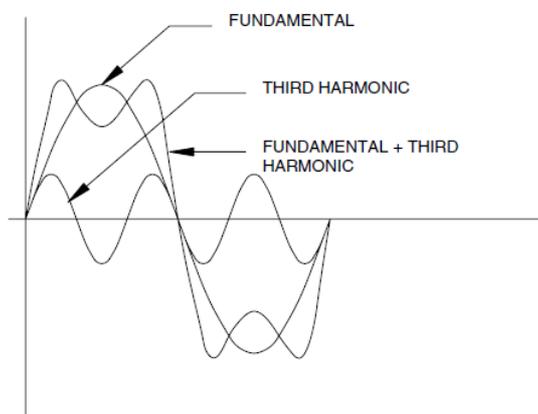


II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 HARMONISA

Pada sistem tenaga listrik, daya yang didistribusikan adalah pada level tegangan dengan frekuensi tunggal (50 Hz atau 60 Hz), tetapi karena perkembangan beban listrik yang semakin pesat dan kompleks, terutama penggunaan beban-beban non linier, akan menimbulkan perubahan pada bentuk gelombang sinusnya. Berdasarkan Standard *IEC (International Electrotechnical Commission)* 1000.4-11, gangguan harmonik tergolong dalam distorsi bentuk gelombang yang menyebabkan terjadinya perubahan pada bentuk gelombang dasarnya.

Pembangkit gelombang sinus tegangan dianggap memiliki bentuk yang ideal, namun dalam penyalurannya, semakin berkembang dan kompleksnya beban maka distorsi yang terjadi semakin meningkat. Pada beberapa titik, bentuk gelombang arus dan tegangan akan terdistorsi sebagai akibat dari karakteristik beban. Distorsi bentuk gelombang tersebut adalah acak, tetapi pada kasus ini bentuk distorsinya harmonik. Gejala ini menyebabkan terjadinya perubahan bentuk gelombang.



Gambar 2.1 Penguraian Gelombang Terdistorsi Menjadi Gelombang Frekuensi Dasar dan Harmonisa ke-3^[1].

Pada dasarnya, harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya.

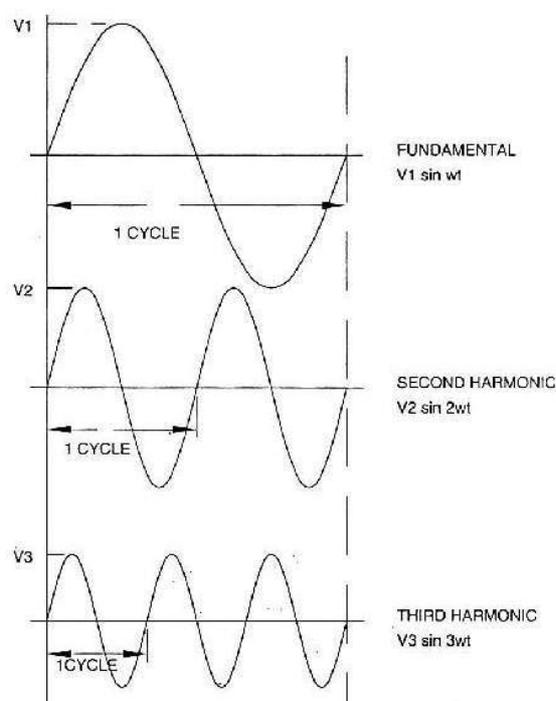
Untuk bentuk gelombang yang non sinusoidal ditunjukkan dalam Gambar 2.1 di atas, yang dinyatakan dengan deret *Fourier* yang disederhanakan seperti yang telah diformulasikan oleh *C.Sankaran(2002)* berikut ini^[1]:

$$V(t) = V_0 + V_1 \sin(\omega.t) + V_2 \sin(2\omega.t) + V_3 \sin(3\omega.t) + V_n \sin(n\omega.t) + .. \\ + V_{n+1} \sin((n+1)\omega.t) + \quad (2.1)$$

dimana V_0 adalah konstanta atau komponen dc bentuk gelombang. $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ adalah harga puncaknya.

