

ANALISA PENANGGULANGAN GANGGUAN HARMONIK (THD) DENGAN *FILTER* AKTIF BERBASIS *MIKROKONTROLLER* TERHADAP BEBAN MESIN *WELDING*

Agus Ponco Putro (Polman Jakarta)
Agus Sofwan (ISTN Jakarta)

Abstrak -- Beban non linear seperti diode atau thyristor rectifiers membuat arus yang tidak sinusoidal pada jaringan listrik dan mengakibatkan penurunan power quality pada utility atau pada sistem tenaga listrik di industri. Distorsi tegangan pada sistem tenaga menjadi sangat serius dengan terjadinya harmonisa ke 5 dan ke 7 yang jarang bisa diterima di konsumen listrik di industri. Peredaman harmonisa merupakan pilihan yang tepat untuk mengurangi harmonisa tegangan dan harmonisa arus. Pada penelitian ini sebuah Active Filter digunakan untuk meredam harmonisa.

Power Analyzer digunakan untuk mendapatkan data besarnya THDi dan THDv yang terjadi di laboratorium manufaktur Politeknik Manufaktur Astra. Beban non linier yang diukur adalah mesin welding dengan daya 12 kW, 18,5 kVA, 380V, 3 Ph, 50/60 Hz, dengan diberikan filter aktif yang diinjeksikan dengan menggunakan pengontrolan berbasis mikrokontroler pada jaringan listrik. Hasil simulasi dengan memasang filter aktif pada sistem distribusi dalam pengukuran diperoleh % THDi sebesar 5.14 % dan % THDv sebesar 3.82 % yang telah sesuai dengan standar %THD.

Filter aktif yang dipasang pada sistem ini, selain dapat meredam gangguan harmonik filter aktif ini juga dapat memperbesar faktor daya. Pada saat filter belum dipasang, faktor daya yang dihasilkan sebesar 0,71 dan setelah filter aktif dipasang terjadi kenaikan hingga mencapai 0,96.

Kata Kunci: Harmonik, Filter Aktif, Mikrokontroler, Welding

I. PENDAHULUAN

Peralatan-peralatan listrik yang berbasis elektronik umumnya menarik arus dari sumber dengan bentuk non sinusoidal, sehingga dapat diklasifikasikan sebagai bentuk beban non linier. Pada beban non linier selalu terdapat converter berupa penyearah yang mengkonversikan tegangan bolak-balik dari utility ke tegangan searah untuk mengoperasikan peralatan elektronika.

Besarnya arus harmonik yang dibangkitkan setiap peralatan elektronik akan proporsional terhadap kapasitas dayanya. Secara individual arus harmonik yang dibangkitkan oleh peralatan elektronik relative kecil, tetapi jika diakumulasikan seluruh peralatan pada gedung-gedung komersial arus harmonik menjadi sangat signifikan terhadap sistem.

Dalam keadaan normal, arus beban setiap fasa dari beban linier yang seimbang pada frekuensi dasarnya akan saling mengurangi sehingga arus netralnya menjadi nol. Sebaliknya pada beban non linier satu fasa, akan timbul harmonik kelipatan tiga ganjil yang disebut *triple harmonic* (harmonik ke tiga, kesembilan, kelima belas dan seterusnya). Harmonik ini tidak menghilangkan arus netral, tetapi dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi.

Tingginya tingkat kandungan harmonik yang terdapat dalam sistem distribusi tenaga listrik dapat menyebabkan kualitas daya pada sistem menjadi lebih

buruk karena faktor daya sistem menjadi lebih rendah, bentuk gelombang sistem terdistorsi, rugi-rugi daya sistem meningkat sehingga efisiensi energi semakin rendah.

Arus harmonis dihasilkan oleh beban tidak linier, salah satu beban non linier yang terjadi di workshop adalah peralatan mesin welding.

