

Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi – Rugi Daya Pada Transformator Distribusi ULP Karebosi

Dwi Apriliansyah¹⁾, Purwito²⁾, Ahmad Gaffar³⁾

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang

¹apriliansyahdwimahesa@gmail.com

²purwito@poliupg.ac.id

³gaffargaffar1561@gmail.com

Abstrak

Masalah kualitas daya adalah persoalan perubahan bentuk tegangan, arus maupun frekuensi yang dapat menyebabkan kegagalan operasi peralatan, baik peralatan milik penyedia suplai listrik maupun milik pengguna atau konsumen. Salah satu masalah menyangkut kualitas daya adalah harmonisa. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan besar kandungan harmonisa dan menjelaskan pengaruh harmonisa terhadap rugi – rugi daya pada transformator ULP Karebosi. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah observasi dengan melakukan pengukuran secara langsung menggunakan alat ukur Power Quality Analyzer pada objek penelitian yakni transformator distribusi KAPBL 200 KVA dan EX UWBI 250 KVA pada penyulang Ahmad Yani area kerja PT. PLN (Persero) UP3 Makassar Utara, ULP Karebosi. Data yang digunakan berupa hasil pengukuran daya, arus, tegangan dan Total Harmonic Distortion Arus dan Tegangan. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil Total Harmonic Distortion Arus pada Transformator KAPBL sebesar R: 12.03%, S: 7.903%, T: 9.568% dan transformator EX UWBI 1 R: 9.259%, S: 7.031% T: 9.714% sedangkan kandungan nilai THD tegangan pada transformator KAPBL 200 KVA R: 2.105%, S: 1.689%, T: 1.960% dan transformator EX UWBI 1 250 KVA R: 2.308%, S: 1.907% T: 2.022% yang dapat menimbulkan rugi rugi daya pada transformator KAPBL 200 KVA sebesar 1561.208567 W dengan rugi rugi daya akibat adanya kandungan harmonisa sebesar 904.81228 W dan transformator EX UWBI 1 sebesar 989.9600137 W dengan rugi rugi daya akibat adanya kandungan harmonisa sebesar 495.52576 W.

Keywords: Total Harmonic Distortion, Rugi-Rugi Daya, Transformator KAPBL dan EX UWBI 1

I. PENDAHULUAN

Kemajuan zaman menuntut ketersediaan suplai tenaga listrik. Pada zaman sekarang ini, sistem tenaga listrik tidak hanya dituntut untuk dapat menyalurkan tenaga listrik secara handal, efisien dan selalu tersedia, tetapi juga harus berkualitas. Kualitas daya listrik sangat diperlukan saat ini terutama dikawasan industri, komersial maupun pemerintahan karena peralatan yang digunakan sangat bergantung pada kualitas daya yang baik seperti sistem kontrol dan komputer yang sangat rentan terhadap kualitas daya.

Masalah kualitas daya adalah persoalan perubahan bentuk tegangan, arus maupun frekuensi yang dapat menyebabkan kegagalan atau misoperation peralatan, baik peralatan milik penyedia suplai listrik maupun milik pengguna atau konsumen. Salah satu masalah menyangkut kualitas daya adalah harmonisa.

Harmonisa merupakan suatu fenomena perubahan bentuk gelombang arus maupun tegangan yang terjadi akibat dioperasikannya beban nonlinier. Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya setiap kompoen sistem distribusi dapat dipengaruhi oleh harmonik walaupun akibatnya yang berbeda. Namun demikian komponen tersebut akan mengalami penurunan kinerja dan bahkan mengalami kerusakan. Dampak nyata yang dapat dirasakan dari adanya gangguan harmonik adalah rugi rugi daya pada transformator sebagai akibat timbulnya harmonik ketiga

yang dibangkitkan oleh peralatan listrik yang sifat bebannya nonlinier.

Hal tersebut mendorong penulis untuk melakukan penelitian dan mengangkat judul analisis pengaruh harmonisa terhadap rugi rugi daya pada transformator distribusi ULP Karebosi.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Secara garis besar sistem tenaga listrik terdiri atas tiga bagian utama yaitu, sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem jaringan distribusi. Dari ketiga sistem tersebut sistem jaringan distribusi merupakan tahap akhir.