Gelombang non sinusoidal dapat terbentuk dengan menjumlahkan gelombang-gelombang sinusoidal pada Gambar 2.2 di bawah. Sebagai contoh, gelombang non sinusoidal hasil penjumlahan gelombang *fundamental* dan gelombang

harmonisa ketiga dapat dilihat pada Gambar 2.1 di atas. Misalkan frekuensi *fundamental* (harmonisa pertama) adalah f , maka harmonisa kedua memiliki frekuensi $2f$, harmonisa ketiga memiliki frekuensi $3f$, dan harmonisa ke- n memiliki frekuensi nf . Jika frekuensi *fundamental* adalah 50 Hz, maka harmonisa kedua memiliki frekuensi 100 Hz, harmonisa ketiga memiliki frekuensi 150 Hz, dan seterusnya. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2 *Fundamental*, Harmonik Kedua, dan Harmonik Ketiga^[1].

Berdasarkan pengertian-pengertian di atas, gangguan harmonisa merupakan berubahnya bentuk gelombang sinusoidal menjadi bentuk cacat gelombang yang terjadi karena adanya interaksi antara bentuk gelombang dasar sistem dengan

komponen gelombang lain yang frekuensinya merupakan kelipatan *integer* dari frekuensi dasarnya.

2.2 CARA MENGATASI HARMONISA

Sebelum membahas lebih lanjut tentang cara mengatasi harmonisa, maka terlebih dahulu perlu diketahui mengenai beberapa istilah penting dalam harmonik. Berikut ini adalah beberapa istilah-istilah dan persamaan yang terdapat dalam analisis harmonik:

2.2.1 Orde Harmonik

Orde dari harmonik merupakan perbandingan frekuensi harmonik dengan frekuensi dasar, dimana :

$$n = \frac{f_n}{f} \quad (2.2)$$

dengan:

n = Orde harmonik

f_n = Frekuensi harmonik ke- n

f = Frekuensi dasar / *fundamental*

Sesuai dengan definisi diatas maka orde harmonik frekuensi dasar (f) adalah 1. Artinya orde ke-1 bukan merupakan harmonik, sehingga yang dianggap sebagai harmonik dimulai dari orde ke-2 hingga orde ke- n , hal ini juga sesuai dengan penjelasan dari *Tarmizi (2010)*^[2].

2.2.2 Distorsi Harmonik Individu (IHD)

Menurut saudara *Endi Sopyandi* Distorsi Harmonik Individu (IHD) merupakan rasio tegangan atau arus antara nilai RMS harmonik dengan nilai RMS dasar (*fundamental*)^[3].

$$IHD = \frac{IHD_h}{I_1} \quad (2.3)$$

Dimana: $IHD = IHD$ orde harmonik ke-h ($h=2, 3, 4, 5, \dots$)

$IHD_h =$ Nilai RMS arus atau tegangan harmonik ke-h

$I_1 =$ Nilai RMS arus atau tegangan dasar (*fundamental*)

2.2.3 Distorsi Harmonik Total (THD)

Total Distorsi Harmonik (THD) merupakan rasio nilai rms dari komponen harmonisa dengan nilai rms dari komponen dasar yang biasanya dinyatakan dalam persen (%)^[4].

Nilai THD dijadikan batasan tegangan atau arus harmonik yang masih dapat ditoleransi dalam suatu sistem tenaga listrik. Dengan adanya parameter ini, maka dapat dilihat apakah distorsi yang terjadi dalam kondisi yang masih bisa diterima sistem atau tidak. Nilai ini untuk arus ataupun tegangan dapat dihitung dengan rumus sebagaimana dijelaskan pada *Dugan, Roger.C (2003)*^[4]:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{hmax} Mh^2}}{M1} \quad (2.4)$$

dengan :

$THD = Total Harmonik Distortion$

M_h = Nilai *RMS* dari arus atau tegangan dari komponen harmonik ke-h

M_1 = Nilai *RMS* dari arus atau tegangan dari frekuensi dasar.

Besarnya pengaruh harmonik pada sistem tenaga ditentukan oleh besarnya THD yang dihasilkan. Batasan-batasan THD yang diizinkan untuk beberapa sistem tegangan berdasarkan standar IEEE 519-1992 dan PLN diperlihatkan pada tabel berikut sesuai dengan yang dijabarkan oleh *Retno Aita Diantari (2008)*^[5]:

Tabel 2.1 Batasan – batasan Distorsi Tegangan Harmonik (THD)

Standar IEEE Sistem Tegangan (kV)	Total Harmonik Distortion (%)	Standard PLN Sistem Tegangan (kV)	Total Harmonik Distortion (%)
$V_n < 69$	5 %	20	5 %
$69 < V_n < 161$	2,5 %	>70	3 %
$V_n > 161$	1,5 %		

