

EVALUASI NILAI TOTAL HARMONIC DISTORTION (THD) PADA TRANSFORMATOR DI JARINGAN DISTRIBUSI (STUDI DI FEEDER GJN 6 GI GEJAYAN)

Janny F. Abidin

Jurusan Teknik Elektro

Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta

Jl. Babarsari, Condongcatur, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55287

wiyandjogja@ymail.com

Abstrak

Beban listrik telah berubah pada dua puluh tahun terakhir ini, dari beban linier menjadi beban non-linier. Perubahan beban tersebut memunculkan berbagai permasalahan pada sistem listrik, seperti *loss*, efisiensi, ketidakcocokan pengukuran dan kehandalan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi *Total Harmonic Value* (THDv dan THDi) pada transformator distribusi berdasar pengukuran pada hasil jalur kerja transformator dan menggunakan program ETAP 7.5. Evaluasi pada nilai harmonik total dan nilai transformator sebenarnya untuk digunakan untuk desain mengaplikasikan tapis harmonik paralel pada jalur transformator untuk mengurangi nilai total harmonik dan untuk mendefinisikan *rating* atau kapasitas yang tersedia untuk keberadaan transformator.

Hasil pengukuran dan analisis dari dua sampel transformator yang diteliti pada *feeder* jaringan distribusi 20 kV, GJN6, menunjukkan bahwa semua nilai dari *Total Harmonic Distortion voltage* (THDv) dan *Total Harmonic Distortion current* (THDc) pada transformator telah melebihi nilai standar IEEE 519-192.

Dari hasil penelitian ditemukan bahwa transformator perlu menggunakan tapis harmonik untuk mengurangi nilai THDv dan THDi pada sampel transformator yang diteliti. Kemudian, dengan menggunakan ETAP 7.5 (paket perangkat lunak analisis) untuk analisis perhitungan THDv dan THDi, ditemukan bahwa nilai dari THDv dan THDi sedikit berada dibawah nilai standar IEEE 519-192.

Kata Kunci: Transformator Distribusi, THDi, THDv, Tapis Harmonik

Abstract

The electrical loads have changed on the last twenty years from linier load to non-linier load. That changing of loads make to many problems on the electrical system such as loss, efficiency, displacemet measuring and reliable.

The aim of this research is to evaluate of total harmonic value (THDv and THDi) at the distribution transformers based on measuring at work line of transformer result and using packaging program ETAP 7.5. Evaluation of the total harmonic and the real value transformers to using for design aplicating the paralel harmonic filter at the line of transformer for reduced the harmonic total value and to defined the rating or capacity which avaliabile for transformer existing.

The analysis and measuring results of two sample transformers that researched at the 20kV distribution network feeder GJN 6 were shown that all values of Total Harmonic Distortion voltage (THDv) and Total Harmonic Distortion current (THDc) in the transformer have been over of standart value IEEE 519-192.

Based on the research results that transformers need to applicate the harmonic filters for reducing THDv and THDi values in the transformer research samples. Then, with using ETAP 7.5 (software package analiysis) for calculating analysis of THDv and THDi, it found that the value of THDv and THDi declined fewer than standard value IEEE 519-192.

Key words : Distribution transformer, THDi, THDv, Harmonics filter

1. Latar belakang

Harmonik merupakan gangguan yang terjadi pada sistem listrik akibat terjadinya distorsi arus dan tegangan. Pada dasarnya harmonik adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang sinusoidal dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Pertumbuhan beban tak linier belakangan ini yang pesat dan meluas mengakibatkan bertambahnya masalah yang diakibatkan oleh harmonik.

Arus harmonik akan mengakibatkan distorsi bentuk gelombang tegangan sehingga tidak berbentuk sinusoidal murni lagi. Hal ini sangat mengganggu bagi peralatan listrik yang didesain beroperasi pada gelombang tegangan sinusoidal. Akibatnya banyak kerugian yang akan diderita, di antaranya peralatan listrik menjadi lebih cepat panas sehingga dapat terjadi kegagalan isolasi yang berujung pada kerusakan atau makin pendek umur dari peralatan. Kesalahan ukur pada kwh-meter jenis induksi, makin besarnya rugi daya pada mesin listrik, kegagalan fungsi pada sistem elektronik, sistem komputer, sistem kendali dan sistem rele atau pengaman (Wagner dkk, 1993).

IEEE telah menerbitkan standar tentang batas-batas total distorsi harmonik tegangan (*voltage total harmonic distortion*), total distorsi harmonik arus (*current total harmonic distortion*) dan pengendalian harmonik dalam sistem tenaga pada titik sambung bersama (*point of common coupling*), yaitu standar IEEE 519-1992.

