

ANALISIS PENGARUH HARMONISA TERHADAP ARUS NETRAL, RUGI-RUGI DAN PENURUNAN KAPASITAS PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Iskandar Zulkarnain (L2F 004 487)

Email: _dadang_cancer@yahoo.co.id

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

ABSTRAK

Dengan kemajuan teknologi informasi maka komputer dan printer semakin banyak digunakan di rumah tinggal. Di sisi lain, krisis energi menjadi pemicu meningkatnya penggunaan Lampu Hemat Energi (LHE). Komputer, printer & LHE merupakan beban non linier yang menjadi penyebab munculnya harmonisa yang dapat mengganggu sistem distribusi listrik termasuk Trafo distribusi.

Dengan melakukan pengukuran di trafo distribusi maka dapat diketahui bahwa pada trafo distribusi timbul arus harmonisa yang dapat meningkatkan rugi-rugi pada trafo distribusi sehingga hal ini dapat berdampak pada penurunan kapasitas trafo (derating transformator). Seberapa level harmonik yang diijinkan menjadi penting untuk diketahui, sehingga transformator distribusi bisa awet tanpa harus banyak menambah komponen penapis tambahan.

Berdasarkan hasil pengukuran dan proses analisis menunjukkan THD arus di Transformator Teknik Kimia, Teknik Sipil, Teknik Elektro, dan Teknik Mesin pada waktu-waktu tertentu ada yang melebihi standar. Sedangkan untuk THD tegangannya tidak ada yang melebihi standar. Selain itu menunjukkan bahwa Semakin besar THD arus yang terkandung pada transformator, maka penambahan rugi-rugi transformator akan semakin besar, dan derating transformator akan semakin tinggi. Sedangkan besar arus netralnya tergantung dari besar komponen harmonisa ganjil kelipatan 3, dimana menunjukkan bahwa harmonisa memberikan penambahan yang cukup besar terhadap besar arus netral.

Kata kunci : beban non linier, harmonisa, trafo distribusi, THD, arus netral, rugi-rugi, derating transformator

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan listrik dari suatu negara adalah dua kali dari pertumbuhan ekonominya. Dengan adanya pertumbuhan ekonomi, maka daya beli masyarakat juga meningkat. Meningkatnya daya beli ini ditandai dengan semakin banyaknya peralatan-peralatan elektronik *non linier* yang dimiliki oleh seseorang. Disisi lain, dengan semakin berkembangnya pemakaian teknologi elektronika dalam sistem tenaga maka semakin banyak pula peralatan-peralatan *non linier* yang dipergunakan di industri. Peralatan *non linier* ini dapat mempengaruhi kualitas daya, karena beban non linier ini merupakan sumber utama dari gangguan harmonisa. Kadar harmonisa yang tinggi dalam sistem daya listrik tidak dikehendaki karena dapat menimbulkan kerugian.

Harmonisa juga mempunyai pengaruh pada sistem distribusi listrik. Salah satu komponen dalam sistem distribusi listrik adalah transformator. Pengaruh harmonisa pada transformator adalah bertambahnya rugi-rugi beban (P_{LL}^2), rugi I^2R dan rugi *Eddy Current* serta rugi *other stray*, sehingga hal ini dapat berdampak pada penurunan kapasitas trafo (*derating transformator*). Selain itu juga dapat menyebabkan pembebanan lebih pada kawat netral.

1.2. Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini diantaranya :

1. Untuk mengetahui pembebanan transformator pada transformator distribusi di Fakultas Teknik Universitas diponegoro.
2. Untuk mengetahui besarnya kandungan harmonisa yang terdapat pada transformator distribusi di Fakultas Teknik Universitas diponegoro.
3. Untuk mengetahui pengaruh besarnya harmonisa terhadap besarnya arus yang mengalir di kawat netral pada transformator distribusi di Fakultas Teknik Universitas diponegoro.
4. Mengetahui pengaruh besarnya harmonisa terhadap besarnya rugi-rugi beban (P_{LL}^2), rugi I^2R dan rugi *Eddy Current* serta rugi *other stray* pada transformator distribusi.
5. Mengetahui pengaruh besarnya harmonisa terhadap besarnya penurunan kapasitas Transformator pada transformator distribusi.