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dari transmisi tenaga listrik hingga kepada konsumen (pemakai) pada tingkat tegangan yang diperlukan. Tingkat tegangan yang dimaksud adalah tegangan menengah 20 kV atau tegangan rendah 380/220 Volt.

Pengertian sistem jaringan distribusi Sistem adalah sistem penyaluran tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan sehingga kinerja dari sistem jaringan distribusi ini secara langsung akan mempengaruhi tingkat kepuasan pelanggan.[1].

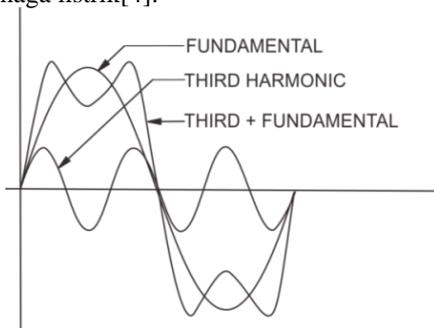
B. Kualitas Daya

Kualitas Daya merupakan suatu konsep dari pendayaan dan sensitivitas pentanahan dari peralatan listrik yang tepat untuk peralatan[2]. Kualitas daya listrik juga

diartikan sebagai hubungan dari daya listrik dengan peralatan listrik. Jika peralatan listrik bekerja secara tepat dan handal tanpa mengalami tekanan dan kerugian dapat dikatakan peralatan listrik tersebut mempunyai kualitas daya yang bagus, sebaliknya ketika perlengkapan listrik gagal fungsi (malfunction), kurang handal atau mengalami kerugian pada saat penggunaan normal, dapat dikatakan bahwa peralatan tersebut memiliki kualitas daya yang buruk.

C. Harmonisa

Harmonisa didefinisikan sebagai tegangan arus sinusoidal yang memiliki frekuensi sistem tenaga listriknya sebagaimana yang dirancang untuk dioperasikan (50 Hz atau 60 Hz)[3]. Harmonisa adalah Gelombang tegangan atau arus yang besar frekuensinya merupakan kelipatan bulat dari frekuensi dasar. Harmonisa timbul disebabkan oleh beban nonlinier yang terhubung pada sistem tenaga listrik[4].



Gambar 1. Gelombang hasil penjumlahan gelombang fundamental dengan harmonisa ketiga

1. Distorsi Harmonisa

Distorsi harmonisa merupakan deviasi gelombang sinusoidal 50 Hz pada gelombang tegangan atau arus yang disebabkan oleh komponen harmonisa [3].

Distorsi harmonisa adalah setiap perubahan dalam bentuk sinyal yang tidak disengaja dan secara umum keberadaannya tidak diinginkan pada sistem. Harmonisa merupakan salah satu hal yang dapat menyebabkan distorsi pada bentuk gelombang fundamental tegangan dan arus[3]. Fenomena ini timbul akibat pengaruh dari karakteristik beban non linier yang dimodelkan sebagai suatu sumber arus yang menginjeksikan arus harmonisa kedalam sistem tenaga listrik

2. Total Harmonic Distortion (THD)

Distorsi harmonisa disebabkan oleh peralatan nonlinier dalam suatu sistem tenaga listrik. Sebuah peralatan dikategorikan non linier apabila peralatan tersebut mempunyai output yang nilainya tidak sebanding dengan tegangan yang diberikan[5].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_2} \quad (1)$$

3. Sumber – Sumber Harmonisa

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang

linier, artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi perubahan tegangan. Sedangkan beban non linier adalah bentuk gelombang keluarannya tidak linier atau dengan kata lain sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi).

4. Standar Harmonisa berdasarkan IEEE 519-1992

Menurut [3] ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa, yaitu batasan untuk harmonisa arus dan batasan untuk harmonisa tegangan. Untuk standard harmonisa arus ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L . I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (Point of Common Coupling), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal. Sedangkan untuk standard harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai.