1.1 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

- a. Mengevaluasi nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) arus dan tegangan berdasarkan observasi variasi beban di jaringan (mengadakan pengukuran dan analisis pada beberapa transformator distribusi yang bebahan berat dan berpotensi harmonik).
- b. Menentukan rating transformator dan desain tapis paralel (*shunt filter*) *double tuned* yang sesuai untuk meminimalisasi harmonik yang berpengaruh besar pada total nilai harmonik di transformator yang diteliti

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi nilai harmonik pada tranformator yang diteliti berdasarkan hasil pengukuran dan nilai dasar dan pengaruh harmonik sebagai usaha untuk menyesuaikan rating kapasitas transformator (ratingisasi) dengan memperhitungkan pengaruh harmoniknya selanjutnya akan dilakukan upaya minimisasi nilai total harmonik tegangan dan arus harmonik dengan mendesain tapis pasif *paralel double tuned*.

2. Landasan Teori

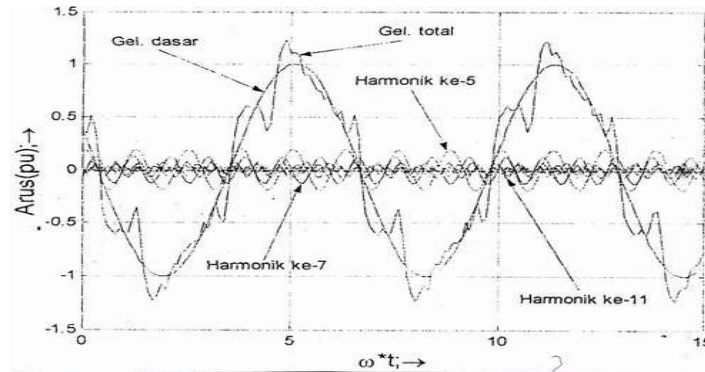
2.1 Definisi Harmonik

Harmonik didefinisikan sebagai komponen sinusoidal dari periodik atau besaran yang frekuensinya merupakan kelipatan bulat dari frekuensi fundamental. Apabila komponen frekuensinya dua kali frekuensi fundamental, maka disebut harmonik ke-2 [3].

Jadi pada sistem daya 50 Hz, komponen harmonik, h , yang berbentuk sinusoidal mempunyai frekuensi:

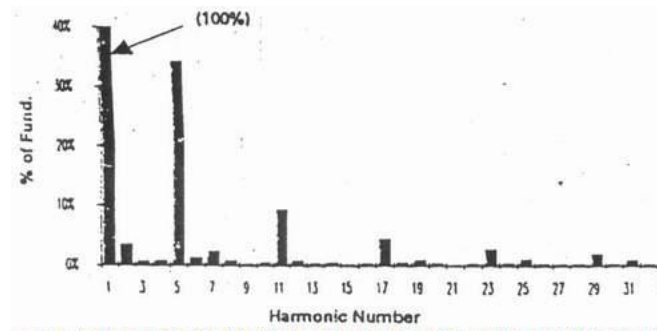
$$h = n \times 50 \text{ Hz} \tag{1}$$

dimana n adalah bilangan bulat seperti ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Gelombang total yang dibentuk oleh gelombang dasar dan beberapa harmonik, digambarkan dalam kawasan frekuensi

Gambar 1 memperlihatkan harmonik pertama atau gelombang fundamental, gelombang harmonik ke-5, ke-7, ke-11 dan gelombang total atau gelombang terdistorsi yang dibentuk oleh gelombang fundamental, gelombang harmonik ke-5, ke-7, dan ke-11.



Gambar 2. Spektrum harmonik komponen fundamental dan komponen harmoniknya, disajikan dalam kawasan frekuensi

Amplitudo setiap harmonik dapat digambarkan dalam satu kurve yang disebut dengan spektrum harmonik. Pada umumnya spektrum distorsi harmonik disajikan tanpa memperlihatkan komponen fundamental seperti pada gambar 2.

2.2 Distorsi Harmonik

Distorsi harmonik disebabkan oleh beban-beban tak linier dalam sistem daya, dimana besar arus tidak proporsional dengan tegangan yang digunakan. Bentuk gelombang yang terdistorsi dapat diekspresikan sebagai jumlah dari gelombang sinusoidal, bilamana sebuah gelombang sama dengan satu siklus hingga ke siklus berikutnya, maka dapat direpresentasikan sebagai jumlah dari gelombang sinus murni yang mana frekuensi dari masing-masing sinusoidal tersebut adalah kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamental yang gelombangnya terdistorsi. Jumlah sinusoidal ini direpresentasikan dalam analisis fourier.

A. Tegangan dengan distorsi arus

Distorsi tegangan pada sistem tenaga disebabkan oleh interaksi antara arus beban yang terdistorsi dan impedansi linier sistem. Dimisalkan bahwa sumber pada gambar (2.5)

adalah ideal sehingga tidak ada distorsi pada titik A. Sumber tersebut mengalirkan daya ke beban tak linier pada bus B melalui jaringan distorsi linier. Impedansi linier Z pada jaringan tersebut terdiri dari elemen induktif L dan elemen resistif R.

