
380	380	380	220	220	222
383	383	383	221	221	222
382	381	381	220	220	221
381	381	381	220	220	220
383	383	383	221	220	221
378	379	379	220	220	219
376	377	376	217	217	217
379	379	379	219	219	219
383	383	383	220	221	221

4. Perhitungan Dan Analisis

4.1 Perhitungan Arus beban penuh

Berdasarkan persamaan (2.5) Nilai beban pada transformator adalah sebagai berikut:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_{FL} = \frac{500.000}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$I_{FL} = \mathbf{721,6 \text{ Ampere}}$$

Arus Rata-rata:

$$I_{Rata-rata} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{58,9+45,1+62,5}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = \mathbf{55,5 \text{ Ampere}}$$

Persentase dari Arus Rata-rata:

$$\%I_{Rata-rata} = \frac{55,5}{721,6} \times 100\%$$

$$\%I_{Rata-rata} = \mathbf{7,69 \%}$$

4.1 Tabel Arus rata-rata beban

NO TRAF O	DATA EXISTING	BEBAN	PERSENTASE BEBAN
		(Rata-Rata)	(kW)
TRAF O 1	31 Oktober 2022	55,5	7,69
	1 November 2022	45,3	6,27
	2 November 2022	63,6	8,81
	3 November 2022	45,6	6,31
	4 November 2022	49,4	6,84
	5 November 2022	38,5	5,33
	6 November 2022	38,4	5,32
RATA-RATA PADA SEMUA DATA		48	6,61

4.2 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Transformator

$$a = \frac{IR}{I_{rata-rata}} = \frac{58,9}{55,5} = 1,06$$

$$b = \frac{IS}{I_{rata-rata}} = \frac{45}{55,5} = 0,81$$

$$c = \frac{IT}{I_{rata-rata}} = \frac{62,5}{55,5} = 1,12$$

Sehingga Persentase nilai ketidakseimbangan beban pada pengukuran 31 Oktober 2022 adalah:

$$= \left\{ \frac{[1,06-1]+[0,81-1]+[1,12-1]}{3} \right\} \times 100\%$$

$$= \left\{ \frac{[0,06]+[0,19]+[0,12]}{3} \right\} \times 100\%$$

$$= 0,123 \times 100\%$$

$$= \mathbf{12,33\%}$$

Jadi Besar Ketidakseimbangan pada Transformator pada tanggal 31 Oktober 2022 sebesar **12,33%**.

Tabel 4.2 Ketidakseimbangan Beban

NO TRAF O	DATA EXISTING	KOEFSIEN			KETIDAK SEIMBANGAN
		a	b	c	
TRAF O 1	31 Oktober 2022	1,06	0,81	1,12	12,33%
	1 November 2022	1,07	0,73	1,19	17,66%
	2 November 2022	1,05	0,80	1,19	13%
	3 November 2022	0,97	0,82	1,19	13,33%
	4 November 2022	1,18	0,81	1,01	12,66%
	5 November 2022	1,05	0,77	1,16	14,66%
	6 November 2022	1,09	0,76	1,13	15,33%

	r 2022				
RATA-RATA PERSENTASE KETIDAKSEIMBANGAN					14,13%



4.3 Perhitungan Daya Transformator pada Beban Puncak

Untuk menghitung daya aktif transformator dapat menggunakan persamaan (2.11) sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$= S \cdot \cos \varphi = 500 \times 0,85 = 425 \text{ kW}$$

a. Perhitungan daya pada pengukuran 31 Oktober 2022

$$V_{\text{Rata-rata}} = \frac{380,6 + 380,6 + 380,6}{3} = 380,6 \text{ V}$$

$$P_{\text{out}} = (a + b + c) V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_{\text{out}} = (0,06 + 0,19 + 0,12) 380,6 \cdot 5,55 \cdot 0,85$$

$$P_{\text{out}} = 6643,27 = 6,64 \text{ kW}$$

Jadi Daya yang mengalir pada Transformator pada tanggal 31 Oktober 2022 sebesar **6,64 kW**.

Dari Perhitungan diatas untuk hari berikutnya dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel 4.3 Daya yang mengalir Transformator.