Hal ini terjadi karena pada saat proses pengelasan, arus yang masuk pada mesin welding selalu berubah-ubah. Fenomena ini mengakibatkan bentuk sinusoidal pada sistem distribusi tenaga menjadi cacat, dan dapat mengurangi kualitas listrik yang disalurkan. Akibat dari cacat gelombang tersebut, sering terjadi kerusakan di beberapa peralatan listrik yang lain

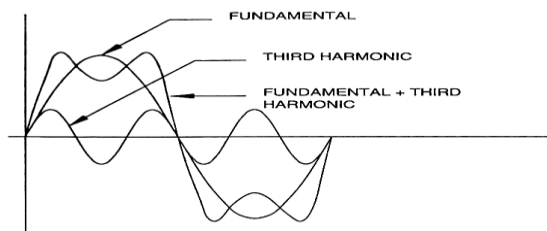
II. LANDASAN TEORI

2.1 Prinsip Dasar Harmonik

Harmonik adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya, harmonik adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya.

Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka

urutan harmonik. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonik keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 1 Gelombang Fundamental,

2.1 Standar Harmonik pada Sistem Distribusi Listrik

Harmonik yang terjadi pada system tenaga listrik harus mengacu pada standar IEEE (Institute of Electrical on Electronic Engineering) yang merupakan badan regulasi international menangani tentang kelistrikan. Standar IEEE 519-1992 Rekomendasi Praktis dan Syarat Kontrol Harmonik pada Sistem Tenaga Listrik (Distorsi Arus untuk tegangan 120 V – 69 kV). Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 memberikan gambaran tentang batas distorsi arus harmonik

Tabel 2.2 Batas Distorsi Arus Harmonik

Ratio I _{sc} / I _{load}	Harmonic odd numbers (<11)	Harmonic odd numbers (>35)	THD-i
< 20	4.0 %	0.3 %	5.0 %
20 – 50	7.0 %	0.5 %	8.0 %
50 – 100	10.0 %	0.7 %	12.0 %
>1000	15.0 %	1.4 %	20.0 %

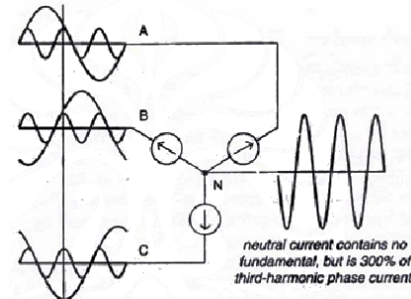
2.3 Triplen Harmonik

Triplen harmonik merupakan kelipatan ganjil dari harmonik ketiga ($h = 3, 9, 15, 21, \dots$). Triplen harmonik harus mendapat perhatian khusus, karena respon sistem yang terjadi saat triplen harmonik umumnya berbeda dengan respon dari orde harmonik yang lain. Triplen harmonik menjadi persoalan yang penting bagi sistem jaringan bintang yang ditanahkan (grounded wye systems) dengan arus yang mengalir pada netral sistem tersebut.[12]

Arus pada netral menjadi overload, karena arus antar fasanya tidak saling menghilangkan melainkan saling menjumlahkan. Terkadang, peralatan dapat salah beroperasi karena tegangan fasa yang terdistorsi cukup parah oleh triplen harmonik pada konduktor netral.

Untuk lebih memahami triplen harmonik, berikut

adalah gambar arus yang mengalir pada netral sistem akibat triplen harmonik seperti diperlihatkan pada Gambar 2.9.berikut :



Gambar 2 Arus Netral pada Sistem Wye-Grounded Akibat Triplen Harmonik

Sistem pada gambar ini merupakan sistem yang seimbang, diasumsikan komponen harmonik ketiga hadir dalam sistem. Komponen arus fundamental dari setiap fasa yang mengalir pada konduktor netral sistem akan saling menghilangkan, namun ternyata pada sistem ditemukan bahwa arus pada konduktor netral tidak nol, melainkan ada komponen arus triplen harmonik dari ketiga fasa yang saling menjumlahkan. Sehingga arus triplen harmonik yang mengalir pada konduktor netral adalah tiga kali dari arus triplen pada setiap fasanya. Hal ini disebabkan karena fasa dan waktu dari arus triplen yang sama dari setiap fasanya