Arus yang mengalir karena beban tak linier akan menentukan distorsi tegangan pada bus B dapat dicari dengan:

$$V_B = V_S - (I_d \times Z) \quad (2)$$

Bagian dari "IdZ" adalah taksinusoidal karena Id adalah taksinusoidal. Jumlah distorsi tegangan pada bus B akan tergantung dari besarnya bagian "IdZ" ini. Jika sistem tidak mempunyai impedans (Z = 0, tidak ada rugi-rugi) maka tidak ada distorsi yang terjadi pada bus B. Bagian drop tegangan "IdZ" dapat dicari dengan

$$I_d Z = \sum_{n=1}^{n=N} I_h (R \times jX_h) \quad (3)$$

$$X_h = 2\pi f_0 h L \quad (4)$$

dengan, Id adalah arus beban tak linier

fo frekuensi dasar

h orde harmonik

B. Distorsi harmonik total/total harmonic distortion (THD)

Faktor distorsi menggambarkan tingkat gangguan harmonik pada jaringan listrik. Ada beberapa pengukuran yang umum digunakan, salah satu yang paling umum adalah distorsi harmonik total (THD) yang akan digunakan dalam penelitian ini, untuk tegangan ataupun arusnya.

$$\text{Tegangan, THD}_V = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{\infty} V_h^2}}{V_1}, \text{ arus, THD}_I = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (5)$$

Dimana V1 dan I-1 merupakan fundamental sedangkan Vh dan Ih komponen harmonik ganjil (3,5,7....n). Ukuran dari distorsi individual untuk tegangan dan arus harmonik ke-h, masing-masing didefinisikan sebagai Vh/V1 dan Ih/I1

C. Distorsi faktor daya

Sebagian besar kasus hanya sedikit porsi daya rata-rata yang disumbangkan oleh komponen harmonik dan total distorsi tegangan kurang dari 10 % sehingga:

$$P_{f_{tot}} \approx \frac{P_1}{V_1 I_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} \quad (6)$$

2.3 Batas Distorsi Harmonik

Ada berbagai batas distorsi harmonik di beberapa negara. Kebanyakan industri menggunakan batas distorsi yang dikeluarkan oleh IEEE std-519-1992 (B-15).

A. Batas distorsi arus

Tabel 1. Batas distorsi arus untuk sistem distribusi menurut IEEE 519-1992 (120 V sampai 69 kV)

Distorsi arus harmonik maksimum (% dari I_L)						
Urutan harmonik individual (harmonik ganjil)						
I_{sc}/I_L	< 11	$11 \leq h < 17$	$17 \geq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
< 20	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
$50 < 100$	10,00	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0

B. Batas distorsi tegangan

Tabel 2. Batas distorsi tegangan pada point of common coupling (PCC) menurut IEEE 519-1992

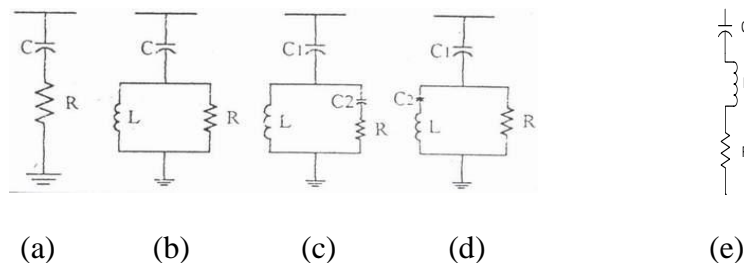
Tegangan Bus pada PCC	Batas harmonik individual (%)	THD _V (%)
$V \leq 69 \text{ KV}$	3.0	5.0
$69,001 \text{ KV} - 161 \text{ KV}$	1.5	2.5
$V \geq 161$	1.0	1.5

2.4 Teknik Mengurangi Distorsi Harmonik

Ada berbagai teknik yang dapat digunakan untuk memperbaiki gelombang cacat atau terdistorsi, antara lain: tapis, injeksi arus harmonik dan transformator penggeser fase. Teknik yang paling sederhana dan praktis diterapkan adalah tapis paralel pasif.

A. Filter Penala Tunggal/Single Tuned Filter (STF)

Umumnya tapis terbagi menjadi dua kelompok yaitu tapis pasif dan tapis aktif. Tapis pasif terbuat dari elemen-elemen kapasitor, induktor, dan resistor. Tapis pasif dapat berupa tapis penala dan tapis peredam seperti diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3. Konfigurasi tapis pasif yang banyak dijumpai; (a) tapis penala tunggal; (b) tapis peredam frekuensi tinggi; (c) tapis peredam frekuensi tinggi orde-1; (d) tapis peredam frekuensi tinggi orde ke-2; (e) tapis peredam frekuensi tinggi orde ke-3.

