

DAMPAK BEBAN NON LINIER TERHADAP PENURUNAN KAPASITAS TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PENYULANG WIBRATA

I Wayan Utama¹, Robiwijaya²

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional Denpasar

²Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional Denpasar

¹Email: wayansutama@undiknas.ac.id

ABSTRAK

Bentuk gelombang beban non linier akan mempengaruhi bentuk gelombang sumber, sehingga menjadi gelombang sinusoidal cacat yang mengandung harmonisa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak beban non linier terhadap penurunan kapasitas dari transformator distribusi. *THD (Total Harmonic Distortion)* arus dan tegangan timbul akibat dari penggunaan beban non linier. Metode yang digunakan dalam menghitung penurunan kapasitas transformator distribusi yaitu dengan melakukan pengukuran langsung arus dan tegangan harmonisa menggunakan alat *power quality analyzer* HIOKI 3286-20 yang dapat mengukur nilai harmonisa orde 1-20. Hasil analisis menunjukkan 10 buah transformator dengan nilai $THD_I \geq 14\%$ dan 17 buah transformator dengan nilai $THD_V \geq 3\%$. Tiga buah transformator yang mengalami penurunan kapasitas cukup besar, yaitu transformator GA0141 dari 100 KVA menjadi 50,1 KVA, GA0096 dari 100 KVA menjadi 80,6 KVA, dan BB0077 dari 250 KVA menjadi 205,5 KVA. Dengan menurunnya kemampuan kapasitas transformator distribusi, maka PLN sebagai penyedia energi listrik akan dirugikan karena segera harus mengganti transformator dengan kapasitas yang lebih besar. Selain itu, akibat dari harmonisa juga menyebabkan 3 buah transformator dibebani $\geq 90\%$. Hasil analisis ini bisa digunakan sebagai pertimbangan kebijakan pemeliharaan transformator distribusi berbasis kaidah manajemen asset, sehingga perlu dilakukan tindakan preventive untuk menghindari terjadinya kerusakan transformator yang *over load*.

Kata kunci: THD (*Total Harmonic Distortion*), Penurunan Kapasitas, Transformator Distribusi

1. Pendahuluan

Meningkatnya pertumbuhan ekonomi masyarakat, bertambahnya jumlah penduduk serta berkembangnya industri mengakibatkan penggunaan energi listrik semakin meningkat (Bahran, 2016). Penggunaan beban non linier seperti pendingin (AC), komputer, printer, peralatan elektronika, lampu hemat energi, usaha kecil seperti bengkel las. Bentuk gelombang arus dari beban non linier akan mempengaruhi bentuk gelombang sumber sehingga menjadi gelombang yang cacat yang memberi pengaruh tidak baik pada sistem tenaga listrik (Kasim & Ariyadi, 2010). Beragamnya beban yang disuplay oleh transformator distribusi mempengaruhi kinerja dari transformator tersebut, salah satu permasalahan yang ditimbulkan adalah harmonisa arus yang dapat menyebabkan penurunan kapasitas daya terpasang pada transformator (Nugroho & Reza, 2018) (Masoum et al., 2010) (Gusmedi & Priliyasi, 2007) (Julius Sentosa Setiadji et al., 2007) (Kasim & Ariyadi, 2010). Harmonisa yang mengalir pada sistem tenaga dapat menyebabkan meningkatnya rugi-rugi daya, pemanasan berlebih pada peralatan, rendahnya

efisiensi, dan untuk beberapa peralatan tertentu yang sensitif terhadap distorsi harmonik kinerjanya akan menurun (Andrei et al., 2017) . Pengaruh harmonisa tersebut secara teknis maupun ekonomis sangat merugikan sistem tenaga listrik.

Secara umum, harmonisa arus disebabkan oleh adanya beban-beban nonlinier (Susiono, 2009) (Duffey & Stratford, 1989) (Nugroho & Reza, 2018), sehingga bentuk gelombang arus mengalami distorsi dimana frekuensi gelombang harmonisanya adalah merupakan hasil kali integer dari frekuensi dasarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak beban non linier terhadap penurunan kapasitas dari transformator distribusi. *THD (Total Harmonic Disturtion)* arus dan tegangan timbul akibat dari penggunaan beban beban non linier.

