

ANALISIS PENGARUH HARMONISA TERHADAP PANAS PADA BELITAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Hotbe Hasugian, Panusur SML.Tobing
 Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
 Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
 Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
 e-mail: hotbehasugian@ymail.com

Abstrak

Adanya harmonisa menyebabkan terjadinya peningkatan *susut energi* yaitu energi “hilang” yang tidak dapat dimanfaatkan, yang secara alamiah berubah menjadi panas. Harmonisa juga menyebabkan terjadinya peningkatan Temperatur konduktor kabel pada transformator, yang memaksa dilakukannya *derating* pada alat-alat ini dan justru *derating* ini membawa kerugian (finansial) yang lebih besar dibandingkan dengan dampak langsung yang berupa susut energi. Untuk itu perlu dilakukan analisa untuk mengetahui seberapa besar pengaruh harmonisa pada panas transformator dalam melayani beban. Dari hasil pengukuran didapat arus puncak harmonisa paling besar terdapat pada trafo 2 fasa T pukul 19:27 yaitu sebesar 28% sehingga kenaikan suhunya pun yang terbesar diantara ketiga trafo yaitu sebesar 2,90° C. Ini disebabkan disekitar trafo 2 banyak beban-beban non-linear.

Kata Kunci : Harmonisa, Panas, Trafo Distribusi

1. Pendahuluan

Harmonisa adalah gangguan yang timbul akibat distorsi antara gelombang arus dan tegangan. Harmonisa merupakan fenomena yang timbul dari pengoperasian beban listrik yang sebagian besar diakibatkan dari beban non linear, dimana akan terbentuk gelombang yang berfrekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya [1].

Sumber utama harmonisa adalah beban non-linear yang impedansinya tidak konstan dalam setiap periode tegangan masukan. Dengan impedansinya yang tidak konstan maka arus listrik yang dihasilkan tidaklah berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan sehingga beban non-linear tidaklah mematuhi hukum ohm. Gelombang arus listrik yang dihasilkan oleh beban non-linear tidak sama dengan bentuk gelombang tegangan sehingga terjadi cacat (*distorsi*) [2].

Meningkatnya penggunaan beban *non-linear* dalam industri membuat distorsi harmonik pada jaringan distribusi meningkat. Perangkat *non-linear* yang paling mungkin adalah penggunaan konverter daya statis yang banyak digunakan dalam aplikasi industrial baja, kertas, tekstil dan sistem transportasi listrik. Impedansi reaktif yang dihasilkan akan membentuk rangkaian yang

memicu arus dan tegangan osilasi besar yang bisa merusak osilasi.

2. Distorsi Harmonik

Semua peralatan yang menggunakan komponen - komponen semikonduktor seperti dioda, transistor, trisistor merupakan beban *non-linear*. Peralatan semikonduktor ini mencakup semua peralatan elektronika daya, seperti : UPS (*Uninterruptible Power Supply*), Pengendali kecepatan motor (*adjustable speed drive*), *Soft starter*, *Static compensator*, Pengubah frekuensi (*cycloconverter* dan *rectifier inverter*), Pengisi baterai (*charger*). Selain itu ada juga beberapa peralatan yang termasuk beban non-linear, seperti : peralatan penerangan, peralatan industri, Perlengkapan kantor seperti printer, mesin fotocopy, mesin fax, komputer, monitor, elevator [3].

Tabel 1 Dampak polaritas komponen harmonik.

Urutan	Pengaruh pada sistem distribusi
Positif	Panas
Negatif	Panas Arah putaran motor berubah
Nol	Panas Menimbulkan / menambah arus pada kawat netral

Dampak umum dari gangguan harmonik adalah panas lebih sebagai akibat timbulnya harmonik ketiga yang dibangkitkan oleh peralatan listrik satu fasa. Setiap polaritas mempunyai dampak tersendiri seperti pada Tabel 1 [4,5].

Dampak lain harmonisa pada sistem distribusi tenaga listrik adalah timbulnya getaran mekanis pada panel listrik yang merupakan getaran resonansi mekanis arus frekuensi tinggi, harmonik dapat menimbulkan tambahan torsi pada kWh meter jenis elektromekanis yang menggunakan piringan induksi berputar. Sebagai akibatnya, putaran piringan akan lebih cepat atau terjadi kesalahan ukur kWh meter karena piringan induksi tersebut dirancang hanya untuk beroperasi pada frekuensi dasar, pemutusan beban dapat bekerja dibawah arus pengenalnya atau mungkin tidak bekerja pada arus pengenal, pemutus beban yang dapat terhindar dari gangguan harmonik pada umumnya adalah pemutus beban yang mempunyai respon terhadap arus rms sebenarnya (true-rms current) atau kenaikan Temperatur karena arus lebih, pada kabelefelek kulit (skin effect) akan meningkat pada kabel sehingga menaikkan resistansi ac (Rac) yang meningkatkan rugi-rugi, pada saat terjadi resonansi, akan terjadi korona di sekitar kabel dan isolasi kabel dapat mengalami stress yang dapat memicu kepada terjadinya kegagalan isolasi, beberapa peralatan elektronika menjadi kurang teratur dalam menjalankan fungsinya dan bahkan bisa mengalami gagal fungsi, menimbulkan kesalahan pengukuran pada alat ukur, memperburuk faktor daya [4,6].