2.2.4 Nilai *RMS*

Nilai *RMS* yang dihasilkan oleh gelombang arus/tegangan yang terdistorsi harmonik dapat dinyatakan dengan persamaan berikut, sesuai dengan formulasi pada *Dugan, Roger.C (2003)*^[4]:

$$rms = \sqrt{\sum_{h>1}^{hmax} M_H^2} = M_1 \cdot \sqrt{1 + THD^2} \quad (2.5)$$

dimana : M_h = Nilai *RMS* dari arus atau tegangan ke-h

2.2.5 Komponen Harmonik

Berikut ini merupakan beberapa komponen-komponen yang terdapat dalam harmonik:

a. Daya dan Faktor Daya

Seperti penjelasan dari saudara *Adrianto (2007)*, bahwa daya kompleks adalah daya yang merupakan penjumlahan antara daya aktif dengan daya pasif. Daya aktif (daya nyata) adalah daya yang diserap oleh beban untuk melakukan kerja yang sesungguhnya. Daya reaktif adalah daya yang tidak terlihat sebagai kerja nyata dan biasanya dipengaruhi oleh komponen reaktif seperti induktor. Berikut adalah persamaan daya aktif (P) dan reaktif (Q) rata-rata pada kondisi non sinusoidal^[6]:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_h \cdot I_h \cdot \cos(\varphi_h) = \sum_{h=1}^{\infty} P_h \text{ Watt} \quad (2.6)$$

$$Q = \sum_{h=1}^{\infty} V_h \cdot I_h \cdot \sin(\varphi_h) = \sum_{h=1}^{\infty} Q_h \text{ Var} \quad (2.7)$$

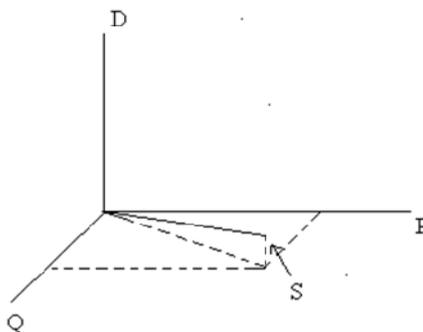
Secara umum, daya kompleks (S) dapat dinyatakan dengan:

$$S = V \cdot I \quad VA \quad (2.8)$$

Dalam kondisi non sinusodal, daya kompleks dapat dinyatakan dengan:

$$S = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + D^2} \quad VA \quad (2.9)$$

Berikut ini gambar diagram vektor tiga dimensi yang menunjukkan hubungan antara P, Q dan D seperti yang telah dijabarkan oleh *Dugan (2003)*^[4]:



Gambar 2.3 Vektor Hubungan Komponen Daya pada Kondisi Non Sinusoidal^[4].

b. Urutan Fasa Harmonik

Dalam kasus studi khususnya sistem tiga fasa tentu tidak lepas dari urutan fasa. Studi harmonik dalam sistem tiga fasa mengidentifikasi bahwa tidak semua komponen harmonik mempunyai urutan fasa seperti phasor sebenarnya. Menurut teori komponen simetris dapat diidentifikasi menjadi tiga buah kelompok, yaitu: urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol. Seperti yang dijelaskan terlebih dulu oleh *Adrianto (2003)* ketiga urutan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini^[6]:

Tabel 2.2 Urutan Orde

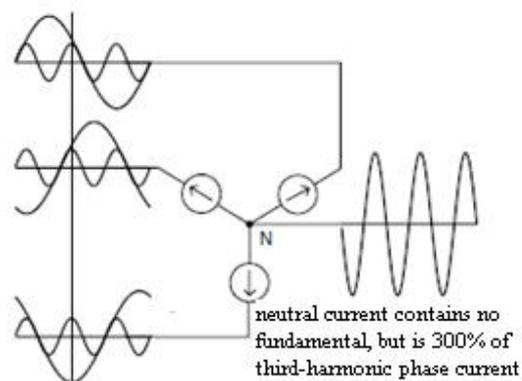
Orde harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	..
Urutan fasa harmonik	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	..