Hubungan antara impedansi tapis dan frekuensi untuk nilai R, L dan C tertentu dengan frekuensi resonansi 50 Hertz adalah:

$$Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (7)$$

Ketajaman penalaan ditentukan oleh faktor kualitas yang didefinisikan sebagai perbandingan reaktansi induktif atau kapasitif pada frekuensi resonansi dengan resistansi tapis.

$$Q = \frac{X_o}{R} \quad (8)$$

Frekuensi resonansi diberikan oleh:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f_1 \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (9)$$

dengan, f_1 adalah frekuensi fundamental

X_C adalah reaktansi kapasitif pada frekuensi fundamental

X_L adalah reaktansi induktif pada frekuensi fundamental

3. Cara Penelitian

3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah:

1. Diagram satu garis sistem penyulang listrik penyulang GJN (panjang = 7566 meter)
2. Data beban tiap transformator (Data pengukuran harmonik arus dan tegangan)

3.2 Alat Penelitian

Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Perangkat keras (komputer) yang dipergunakan untuk membuat dan menguji program komputer dengan spesifikasi: processor pentium, *harddisk* 80 Megabyte, CD room LG 52X Max, Monitor Samsung Magic Syncmaster 17". Dan 1 unit printer HP Deskjet D1360 dan Canon iP1980
2. Alat ukur harmonik HOKI 3286-20 (gambar 4)



Gambar 4. Alat ukur HOKI 3286-20

Tabel 3. Data Pengukuran Harmonik Arus dan tegangan trafo J&P 50 kVA

No. Pole : U3-29/1 J&P50 kVA							
Arus Harmonik	R-N (Amp)	S-N (Amp)	T-N (Amp)	Tegangan Harmonik	R-N (Volt)	S-N (Volt)	T-N (Volt)
1	37,3	47,7	28,5	1	225,1	221,3	222,2
3	1,8	1,5	2,3	3	1,7	1,5	1,1
5	2,0	2,4	2,4	5	3,7	5,0	4,5
7	0,4	1,7	1,0	7	1,4	1,4	1,8
9	0,4	0,6	0,6	9	0,3	0,6	0,3
11	0,3	0,3	0,2	11	0,7	0,2	0,5
13	0,3	0,2	0,2	13	0,4	0,3	0,3

Tabel 4. Data pengukuran Harmonik Arus dan tegangan trafo Trafindo 100 kVA

No. Pole : U3-29/11 Trafindo 100 kVA							
Arus Harmonik	R-N (Amp)	S-N (Amp)	T-N (Amp)	Tegangan Harmonik	R-N (Volt)	S-N (Volt)	T-N (Volt)
1	66.3	83.3	76.1	1	224,3	226,2	223,0
3	9.5	14.1	6.4	3	6,0	4,5	5,9
5	1.9	3.1	0.5	5	4,7	4,5	5,3
7	2.1	1.6	2.5	7	1,6	1.6	1,8
9	0.6	2.5	1.1	9	1,4	2,0	1.4
11	0.1	0	0	11	0,1	0,7	0,3
13	0.7	0.7	0.7	13	0.8	0,4	0,7

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Tahapan-tahapan yang harus dilalui dalam penelitian ini secara garis besar dibagi menjadi:

1. Menentukan daerah atau wilayah penelitiandi GJN 6 PT. PLN (Persero) UPJ Jogjakarta Utara dan mengevaluasi jenis beban yang terpasang pada tiap transformator (beban existing) yang mempunyai potensi yang besar terhadap adanya pengaruh harmonik pada peralatan (dalam penelitian dipilih daerah Seturan sampai Babarsari (Catur Tunggal, Sleman))
2. Mengukur besarnya nilai arus, tegangan, harmonik arus dan harmonik tegangan pada tiap transformator serta faktor daya rata-rata diambil faktor daya jaringan sebesar 0,9
3. Memulai langkah penelitian yaitu pertama, melakukan perhitungan total distorsi tegangan (THDv) dan total harmonik arus (THDi) dari hasil pengukuran arus dan tegangan harmonik pada tiap transformator yang diteliti.
4. Selanjutnya dilakukan evaluasi dengan membandingkan kelayakan kapasitas transformator yang terpasang dengan total pembebanan dan pengaruh harmonik pada transformator yang diteliti.
5. Selanjutnya dilakukan desain tapis harmonik untuk mengurangi pengaruh harmonik arus dan harmonik tegangan pada transformator yang diteliti, dengan tujuan untuk meminimisasi harmonik arus dan tegangan agar sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
6. Kesimpulan dan saran