3. Metodologi Penelitian

Untuk mengurangi harmonisa pada suatu sistem secara umum tidaklah harus mengeliminasi semua harmonisa yang ada tapi cukup dengan mereduksi sebagian harmonisa tersebut sehingga nilainya di bawah standar yang diizinkan. Standar yang dipakai adalah standar IEEE 519 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3 [3-5].

Tabel 2 Standar Harmonisa Tegangan IEEE 519

Maximum Distortion (%)	System Voltage		
	<69 kV	69 – 138 kV	> 138
Individual Harmonic	3,0	1,5	1,0
Total Harmonic	5,0	2,5	1,5

Tabel 3 Standar Harmonisa Arus IEEE 519.

I_{sc} / I_L	Harmonic Order					Total Harmonic Distortion
	n<11	11<n<17	17≤n<23	23≤n<35	n≥35	
<20	4	2,0	1,5	0,6	0,3	5
20-50	7	3,5	2,5	1,0	1,0	6,0
50-100	10	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100-1000	12	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Persamaan arus beban penuh (I_{FL}) dan arus hubung singkat (I_{SC}) dinyatakan dengan persamaan berikut

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}V} \tag{1}$$

Dimana :

- I_{FL} = Arus Beban Penuh (A)
- S = Daya Nyata Transformator (kVA)
- V = Tegangan Sisi Sekunder Transformator (V)

$$I_{SC} = \frac{S}{\sqrt{3}V\%Z} \tag{2}$$

Dimana :

- I_{SC} = Arus Hubung Singkat (A)
- S = Daya Nyata Transformator (kVA)
- V = Tegangan Sisi Sekunder Transformator (V)

Untuk pembebanan pada transformator dirumuskan sebagai berikut.

$$\% \text{Pembebanan} = \frac{I_{nominal}}{I_{FL}} \times 100\% \tag{3}$$

Dimana :

- $I_{nominal}$ = Arus Pengukuran (A)
- I_{FL} = Arus Beban Penuh (A)

THD arus dan THD tegangan dianalisa berdasarkan standar yang ditetapkan oleh IEEE 519 “ *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System*”. Oleh karena itu, THD arus dan THD tegangan yang didapat dari pengukuran kemudian dibandingkan dengan standar IEEE yang terdapat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Rugi-rugi kabel, hilang sebagai panas, secara substansialmeningkat ketikamembawa arusharmonikkarena rugi-rugi I^2R tinggi, resistansi kabel, R, ditentukan oleh pendekatan nilai DCnyaditambahefek kulit.

I_{rms} saat gelombang arusterdistorsi dapat dihitung dengan rumus sebagaimana dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt}$$

$$= \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

$$= \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 \dots + I_n^2} \quad (4)$$

Sehingga :

$$I_{rms} = I_{FUND} \sqrt{1 + \left(\frac{I_{THD}}{100}\right)^2} \quad (5)$$

Penambahan panas akibat harmonisa δ dalam % :

$$\delta = \left(\frac{I_{rms}}{I_{FUND}}\right)^2 \times 100\% \quad (6)$$

Sehingga suhu pada frekuensi dasar dalam $^{\circ}C$ (T_0) adalah

$$T_0 = \frac{T'}{1+\delta} \quad (7)$$

Maka kenaikan suhu ΔT

$$\Delta T = T' - T_0 \quad (8)$$

4 Analisis Data

Data pengukuran harmonisa tegangan dan arus pada siang dan malam hari Pada Transformator Distribusi yang beralamat di Jalan Jamin Ginting No.1 (Depan Siti Hajar) masing-masing dinyatakan pada Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 4 Data Transformator.

Gardu Induk	Titi Kuning	
Penyulang	TN06	
Kode Gardu	BR 139-1	
Kapasitas Trafo	250 kVA	
Power Faktor	0,96	
Arus Nominal (A)	RMS	PEAK
	360,83	510,30

Tabel 5 Tegangan Harmonisa (siang).