Jadi secara teratur pola urutan fasa setiap orde harmonik dapat dinyatakan sebagai berikut:

- Urutan fasa positif (*positif sequence*) = $3h+1$
- Urutan fasa negatif (*negative sequence*) = $3h-1$
- Urutan fasa nol (*zero sequence*) = $3h$

c. Triplen Harmonik

Berdasarkan penjelasan *Dugan (2003)* Triplen harmonik merupakan kelipatan ganjil dari harmonik ketiga ($h=3, 9, 15, 21, \dots$). Pada sistem 3 fasa 4 kawat seimbang (Gambar 2.4), arus urutan nol dan arus triplen harmonik akan tetap ada dan mengalir melalui kawat netral. Hal ini disebabkan triplen harmonik memiliki fasa dan waktu yang sama antara ketiga fasanya sehingga pada kawat netral akan ditemukan arus harmonik urutan nol yang besarnya tiga kali lipat dari arus harmonik urutan nol pada salah satu fasa^[4].



Gambar 2.4 Arus Netral Tinggi Akibat Triplen Harmonik^[4]

d. Standar Batasan Harmonik

Beberapa standar batasan harmonik pada sistem tenaga listrik telah dipublikasikan diantaranya adalah standar IEEE std. 519-1992, IEC 61000-3-4, IEC61000-3-6, dan lain-lain. IEC biasanya digunakan untuk daerah Eropa dan standar ANSI banyak digunakan di Amerika. Mengenai standar yang dipakai dalam skripsi ini juga salah satu dari beberapa standar itu, yang mana standar yang digunakan dalam skripsi ini adalah standar IEEE std. 519-1992 yang ditampilkan dalam Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 di bawah ini, seperti yang dijabarkan oleh *C.Sankaran (2003)* dimana standar ini memberi batasan nilai THD untuk tegangan dan juga arus^[1]:

Tabel 2.3 Batas Distorsi Arus Harmonisa untuk Sistem
Distribusi Umum (120 V sampai 69 kV)

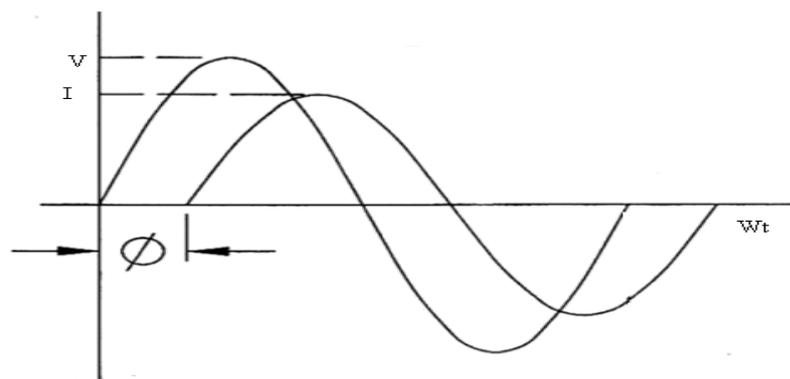
Nilai I_{sc}/I_L	Nilai IHD pada setiap Orde (%)					Nilai THD (%)
	<11	$11 \leq h < 23$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$23 \leq h$	
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Tabel 2.4 Batas Distorsi Tegangan

Bus Voltage	IHD _V (%)	THD _V (%)
< 69 kV	3,0	5,0
69,00001kV ≤ V <161 kV	1,5	2,5
161,001 kV ≤ V	1,0	1,5

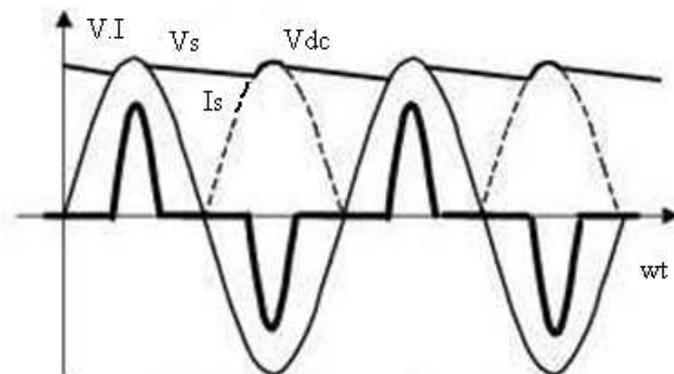
e. Faktor Penyebab Harmonik

Pada sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier memberikan bentuk gelombang keluaran linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan perubahan tegangan. Sedangkan beban non-linier memberikan bentuk gelombang keluaran arus yang tidak sebanding dengan tegangan dasar setiap setengah siklus karena adanya perubahan impedansi dari beban itu sendiri sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangannya tidak sama dengan gelombang masukannya sesuai dengan penjelasan *Syafrudin Masri (2012)*^[7].