Tabel 1. Standar Harmonisa Tegangan

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion (%)
$V \leq 1 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

Nilai standar harmonisa arus ditentukan oleh nilai arus short circuit pada suatu sistem, seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 2 Standar Harmonisa Arus

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

D. Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik statis yang mampu mengubah maupun untuk menyalurkan energi listrik arus bolak-balik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik arus bolak-balik yang lain[6]. Transformator atau sering disingkat dengan istilah Trafo adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf yang lain. Maksud dari pengubahan taraf tersebut diantaranya seperti menurunkan Tegangan AC dari 220 VAC ke 12 VAC ataupun menaikkan Tegangan dari 110 VAC ke 220 VAC. Transformator atau Trafo ini bekerja berdasarkan prinsip Induksi Elektromagnet dan hanya dapat bekerja pada tegangan yang berarus bolak balik (AC). Transformator (Trafo) memegang peranan yang sangat penting dalam pendistribusian tenaga listrik. Transformator menaikkan listrik yang berasal dari

pembangkit listrik PLN hingga ratusan kilo Volt untuk di distribusikan, dan kemudian Transformator lainnya menurunkan tegangan listrik tersebut ke tegangan yang diperlukan oleh setiap rumah tangga maupun perkantoran yang pada umumnya menggunakan Tegangan AC 220Volt.

1. Daya Transformator

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (2)$$

Dengan:

- S = Daya Transformator (VA)
- V = Tegangan Primer Transformator (V)
- I = Arus jala – jala (A)

2. Rugi – Rugi Daya Transformator

Rugi rugi transformator dikelompokkan menjadi 2, yaitu rugi tanpa beban dan rugi rugi transformator berbeban. Rugi rugi transformator keseluruhan sebagai berikut:

$$P_{TL} = P_{NL} + P_{LL} \quad (3)$$

Dengan

- P_{TL} = rugi total transformator
- P_{NL} = rugi tanpa beban
- P_{LL} = rugi berbeban

a. Rugi Transformator Berbeban

Rugi transformator berbeban adalah susut daya yang terjadi akibat beroperasinya transformator dengan beban. Perhitungan yang dapat digunakan untuk mengetahui rugi rugi transformator pada ratingnya dalam perunit (pu)[1].

$$P_{LL-R} (pu) = 1 + P_{EC-R} (pu) + P_{OSL-R} (pu) \quad (4)$$

Dimana :

- P_{LL-R} = Rugi berbeban pada rating transformator
- P_{EC-R} = Rugi arus eddy pada belitan rating transformator
- P_{OSL-R} = rugi sasaran lain pada rating transformator

Untuk menghitung kemampuan transformator menggunakan data desain maka transformator karena mengalirnya arus beban melalui belitan transformator.

b. Rugi Ohmik (I²R)

Rugi Ohmik merupakan rugi transformator akibat arus beban mengalir pada konduktor atau belitan dan disebut rugi dc. Menurut [2], Rumus yang digunakan untuk menghitung rugi ohmik pada suatu transformator adalah sebagai berikut:

$$P^{I^2R-R} = K \cdot [(I_{1-R})^2 \cdot R_1] + [(I_{2-R})^2 \cdot R_2] \quad (5)$$

Dimana

- P_{I^2R-R} = rugi Ohmik pada rating transformator.
- K = 1.5 untuk transformator tiga fasa
- I_{1-R} = rating arus pada sisi tegangan tinggi primer
- I_{2-R} = rating arus pada sisi tegangan rendah sekunder
- R_1 = nilai resistansi (3 fasa) pada sisi tegangan tinggi
- R_2 = nilai resistansi (3 fasa) pada sisi tegangan rendah

c. Rugi sasaran / Stray Losses (PTSL-R)

Menurut [7] Rugi sasaran Merupakan rugi rugi transformator berbeban dikurangi rugi ohmik atau rugi dc.

$$PTSL-R = PTSL-R - \{ K \cdot [(I_{1-R})^2 \cdot R_1] + [(I_{2-R})^2 \cdot R_2] \} \quad (6)$$

Dimana

- PTSL = rugi sasaran pada rating transformator.
- K = 1.5 untuk transformator tiga fasa
- I_{1-R} = rating arus pada sisi tegangan tinggi primer
- I_{2-R} = rating arus pada sisi tegangan rendah sekunder
- R = nilai resistansi (3 fasa) pada sisi tegangan tinggi
- R_2 = nilai resistansi (3 fasa) pada sisi tegangan rendah