Pukul	12:14:00		
Pembebanan	60 %		
Tegangan (V)	RN	SN	TN
	217,00	218,00	217,00
THD (%)	2	2	2

Tabel 6 Arus Harmonisa (Siang)

	RMS				PEAK		
	R	S	T	N	R	S	T
Arus Incoming (A)	145,00	152,00	210,00	95,00	229,67	249,35	341,53
THD Arus Incoming (%)	12,00	16,00	15,00	93,00	45,01	48,01	66,93

Tabel 7 Tegangan Harmonisa (malam)

Pukul	21:22:00		
Pembebanan	83,5 %		
Tegangan (V)	RN	SN	TN
	223,00	222,00	226,00
THD (%)	4	3	3

Tabel 8 Arus Harmonisa (Malam).

	RMS				PEAK		
	R	S	T	N	R	S	T
Arus Incoming (A)	372,00	296,00	266,00	173,00	615,57	481,40	455,22
THD Arus Incoming (%)	17,00	15,00	21,00	205,00	120	94,34	89,21

*Sumber: PT PLN (Persero)

Arus beban penuh (I_{FL}) dan arus hubung singkat (I_{SC}) dihitung berdasarkan persamaan 1 dan 2

$$Z = 4\%$$

$$S = 250 \text{ kVA}$$

$$V = 0,4 \text{ kV}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{250000}{\sqrt{3}400} = 360,84 \text{ A}$$

$$I_{SC} = \frac{S}{\%Z \sqrt{3}V} = \frac{250000}{0,04 \sqrt{3} 400} = 9021,1 \text{ A}$$

Sedangkan pembebanan transformator distribusi sesuai dengan Persamaan 3 maka persentase pembebanan tiap fasa transformator distribusi dirangkum pada Tabel 9.

Tabel 9 Pembebanan Trafo.

Phasa	Arus Nominal (A)	Arus Full Load (A)	Pembebanan (%)
R	145	360,84	40,2
S	152	360,84	42,1
T	210	360,84	58,2

THD arus dan tegangan pada transformator distribusisi siang dan malam dianalisis berdasarkan standar IEEE 519 (Tabel 2 dan Tabel 3) dan hasilnya dirangkum pada Tabel 10, Tabel 11, Tabel 12 dan Tabel 13.

Tabel 10 THD Arus (siang).

Phasa	I_L	I_{SC}/I_L	Range	Pengukuran	Standar (%)	Keterangan	Kelembihan (%)
R	145	62,21	50-100	12,00	10	Lebih	2
S	152	59,35	50-100	16,00	10	Lebih	6
T	210	42,95	50-100	15,00	10	Lebih	5

Tabel 11 THD Arus (malam).

Phasa	I_L	I_{SC}/I_L	Range	Pengukuran	Standar (%)	Keterangan	Kelembihan (%)
R	185	48,8	20-50	11,00	6	Lebih	5
S	195	46,7	20-50	19,00	6	Lebih	13
T	314	28,7	20-50	11,00	6	Lebih	5

Tabel 12 THD Tegangan (siang).

Phasa	V_{THD} Tegangan (%)	V_{THD} Standar (%)	Keterangan
R	2	5	Tidak melebihi
S	2	5	Tidak melebihi
T	2	5	Tidak melebihi

Tabel 13 THD Tegangan (malam).

Phasa	V_{THD} Tegangan (%)	V_{THD} Standar (%)	Keterangan
R	2	5	Tidak melebihi
S	2	5	Tidak melebihi
T	2	5	Tidak melebihi

Perhitungan kenaikan temperatur perphasa dihitung berdasarkan Persamaan 5, 6, dan 7 sebagai berikut.

Siang (Jam 12 : 14 : 00)

Fasa R

$$I_{rms} = 145\sqrt{1 + (0,12)^2}$$

$$I_{rms} = 146$$

Penambahan panas akibat harmonisa δ dalam %:

$$\delta = \left(\frac{146}{145}\right)^2 \times 100\% = 1,44\% \text{ dibandingkan dengan pemanasan pada frekuensi dasar.}$$

Sehingga suhu pada frekuensi dasar dalam $^{\circ}\text{C}$ (T_0) adalah

$$T_0 = \frac{T'}{1+\delta}$$

$$T_0 = \frac{29}{1+0,0144}$$

$$T_0 = 28,58833$$

Maka kenaikan suhu ΔT

$$\Delta T = T' - T_0 = 29 - 28,58833 = 0,41167$$

Fasa S

$$I_{rms} = 152\sqrt{1 + (0,16)^2}$$

$$I_{rms} = 153,93$$

Penambahan panas akibat harmonisa δ dalam %:

$$\delta = \left(\frac{153,93}{152}\right)^2 \times 100\% = 2,56\% \text{ dibandingkan dengan pemanasan pada frekuensi dasar.}$$