Gambar 2.5 Karakteristik Gelombang Arus pada Beban Linier^[7]

Hal yang sama juga dijelaskan oleh *Syafrudin Masri (2012)*, bahwa beban non-linier umumnya merupakan komponen semikonduktor yang pada proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap setengah siklus gelombang atau beban yang membutuhkan arus yang tidak tetap pada setiap periode waktunya^[7].

Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan/distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter beban-beban non-linier yang terpasang. Perubahan bentuk gelombang ini tidak berkaitan dengan sumber tegangannya.



Gambar 2.6 Karakteristik Gelombang Arus pada Beban Non Linier^[7]

2.2.6 Teknik Mereduksi Harmonik

Saat masalah harmonik telah menimbulkan masalah pada suatu sistem tentunya diperlukan suatu teknik untuk mereduksinya. Ada beberapa cara yang bisa dilakukan untuk mengatasi masalah harmonik, salah satunya

adalah seperti pada penelitian ini. Berikut ini beberapa teknik mereduksi harmonik yang telah dilakukan dalam penelitian-penelitian sebelumnya:

a. *High Pass (Dumped) Tapis* ^[8].

Cara ini seperti yang telah dilakukan oleh *Margo Pujiantara (2003)* untuk mereduksi harmonik tegangan pada pabrik soda kaustik di Serang. Pada penelitian tersebut, peneliti mencoba untuk menyempurnakan tapis pasif untuk mereduksi IHD tegangan hingga mencapai <3%. Tapis awal adalah tapis penalaan tunggal pada frekuensi 204 Hz yang dicoba untuk disempurnakan sehingga bisa menala dua orde, yaitu orde 11 dan 13.

Dari penelitian tersebut didapat kesimpulan bahwa, tapis yang dirancang dapat menurunkan nilai IHD tegangan pada orde 11 dan orde 13 sekitar 1%. Kesimpulan kedua, menyatakan tapis yang dirancang pada frekuensi 550 Hz dan 650 Hz tersebut dapat menala frekuensi di atas frekuensi yang ditentukan dan juga dapat mengurangi nilai THD tegangan yang ada menjadi <5 %.

b. *Full Bridge DC-DC Converter dan Inverter* ^[9].

Sigit Prasetya, M. Zaenal Efendi, Sutedjo dalam paper yang berjudul **“Pemanfaatan Harmonisa pada Beban Non Linier Sebagai Sumber Energi Menggunakan Full Bridge DC-DC Converter dan Inverter”**, telah menjelaskan bahwa mereka menggunakan metode *detuned tapis* (pergeseran frekuensi) untuk proses pengambilan arus harmonisa yang telah ditapis.

Langkah selanjutnya adalah merancang *Full Bridge DC-DC Converter* yang digunakan untuk mengambil tegangan harmonisa dengan menentukan nilai rasio transformator, nilai induktor dan kapasitor dari tapis . Setelah itu, merancang SPWM *Inverter* yang digunakan untuk tegangan DC *ouput* dari *Full Bridge DC-DC Converter* menjadi tegangan AC. Ketiga sistem yang telah dirancang ini, kemudian digabungkan dan diuji kinerjanya secara keseluruhan.

Dari hasil pengujian sistem yang dilakukan, maka didapatkan kesimpulan untuk penelitian yang mereka lakukan. Kesimpulan tersebut menyatakan bahwa, keluaran sistem dapat mencapai tujuan yang diharapkan, yaitu *output* 232,2 V AC dengan *input* 36 V DC. Kesimpulan selanjutnya adalah tapis pasif mampu mereduksi THD arus ataupun tegangan, namun pada rangkaian *Full Bridge DC-DC Converter* transformator, tapis beralih fungsi menjadi beban sehingga mempengaruhi *output inverter* menjadi turun, dengan kata lain perancangan *Full Bridge DC-DC Converter* kurang memenuhi perencanaan awal.

c. Tapis Aktif¹⁰¹.