NO TRAF0	DATA EXISTING	TEGA NGAN	DAYA YANG MENGALIR
		(V)	(kW)
TRAFO 1	31 Oktober 2022	380,6	6,64
	1 November 2022	386	7,87
	2 November 2022	379,7	8,00
	3 November 2022	385,9	6,98
	4 November 2022	378,8	6,07
	5 November 2022	380,6	5,41
	6 November 2022	380,6	5,71
RATA-RATA PADA SEMUA DATA			6,66

4.3 Perhitungan Losses pada beban puncak Akibat Arus Netral Transformator

Sebelum menghitung besar Rugi daya yang terjadi terlebih dahulu mencari Nilai Tahanan beban Transformator menggunakan persamaan (2.23) sebagai berikut:

$$Z_{\text{beban}} = \frac{V}{I}$$

$$Z_{\text{beban}} = \frac{220}{55,5}$$

$$Z_{\text{beban}} = 3,963 \Omega$$

a. Perhitungan Losses pada pengukuran 31 Oktober 2022

$$I_{N_{\text{Rata-rata}}} = 22,7 \text{ Ampere}$$

$$P_N = I_N^2 \cdot Z_N$$

$$= 22,7^2 \cdot 3,963$$

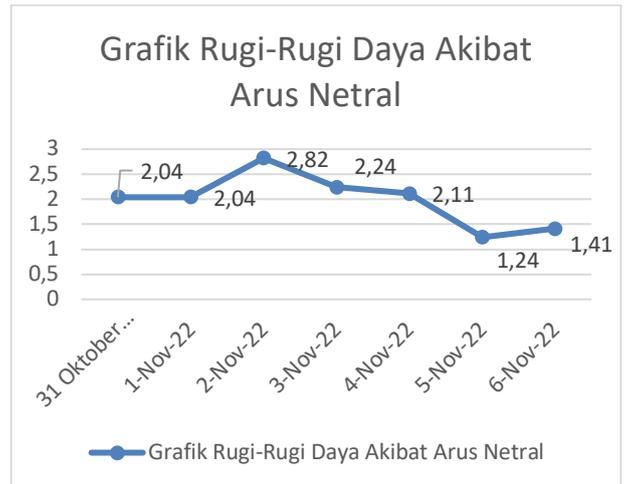
$$= 2.042,09 \text{ watt} = 2,04 \text{ kW}$$

Jadi Losses beban puncak akibat arus Neral pada tanggal 31 Oktober 2022 sebesar 2,04 kW dan persentase Rugi-rugi daya beban puncak akibat arus Netral yang mengalir pada Transformator adalah:

$$\frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{2,04}{425} \times 100\% = 0,48\%$$

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Losses beban puncak pada Transformator.

NO TRAFO	DATA EXISTING	RUGI-RUGI DAYA AKIBAT ARUS NETRAL	
		kW	(%)
TRAFO 1	31 Oktober 2022	2,04	0,48
	1 November 2022	2,04	0,48
	2 November 2022	2,82	0,66
	3 November 2022	2,24	0,52
	4 November 2022	2,11	0,49
	5 November 2022	1,24	0,29
	6 November 2022	1,41	0,33
RATA-RATA LOSSES PADA SEMUA DATA		1,98	0,46

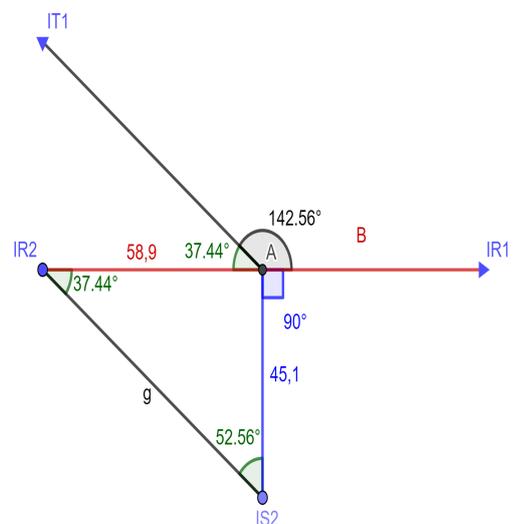
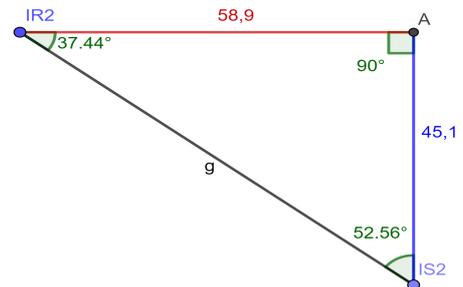