Dengan melakukan pengukuran besarnya harmonisa arus dalam transformator distribusi dan melakukan perhitungan terhadap *Total Harmonic Distortion* (THD) suatu transformator, dapat dihitung besarnya penurunan kapasitas daya terpasang pada transformator distribusi tersebut. Studi kasus dilakukan pada transformator distribusi di Penyulang Wibrata PT. PLN (Persero) Area Bali Timur. Transformator distribusi di Penyulang Wibrata sering mengalami gangguan seperti panas yang berlebihan, meledak/trip sehingga tingkat kehandalannya menjadi rendah (Suryadi, 2017).

2. Metode

Data saluran Penyulang Wibrata, data transformator diperoleh dari dokumen yang tersimpan di PLN Area Bali Timur. Penyulang Wibrata merupakan penyulang dengan sumber daya listriknya dari Gardu Induk Gianyar yang menyalurkan energi listrik ke 31 gardu distribusi. Sedangkan data tegangan dan arus dilakukan dengan cara mengukur langsung Pada sisi Sekunder dari Transformator Distribusi dengan menggunakan alat ukur *power quality analyzer* HIOKI 3286-20 yang dapat mengukur nilai harmonisa orde 1-20. Pengukuran dilakukan pada semua transformator distribusi di Penyulang Wibrata.

Berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus harmonisa dilakukan perhitungan *THD_V (Total Harmonic Distortion) Tegangan* dan *THD_I (Total Harmonic Distortion) Arus* dengan menggunakan persamaan (Gusmedi & Priliyasi, 2007):

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1}$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} I_h^2}}{I_1}$$

Kemudian dilakukan perhitungan Penurunan Kapasitas Transformator Distribusi dengan persamaan:

$$\% \text{ Kapasitas} = \frac{1+PECR}{1+(K \times PECR)} \times 100\%$$

$$\text{dimana } K = \frac{\sum I_h^2 h^2}{\sum I_h^2}$$

Keterangan:

h : harmonisa orde ke – n

Ih : arus harmonisa hasil pengukuran langsung
Ih² : kuadrat arus harmonisa hasil pengukuran langsung

3. Hasil dan Pembahasan

a. Hasil Pengukuran Arus Harmonisa

Hasil pengukuran arus harmonisa untuk 4 buah gardu distribusi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Arus Harmonisa Transformator Distribusi

Orde	Gardu											
	BB0089			BB063			BB0074			GA0029		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
1	28,3	66,6	48,6	86,7	60,5	81,1	78,8	71,4	63,2	98	81,2	147,1
2	0,1	1,4	1,8	0,4	1,3	1,1	0,2	0,8	3,7	0,4	0	1,1
3	2	10,2	6,1	10,7	6,9	7,1	9,2	8,3	5,1	15,9	17,5	27
4	0,2	0,4	0,1	0,2	0	0,3	0,1	0,1	1	0,1	0,2	0,3
5	1	7,6	3,9	4,6	3,7	5,7	4,4	3,8	2,9	4,4	4,3	5,4
6	0,2	0,3	0	0,2	0	0,2	0	0,1	0,6	0,2	0	0,1
7	0,3	3,1	0,8	0,2	0,8	1,3	1	0,7	1,3	2,3	3,2	4,2
8	0	0,2	0	0,1	0	0	0	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2
9	0,9	1	1,9	1,5	1,5	2,3	1,5	1,6	1,6	3,4	4,4	4,4
10	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0
11	0,9	0,4	1,3	0,9	0,9	1,5	0,5	0,7	0,5	1,6	1,7	0,9
12	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0
13	0,3	0	0,4	0,3	0,4	0,1	0,5	0,3	0,4	0,4	0,8	1
14	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
15	0,3	0,3	0,6	0,3	0,7	0,6	0,3	0,4	0,3	0,9	1,1	0,7
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0,3	0,5	0,5	0	0,1	0,3	0,1	0,2	0	0,2	0,2	0,5
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0,2	0,2	0	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,4	0,3	0,4
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

b. Perhitungan THD_I (Total Harmonic Distortion Arus)