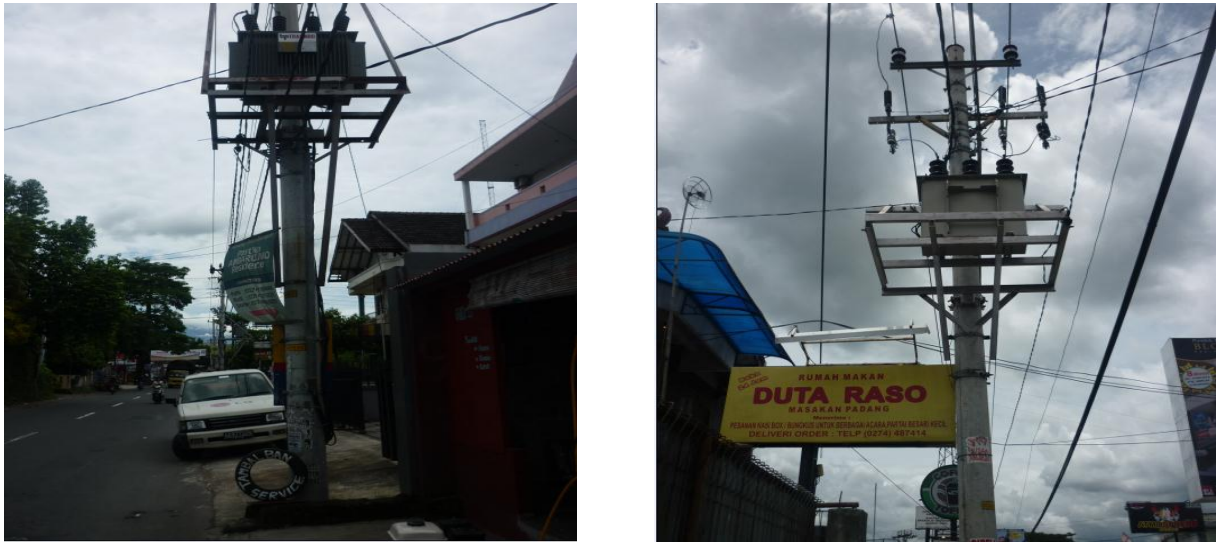
4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Analisis Arus dan Tegangan Harmonik

Berdasarkan hasil survey dan evaluasi data beban-beban pada tiap daerah di wilayah penyulang Gejayan 6 maka ditentukan bahwa daerah beban-beban yang berpotensi harmonik adalah jaringan sepanjang daerah Seturan (belakang UPN ringroad utara sampai dengan jalan Solo) dengan jarak sekitar 1,6 kM. Beban-beban di daerah Seturan, tempat data ini diambil meliputi antara lain: Warnet, Pertokoan, Bengkel, Perumahan, Rumah Makan, Pusat Olah-Raga dan Kampus.

A. Analisis Arus Harmonik dan THDi

Adapun gambar transformator serta tabulasi dan perhitungan nilai THDi dari hasil pengukuran harmonik di objek atau tempat penelitian di jaringan Gejayan 6 dan dapat ditampilkan pada gambar 5, berikut ini :



Gambar 5. Transformator Trafindo pada No.Pole : U3-29/11 dan U3-29/1

Tabel 5. Harmonik Arus pada Trafo J&P50 kVA dan Trafindo 100 kVA

J&P 50 kVA No. Pole : U3-29/1				Trafindo 100 KVA No. Pole : U3-29/11			
Arus Harmonik	R (Amp)	S (Amp)	T (Amp)	Arus Harmonik	R (Amp)	S (Amp)	T (Amp)
1	37,3	47,7	28,5	1	66,3	83,3	76,1
3	1,8	1,5	2,3	3	9,5	14,1	6,4
5	2,0	2,4	2,4	5	1,9	3,1	0,5
7	0,4	1,7	1,0	7	2,1	1,6	2,5
9	0,4	0,6	0,6	9	0,6	2,5	1,1
11	0,3	0,3	0,2	11	0,1	0	0
13	0,3	0,2	0,2	13	0,7	0,7	0,7
3 s/d 13	5,4	6,9	7,4	3 s/d 13	15,5	22,8	11,7
1 s/d 13	42,7	54,6	35,9	1 s/d 13	81,8	106,1	87,8
THDi	14,48%	14,47%	25,96%		18,95%	21,45%	13,33%

Dari tabel 5, terlihat bahwa nilai harmonik sebagian besar telah melebihi standar IEEE 519-192, selanjutnya sebagai konsekuensi dari nilai harmonik yang besar menyebabkan nilai *Total Harmonic Distortion Arus* (THDi) pada masing-masing fase R, S, dan T menjadi relatif besar dengan nilai THDi berada diantara 14,48% sampai dengan 25,96% pada trafo J&P 50 kVA dan 13,33% sampai dengan 21,45% pada trafo Trafindo 100 kVA, dimana nilai THDi ini juga telah melebihi dari nilai yang diijinkan THDi oleh berbagai negara (Finlandia, Jerman, USA, UK dan Swedia) yaitu sebesar 10%.

B. Analisis Tegangan Harmonik dan THDv

Di samping nilai arus harmonik dan THDi, nilai tegangan harmonik dan THDv juga merupakan komponen penting yang perlu diketahui dalam menganalisis pengaruh harmonik pada pengoperasian peralatan, dan jaringan. Ratingisasi kapasitas trafo dan pengurangan nilai harmonik tegangan pada peralatan dan jaringan merupakan salah satu usaha untuk meningkatkan keandalan dan keamanan peralatan dan jaringan. Nilai tegangan harmonik dan THDv akan menentukan evaluasi nilai kapasitas transformator untuk menentukan apa perlu dilakukan ratingisasi atau perlu pengurangan nilai harmonik pada peralatan atau jaringan. Adapun tabulasi dan perhitungan nilai harmonik tegangan dan THDv dari hasil pengukuran harmonik tegangan fase-netral R-N, S-N dan TN (1 fase) di objek atau tempat penelitian pada jaringan Gejayan 6 dan ditampilkan pada tabel 6.