1.3. Pembatasan Masalah

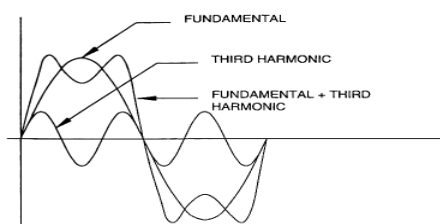
Pembatasan masalah pada tugas akhir ini meliputi :

1. Pengamatan dan pengambilan data harmonisa dilakukan melalui Analyst 3Q Power Quality analyser buatan LEM.
2. Harmonisa yang dipakai pada analisis ini adalah harmonisa urutan ganjil sampai orde ke19.
3. Proses pengambilan data tidak dilakukan secara real time, dimana dilakukan 5 kali pengambilan data setiap 3 jam sekali dalam 1 hari.
4. Trafo distribusi yang digunakan untuk analisa adalah trafo distribusi 3 phasa 4 kawat step-down 20 kV / 400 V.
5. Pengaruh Harmonisa terhadap Arus netral dan Rugi-rugi pada trafo distribusi.
6. Rugi-rugi akibat harmonisa yang terdiri dari rugi-rugi beban (P_{LL}), rugi $I^2 R$ dan rugi Eddy Current serta rugi *other stray* dimana satuannya dalam pu (per-unit).
7. Studi kasus dilakukan pada trafo distribusi yang berada di Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Sipil, dan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro .
8. Standar harmonisa yang digunakan mengacu pada IEEE 519-1992.
9. Pada tugas akhir ini tidak membahas tentang ketidak seimbangan beban.

2. DASAR TEORI

2.1. Teori Harmonisa

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamental-nya.^{[2][10]}



Gambar 1 Gelombang Fundamental, Harmonisa Ke-tiga & Hasil Penjumlahannya

2.2. Sumber Harmonisa pada Sistem Distribusi

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier. Beban non linier adalah bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi).

Beban non linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar. Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal.

2.3. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain tanpa merubah frekuensi dari sistem, berdasarkan prinsip induksi electromagnet.

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum ampere dan hukum faraday, yaitu arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik, merupakan proses konversi energi elektromagnetik. Jika pada salah satu sisi kumparan pada transformator dialiri arus bolak-balik, maka timbul garis gaya magnet yang berubah-ubah sehingga pada kumparan terjadi induksi. Kumparan sekunder yang kontruksinya satu inti dengan kumparan primer akan menerima garis gaya magnet dari primer yang besarnya berubah-ubah pula, maka disekunder juga timbul induksi akibatnya antara dua ujung kumparan terdapat beda tegangan. Jumlah garis gaya (Φ , fluksi) yang masuk kumparan sekunder adalah sama dengan jumlah garis gaya yang keluar dari kumparan-kumparan primer.

2.4. Pengaruh Harmonisa pada Transformator

Salah satu dampak yang umum dari gangguan harmonisa adalah panas lebih pada kawat netral dan transformator serta terjadinya penurunan kapasitas pada transformator. Frekuensi harmonisa yang lebih tinggi dari frekuensi kerjanya akan mengakibatkan penurunan efisiensi atau terjadi kerugian daya.

2.5. Identifikasi Harmonisa

Untuk mengidentifikasi kehadiran harmonisa pada sistem distribusi, dapat diketahui melalui langkah-langkah sebagai berikut:

1. Identifikasi Jenis Beban
Jenis beban yang dipasang.
2. Pemeriksaan Transformator
Untuk transformator yang memasok beban non linier apakah ada kenaikan temperaturnya tidak normal. Apabila arus netralnya lebih besar maka dapat diperkirakan adanya harmonisa dan kemungkinan turunnya kinerja transformator.
3. Pemeriksaan Tegangan Netral Tanah

Apabila tegangan yang terukur lebih besar dari 2 Volt maka terdapat indikasi adanya masalah harmonisa pada beban tersebut.

2.6. Teori Perhitungan

Ada tiga metode perhitungan yang dipakai untuk mengetahui kandungan harmonisa, yaitu :^[7]

1. Crest-factor (CF)^[7]

Crest-factor adalah suatu pengukuran nilai puncak dari gelombang dibandingkan dengan nilai RMS.

$$CF = \frac{\text{peak_of_waveform}}{\text{rms_of_waveform}} \quad (1)$$

Suatu gelombang sinus sempurna arus atau tegangan akan mempunyai suatu CF = $\sqrt{2}$.

2. Faktor harmonisa atau persentase total harmonic distortion (%THD)^[7]

Individual Harmonic Distortion (IHD) adalah rasio antara nilai RMS dari harmonisa individual dan nilai RMS dari fundamental.

Total Harmonic Distortion (THD) adalah rasio antara nilai RMS dari komponen harmonisa dan nilai RMS dari fundamental.

Berdasarkan standar IEEE 519. 1992 Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa, Yaitu batasan untuk harmonisa arus dan batasan harmonisa tegangan.