Untuk mendapatkan rugi arus eddy (PEC-R) digunakan persamaan sebagai berikut

$$P_{EC-R} = P_{TSL-R} \times 0.33 \quad (7)$$

Menurut [7] Rugi sasaran lain (P_{OSL}) pada inti dan metal serta dinding transformator akibat terpotongnya fluks sasaran

$$P_{EC-R} = P_{TSL-R} - P_{EC-R} \quad (8)$$

Dimana

- P_{OSL-R} = rugi sasaran lain sesuai ratingnya
- P_{TSL-R} = rugi sasaran total sesuai ratingnya
- P_{EC-R} = rugi arus eddy sesuai ratingnya

Menurut [7] Faktor harmonisa arus eddy belitan didapatkan dengan

$$F_{HL} = \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 n^2 \right) / \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 \right) \quad (9)$$

Sedangkan Faktor harmonisa untuk rugi sasaran lain diperoleh dengan

$$F_{HL-STR} = \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 n^{0.8} \right) / \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 \right) \quad (10)$$

Dimana

- F_{HL} = faktor harmonisa untuk rugi arus eddy belitan
- F_{HL-STR} = faktor harmonisa untuk rugi sasaran lain
- n = harmonisa orde ke-n
- I_n = arus dengan komponen harmonisa ke-n
- I_1 = arus beban fundamental

Adapun rugi transformator berbeban dengan adanya harmonisa dapat ditentukan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$P_{LL} (pu) = P_{I^2R-N} + [(F_{HL} \times P_{EC}) + (F_{HL-STR} \times P_{OSL})] \quad (11)$$

Dimana

- P_{LL} = Total rugi transformator berbeban akibat harmonisa
- P_{I^2R-N} = rugi dc I²R harmonisa
- F_{HL} = Faktor harmonisa untuk rugi arus eddy belitan
- P_{EC} = rugi arus eddy belitan pada transformator berbeban
- F_{HL-STR} = faktor susut akibat arus harmonisa pada rugi sasaran lainnya
- P_{OSL} = rugi sasaran lain pada transformator berbeban

III. METODE PENELITIAN

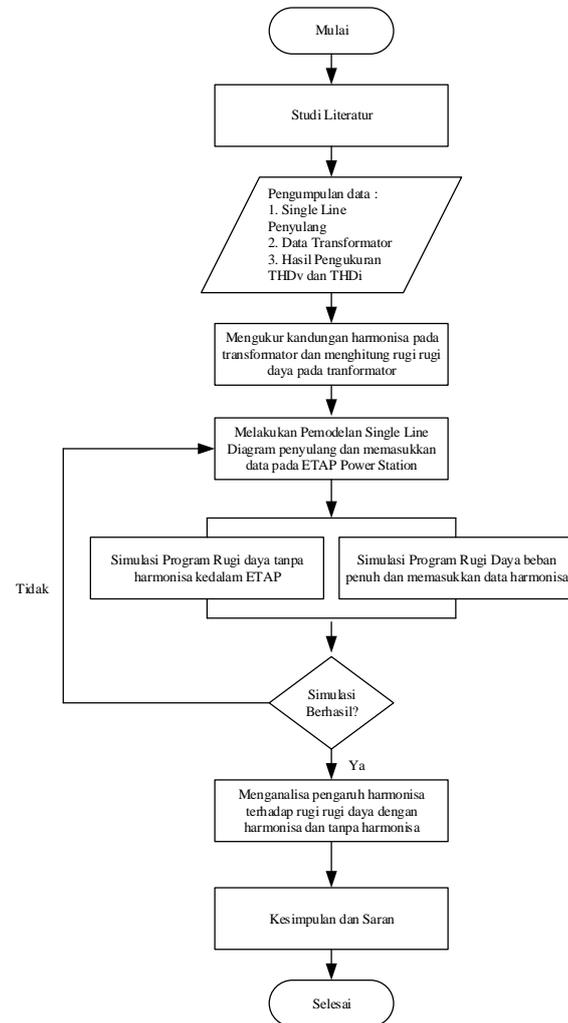
A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Januari sampai Juli 2021, tempat pelaksanaan penelitian di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Karebosi Penyulang Ahmad Yani Transformator KAPBL 200 KVA dan EX UWBI 1 250 KVA

B. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah

- Studi Literatur
- Pengumpulan Data (Single Line Diagram, Data Transformator, Hasil Pengukuran THD Arus dan Tegangan
- Menghitung Rugi – rugi daya pada transformator
- Membuat pemodelan single line diagram dan memasukkan data data pada ETAP Power Station 12.6.0