Hasil-hasil pengukuran dan perhitungan nilai tegangan harmonik dan THDv fase-netral yang ditampilkan pada tabel 6, mempertlihatkan bahwa seluruh nilai THDv pada 2 sampel pengukuran yang dianalisis telah melebihi nilai 5% (batas THDv di negara Eropa dan USA 4% sampai dengan 5%). Hasil pengukuran dan perhitungan nilai THDv fase-netral terkecil pada 2 trafo yang diteliti yaitu 3,6% dan terbesar 7,4%. Hal ini mengisyaratkan bahwa perlu adanya penanganan secara serius untuk mengantisipasi pengaruh harmonik di peralatan dan jaringan.

Tabel 6. Harmonik tegangan pada Trafo J&P 50 kVA

J&P 50 kVA No. Pole : U3-29/1				Trafindo 100 KVA No. Pole : U3-29/11		
Tegangan Harmonik	R-N (Volt)	S-N (Volt)	T-N (Volt)	R-N (Volt)	S-N (Volt)	T-N (Volt)
1	225,1	221,3	222,2	224,3	226,2	223,0
3	1,7	1,5	1,1	6,0	4,5	5,9
5	3,7	5,0	4,5	4,7	4,5	5,3
7	1,4	1,4	1,8	1,6	1,6	1,8
9	0,3	0,6	0,3	1,4	2,0	1,4
11	0,7	0,2	0,5	0,1	0,7	0,3
13	0,4	0,3	0,3	0,8	0,4	0,7
3 s/d 13	8,9	9,5	8,1	15,9	15,6	16,4
1 s/d 13	234,0	230,8	230,3	240,2	241,8	239,4
THDv	3,9%	4,4%	3,6%	7,0%	6,9%	7,4%

C. Ratingisasi Transformator Karena Pengaruh Harmonik

Berdasarkan data dan hasil perhitungan harmonik arus dan tegangan maka pada bagian ini akan dianalisis pengaruh harmonik arus dan tegangan pada kelayakan kapasitas tiap transformator yang diteliti. Adapun analisis pengaruh harmonik arus dan tegangan pada tiap transformator dipaparkan sebagai berikut:

Tabel 7. Evaluasi kelayakan transformator J&P 50 kVA dan TD 100 kVA

Fase	Parameter Arus			Evaluasi (%)	Harmonik			Evaluasi (%)
	Arus (Amp)	Tegangan (Volt)	Daya (kVA)		Arus (Amp)	Tegangan (Volt)	Daya (kVA)	
R – N	42,7	234,0	9,99		81,8	240,2	19,65	Layak

S – N	54,6	230,8	12,60	Layak	106,1	241,8	25,65	
T – N	35,9	230,3	8,23		87,8	239,4	21,02	
Total	133,2		30,82	61,64%	Total	133,2	66,32	66%

Hasil perhitungan pengaruh harmonik untuk evaluasi kelayakan transformator pada peralatan dan jaringan di penyulang GJN 6 yang ditampilkan pada tabel 7. dapat dilihat bahwa walaupun nilai rata-rata THDi dan THDv tiap transformator telah cukup besar atau telah melebihi batas dari aturan-aturan yang di tentukan, namun hasil perhitungan evaluasi kelayakan sebagian besar transformator yang diteliti masih sangat layak, hal ini dibuktikan hasil evaluasi kelayakan kapasitas transformator sebagian besar pembebann pada transformator masih lebih kecil dari 70%,

4.2 Desain Tapis untuk Mengurangi Distorsi Harmonik

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan pada bagian 4.1 di atas terlihat bahwa nilai harmonik arus ditiap objek yang diteliti yaitu pada 2 transformator di wilayah kerja penyulang GJN 6 di daerah Seturan dan Babarsari ternyata rata-rata telah melebihi batas ketentuan nilai maksimal harmonik arus (THDi maksimal 10%) dan harmonik tegangan (THDv maksimal 5%). Salah satu upaya yang paling efektif untuk mengurangi nilai harmonik arus dan harmonik tegangan pada peralatan dan jaringan yaitu dengan pemasangan tapis harmonik yang dapat disesuaikan dengan penalaan harmonik yang akan dihilangkan atau dikurangi nilai. Adapun penjelasan dan analisis desain tapis pada tiap transformator yang diteliti akan dijelaskan pada bagian-bagian selanjutnya.