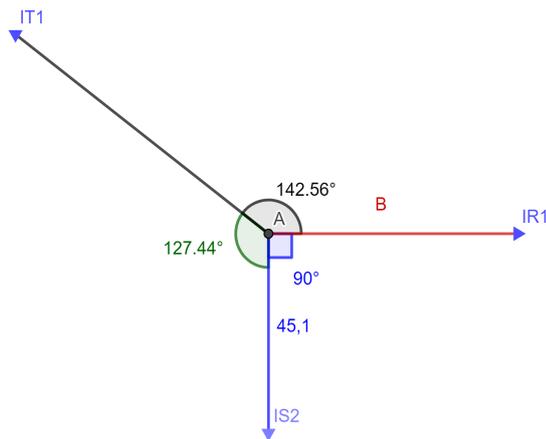
4.4 Menentukan komponen-komponen Urutan tidak simetris

a. Urutan komponen-komponen simetris 31 Oktober 2022

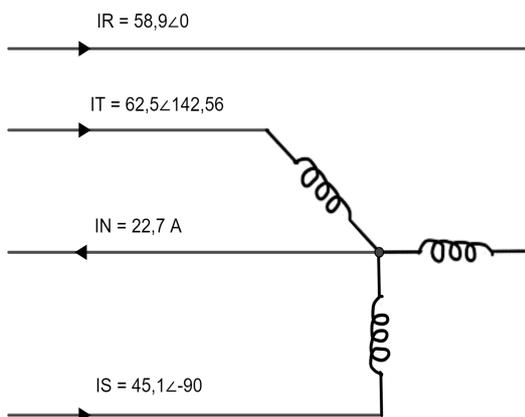
$$\tan^{-1} = \left(\frac{45,1}{58,9} \right)$$

$$\tan^{-1} = (0,765) = 37,44^\circ$$





Sehingga didapatkan sudut Arus dengan menggunakan metode resultan vector $I_R = 58,9\angle 0$, $I_S = 45,1\angle -90$, $I_T = 62,5\angle 142,56$



$$\begin{aligned}
 I_{a_0} &= \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \\
 &= \frac{1}{3}(58,9\angle 0) + (45,1\angle -90) + (62,5\angle 142,56) \\
 &= -29,991 - i7,1043 \\
 &= 30,821\angle -166,67
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{a_1} &= \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) \\
 &= \frac{1}{3}(58,9\angle 0) + (1\angle 120 \times 45,1\angle -90) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &(1\angle 240 \times 62,5\angle 142,56) \\
 &= 116,408 + i46,5281 \\
 &= 125,362\angle 21,78
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{a_2} &= \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) \\
 &= \frac{1}{3}(58,9\angle 0) + (1\angle 240 \times 45,1\angle -90) + (1\angle 120 \times 62,5\angle 142,56) \\
 &= -27,517 - i39,4238 \\
 &= 48,077\angle -124,91
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{b_0} &= I_{a_0} \\
 &= 30,821\angle -166,67
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{b_1} &= a^2I_{a_1} \\
 &= (1\angle 240) \times (125,362\angle 21,78) \\
 &= -17,923 - i124,0740 \\
 &= 125,362\angle -98,22
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{b_2} &= aI_{a_2} \\
 &= (1\angle 120) \times (48,077\angle -124,91) \\
 &= 47,900 - i4,1149 \\
 &= 48,077\angle -4,91
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{c_0} &= I_{a_0} = I_{b_0} \\
 &= 30,821\angle -166,67
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{c_1} &= aI_{a_1} \\
 &= (1\angle 120) \times (125,362\angle 21,78)
 \end{aligned}$$