Tabel 1 Standar Harmonisa Tegangan^[5]

Sistem voltage	IHD _V (%)	THD _V (%)
V _{rms} ≤ 69 kV	3.0	5.0
69 kV < V _{rms} ≤ 161 kV	1.5	2.5
V _{rms} > 161 kV	1.0	1.5

Tabel 2 Standar Harmonisa Arus^[5]

System voltage	I _{sc} /I _{Load}	THD _I (%)
V _{rms} ≤ 69 kV	< 20	5,0
	20-50	8,0
	50-100	12,0
	100-1000	15,0
	>1000	20,0
69 kV < V _{rms} ≤ 161 kV	< 20	2,5
	20-50	4,0
	50-100	6,0
	100-1000	7,5
	>1000	10,0
V _{rms} > 161 kV	< 50	2,5
	≥ 50	4,0

$$I_{sc} = \frac{S(kVA)}{\%Z \times \sqrt{3} \times kV} \quad (2)$$

THD tegangan dan arus :

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} ; THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (3)$$

V_h ; I_h = komponen harmonisa.

V₁ ; I₁ = komponen fundamental.

3. K-Factor^{[3][21]}

$$K = \sum_{h=1}^{\infty} (i_h(pu) \times h)^2 \quad (4)$$

Suatu *K-factor*=1 mengidentifikasi suatu beban linier.

Teori Perhitungan pengaruh harmonisa terhadap arus netral Trafo^{[4][10]}

Adapun rumus yang digunakan untuk mencari besar arus yang mengalir pada kawat netral akibat harmonisa sebagai berikut :

$$I_{n\text{phasa}} = THD_{\text{kelipatan tiga ganjil}} \times I_{\text{beban}} \quad (5)$$

Dan untuk mencari arus netral totalnya dengan menjumlahkan arus netral ketiga fasa.

Untuk mengetahui besar pengaruh harmonisa terhadap besar penambahan arus netral dapat diketahui melalui rumus sebagai berikut :

$$\% I_{n \text{ akibat harmonisa}} = \frac{I_{n \text{ 3phasa}}}{I_{n \text{ total}}} \times 100\%$$

Teori Perhitungan Load Loss (P_{LL}) dan Derating Trafo

Untuk menghitung *load loss* trafo dalam per unit, dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :^[14]

$$P_{LL} = P_{I^2R} + P_{EC} + P_{OSL}$$

Persamaan rugi-rugi beban (*load loss*) yang dipengaruhi harmonisa sebagai berikut :

$$P_{LL}(p.u) = P_{I^2R}(p.u) + P_{EC}(p.u) + P_{OSL}(p.u)$$

$$P_{LL}(p.u) = \sum I_h^2(p.u) + (\sum I_h^2 \times h^2) P_{EC-R}(p.u) + (\sum I_h^2 \times h^{0.8}) P_{OSL-R}(p.u) \quad (6)$$

dimana: P_{EC-R} = faktor *eddy current loss*

P_{OSL-R} = faktor *other stray loss*

h = angka harmonisa

I_h = arus harmonisa

Harmonisa yang terjadi pada trafo berdampak pada penurunan kapasitas pada trafo (*derating transformer*) yang dapat dicari dengan suatu rumus "*derating factor*", sebagai berikut :^{[14][18]}

Derating factor =

$$\sqrt{\frac{1 + P_{EC-R}(p.u) + P_{OSL-R}(p.u)}{1 + (F_{HL} \cdot P_{EC-R}(p.u)) + (F_{HL-STR} \cdot P_{OSL-R}(p.u))}} \quad (7)$$

F_{HL} merupakan faktor rugi harmonisa untuk rugi *eddy current*. F_{HL-STR} merupakan faktor rugi harmonisa untuk rugi *other stary*.

3. SISTEM PENGUKURAN DAN PENGAMBILAN DATA

3.1. Transformator Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Transformator yang menjadi penelitian pada tugas akhir ini hanya 4 buah transformator, yaitu : Trafo Teknik Kimia, Trafo Teknik Sipil, Trafo Teknik Elektro, dan Trafo Teknik Mesin. Adapun spesifikasi tiap-tiap Transformator adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Data spesifikasi Transformator

Data	Trasformator			
	T.Kimia	T.Sipil	T.Elektro	T.Mesin
Daya	630 kVA	400 kVA	1000 kVA	630 kVA
Voltage	20 kV/	20 kV/	20 kV/	20 kV/
	400 V	400 V	400 V	400 V
Arus(A)	18,18/	11,56/	28,86/	18,18/
	909,32	577,35	1443,37	909,32
Z	4%	4%	5%	4%
Hubung	Yyn6	Yyn6	Yyn6	Yyn6

3.2. Power Quality Analyser Analyst 3Q

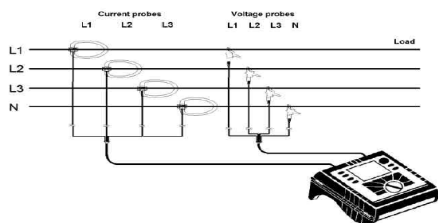
Dalam proses pengukuran ini digunakan alat ukur *Power Quality Analyser Analyst 3Q* yang mempunyai sarana untuk pengukuran harmonisa arus dan harmonisa tegangan.