Untuk perhitungan THD_I, disajikan salah satu gardu di penyulang wibrata yaitu gardu BB0089. Dari hasil pengukuran masing-masing fasa sesuai tabel 1 diatas, THD_I gardu BB0089 bisa dihitung dengan formula sebagai berikut:

Phasa R

$$THDI = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + I_6^2 + I_7^2 + I_8^2 + I_9^2 + I_{10}^2 + \dots I_{20}^2}}{I_1}$$

$$THDI = \frac{\sqrt{0.1^2 + 2^2 + 0.2^2 + 1^2 + 0.2^2 + 0.3^2 + 0^2 + 0.9^2 + 0^2 + \dots 0^2}}{28.3}$$

$$THDI = 9.42 \%$$

Dengan cara yang sama THD_I fasa S = 19,87 % dan fasa T=16,25%.

Dari perhitungan diatas maka didapatkan rata-rata THD_I di gardu BB0089 sebesar:

$$THDI \text{ rata2} = \frac{THDI R + THDI S + THDI T}{3}$$

$$THDI \text{ rata2} = \frac{9.42\% + 19.87\% + 16.25\%}{3}$$

$$THDI \text{ rata2} = 15.18 \%$$

c. Perhitungan THD_V (Total Harmonic Distortion Tegangan)

Seperti perhitungan $THDI$ diatas, untuk perhitungan THD_V juga disajikan salah satu perhitungan pada gardu di penyulang wibrata yaitu gardu BB0089. Dari hasil pengukuran tegangan masing-masing fasa, bisa dihitung THD_V gardu BB0089 dengan formula sebagai berikut:

Phasa R

$$THDV = \frac{\sqrt{V2^2 + V3^2 + V4^2 + V5^2 + V6^2 + V7^2 + V8^2 + V9^2 + V10^2 + \dots V20^2}}{V1}$$

$$THDV = \frac{\sqrt{5^2 + 0^2 + 0^2 + 5^2 + 0^2 + 2^2 + 0^2 + 1 + 0^2 + \dots 0^2}}{228}$$

$$THDV = 3.26 \%$$

Dengan cara yang sama untuk fasa S diperoleh $THDV = 3,51\%$ dan untuk fasa T diperoleh nilai $THDV = 3,19\%$.

Dari perhitungan diatas, maka didapatkan rata-rata THD_V di gardu BB0089 sebesar:

$$THDV \text{ rata2} = \frac{THDV R + THDV S + THDV T}{3}$$

$$THDV \text{ rata2} = \frac{3.26\% + 3.51\% + 3.19\%}{3}$$

$$THDV \text{ rata2} = 3.32 \%$$

d. Perhitungan Penurunan Kapasitas Transformator di Penyulang Wibrata

Penurunan Kapasitas transformator dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\% \text{ Kapasitas} = \frac{1+PECR}{1+(K \times PECR)} \times 100, \text{ dimana } K = \frac{\sum Ih^2 h^2}{\sum Ih^2}$$

Keterangan:

h = harmonisa orde ke - n

Ih = arus harmonisa hasil pengukuran langsung

Ih² = kuadrat arus harmonisa hasil pengukuran langsung

Perhitungan nilai K (faktor beban harmonik) untuk masing-masing fasa bisa diperoleh sebagai berikut:

Phasa R

$$K = \frac{\sum Ih^2 h^2}{\sum Ih^2}$$

$$K = \frac{1108}{808}$$

$$K = 1.371$$

Dengan cara yang sama untuk Phasa S nilai $K = 1.629$ dan untuk phasa T diperoleh nilai $K = 1.567$.