A. Desain Tapis pada trafo J&P 50 kVA di No.Pole : U3-29/1

Dari tabel 4.1 dan 4.6 terlihat bahwa total harmonik arus pada transformator J&P 50 kVA di No. Pole : U3-29/1 ditiap fase (R-N, S-N dan T-N) telah melebihi batas ketentuan yang di berikan yaitu maksimal 10%, walaupun nilai total harmonik tegangan (THDv) pada tiap fase masih lebih kecil dari batas yang ditentukan yaitu 5%. Berdasarkan pertimbangan pengurangan pengaruh harmonik arus dan tegangan diperalatan dan jaringan serta berdasarkan data pengukuran dan perhitungan nilai total harmonik arus dan total harmonik tegangan maka pada transformator J&P 50 kVA di No. Pole : U3-29/1 akan dilakukan pengurangan harmonik ke 3, 5, 7 dan 9 pada fase R-N, S-N, dan T-N, karena nilai-nilai harmonik pada transformator tersebut cukup besar. Adapun detail langkah-langkah dan analisis pengurangan harmonik dengan pemasangan tapis harmonik adalah sebagai berikut :

B. Menentukan besarnya KVAR tapis yang dibutuhkan

Berdasarkan data-data dan apabila direncanakan dengan pemasangan tapis dilakukan pada tiap fase pada jaringan tegangan rendah maka berdasarkan hasil perhitungan komponen R, L, dan C pada tapis harmonik untuk menghilangkan pengaruh harmonik ke 3, 5, 7 dan 9 pada transformator J&P 50 kVA di No. Pole : U3-29/1 ditunjukkan pada tabel 8 sebagai berikut:

Tabel 8. Nilai Komponen Tapis pada transformator J&P 50 kVA

Transformator J&P 50 kVA di No. Pole : U3-29/B									
Harmonik	Fase R – N (Ω)			Fase S – N			Fase T – N		
	Xc (Ω)	X _L (Ω)	R (m Ω)	Xc (Ω)	X _L (Ω)	R (m Ω)	Xc (Ω)	X _L (Ω)	R (m Ω)
	3	38,00	4,22	9,03	29,29	3,25	6,95	48,90	5,43
5	1,52		3,25	1,17		2,50	1,96		4,19
7	0,78		1,67	0,60		1,28	1,00		2,14

9		0,47	1,01		0,36	0,77		0,60	1,28
---	--	------	------	--	------	------	--	------	------

Berdasarkan hasil perhitungan komponen R, L, dan C pada tapis harmonik untuk menghilangkan pengaruh harmonik ke 3, 5, 7 dan 9 pada transformator Trafindo 100 KVA di No. Pole : U3-29/11 ditunjukkan pada tabel 9 sebagai berikut:

Tabel 9. Nilai Komponen Tapis pada trafoTrafindo 100 KVA

Transformator Trafindo 100 KVA di No. Pole : U3-29/11									
Harmonik	Fase R – N (Ω)			Fase S – N			Fase T – N		
	Xc (Ω)	X _L (Ω)	R (m Ω)	Xc (Ω)	X _L (Ω)	R (m Ω)	Xc (Ω)	X _L (Ω)	R (m Ω)
	3	20,36	2,26	4,84	15,79	1,75	3,74	18,90	2,10
5	0,81		1,73	0,63		1,15	0,76		1,63
7	0,42		0,88	0,32		0,68	0,39		0,83
9	0,25		0,53	0,19		0,41	0,23		0,49

4.3 Analisis Arus Harmonik dan THDi Setelah Pemasangan Tapis

Pemasangan tapis harmonik dimaksudkan untuk mengurangi pengaruh harmonik terutama harmonik arus dan THDi agar sesuai dengan batasan harmonic arus atau THDi yang telah ditentukan. Penelitian di tujukan untuk mengurangi nilai harmonik 3, 5, 7 dan 9 dimana nilai harmonik tersebut sangat besar dan mendominasi nilai total harmonik arus pada tiap transformator, secara analisis teoritis ideal maka pemasangan tapis yang digunakan mengurangi nilai harmonik yang sesuai dengan nilai penalaan tapis yang di desain. Adapun setelah pemasangan tapis harmonik untuk menghilangkan pengaruh atau nilai harmonik 3, 5, 7 dan 9 akan menghasilkan besarnya nilai THDi baru yang ditampilkan pada tabel 10 sebagai berikut:

Tabel 10. Harmonik Arus pada Trafo J&P 50 kVA

J&P 50 kVA No. Pole : U3-29/1				Trafindo 100 KVA No. Pole : U3-29/11		
Arus Harmonik	R (Amp)	S (Amp)	T (Amp)	R (Amp)	S (Amp)	T (Amp)
1	37,3	47,7	28,5	66.3	83.3	76.1
11	0.3	0,3	0,2	0.1	0	0
13	0.3	0.2	0.2	0.7	0.7	0.7
Total : 11 s/d 13	0,8	0,7	1,1	1,4	1,5	1,2
THDi	2,10%	1,45%	3,72%	2,07%	1,77%	1,55%