2.4 Dasar Pengontrolan Harmonik

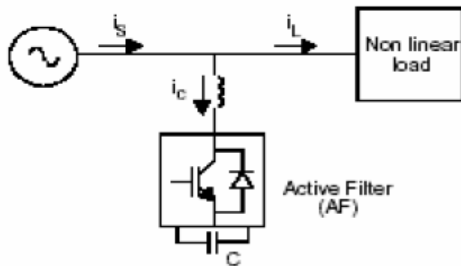
Ketika sebuah sistem tenaga listrik mengalami permasalahan distorsi harmonik, ada beberapa cara dasar untuk mengatasinya, yaitu dengan:[8]

1. Mengurangi arus harmonik yang dihasilkan oleh beban.
2. Menambah filter untuk mengalihkan arus harmonik dari sistem, memblokir arus yang memasuki sistem, atau melokalisasi arus harmonik.
3. Merubah respon frekuensi dengan menggunakan filter, induktor, dan kapasitor.

2.5 Filter Aktif

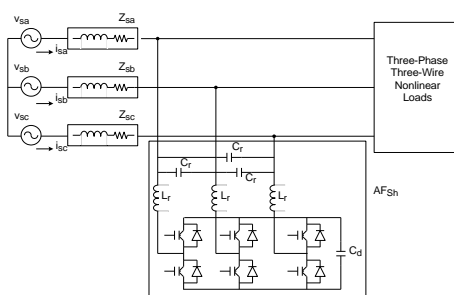
1. Prinsip dasar Filter aktif adalah membangkitkan arus atau tegangan yang sesuai dengan bentuk sinyal harmonisa pada sistem tetapi berbeda fasa 180° sehingga penjumlahan total adalah nol, dengan konsep inilah harmonisa pada system dapat direduksi. Untuk membangkitkan arys atau tegangan kompensasi yang sesuai atau mendekati komponen harmonisa menggunakan inverter. Filter aktif dapat dipasang paralel atau seri dengan sumber.

2. Filter aktif merupakan tipe baru untuk peralatan filter eliminasi harmonisa dalam sistem tenaga. Filter ini disusun dari peralatan berbasis elektronika daya. Banyak metode yang telah dikembangkan oleh pakar elektronika daya untuk mengeliminasi harmonisa dalam sistem tenaga dengan menggunakan filter aktif, seperti digambarkan pada Gambar 2.12 di bawah ini.



Gambar 3. sebuah rangkaian filter aktif pada sistem

Salah satu keunggulan filter aktif adalah dapat meredam harmonisa dari beban non linier yang semakin besar dan kontinu. Dalam rangkaian tersebut filter aktif akan menginjeksi arus untuk membatalkan harmonisa yang terkandung pada arus beban. Pada sistem 3 fasa, filter aktif dapat dirangkai sedemikian rupa seperti gambar dibawah ini. Peralatan switching yang digunakan untuk filter aktif dapat berupa mosfet, IGBT, transistor daya, GTO, PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan memerakukan pensaklaran antara peralatan dan juga periode arus nol. Gambar 2.13 menggambarkan rangkaian filter aktif 2 fasa yang dihubungkan dengan sumber 3 fasa.[1]



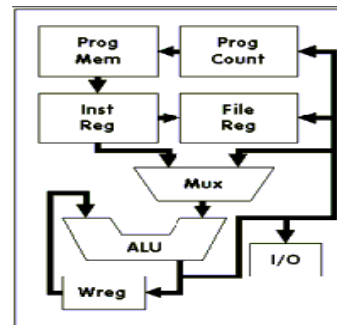
Gambar 4. Rangkaian filter aktif 3 fasa

Untuk mengeliminasi harmonisa berfrekuensi tinggi yang terkandung dalam PWM, filter induktor dan kapasitor diletakan pada sisi AC. Kapasitor disisi AC dapat juga berperan sebagai jalur arus ketika peralatan disaklarkan.