Gambar 2. Flowchart Prosedur Rancang Bangun

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Penyulang Ahmad Yani

Penyulang Ahmad Yani adalah penyulang di wilayah kerja PT. PLN (Persero) UP3 Makassar Utara, ULP Karebosi. Penyulang ini mensuplai 43 Transformator 20 KV dengan karakteristik berbeda beda. Adapun Transformator yang akan diteliti pada adalah Transformator KAPBL 200 KVA yang terletak di jalan Serui dan Transformator EX UWBI 1 250 KVA yang teletak di jalan Bulusaraung.

B. Hasil Pengukuran THD Arus dan Tegangan

Dari Hasil pengukuran THD tegangan pada penelitian ini didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut

Tabel 4. Tabel Orde

Orde	Total Harmonic Distortion Tegangan (THDv)					
	KAPBL 200 kVA			EX UWBI 1 250 KVA		
	R	S	T	R	S	T
1	100	100	100	100	100	100
3	2.00	1.32	2.18	3.33	1.76	0.56
5	4.02	3.15	3.66	3.93	3.87	3.67
7	0.56	0.05	1.30	0.29	0.35	0.85
9	0.62	0.61	1.34	1.00	0.86	0.26
11	1.13	0.73	0.75	0.57	0.40	0.45
13	0.40	0.73	0.58	0.55	0.58	0.49
15	0.42	0.37	0.62	0.12	0.09	0.17
17	0.38	0.29	0.60	0.30	0.32	0.36
19	0.13	0.20	0.64	0.16	0.17	0.33
21	0.26	0.35	0.48	0.13	0.11	0.14
23	0.04	0.36	0.21	0.12	0.14	0.09
25	0.41	0.08	0.53	0.09	0.14	0.30
27	0.25	0.36	0.49	0.08	0.06	0.13

Dari Hasil pengukuran THD arus pada penelitian ini didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut

Tabel 5. Tabel Orde

Orde	Total Harmonic Distortion Arus (THDi) (%)					
	KAPBL			EX UWBI 1		
	R	S	T	R	S	T
1	100	100	100	100	100	100
3	14.48	11.29	10.53	6.00	4.27	2.53
5	3.15	4.68	2.26	2.88	1.59	3.66
7	0.54	1.11	1.06	1.41	0.82	0.28
9	1.83	1.71	1.47	0.59	0.50	1.07
11	0.95	0.92	0.94	0.12	0.33	0.46
13	0.32	0.37	0.35	0.15	0.24	0.57
15	0.81	0.44	0.54	0.21	0.18	0.05
17	0.38	0.24	0.16	0.21	0.14	0.22
19	0.39	0.31	0.36	0.15	0.11	0.18
21	0.41	0.25	0.08	0.11	0.06	0.22
23	0.04	0.07	0.20	0.08	0.01	0.18
25	0.58	0.11	0.17	0.01	0.01	0.01
27	0.29	0.15	0.09	0.3	0.01	0.01

C. Batas Maksimum THDi pada Transformator

Menentukan nilai I_{SC} dari transformator distribusi KAPBL 200 KVA Sebagai berikut:

Diketahui

kapasitas trafo (KVA) = 200 KVA

Tegangan sekunder (KV) = 380 V = 0,38 KV

Impendansi Z (%) = 4.18 %

$$I_{SC} = (KVA \times 100) / (\sqrt{3} \times KV \times Z(\%))$$

$$= (200 \times 100) / (\sqrt{3} \times 0.38 \times 4.18)$$

$$= 7278.20 \text{ A}$$

Jadi nilai SCratio pada transformator UWBI 3 200 KVA dan EX UWBI 1 250 KVA pada penyulang Ahmad Yani sebesar 24.09 dan 25,19

Tabel 6 Hasil Perhitungan SC Rati Transformator

Transformator	ISC	IL	SCratio
KAPBL	7278.20	304.228	23.92
EX UWBI 1	6076,71	475.36	20