Eko Darmanto, Hendik Eko H. S., Renny Rakhmawati dalam paper yang berjudul “**Rancang Bangun Tapis Aktif 3 Fasa Untuk Mereduksi Harmonisa Yang Timbul Pada Rectifier 3 Fasa**”, menjelaskan bahwa mereka menggunakan tapis daya aktif parallel yang bertindak sebagai

sumber arus dan mengkompensasi arus harmonisa akibat pemakaian beban non linier. Karena prinsip kerja dari tapis daya aktif parallel adalah menginjeksi arus kompensasi yang sama dengan arus terdistorsi atau arus harmonisa, sehingga arus yang asli terdistorsi dapat dieliminasi. Untuk itu tapis aktif yang mereka gunakan dilengkapi dengan saklar VSI untuk menghasilkan atau membentuk gelombang arus kompensasi yaitu dengan mengukur arus beban dan mengurangnya dari referensi sinusoidal. Tapis daya aktif parallel ini bekerja sesuai dengan persamaan $I_s = I_L + I_f$. Tapis ini memanfaatkan kerja dari *inverter* yang berfungsi sebagai *sensor* arus dan juga sebagai pembangkit gelombang harmonisa yang digunakan sebagai referensi sistem.

Dari penelitian yang mereka lakukan didapatkan kesimpulan bahwa, setelah dilakukan pemasangan tapis bentuk gelombang arus yang semula cacat mengalami perbaikan. Kesimpulan selanjutnya menyatakan bahwa, tapis daya aktif parallel dengan metode SPWM ini, mampu mengurangi kadar harmonisa yang diakibatkan pemakaian beban non linier. Namun dengan adanya injeksi arus dari *inverter* mengakibatkan arus pada sisi masukan menjadi bertambah besar karena kompensasi.

d. Pengaturan Belitan Transformator^[11].

Chairul Gagarin Irianto, Maula Sukmawidjaja & Aditya Wisnu dalam paper yang berjudul “*Mengurangi Harmonisa Pada Transformator 3*

Fasa”, menjelaskan bahwa ada dua metode pengurangan harmonik pada sebuah transformator penaik tegangan, yaitu:

➤ Hubungan Δ - Y

Metode pertama yang dilakukan pada penelitian mereka adalah dengan cara merubah hubungan belitan transformator menjadi hubungan Δ - Y. Hubungan ini biasanya digunakan untuk menaikkan tegangan, dimana fasa netral belitan sekunder dipasang ke *ground* dan dengan memasang kawat netral pada sistem distribusi sehingga didapat kerja 4 kawat 3 fasa, sehingga bisa digunakan untuk beban domestik.

➤ Hubungan Δ - Z

Metode yang kedua adalah dengan merubah belitan sebuah transformator menjadi Δ -Z dengan sisi primer Δ dan sekunder Z, menggunakan sistem 4 kawat. Kemampuan kumparan Z yang dapat mereduksi harmonisa urutan nol pada sisi sekunder dengan impedansi yang rendah. Jika tiap fasa tidak seimbang, triplen harmonik tidak akan direduksi dengan baik pada sisi primer Δ . Maka dari itu kebanyakan dari triplen harmonik akan muncul di sisi primer. Mereduksi triplen pada sisi sekunder dengan hubung Z, berarti triplen harmonik akan terlihat impedansinya sangat kecil, dan konsekuensinya, kecil pula THDV pada sisi sekundernya.

Setelah dijelaskan metode yang akan digunakan dalam penelitian yang mereka lakukan, maka dilakukan simulasi dan pengujian sistem yang

dirancang. Dari simulasi dan pengujian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan penelitian yang menyatakan bahwa, transformator dengan Δ -Z memiliki nilai THD arus paling kecil dibandingkan transformator yang lain, walaupun masih melebihi standar. Kesimpulan selanjutnya menyatakan bahwa, pengurangan nilai THD lebih efektif menggunakan rangkaian tapis dibandingkan dengan merubah hubungan belitan transformator.

e. *Resonant-arm Filter* ^[12].

Maula Sukmawidjaja dalam paper yang berjudul “***Eliminasi Harmonik Guna Perbaikan Bentuk Gelombang Keluaran Tegangan Inverter***”, menjelaskan bahwa ada 2 metode yang digunakan untuk mengurangi harmonik. Pertama adalah modulasi lebar pulsa persegi, dengan cara eliminasi langsung dari koefisien uraian Deret Fouriernya. Kedua adalah metode modulasi lebar pulsa sinusoidal (*Sinusoidal Pulse width modulation*) yang dimodulasi oleh gelombang segitiga.