Gambar 2 Alat ukur *Power Quality Analyser Analyst 3Q*

3.3. Pengukuran Harmonisa dengan Power Quality Analyser Analyst 3Q

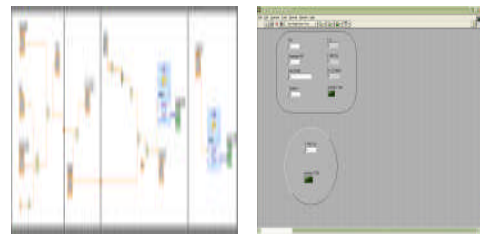
Cara pengukuran yang dilakukan dengan alat ini dengan jaringan tiga fase sebagai berikut:



Gambar 3 Pengukuran pada jaringan tiga fase dengan *Power Quality Analyser Analyst 3Q*

3.4. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak atau *software* yang digunakan dalam proses analisa dan perhitungan adalah program Labview 7.1. Program Labview memiliki dua bagian utama yaitu *Block Diagram* dan *Front Panel*.

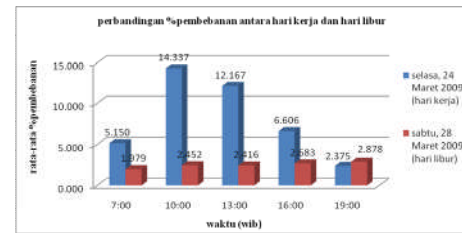


Gambar 4 Block diagram dan Front panel pada Labview 7.1.

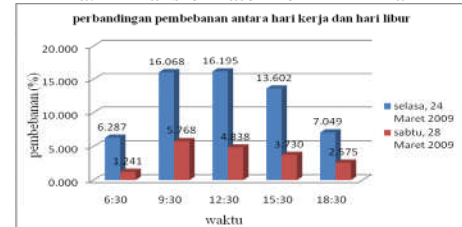
4. ANALISIS HASIL PENGUKURAN

4.1. Analisa Pembebanan

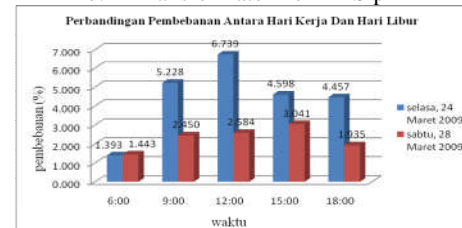
Dari hasil pengukuran dan perhitungan diketahui persentase pembebanan sebagai berikut:



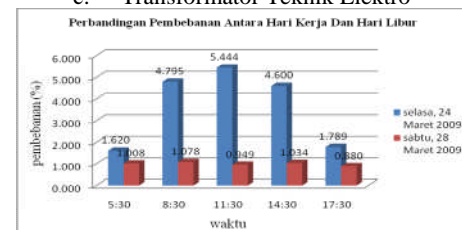
a. Transformator Teknik Kimia



b. Transformator Teknik Sipil



c. Transformator Teknik Elektro



d. Transformator Teknik Mesin

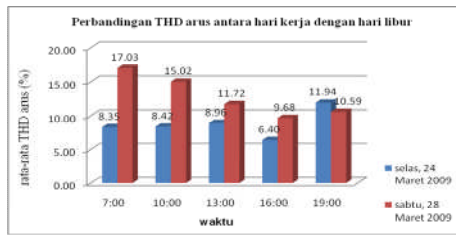
Gambar 5 Perbandingan pembebanan transformator antara hari kerja dan hari libur

Persentase pembebanan yang dialami oleh transformator sangat rendah. Dimana persentase pembebanan rata-ratanya kurang dari 20%. Dari data pengukuran diketahui bahwa pembebanan transformator tidak seimbang. Hal ini dapat mengakibatkan terjadi aliran arus pada kawat netral. Sehingga memperbesar rugi-rugi transformator. Dari gambar dapat dilihat persentase pembebanan pada hari kerja cenderung lebih besar dibandingkan hari libur.