Batas maksimum THDi untuk SC ratio berdasarkan Standard IEEE 519-1992 adalah SCratio > 1000 adalah 20 %, untuk SCratio antara 100 sampai dengan 1000 adalah 15%, untuk SCratio 50 sampai dengan 100 adalah 12% sedangkan untuk SCratio dari 20 sampai dengan 50 nilai THDi yang diizinkan adalah 5%

D. Perhitungan Rugi Rugi Daya

1. Perhitungan Rugi Rugi Daya Tanpa Kandungan Harmonisa

Perhitungan rugi daya kondisi tanpa harmonisa maka yang digunakan hanya berdasarkan standar dan hasil perhitungan didapatkan hasil dibawah ini

Rugi tanpa beban	= 355 Watt
Rugi berbeban	= 2350 Watt
Resistansi primer	= 0.182 ohm
Arus sisi primer	= 4.7 A
Resistansi sekunder	= 0.0063
Arus sekunder	= 235.5 A

Mengacu pada persamaan (6) didapatkan nilai rugi sasar / Stray losses dari transformator, sebagai berikut:

$$PTSL-R = PTSL-R - \{ K \cdot [(II-R)2.R1] + [(I2-R)2.R2] \}$$

$$PTSL-R = 2350 - \{ 1.5 \cdot [(4.7)2.0.182] + [(235.5)2.0.0084] \}$$

$$= 1878.10 \text{ Watt}$$

Mengacu pada persamaan (7) didapatkan nilai Rugi arus eddy pada transformator, sebagai berikut

$$PEC-R = PTSL-R \times 0.33$$

$$PEC-R = 1878.10 \times 0.33$$

$$= 619.77 \text{ Watt}$$

Mengacu pada persamaan (8) didapatkan nilai Rugi sasar lain pada inti dan metal serta dinding transformator akibat terpotongnya fluks sasar, sebagai berikut

$$POSL-R = PTSL-R - PEC-R$$

$$= 1878.10 - 619.77$$

$$= 1258.33 \text{ Watt}$$

Mengacu pada persamaan (9) didapatkan nilai Rugi ohmik atau rugi dc pada transformator, sebagai berikut:

$$PI2RR = PLL-R - PEC-R - POSL-R$$

$$= 2350 - 619.77 - 1258.33$$

$$= 471.897 \text{ Watt}$$

Untuk menghitung faktor rugi harmonisa transformator KAPBL dengan kondisi tanpa kandungan harmonisa dapat diketahui melalui tabel 4.15 matriks harmonisa di bawah ini.

Tabel 7. Faktor Harmonisa

h	Ih	Ih/I1	(Ih / I1) ²	h ²	(Ih / I1) ² h ²	h ^{0,8}	(Ih / I1) ² h ^{0,8}
1		1	1	1	1	1	1
Jumlah			1	1	1	1	1

Dari hasil tabel diatas nilai faktor pengaruh harmonisa dari arus eddy yang menyebabkan kenaikan rugi rugi pada transformator dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$F_{HL} = \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 n^2 \right) / \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 \right)$$

$$= 1/1 = 1 \text{ pu}$$

Dan menghitung nilai faktor pengaruh harmonisa dari rugi sasar lain dari persamaan (9) adalah sebagai berikut

$$F_{HL-STR} = \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 n^{0.8} \right) / \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 \right)$$

$$= 1/1 = 1 \text{ pu}$$

Beban transformator KAPBL tercatat 63,23 % dari kapasitas transformator sehingga formula yang digunakan dalam perhitungan untuk menentukan rugi transformator akibat harmonisa, jika maksimum arus yang dibebankan pada transformator

$$I_{max} (pu) = \sqrt{\frac{P_{LL-R} (pu)}{1 + [F_{HL} \times P_{EC-R} (pu)] + [F_{HL-STR} \times P_{OSL-R} (pu)]}}$$

$$0.6323 = \frac{\sqrt{P_{LL}}}{\sqrt{1.0}}$$

$$(0.6323)^2 \times (1,0)^2 = P_{LL}$$

$$P_{LL} = 0.39980329 (pu)$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai rugi rugi daya tanpa kandungan harmonisa pada tranformator KAPBL sebagai berikut:

Tabel 8. Hasil Perhitungan Rugi Rugi Daya

type rugi	sesuai rating	sesuai beban	faktor harmonisa	koreksi rugi
tidak berbeban	355	355		355
rugi ohmik	471.897	188.66		188.666
rugi arus eddy	619.77	247.78	1	247.787
rugi sasar	1258.32	503.08	1	503.084
rugi total				1294.54