Pada penelitian yang dilakukan, peneliti menggabungkan metode-metode di atas dengan rangkaian tapis . Pertama untuk modulasi lebar pulsa persegi digabung dengan *Resonant-arm Filter* dan yang kedua modulasi lebar pulsa sinusoidal digabung dengan *low pass Filter* .

Setelah dilakukan simulasi oleh *Maula Sukmawidjaja* maka didapat kesimpulan yang menyatakan, *Resonant-arm Filter* yang digabung dengan modulasi lebar pulsa persegi dapat digunakan untuk

memperbaiki bentuk gelombang keluaran *inverter*. Namun hal ini bisa dilakukan secara teoritis, tapi bila secara prakteknya tidak bisa dilakukan karena akan terjadi pemanasan secara berlebih pada komponen induktor dan kapasitor yang digunakan sebagai tapis . Untuk menanggulangnya maka harus dilakukan modulasi lebar pita dengan perbandingan frekuensi N ditingkatkan, sehingga ukuran rangkaian tapis dapat diperkecil.

f. *Detuned Reactor*^[13].

Indhira Kusuma Wardhani, Heri Suryoatmojo, dan Ontoseno Penangsang dalam paper yang berjudul “***Analisis Pemasangan Detuned Reactor dan Perancangan Tapis Harmonisa Pada Sistem Kelistrikan Pabrik Kaca***”, menjelaskan bahwa *Detuned reactor* adalah komponen yang terdiri dari *coil* impedansi yang dipasang seri dengan kapasitor *bank* yang telah dinaikkan *range* tegangannya. Pemasangan *detuned reactor* difungsikan untuk melindungi kapasitor dari kerusakan akibat kelebihan tegangan atau arus karena nilai harmonisa yang terlalu tinggi. Fungsi lainnya adalah dapat menurunkan presentase harmonisa pada jaringan namun tidak semaksimal tapis harmonisa.

2.3 HARMONISA DI PLTU TARAHAN

Latar belakang dilakukannya penelitian ini adalah karena adanya kandungan harmonik yang berlebih pada transformator pemakaian sendiri, lebih tepatnya

untuk penggunaan gedung administrasi PLTU Tarahan. Pada gedung administrasi tersebut, beban dibedakan menjadi beberapa kriteria beban seperti yang ada pada *single line diagram*. Data terperinci untuk masing-masing beban tersebut setelah dilakukan pengukuran sebanyak dua kali adalah sebagai berikut:

2.3.1 Beban LP (Lampu Penerangan)

Beban pertama yang dilakukan pengukuran dan dianalisa adalah beban yang diberi kode LP (Lampu Penerangan). Pada beban ini diperoleh nilai sebagai berikut:

Tabel 2.5 Pengukuran Beban LP (Lampu Penerangan).

Pengukuran	Fasa	Voltage (V)	Current (I)	THD _V (%)	THD _I (%)
Pertama	R	397,7	37,0	1,7	36,9
	S	399,1	20,0	1,7	31,0
	T	398,4	16,2	1,8	49,0
Kedua	R	230,5	13,12	1,8	29,7
	S	230,2	11,09	1,5	49,4
	T	230,3	19,2	1,4	39,0

Dari tabel di atas dapat dilihat nilai dari masing-masing parameter yang diperoleh setelah dilakukan pengukuran sebanyak dua kali. Terlihat bahwa nilai THD_I secara keseluruhan terbilang sangat besar dan melewati standar yang ada, sementara untuk nilai THD_V masih dalam batas aman

2.3.2 Beban AC (*Air Conditioner*)

Beban kedua yang dilakukan pengukuran dan dianalisa adalah beban yang diberi kode AC (*Air Conditioner*). Pada beban ini diperoleh nilai sebagai berikut:

Tabel 2.6 Pengukuran Beban AC (*Air Conditioner*)

Pengukuran	Fasa	Voltage (V)	Current (I)	THD _v (%)	THD _i (%)
Pertama	R	397,5	156,6	1,6	15,5
	S	399,0	160,6	1,8	15,9
	T	398,2	155,7	2,0	17,7
Kedua	R	229,9	72,0	2,0	15,2
	S	229,9	70,6	1,8	17,6
	T	229,9	79,2	1,6	14,6

Dari tabel di atas dapat dilihat nilai dari masing-masing parameter yang diperoleh setelah dilakukan pengukuran sebanyak dua kali. Terlihat bahwa nilai THD_i secara keseluruhan terbilang tidak terlalu besar, namun nilai tersebut sudah melampaui batas standar yang ada. Sementara untuk nilai THD_v kondisi nilainya masih dalam batas aman.