$$= -98,489 + i77,5592$$

$$= 125,362 \angle 141,78$$

$$I_{c2} = a^2 I_{a2}$$

$$= (1 \angle 240) \times (48,077 \angle -124,91)$$

$$= -20,386 + i43,5405$$

$$= 48,077 \angle 115,09$$

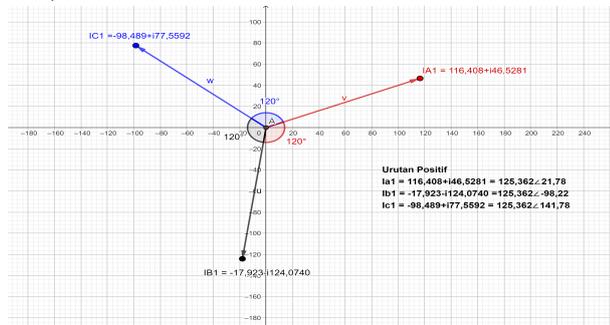
$$I_N = I_R + I_S + I_T = 3I_0$$

$$= (3 \times 30,821 \angle -166,67)$$

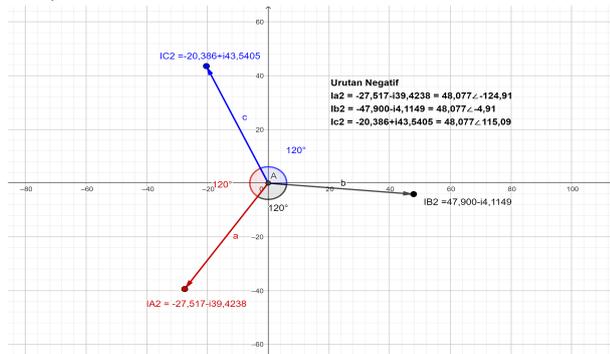
$$= 89,971 - i21,3182$$

$$= 92,463 \angle -166,67$$

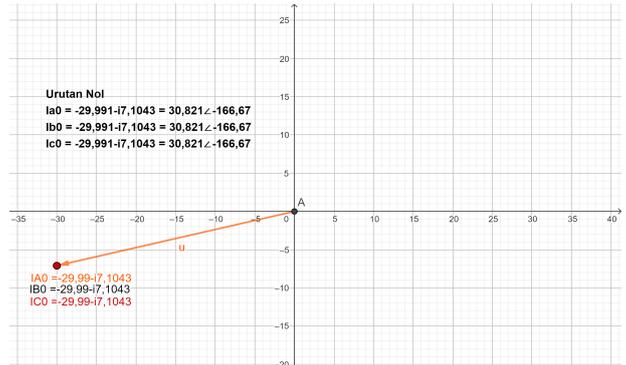
o Komponen Urutan Positif (Ia1, Ib1 dan Ic1)



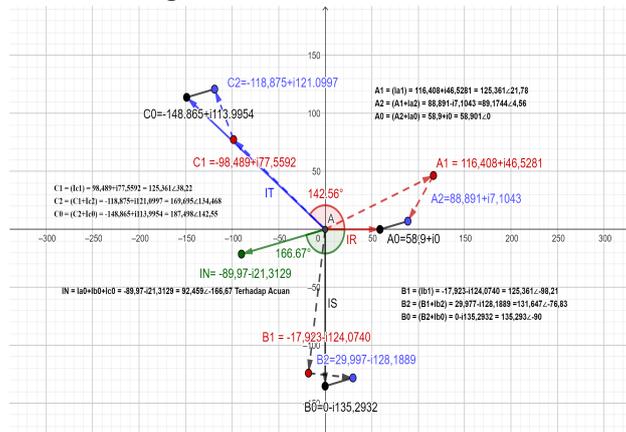
o Komponen Urutan Negatif (Ia2, Ib2 dan Ic2)



o Komponen Urutan Nol (Ia0, Ib0 dan Ic0)



Sehingga dari penjumlahan secara grafis komponen-komponen Urutan Negatif, Positif dan Nol akan mendapatkan tiga Phasor-phasor tak seimbang:



4.4 Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan beban

Ketidakseimbangan beban pada Transformator Distribusi dapat dilihat dari tidak samanya nilai arus Phasa R, S dan T pada Transformator, Dari Ketidakseimbangan beban tersebut mengakibatkan munculnya arus Netral pada Transformator. Jika Transformator memiliki perbedaan arus tiap Phasa R, S dan T yang besar maka semakin besar arus yang mengalir di Netral Transformator.