2.6 Mikrokontroler PIC

PIC (Peripheral Interface Controller) adalah IC dimana dibuat untuk mengontrol bagian bagian yang terpasang didekatnya (peripheral device), membantu kerja fungsi CPU. Jika dibandingkan dengan tubuh Manusia , CPU sebagai otaknya dan PIC sebagai syarafnya.

PIC mempunyai fungsi perhitungan dan memory seperti CPU dan dikontrol dengan software. Tetapi hanya mempunyai kapasitas memory yang tidak terlalu besar. Tergantung dari jenis PIC nya dan maximum operation clock frequency hanya 20 MHz dan kapasitas memory cuntuk menulis program hanya 1K sampai 4K word. Clock frequency akan berkaitan dengan kemampuan membaca program dan menjalankan instruksi. Pada architecture yang sama dengan menggunakan clock yang lebih tinggi akan menghasilkan kinerja yang lebih tinggi, seperti digambarkan pada Gambar 2.14 dibawah ini.



Gambar 5. Skema Mikroprocessor

Pada memory program digunakan satuan WORD untuk menyatakan kapasitasnya. Ini menunjukkan bahwa satu instruksi sama dengan 1 word. Dan juga digunakan BYTE untuk menyatakan kapasitas dari memory. 1 byte sama dengan 8 bits. Bit dimana atom menunjukkan kondisi 1 atau 0. Instruction dari PIC16F84A dibuat pada 14 bits. Yaitu $1 \times 1,024 \times 14 = 14,336$ bits jadi jika diconversikan ke word menjadi 1K. Jika dikonversikan ke byte menjadi $14,336 / (8 \times 1,024) = 1.75K$ bytes. [13]

2.7 Harmonik dalam Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Gelombang periodik non sinusoidal dapat dinyatakan dalam jumlah seri harmonik frekuensi dasar yang dinyatakan dengan analisis persamaan fourier sebagai berikut :

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t)$$

Dimana :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (1)$$

= adalah nilai f dasar untuk satu periode yaitu dari 0 hingga T

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n \omega_0 t \, dt \quad (2)$$

= adalah 2 kali nilai rata-rata $f(t) \cos n$ untuk satu periode gelombang.

$$b_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n \omega_0 t \, dt \quad (3)$$

= adalah 2 kali nilai rata-rata $f(t) \sin n$ untuk satu periode gelombang.

n = indeks gelombang.

Untuk memperoleh suatu parameter yang dipakai untuk mengukur Total Harmonic Distortion (THD) perlu diketahui prosentase tegangan dan arus harmonik, yang besarnya :

$$\%V_h = \frac{V_h}{V_s} \times 100$$

$$= h \frac{\left(\frac{I_h}{I_i} \right)}{\left(\frac{I_{sc}}{I_i} \right)}$$

$$= h \frac{I_h}{I_{sc}} \times 100$$

$$\%I_h = \frac{I_h}{I_s} \times 100$$

Dimana :

V_h = Tegangan harmonic

V_s = Tegangan system

I_h = Arus harmonic

I_{sc} = Arus Short Circuit

h = harmonic ke - n

I_{sc} / I_i = Perbandingan pada tabel limit distorsi arus harmonic

I_i = Arus yang mengambil daya beban elektronik

Dari persamaan di atas, maka dapat diperoleh nilai Total Harmonic Distortion (THD) adalah :

$$\text{» Arus THD} : I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$$

$$\text{» Tegangan THD} : V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\%$$

III. ANALISIS DAN PENGUKURAN

3.1 Perhitungan Filter Harmonik

Langkah awal dari perhitungan filter berdasarkan pengukuran besaran pada out going, yaitu :