2.3.3 Beban *Pump*

Beban ketiga yang dilakukan pengukuran dan dianalisa adalah beban yang diberi kode *Pump*. Pada beban ini tidak diperoleh nilai sesuai yang diharapkan, karena beban ini jarang beroperasi, nilai yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 2.7 Pengukuran Beban *Pump*

Pengukuran	Fasa	Voltage (V)	Current (I)	THD _V (%)	THD _I (%)
Pertama	R	400,2	0,14	1,5	0,0
	S	399,9	0,16	1,4	0,0
	T	399,6	0,17	1,7	0,0
Kedua	R	230,5	0,14	1,8	0,0
	S	230,5	0,14	1,8	0,0
	T	230,5	0,14	1,8	0,0

Dari tabel di atas dapat dilihat nilai dari masing-masing parameter yang diperoleh setelah dilakukan pengukuran sebanyak dua kali. Terlihat bahwa nilai THD_I dan THD_V kondisinya masih dalam batas aman.

2.3.4 Beban PM (*Positioning Motor*)

Beban selanjutnya yang dilakukan pengukuran dan dianalisa adalah beban yang diberi kode PM (*Positioning Motor*), nilai yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 2.8 Pengukuran Beban PM (*Positioning Motor*)

Pengukuran	Fasa	Voltage (V)	Current (I)	THD _V (%)	THD _I (%)
Pertama	R	399,06	0,0	1,8	0,0
	S	399,1	0,0	1,9	0,0
	T	397,9	0,0	1,6	0,0
Kedua	R	230,7	2,06	1,4	9,9
	S	230,7	2,06	1,4	9,9
	T	230,7	2,06	1,4	9,9

Dari Tabel 2.8 di atas dapat dilihat nilai dari masing-masing parameter yang diperoleh setelah dilakukan pengukuran sebanyak dua kali. Terlihat bahwa nilai THD_I dan THD_V kondisinya masih dalam batas aman.

2.3.5 Beban *Lift*

Beban selanjutnya yang dilakukan pengukuran dan dianalisa adalah beban yang diberi kode *Lift*. Pada beban ini diperoleh nilai sebagai berikut:

Tabel 2.9 Pengukuran Beban *Lift*

Pengukuran	Fasa	Voltage (V)	Current (I)	THD_V (%)	THD_I (%)
Pertama	R	399,6	2,04	1,4	9,9
	S	399,0	2,4	1,3	9,7
	T	398,2	2,35	1,4	10,1
Kedua	R	229,8	5,3	1,4	25,0
	S	229,8	5,3	1,4	25,0
	T	229,8	5,3	1,4	25,0

Dari tabel di atas dapat dilihat nilai dari masing-masing parameter yang diperoleh setelah dilakukan pengukuran sebanyak dua kali. Terlihat bahwa nilai THD_I untuk pengukuran pertama tidak terlalu besar, namun pada pengukuran kedua nilai yang didapat besar dan sudah melampaui batas standar yang ada. Sementara untuk nilai THD_V kondisinya hampir sama dengan untuk kedua pengukuran yang dilakukan, nilainya masih dalam batas aman.

2.3.6 Beban M (*Motor*)

Beban terakhir yang dilakukan pengukuran dan dianalisa adalah beban yang diberi kode M (*Motor*). Namun nilai yang diperoleh tidak sesuai dengan yang diharapkan, karena beban ini hamper tidak pernah beroperasi, nilai hasil pengukurannya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.10 Pengukuran Beban M (*Motor*).

Pengukuran	Fasa	Voltage (V)	Current (I)	THD _V (%)	THD _I (%)
Pertama	R	0,0	0,0	0,0	0,0
	S	0,0	0,0	0,0	0,0
	T	0,0	0,0	0,0	0,0
Kedua	R	231,12	0,0	1,5	0,0
	S	231,12	0,0	1,5	0,0
	T	231,12	0,0	1,5	0,0

Dari tabel di atas dapat dilihat nilai dari masing-masing parameter yang diperoleh setelah dilakukan pengukuran sebanyak dua kali. Terlihat bahwa nilai yang diperoleh banyak yang kosong, karena beban jarang beroperasi. Nilai yang didapat hanya nilai THD_V untuk pengukura kedua yang kondisinya masih dalam batas aman.