Sehingga suhu pada frekuensi dasar dalam $^{\circ}\text{C}$ (T_0) adalah

$$T_0 = \frac{T'}{1+\delta}$$

$$T_0 = \frac{29}{1+0,0256}$$

$$T_0 = 28,2761$$

Maka kenaikan suhu ΔT

$$\Delta T = T' - T_0 = 29 - 28,2761 = 0,7239$$

Fasa T

$$I_{rms} = 210\sqrt{1 + (0,15)^2}$$

$$I_{rms} = 212,35$$

Penambahan panas akibat harmonisa δ dalam %:

$$\delta = \left(\frac{212,35}{210}\right)^2 \times 100\% = 2,25\% \text{ dibandingkan}$$

dengan pemanasan pada frekuensi dasar.

Sehingga suhu pada frekuensi dasar dalam $^{\circ}\text{C}$ (T_0) adalah

$$T_0 = \frac{T'}{1+\delta}$$

$$T_0 = \frac{29}{1+0,0225}$$

$$T_0 = 28,3619$$

Maka kenaikan suhu ΔT

$$\Delta T = T' - T_0 = 29 - 28,3619 = 0,6381$$

Penulis melakukan penelitian terhadap tiga trafo distribusi dengan kadar harmonisa yang berbeda. Masing-masing trafo menghasilkan ΔT

yang berbeda sesuai dengan tingkat harmonisanya. Untuk hasil selanjutnya pada masing-masing trafo dihitung dengan menggunakan program xl yang dirangkum pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil perhitungan suhu masing-masing trafo.

Nama Trafo	Waktu	fasa	I	i thd (%)	Irms	ϕ	T'	To	ΔT
Trafo 1	12:14	R	145	12	146,0403	1,44	29	28,58833	0,411672
		S	152	16	153,9333	2,56	29	28,27613	0,723869
		T	210	15	212,3494	2,25	29	28,36186	0,638142
	21:22	R	185	11	186,1159	1,21	35	34,58156	0,418437
		S	195	19	198,4885	3,61	35	33,78052	1,219477
		T	314	11	315,894	1,21	35	34,58156	0,418437
Trafo 2	12:48	R	151	17	153,1664	2,89	37	35,96073	1,039265
		S	127	13	128,0687	1,69	37	36,38509	0,614908
		T	107	22	109,5588	4,84	37	35,29187	1,708127
	19:27	R	172	20	175,4063	4	40	38,46154	1,538462
		S	160	20	163,1686	4	40	38,46154	1,538462
		T	121	28	125,6537	7,84	40	37,09199	2,908012
Trafo 3	14:08	R	302	15	305,3786	2,25	54	52,81174	1,188264
		S	219	15	221,45	2,25	54	52,81174	1,188264
		T	186	18	188,9892	3,24	54	52,30531	1,694692
	21:22	R	372	17	377,3371	2,89	49	47,62368	1,376324
		S	296	15	299,3115	2,25	49	47,92176	1,07824
		T	266	21	271,802	4,41	49	46,93037	2,069629

5. Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan dari data yang diperoleh, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :THD Arus pada ketiga transformator melebihi standar dan yang terbesar pada trafo 2 pukul 19:27:00 yaitu 18%. Sedangkan untuk THD tegangan, tidak ada yang melebihi standar yang ditetapkan oleh IEE.Kenaikan suhu terbesar terjadi pada trafo 2 fasa T (malam) yaitu 2,908012 °C. ini terjadi karena kadar harmonisanya paling tinggi yang berarti pembebanan beban nonlinear juga besar.

Referensi

- [1] Setiadji,J.S.,T.dkk."Pengaruh Harmonisa Pada Gardu Trafo Tiang Daya 100 kVA di PLN APJ Surabaya Selatan".
- [2] Hasugian,H.2013. Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Panas Pada Belitan Transformator Distribusi,(Skripsi). Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- [3] Salim,H. 2010. Analisis Pengaruh Konfigurasi Belitan Terhadap Tegangan Harmonisa Generator Sinkron Tanpa

- Beban Dengan Program Simulasi Multisim,(Skripsi). Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.*
- [4] Irianto,c.,G.dkk.2008.” *Mengurangi Harmonisa Pada Transformator 3 Fasa*”. JETri,vol.7, hal.53-68.
- [5] Jatmiko,Asy’ari,H...”*Pengaruh Harmonik Pada Transformator Distribusi dan Penangannya*”.
- [6] ANSI..1992.”*IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*”, IEEE Std 519.