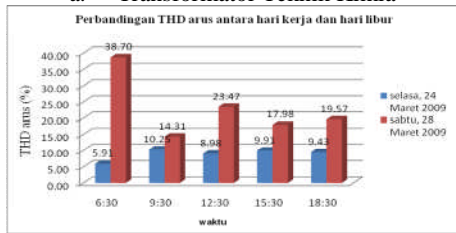
4.2. Analisa Besar Kandungan Harmonisa

a. THD arus

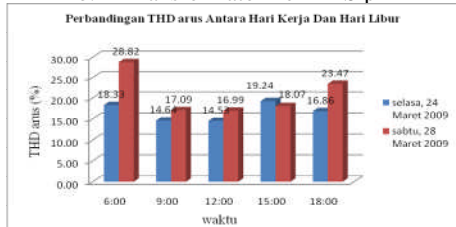
Dari hasil pengukuran dan perhitungan diketahui besar kandungan harmonisa seperti berikut :



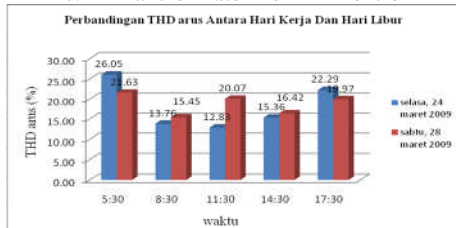
a. Transformator Teknik Kimia



b. Transformator Teknik Sipil



c. Transformator Teknik Elektro



d. Transformator Teknik Mesin

Gambar 6 Perbandingan THD arus transformator antara hari kerja dan hari libur

Dari gambar dapat dilihat bahwa THD arus total di beberapa waktu tertentu ada yang melebihi standar. Dimana standar umumnya adalah 15%. Namun hal ini tidak terlalu bermasalah karena pembebanan transformator ini yang cukup rendah sehingga belum melewati kapasitas transformatornya. Namun demikian kandungan harmonisa ini tetap berpengaruh terhadap penambahan rugi-rugi, arus netral dan penurunan kapasitasnya. THD arus pada hari kerja cenderung lebih kecil dibandingkan hari libur.

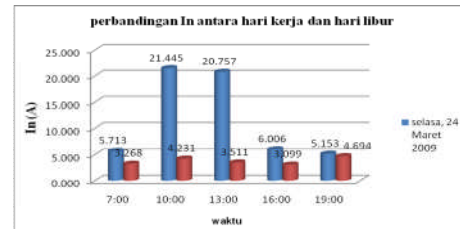
b. THD tegangan

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa THD tegangan pada transformator tidak ada yang melebihi standar. Selain itu juga diketahui antara

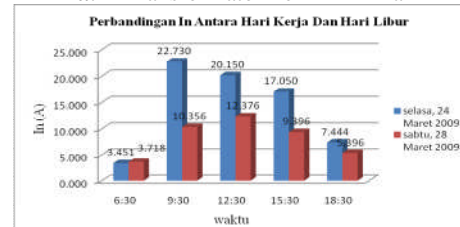
hari libur dan hari kerja tidak ada perbedaan yang sangat signifikan.

4.3. Analisa Pengaruh Harmonisa pada Arus Netral

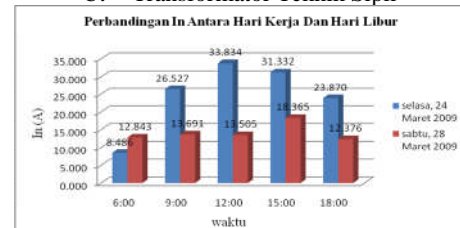
Pada sistem yang ideal arus pada kawat netral nilainya nol. Namun pada kenyataannya tidak ada sistem yang ideal. Akibatnya arus pada kawat netral nilainya tidak nol lagi. Salah satu penyebab adanya arus yang mengalir ke kawat netral adalah harmonisa. Harmonisa ini adalah kelipatan tiga ganjil.



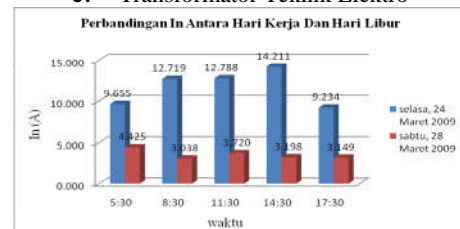
a. Transformator Teknik Kimia



b. Transformator Teknik Sipil



c. Transformator Teknik Elektro



d. Transformator Teknik Mesin

Gambar 7 Perbandingan In transformator antara hari kerja dan hari libur

Dari gambar terlihat bahwa arus netral terbesar terjadi pada saat beban puncak atau pada saat terjadi aktifitas tinggi. Hal ini disebabkan pada waktu tersebut memiliki pembebanan dan kandungan harmonisa ganjil kelipatan 3 yang cukup besar. Juga dapat dilihat bahwa harmonisa sangat mempengaruhi dari besar arus yang mengalir pada kawat netral, dimana persentase arus netral yang disebabkan oleh harmonisa yang cukup besar yaitu 20%-96%.