- Power Factor = 0,86
- Tegangan 3 phasa $V = \sqrt{3} \times V_{LL}$
 $= \sqrt{3} \times 9872 = 17098,8 \text{ V} = 17,098 \text{ kV}$
- $I_L = 152 \text{ Ampere}$
- $S = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I_L$
- $= \sqrt{3} \times 17098,8 \times 152 = 45011630 \text{ VA}$
(4,5011 MVA)

Daya efektif yang dihubungkan untuk memperbaiki power faktor dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

- $Q_1 = S \times \sin(\arccos \phi)$
 $= 4,501 \times \sin(\arccos 0,86)$
 $= 2,296 \text{ MVAR}$

Apabila power faktor dinaikan menjadi 0,95 besar menjadi :

- $Q_2 = S \times \sin(\arccos \phi)$
 $= 4,501 \times \sin(\arccos 0,95)$
 $= 1,405 \text{ MVAR}$

Maka total daya reaktif yang dibutuhkan filter untuk mengkompensasi adalah :

- $Q_c = Q_1 - Q_2$
 $2,296 - 1,405 = 0,891 \text{ MVAR}$
 $= 891 \text{ kVAR}$

Kemudian menentukan reaktansi filter (X_{filter}) dengan menggunakan rumus :

$$X_{filter} = \frac{V^2 (1000)}{Q_c}$$

$$X_{filter} = \frac{17,098^2 (1000)}{891} = 328 \text{ ohm}$$

Sedangkan masing-masing nilai nilai reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif pada frekuensi penalaan 100 Hz (harmonik pada orde ke 2) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$X_c = \left| \frac{h^2}{h^2 - 1} \right| \cdot X_{filter}$$

$$X_c = \left| \frac{1,8^2}{1,8^2 - 1} \right| \cdot 328,1$$

$$= 474,5 \text{ ohm}$$

Dimana h adalah harmonik ke n

$$h = n - (10\% n) \implies 2 - (0,2) = 1,8$$

Menentukan nilai kapasitor :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 474,5} = 0,000006711 F$$

$$= 6,711 \mu F$$

Sedangkan menentukan nilai induktansi adalah :

$$X_L = \frac{X_C}{h^2}$$

$$= \frac{474,5}{1,8} = 146,47 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

$$L = \frac{146,7}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,4664 H = 466 mH$$

Rangkaian filter terdiri dari R, L dan C yang memiliki nilai, dan didapat dari perhitungan di atas, maka penentuan nilai R adalah :

Q bernilai antara 20 – 100, dipilih Q = 50, maka :

$$Q = \frac{nX_L}{R}$$

$$50 = \frac{2 \times 146,7}{R} \text{ maka } R = 5,85 \Omega$$

3.2 Pengukuran THDi dan THDv Tanpa Filter

Pengukuran THDi tanpa filter dilakukan 3 kali percobaan untuk menghasilkan data yang valid. Adapun hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 1 dan 2 di bawah ini :

Tabel 1 Pengukuran THDi tanpa Filter

Arus	P1	P2	P3	P rata	Hz
I_{IRMS}	49,55	40,74	38,86	40,05	
I₁	34,24	34,40	34,56	34,40	
I₃	7,70	7,84	7,83	7,79	
I₅	5,51	5,46	5,47	5,48	250
I₇	4,49	4,49	4,49	4,49	350
I₉	2,92	3,00	2,96	2,96	
I₁₁	2,88	2,85	2,85	286	
THDi (%)	32,90 %	32,84 %	32,83 %	32,86 %	

Tabel 2 Pengukuran THDv tanpa Filter

Teg.	P1	P2	P3	P rata	Hz
V₁	89,21	89,04	88,93	89,06	
V₃	1,11	1,02	1,02	1,05	
V₅	2,25	2,18	2,38	2,27	250
V₇	1,88	1,54	2,22	1,88	350
V₉	2,12	2,17	2,01	2,1	
V₁₁	1,59	1,56	1,59	1,58	
THDi (%)	4,50 %	4,51 %	4,49 %	4,50 %	

3.3 Pengukuran THDi dan THDv Dengan Active Filter

Rangkaian filter yang dikendalikan dengan mikroprosesor PIC PIC16F84A terdapat jalur input dan output. Jalur input digunakan untuk mendeteksi adanya lonjakan frekuensi saat proses proses pengelasan (welding), sedangkan jalur output digunakan sebagai pengendali rangkaian filter untuk meredam harmonisa.