2. Perhitungan Rugi Rugi Daya dengan Kandungan Harmonisa

Perhitungan faktor harmonisa dengan kandungan harmonisa menggunakan matriks harmonisa tabel 4.19, seperti dibawah ini

Tabel 9. Faktor Harmonisa KAPBL

h	Ih/I1	(Ih / I1) ²	h ²	(Ih / I1) ² h ²	h ^{0,8}	(Ih / I1) ² h ^{0,8}
1	0.0063	1	1	1	1	1

h	Ih/I1	(Ih / I1) ²	h ²	(Ih / I1) ² h ²	h ^{0,8}	(Ih / I1) ² h ^{0,8}
3	0.077	0.00586	9	0.05278	2.40822	0.01412
5	0.0263	0.00070	25	0.01741	3.62390	0.00252
7	0.0057	0.00003	49	0.00160	4.74328	0.00016
9	0.010	0.00011	81	0.00905	5.79955	0.00065
11	0.0059	0.00004	121	0.00425	6.80948	0.00024
13	0.0021	0.00000	169	0.00081	7.78314	0.00004
15	0.0037	0.00001	225	0.00321	8.72716	0.00012
17	0.0016	0.00000	289	0.00078	9.6463	0.00003
19	0.0022	0.00001	361	0.00181	10.544	0.00005
21	0.0019	0.00000	441	0.00163	11.423	0.00004
23	0.0002	0.00000	529	0.00005	12.285	0.00000
Jum	1.00677	1.00677	4324	1.09338	163.033	1.01797

Dari hasil tabel diatas nilai faktor pengaruh harmonisa dari arus eddy yang menyebabkan kenaikan rugi rugi pada transformator

$$F_{HL} = \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 n^2 \right) / \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 \right)$$

$$= 1.09338 / 1.00677 = 3.080687 \text{ pu}$$

Dan menghitung nilai faktor pengaruh harmonisa dari rugi sasaran lain dari persamaan (24) adalah sebagai berikut

$$F_{HL-STR} = \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 n^{0,8} \right) / \left(\sum_{n=1}^{maks} \left(\frac{I_n}{I} \right)^2 \right)$$

$$= 1.01797 / 1.03300 = 1.00677 \text{ pu}$$

Beban transformator KAPBL Terukur 45% dari kapasitas transformator

$$I_{max} (pu) = \sqrt{\frac{P_{LL-R} (pu)}{1 + [F_{HL} \times P_{EC-R} (pu)] + [F_{HL-STR} \times P_{OSL-R} (pu)]}}$$

$$0.5021 = \frac{\sqrt{P_{LL}}}{\sqrt{1.033}}$$

$$P_{LL} = 0.250408765 \text{ pu}$$

Dari hasil perhitungan PLL, Didapatkan rugi rugi daya dengan kandungan harmonisa sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya

type rugi	sesuai rating	sesuai beban	faktor harmonisa	koreksi rugi
tidak berbeban	595	595		595
rugi ohmik	86.72	21.715		21.71545
rugi arus eddy	1241.88	310.977	1.08603	337.7306
rugi sasaran	2521.4	631.3	1.011127	638.4063
rugi total				1592.852

Bedasarkan perhitungan rugi rugi daya pada transformator KAPBL dan EX UWBI 1 didapatkan hasil sebagai berikut

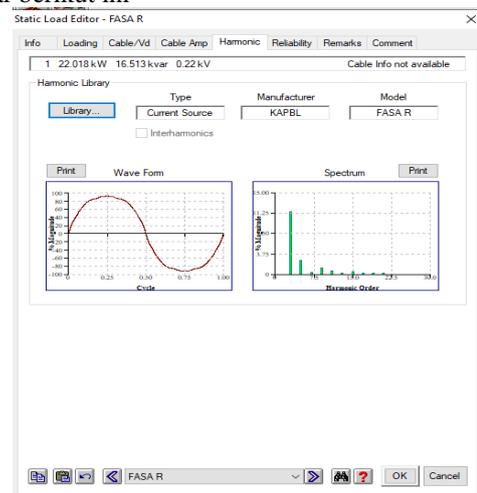
Tabel 11. Hasil Perhitungan Rugi Rugi Daya Transformator KAPBL dan EX UWBI 1