4.4. Analisa Pengaruh Harmonisa terhadap Rugi-Rugi dan Penurunan Kapasitas Transformator

Besar rugi-rugi tergantung dari besar pembebanannya, sedangkan harmonisa mempengaruhi penambahan besar rugi-rugi. Dari tabel dapat dilihat bahwa Semakin tinggi total arus harmonisa (THD_I) pada tiap fasa maka semakin tinggi pula penambahan rugi-rugi beban (P_{LL}). Untuk rugi-rugi *Eddy current* dan *other stray* besarnya tergantung dari besar arus dan frekuensinya. Rugi-rugi *Eddy current* dan *other stray* sangat berbahaya apabila pada frekuensi tinggi, arus yang dihasilkan sangat besar.

Tabel 4 Data pertambahan rugi-rugi dan penurunan kapasitas pada transformator teknik kimia

Hari, tanggal	waktu	phasa	P _{LL} (p.u)	Rugi naik (%)	Kap. Turun (%)	THD _I (%)
sabtu, 28 Maret 2009	7:00	R	0.000583	1.27	0.252	8.77
		S	0.000078	20.83	2.990	37.13
		T	0.000801	0.41	0.071	5.20
	10:00	R	0.000714	2.07	0.272	12.29
		S	0.000097	10.13	1.546	26.23
		T	0.001518	0.59	0.074	6.53
	13:00	R	0.000726	2.04	0.263	12.18
		S	0.000295	3.72	0.604	15.52
		T	0.000908	0.74	0.088	7.46
	16:00	R	0.000698	1.40	0.224	9.87
		S	0.000446	2.31	0.337	12.91
		T	0.001203	0.52	0.068	6.25
	19:00	R	0.001327	0.88	0.140	7.73
		S	0.000239	5.45	0.849	19.39
		T	0.001320	0.33	0.055	4.66

Tabel 5 Data pertambahan rugi-rugi dan penurunan kapasitas pada transformator teknik Sipil

Hari, tanggal	waktu	phasa	P _{LL} (p.u)	Rugi naik (%)	Kap. Turun (%)	THD _I (%)
sabtu, 28 Maret 2009	6:30	R	0.000066	48.70	4.875	57.37
		S	0.000034	32.27	2.567	51.07
		T	0.000683	0.89	0.126	7.67
	9:30	R	0.003839	3.77	0.375	17.31
		S	0.005799	1.98	0.179	12.91
		T	0.001583	2.07	0.223	12.71
	12:30	R	0.001859	11.77	0.984	30.86
		S	0.001549	11.51	0.832	31.32
		T	0.004839	0.88	0.102	8.22
	15:30	R	0.001144	8.13	0.781	24.91
		S	0.002502	5.53	0.475	21.07
		T	0.001055	0.89	0.118	7.96
	18:30	R	0.001435	2.35	0.334	13.02
		S	0.000076	15.54	1.561	34.60
		T	0.001098	1.58	0.169	11.07

Dari hasil perhitungan yang dapat dilihat pada tabel, besar derating akibat harmonisa tergantung dari besar P_{LL} (total rugi-rugi beban), atau lebih khusus lagi besar derating akibat harmonisa tergantung dari besar masing-masing

rugi-rugi I²R, *eddy current*, dan *other stray*. Besar derating juga dipengaruhi oleh kandungan komponen harmonisa. Apabila pada frekuensi tinggi harmonisa yang dihasilkan sangat besar maka penurunan kapasitasnya akan semakin besar. Jadi bisa saja THD nya sama tetapi besar deratingnya berbeda. Dari tabel dapat dilihat bahwa semakin tinggi komponen-komponen harmonisa atau THD_I pada tiap fasa maka semakin tinggi rugi-rugi yang dihasilkan sehingga menyebabkan semakin tinggi pula penurunan kapasitas transformator (derating).