Yang mana rata-rata Ketidakseimbangan beban semua pengukuran yaitu sebesar **14,13%**. Dimana Transformator 1 Sub Station

1 masih dalam batas Standar IEEE Std 446-1995 yaitu sebesar 5-20% Ketidakseimbangan yang diperoleh.

Arus Netral yang muncul akan mengakibatkan losses atau rugi-rugi daya pada Transformator distribusi. Oleh karena itu, Semakin besar arus Netral Transformator maka losses atau rugi-rugi daya pada Transformator semakin besar.

Yang mana Rugi- rugi daya Transformator 1 Substation 1 paling besar pada tanggal 2 November yaitu **2,82 kW** dan Rata-rata Losses sebesar **1,98 kW**. Maka persentase beban yang terpakai sebesar **6,6%** dengan beban yang hilang akibat ketidakseimbangan sebesar **0,46%**.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan hasil dari Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Kelistrikan Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II adalah sebagai berikut:

1. Ketidakseimbangan Beban Transformator yang didapat dari hasil perhitungan semua data yaitu sebesar 14,13%, Pada Transformator 1 di Sub Stasion 1 masih dalam standart yang diizinkan IEEE Std 446-1995 dan Menurut SE.DIR.PLN.No.0017 2014 termasuk ketidakseimbangan dalam kategori Cukup.
2. Nilai losses atau Rugi-rugi daya beban harian akibat arus Netral Transfomator yang diperoleh dari hasil perhitungan yaitu sebesar 1,98 kW dengan persentase beban sebesar 0,46%.

5.2 Saran

Untuk memperbaiki Ketidakseimbangan Beban dapat dilakukan dengan cara pemerataan beban disertai dengan pemerataan

$\cos \phi$ pada Transformator 1 Sub Station 1 yang mengalami beban tidak seimbang.

Daftar Pustaka

- [1] Dwipayana Gusti Nngurah, dkk, Analisis THD dan Peningkatan Arus Pada Kawat Netral Akibat Pengoprasian Beban Non-Linier Yang tak Seimbang Pada sistem Tenga Listrik di RSUD Kabupaten Klungkung, Jurnal Teknik elektro Fakultas Teknik Unveristas Udayana 2017.
- [2] Gonen, Turan, Electric Power Distribution System Engineering, California Stafte Unversity Sacramento, California, 2007.
- [3] IEEE Std 446, Recommended Practice for Emergency and Standby Power System For industrial and Commercial Applications, 1995.
- [4] Julianto Edy, Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Pembebanan Tranformator Distribusi 20 kV PT PLN (Persero) Cabang Pontianak, 2016.
- [5] Kongah Dendi, dkk, Analisis Pembebanan Transformator Gardu selatan Kampus Universitas Tadulako, 2014.
- [6] M. D. T. Sogen, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi DI PT PLN (Persero) Area Sorong," Jurnal Electro Luceat, vol. 4, no. 1, 2018.
- [7] S.Hartono, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Feeder Senggiring I Di PT. PLN (Persero) Area Singkawang," Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, vol. 1, 2019.

- [8] SE.DIR.PLN.No.0017, Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset, 2014
- [9] Suwanto deman, Sistem Distribusi tenaga listrik, Edisi pertama, 2009.
- [10] Stevenson. Wiliam D, JR, Analisis Sistem Tenaga Listrik, Erlangga, 1984.
- [11] Theraja B,L. A Text Book Of Electerical Tecnology, Volume 1,S Chand.
- [12] Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, Penerbit ITB, Bandung, 1991.
- [13] Markus Hohenwarter, Aplikasi Geogebra , 2001