Setelah nilai K (Faktor Beban Harmonik) didapat, selanjutnya perhitungan derating dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Kapasitas} = \frac{1 + PE_{CR}}{1 + (K \times PE_{CR})} \times 100$$

Pada gardu BB0089, transformator yang terpasang jenis oil-filled (menggunakan minyak sebagai isolasi dan pendingin) dengan kapasitas 160 kVA maka sesuai tabel 3 nilai $PE_{CR} = 1$. Sehingga didapatkan besarnya penurunan kapasitas untuk masing-masing phasa di transformator BB0089 adalah :

1. Phasa R

$$\begin{aligned} \% \text{ Kapasitas} &= \frac{1 + 1}{1 + (1.371 \times 1)} \times 100 \\ \% \text{ Kapasitas} &= 91.8 \% \end{aligned}$$

2. Phasa S

$$\begin{aligned} \% \text{ Kapasitas} &= \frac{1 + 1}{1 + (1.629 \times 1)} \times 100 \\ \% \text{ Kapasitas} &= 87.2 \% \end{aligned}$$

3. Phasa T

$$\begin{aligned} \% \text{ Kapasitas} &= \frac{1 + 1}{1 + (1.567 \times 1)} \times 100 \\ \% \text{ Kapasitas} &= 88.3 \% \end{aligned}$$

Setelah derating masing-masing phasa didapat, maka besarnya derating rata-rata di gardu BB0089 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Derating rata - rata} &= \frac{91.8\% + 87.2\% + 88.3\%}{3} \\ &= 89.1\% \end{aligned}$$

Dari derating rata-rata diatas maka dapat dicari KVA baru trafo BB0089 setelah terjadinya derating akibat harmonisa:

$$\begin{aligned} \text{KVA Baru} &= 89.1 \% \times 160 \text{ KVA} \\ &= 142.6 \text{ KVA} \end{aligned}$$

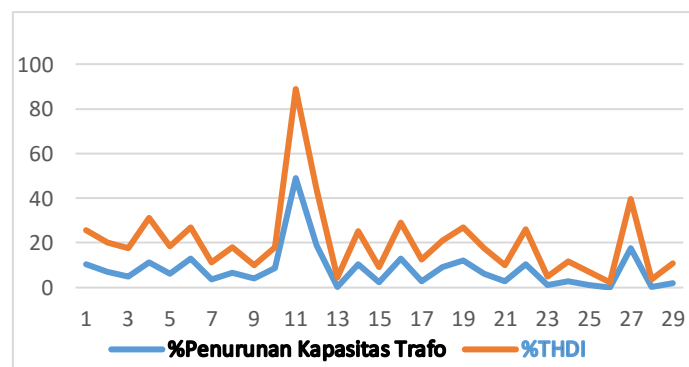
$$\begin{aligned} \text{Derating trafo (KVA)} &= 160 \text{ KVA} - 142.6 \text{ KVA} \\ &= 17.4 \text{ KVA} \end{aligned}$$

Hasil selengkapnya perhitungan THD_I , THD_V , penurunan kapasitas transformator ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi THDI, THDV Penurunan Kapasitas Transformator Distribusi Penyulang Wibrata

No	Gardu	Kapasitas KVA	THDI %	THDv %	Delta Kapasitas kVA	% Penurunan Kapasitas
1	BB0089	160	15.18	3,32	17	10.625
2	BB0063	100	13.06	2,27	7	7
3	BB0074	100	12.66	4,08	5	5
4	GA0029	250	20.01	3,36	28	11.2
5	GA0032	160	12.07	4,36	10	6.25
6	GA0113	100	14.03	4,32	13	13
7	GA0031	160	7.56	4,04	6	3.75
8	GA0092	250	11.1	4,31	17	6.8
9	GA0016	250	5.88	4,23	10	4
10	GA0011	160	9.16	3,32	14	8.75
11	GA0141	100	39.86	4,49	49	49
12	GA0096	100	25.01	3,22	19	19
13	BB0102	250	4.02	1,24	1	0.4
14	BB0081	200	14.84	2,56	21	10.5
15	GA0095	200	6.6	2,84	5	2.5
16	BB0068	100	16.08	2,53	13	13
17	BB0058	100	9.49	3,79	3	3
18	GA0112	200	12.17	4,19	18	9
19	BB0084	250	14.96	3,75	30	12
20	BB0105	250	11.3	2,13	16	6.4
21	BB0061	100	7.15	1,70	3	3
22	BB0097	160	15.37	2,20	17	10.625
23	BB0051	100	3.84	1,91	1	1
24	BB0042	100	8.87	0,70	3	3
25	BB0099	250	5.73	0,35	3	1.2
26	BB0076	100	2.36	0,76	0	0
27	BB0077	250	22.14	4,82	44	17.6
28	GA0152	250	3.41	3,08	1	0.4

Untuk melihat secara jelas pengaruh dari *Total Harmonic Distortion* (THD_I) terhadap penurunan kapasitas transformator disajikan pada gambar 1:



Gambar 1. Grafik Persentase Penurunan Kapasitas Transformator dan Persentase THD_I

Dari gambar 1, terlihat bahwa, penurunan kapasitas transformator linier dengan nilai *Total Harmonic Distortion* (THD_I), semakin tinggi *Total Harmonic Distortion* (THD_I) semakin besar pula penurunan kapasitas transformator distribusi.