Tabel 6 Data pertambahan rugi-rugi dan penurunan kapasitas pada transformator teknik Elektro

Hari, tanggal	waktu	phasa	P _{LL} (p.u)	Rugi naik (%)	Kap. Turun (%)	THD _I (%)
sabtu, 28 Maret 2009	6:00	R	0.000259	16.44	1.707	35.18
		S	0.000389	4.90	0.659	18.85
		T	0.000109	14.50	1.797	32.43
	9:00	R	0.000824	5.19	0.502	20.45
		S	0.000684	3.86	0.415	17.42
		T	0.000450	2.46	0.311	13.40
	12:00	R	0.001007	3.82	0.369	17.51
		S	0.000868	4.91	0.526	19.49
		T	0.000362	2.69	0.347	13.95
	15:00	R	0.001228	6.00	0.541	22.17
		S	0.000901	5.78	0.596	21.33
		T	0.000877	1.49	0.181	10.70
	18:00	R	0.000297	11.77	0.984	30.86
		S	0.000248	11.51	0.832	31.32
		T	0.000774	0.88	0.102	8.22

Tabel 7 Data pertambahan rugi-rugi dan penurunan kapasitas pada transformator teknik Mesin

Hari, tanggal	waktu	phasa	P _{LL} (p.u)	Rugi naik (%)	Kap. Turun (%)	THD _I (%)
sabtu, 28 Maret 2009	5:30	R	0.000091	17.14	2.483	34.02
		S	0.000104	3.28	0.591	13.83
		T	0.000147	4.89	0.932	17.05
	8:30	R	0.000087	3.76	0.759	15.22
		S	0.000140	3.97	0.521	17.04
		T	0.000150	3.45	0.659	14.09
	11:30	R	0.000074	5.23	0.900	18.05
		S	0.000115	4.87	0.566	18.70
		T	0.000109	7.70	1.016	23.44
	14:30	R	0.000109	3.23	0.651	13.78
		S	0.000095	5.38	0.683	20.23
		T	0.000142	3.67	0.657	15.24
	17:30	R	0.000072	6.03	1.327	17.90
		S	0.000111	5.48	0.822	19.45
		T	0.000074	9.13	1.703	22.57

Transformator didesain untuk mensuplai kapasitas maksimum. Namun kenyataannya setelah melakukan perhitungan didapatkan transformator mengalami penurunan kapasitas. Seperti yang telah dijelaskan diatas penurunan kapasitas dipengaruhi oleh besar dari THD arus.

Hal ini dikarenakan besar rugi-rugi yang mempengaruhi besar penurunan kapasitas, dipengaruhi oleh besar THD arus. Rugi-rugi yang disebabkan oleh harmonisa menaikkan temperatur transformator melebihi kapasitas sehingga kapasitas dari transformator menurun

Pada hari kerja nilai kenaikan P_{LL} lebih kecil dibandingkan hari libur. Sedangkan Pada hari libur penurunan kapasitas transformator cukup tinggi dibandingkan pada hari kerja. Hal ini dikarenakan THD_I pada hari libur yang cukup tinggi dibandingkan hari kerja.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

kesimpulan yang bisa didapat dari laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pembebanan transformator pada transformator teknik Kimia, teknik Sipil, teknik Elektro dan Teknik Mesin sangat rendah, dimana pembebanannya kurang dari 25%. Pembebanan dari ke empat transformator distribusi tidak seimbang.
2. THD arus di ke empat Transformator pada waktu-waktu tertentu ada yang melebihi standard. Sedangkan untuk THD tegangannya tidak ada yang melebihi standard. Karakteristik / komposisi harmonisa arus pada ke empat transformstor distribusi yang paling dominan adalah harmonisa ke-3, harmonisa ke-5, dan harmonisa ke-7.
3. Harmonisa memberikan sumbangan yang cukup besar terhadap besar arus netral yaitu lebih dari 20 %.
4. Rugi-rugi yang dialami keempat transformator cukup rendah, tetapi penambahan rugi-rugi yang dialami akibat pengaruh harmonisa pada waktu tertentu cukup tinggi.
5. Penurunan kapasitas akibat pengaruh harmonisa yang dialami keempat transformator cukup rendah.
6. Semakin besar THD arus yang terkandung pada transformator, maka penambahan rugi-rugi transformator akan semakin besar, dan derating transformator akan semakin tinggi.
7. THD arus total dan derating transformator di teknik Kimia, teknik Sipil, teknik Elektro, dan teknik Mesin pada hari kerja lebih kecil dari pada hari libur. Pembebanan transformator, rugi-rugi transformator, dan arus pada kawat netral di teknik Kimia, teknik Sipil, teknik Elektro, dan teknik Mesin pada hari kerja lebih besar dari pada hari libur.
8. Persentase pembebanan terbesar terjadi pada Transformator Teknik Sipil dengan pembebanan rata-rata sebesar 19,364%. THD

arus (57,37%), penambahan rugi-rugi (48,7%) dan penurunan kapasitas (4,875%). Tetapi Transformator yang THD arusnya sering melebihi standard terjadi pada Transformator Teknik Elektro.

9. Pada saat ini kondisi Transformator termasuk dalam kondisi aman. Sedangkan untuk kawat netralnya pada kondisi saat ini juga termasuk dalam kondisi aman.