No	Nama Transformator	Rugi Daya tanpa Harmonisa (W)	Rugi Daya dengan Harmonisa (W)
1	KAPBL	1294.54	1592.852
2	EX UWBI 1	976.8750	1221.061553
	Total		2813,91355

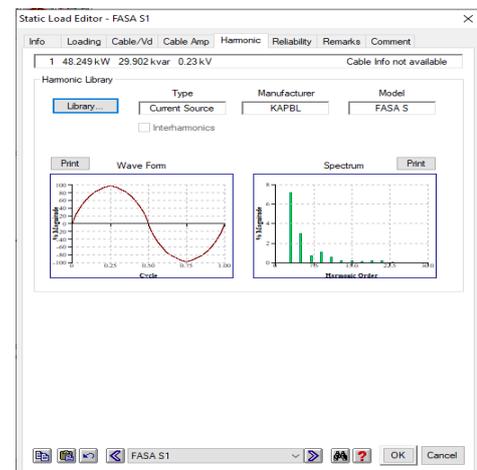
Dari hasil tersebut didapatkan hasil bahwa terdapat kenaikan rugi – rugi daya sebesar 298,312 W untuk transformator KAPBL dan rugi rugi daya sebesar 244,185 W untuk transformator EX UWBI 1

E. Simulasi ETAP Power Station 12.6.0

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui besar rugi – rugi daya pada sistem yang diteliti. Dimana nilai kandungan harmonisa pada transformator dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 4. Spectrum Harmonisa Transformator EX UWBI



Gambar 5. Spectrum Harmonisa Transformator EX UWBI

Bedasarkan kurva spectrum pada gambar diatas terlihat bahwa sumber harmonisa dari beban komersial seperti rumah tangga, pertokoan dan perkantoran

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan diatas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan kandungan nilai harmonisa pada dua transformator yang diteliti; kandungan nilai THD arus yaitu pada transformator KAPBL 200 KVA R: 12.03%, S: 7.903%, T: 9,568% dan transformator EX UWBI 1 R: 9.259%, S: 7,031% T: 9,714% sedangkan kandungan nilai THD tegangan pada transformator KAPBL 200 KVA R: 2.105%, S: 1.689%, T: 1.960% dan transformator EX UWBI 1 250 KVA R: 2.308%, S: 1.907% T: 2.022% .
2. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui rugi rugi daya akibat adanya pengaruh harmonisa pada transformator KAPBL sebesar 1592.85 W sedangkan pada transformator EX UWBI 1 sebesar 1221.06 kW

REFERENSI

- [1] I. J. Ohoiwutun, "Analisis Rugi Daya Transformator 100 kVA Gardu Rufeii Pantai di PT . PLN (PERSERO) Wilayah Papua dan Papua Barat Area Sorong Latar belakang Tujuan dan Manfaat Tujuan 1) Sebagai bahan masukan untuk PT . PLN (Persero) Area Sorong mengenai masalah rugi d," vol. 3, 2017.
- [2] T. Committee, I. Power, and E. Society, *IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution , Power , and Regulating Transformers IEEE Power and Energy Society*, vol. 2015. 2015.
- [3] "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, "IEEE std 519-1992," *Ieee*, pp. 1–9, 1992.
- [4] F. Dan, "Power quality," 2018.
- [5] K. Ilmiah and I. M. Suartika, "ANALISA PENANGGULANGAN THD (TOTAL HARMONIC DISTORTION) DENGAN FILTER PASIF PADA SISTEM TENAGA LISTRIK Oleh : UNIVERSITAS UDAYANA KAMPUS BUKIT JIMBARAN - BALI," 2016.
- [6] Frederick Sakaja Ginting; Satria Ginting; Surya Tarmizi Kasim, "Pengaruh Harmonisa Terhadap Arus Netral Transformator Distribusi (Aplikasi Pada R.S.U Sari Mutiara Medan)," pp. 311–313, 2012.
- [7] I. G. Ariana, I. W. Rinas, and I. G. D. Arjana, "Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-Rugi Daya (Losses) Pada Transformator di Penyulang Sedap Malam," vol. 16, no. April, pp. 97–106, 2017.