4.4 Perbandingan Nilai Harmonik Sebelum dan Setelah Pemasangan Tapis

Dari tabel 10 terlihat bahwa nilai harmonik sebagian besar telah memenuhi standar IEEE 519-192, selanjutnya sebagai konsekuensi dari pengurangan (minimalisasi) nilai harmonik menyebabkan nilai *Total Harmonic Distortion Arus*(THDi) pada masing-masing fase R, S, dan T menjadi relatif kecil dengan nilai THDi berada diantara 1,45% sampai dengan 3,72% pada transformator J&P 50 KVA dan 1,55% sampai dengan 2,07% pada transformator trafindo 100 KVA dimana nilai THDi ini juga telah memenuhi dari nilai yang diijinkan THDi oleh berbagai negara (Finlandia, Jerman, USA, UK dan Swedia) yaitu sebesar

10%. Adapun perbandingan nilai sebelum dan setelah pemasangan tapis harmonik dapat ditampilkan pada tabel 11 berikut :

Tabel 11. Nilai THDi Sebelum dan Setelah Pemasangan Tapis Harmonik

Perbandingan Nilai THDi						
Transformator & No. Pole	Sebelum Pemasangan Tapis			Setelah Pemasangan Tapis		
	Fase			Fase		
	R (%)	S (%)	T (%)	R (%)	S (%)	T (%)
J&P 50 kVA No. Pole : U3-29/1	14,48	14,47	25,96	2,10	1,45	3,72
Trafindo 100 KVA No. Pole : U3-29/11	23,37	23,37	15,37	2,07	1,77	1,55

5. Kesimpulan

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya mengenai retengisasi kapasitas transformator dan reduksi nilai harmonik dengan desain tapis pada jaringan distribusi penyulang GJN 6 di PT. PLN (Persero) PLN UPJ Jogjakarta Utara khususnya di daerah yang diteliti yaitu daerah Seturan dan Babarsari, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan pada transformator yang diteliti, nilai *Total Harmonic Distortion* Arus (THDi) Fase-Netral yaitupada tranformator J&P 50 nilai THDi terkecil 14,47% dan terbesar 25,96% sedangkanpadatransformator Trafindo 100KVA mempunyai nilai THDi terkecil 3,33% dan terbesar 21,45%. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan pada 2 transformator sampel penelitianterlihat bahwa pada semua transformator yang diteliti memiliki nilai THDi yang melebihi nilai yang diijinkan yaitu sebesar 10%,
2. Hasil pengukuran dan perhitungan nilai tegangan harmonik dan THDv Fase-Netral mempertlihatkan bahwa seluruh nilai THDv sampel transformator yang diukur telah melebihi batas nilai yang diijinkan yaitu 5%, kecuali 1 sampel transformator yaitu tranformator J&P 50 kVA No. Pole : U3-29/B (nilai harmonik tegangannya < 5%).
3. Hasil analisis dan evaluasi ratingisasi kapasitas transformator terpasang akibat pembebanan dan pengaruh Total Harmonik pada 2 sampel transformator yang diteliti memperlihatkan bahwa transformator yang diteliti masih layak digunakankarena persen pembebanan masih < 85%yaitu sebesar 61,64% untuk trafo J&P 50 KVA dan 66% pada trafo Trafindo 100 KVA.
4. Hasil analisis setelah pemasangan tapis harmonik diseluruh sampel transformator pada penelitian ini (difokuskan pada pengurangan nilai harmonik 3, 5, 7 dan 9) memperlihatkan bahwa nilai harmonik (THDi) pada seluruh sampel seluruhnya berkurang dan telah memenuhi syarat batas nilai harmonik ($\leq 10\%$) dimana nilai minimal harmoniknya minimal menjadi 1,45 % dan maksimalnya 3,72% pada trafo J&P 50 KVA dan minimal 1,55% dan maksimal 2,07% pada trafo trafindo 100 KVA.

Daftar Pustaka

- [1] Arrilangga J., Bradley, D.A, Bodger, P S, 1985, *Power System Harmonic*, New York, John Willey&Sons.
- [2] F.A. Janny., M. Arsyad, 2005, *Desain dan Analisis Pemasangan Autotransformator Penggeser Fase dan Tapis Harmonik Untuk Meminimisasi Total Distorsi Harmonik Arus (TDHA)*, Yogyakarta, Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi, STTNAS.
- [3] IEEE Std. 519-1992., 1994, *IEEE Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converter*. Internet.
- [4] Ort Meyer.,dkk, 1985, *Pengaruh Adanya Komponen Harmonik Pada Sistem Tenaga Listrik*.
- [5] Penangsang O., 2002, *Faktor Daya dan Harmonisa pada Sistem Kelistrikan yang Mengandung Harmonisa*, Surabaya, Tutorial SSTE.
- [6] Roger C. Dugan., Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, New York, McGraw-Hill.
- [7] Sabar Nababan., 2001, *Tapis Paralel Pasif Untuk Mengurangi Distorsi Harmonik dan Memperbaiki Faktor Daya Beban Tak Linier*, Tesis, Yogyakarta, UGM.
- [8] Suprianto., Tumiran, Hamzah Berahim, 2005, *Evaluasi Harmonik Pada Sistem Tenaga Listrik (Studi Kasus P.T Krakatau Steel)*, Semarang, Makalah Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan, Fak. Teknik UNDIP.