5.2. Saran

1. Untuk pengembangan dalam penambahan pembebanan pada transformator sebaiknya dilakukan usaha-usaha untuk mengurangi harmonisa, seperti memasang filter pada transformator.
2. Pada pembebanan transformator sebaiknya dilakukan usaha-usaha untuk menyeimbangkan pembebanan transformator.
3. Pengukuran pengaruh harmonisa dapat dilakukan pada peralatan listrik lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, *Transformator*, Jakarta: PT. Elex Media Komputindo, 1989.
- [2] C. Sankaran, *Power Quality*, USA : CRC Press LLC, 2002.
- [3] Controlled Power Company, *Harmonics*, Ukharna2, 1999
- [4] Cristof Naek Haloman Tobing, *Pengaruh Harmonik Pada Transformator Distribusi*. Depok: Departemen Elektro Fakultas teknik Universitas Indonesia, 2008
- [5] Dennis J.Hansen, *Harmonic Distortion, Engineering Standards And Technical Support Department*, Salt Lake City : PacifiCorp, 1998
- [6] Derek A. Paice, *Power Electronic Converter Harmonics. Multipulse Methods For Clean Power*, New York : IEEE PRESS, 1995
- [7] I. Daut , H.S. Syafruddin, dkk, *The Effects Of Harmonic Components On Transformer Losses Of Sinusoidal Source Supplying Non-Linear Loads*, Malaysia : Science Publication, 2006
- [8] J. Arrilaga, Bradley D.A., Bodger P.S., *Power System Harmonics*, New York: John Wiley & Sons, 2003.
- [9] Jian Zheng, *Transformer AC Winding Resistance And Derating When Supplying Harmonic-Rich Current*, Michigan Technological University, 2000
- [10] Julius Sentosa setiadji, Tabrani M, Yohanes C W, *Pengaruh Harmonisa Pada Gardu Trafo Tiang 100 kVA di PLN APJ Surabaya Selatan*, Jurnal Teknik Elektro Vol.7, No.1, Maret 2007 : 13-17

- [11] Martin W U Kwok-tin, *Standards of Power Quality With Reference To The Code Of Practice For Energy Efficiency Of Ectrical Installations*, Energy Efficiency Office, Electrical & Mechanical Service Department, September 2003
- [12] Novalio Daratha, *Harmonika dalam Sistem Daya Listrik*, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Bengkulu
- [13] Omer Gul, Mehmet Bayrak, *Power Quality And Neutral Current Problems From Unbalanced And Non-Linear Loads In Three-Phase Power Systems*, Istanbul : Istanbul technical University.
- [14] Paul Ortmann, *Understanding Power Quality*. University Of Idaho, College of Egeineering
- [15] Philip J.A. Ling, P.Eng., Cyril J. Eldridge, B.Sc., *K-Factor can be a Misleading Power Quality Indicator*, Toronto, Canada : Powersmiths International Corp
- [16] Prof Jan Desmet, Hogeschool West-Vlaanderen, dkk. *Harmonics Selection And Rating Transformers*, Labo Lemcko : LPQI, November 2005
- [17] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, *Electrical Power System Quality*, New York : McGraw-Hill, 1996.
- [18] S.B.Sadati, A.Tahani, dkk. *Derating Of Non-Sinusoidal Loads*. Iran : Mazandarn Electric Power Distribution Company, Noshirvani Technical University Of Babol.
- [19] S.B.Sadati, H.Yousefi, dkk. *Comparison of Distribution Transformer Losses and Capacity Under Linier and Harmonic loads*. 2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08), December 1-3, 2008, Johor Baharu, Malaysia
- [20] Schneider Electric, *Analyzing Neutral Conductor and transformer overload*, Power System Engineering solution, Nort American : 2008
- [21] sulasno. *Dasar Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan*. Semarang : Badan Penerbit Universitas Diponegoro Semarang, 2004
- [22] TEAL Electronic Corporation, *Transformer Rating*, Application Note-AN-7, 1999
- [23] Xitron Technologies, *K-factor Defined*, San diego : 2000

BIODATA MAHASISWA



Iskandar Zulkarnain
L2F 004 487

Ketenagaan

Dilahirkan di Kota Sampang, tanggal 15 Juli 1985. Riwayat pendidikan : TK Brawijaya Sampang, SD N Dalpenang 1 Sampang, SLTP N 1 Sampang, SMU N 1 Sampang. Sekarang sedang berusaha mendapatkan gelar Sarjana (S-1) di Teknik Elektro UNDIP.

Semarang, 10 Agustus 2009
Mengetahui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Hermawan, DEA
NIP. 131 598 857

Susatyo Handoko, ST MT
NIP. 132 282 683