4. Simpulan

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa transformator dengan nilai $THD_I \geq 14\%$ sebanyak 10 buah. Sedangkan untuk transformator dengan nilai $THD_V \geq 3\%$ sebanyak 17 buah. Dengan standar pembebanan maksimal 90% dari kapasitas trafo ditambah beban dari pengaruh harmonisa, terdapat 3 transformator yang sudah melebihi pembebanan diatas standar yaitu gardu BB0068, BB0058, dan GA0032 sehingga bisa menjadi *early warning* terhadap PT PLN (Persero) Area Bali. Dari hasil perhitungan, terdapat 3 transformator yang memiliki harmonisa besar dengan penurunan % kapasitas transformator tinggi yaitu: GA0141 dari 100 KVA menjadi 50,1 KVA; GA0096 dari 100 KVA menjadi 80,6 KVA dan BB0077 dari 250 KVA menjadi 205,5 KVA. Pengamatan dilapangan, bahwa transformator dengan nilai penurunan kapasitas $\geq 80\%$ mayoritas menyuplai pelanggan dengan tarif rumah tangga yang memiliki usaha kecil rumah tangga seperti *laundry*, *tailor* (tukang jahit), bengkel las, dll.

5. Daftar Rujukan

- Andrei, H., Andrei, P. C., Constantinescu, L. M., Beloiu, R., Cazacu, E., & Stanculescu, M. 2017. Electrical power systems. *Power Systems*, 3–47. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51118-4_1
- Bahrn, T. 2016. Penduduk Terhadap Emisi Gas Rumah Kaca Pembangkit. *Jurnal Universitas Tuebingen*, 2, 1–54.
- Duffey, C. K., & Stratford, R. P. 1989. Update of Harmonic Standard Ieee-519: Ieee Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 25(6), 1025–1034. <https://doi.org/10.1109/28.44238>
- Gusmedi, H., & Priliyasi, F. 2007. Studi Pengaruh Harmonisa pada Arus Listrik Terhadap Besarnya Penurunan Kapasitas Daya (Kva) Terpasang Transformator Distribusi (Studi Kasus : Trafo Distribusi PT. PLN (Persero) wilayah Bekasi Raya). *Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 1(1), 43–49.
- Julius Sentosa Setiadji¹, Tabrani Machmudsyah, & Yohanes Cipta Wijaya³. 2007. Pengaruh Harmonisa Pada Gardu Trafo Tiang Daya 100 kVA di PLN APJ Surabaya Selatan. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(1), 13–17. <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/elk/article/view/16593>
- Kasim, A., & Ariyadi, T. 2010. *Pengurangan arus harmonisa dengan filter akibat beban nonlinier di kampus A universitas bina darma palembang*. 1–6.
- Masoum, M. A. S., Moses, P. S., & Deilami, S. 2010. Load management in smart grids considering harmonic distortion and transformer derating. *Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT 2010*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ISGT.2010.5434738>
- Nugroho, T., & Reza, I. 2018. Analisis Pengukuran Dan Perhitungan Total Harmonic Distortion (Thd) Pada Beban Non Linier. *128 Jurnal Elektro*, 2(3), 1–8.
- Suryadi, A. 2017. DAMPAK HARMONISA TERHADAP PENINGKATAN TEMPERATUR TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 1000 kVA DI POLITEKNIK ENJINERING INDORAMA. *Simetris : Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 8(2),

421. <https://doi.org/10.24176/simet.v8i2.1187>
Susiono. 2009. Pemilihan Lokasi Optimum Pemasangan Filter Harmonik Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Tipe Radial. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 15(1), 103–110.