Rangkaian kendali, relai dal filter harmonik untuk sebuah orde harmonik dapat dilihat pada tabel respon tiap relai untuk nilai frekuensi terpilih.

Tabel 3. Respon Relai tiap perubahan frekuensi

Frek. Hz	Relai 1	Relai 2	Relai 3	Relai 4	Relai 5	Relai 6
50	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
150	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
250	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
350	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
450	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
550	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
650	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON

Relai akan bekerja menghubungkan filter sesuai dengan kenaikan frekuensi yang terjadi. Pengukuran THDi dengan filter aktif dilakukan 3 kali percobaan untuk menghasilkan data yang valid. Adapun hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 di bawah ini :

Tabel 4. Pengukuran THDi dengan dipasang Filter Aktif

Arus	P1	P2	P3	P rata	Hz
I_{IRMS}	40,15	40,22	40,20	40,19	
I₁	35,76	37,75	35,74	35,75	
I₃	1,24	1,31	1,26	1,27	
I₅	0,86	0,9	0,85	0,87	250
I₇	0,82	0,9	0,83	0,85	350
I₉	0,50	0,46	0,51	0,49	
I₁₁	0,35	0,4	0,39	0,38	
THDi (%)	5,12 %	5,17 %	5,13 %	5,14 %	

Tabel 5. Pengukuran THD_v dengan dipasang Filter Aktif

Teg.	P1	P2	P3	P rata	Hz
V ₁	88,76	88,74	88,75	88,75	
V ₃	2,45	2,47	2,46	2,46	
V ₅	1,54	1,55	1,59	1,56	250
V ₇	1,23	1,24	1,25	1,24	350
V ₉	0,99	0,93	0,93	0,95	
V ₁₁	0,75	0,78	0,78	0,77	
THD_v (%)	3,82 %	3,82 %	3,82 %	3,82 %	

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai-nilai % THD dari arus maupun tegangan sudah dapat diterima/sesuai dengan standart THD yang diperbolehkan. %THD tegangan sudah dapat diterima karenastandard THD untuk tegangan yaitu 5%, untuk tegangan dibawah 69 kV. Dengan $I_{sc} = 10 \text{ kA}$ dan $I_L = 25.54 \text{ A}$, maka :
 $I_{sc}/ I_L = 10 \text{ kA} / 25.54 = 391.54$ (antara 100-1000, sesuai tabel standard minimum THDi), dengan demikian standart THD yang digunakan untuk arus adalah 15%.

VI. KESIMPULAN

1. Hasil pengukuran pada panel TR 23 yang didalamnya terdapat beberapa mesin welding harmonik yang terjadi melewati batas toleransi sehingga diperlukan pemasangan filter kapasitor harmonik.
2. Filter Aktif lebih baik dibandingkan filter pasif, hal ini dikarenakan filter aktif dapat mengatur jumlah filter yang dibutuhkan sesuai dengan perubahan beban non linier.
3. Filter kapasitor harmonik yang dipasang pada panel TR 23 pada Workshop Polman Astra merupakan filter yang sederhana dan menunjukkan kehandalan yang cukup tinggi yakni mampu menurunkan THD arus dari 32,86 % menjadi 5,14 %
4. Apabila ada penambahan beban, khususnya beban non linier maka dilakukan pengukuran ulang untuk menentukan spesifikasi filter kapasitor harmonik yang akan dipasang.
5. Khusus mengatasi harmonik pada mesin welding, dimana pada saat pengelasan akan terjadi fluktuasi arus yang sangat signifikan. Hal ini akan menjadi gangguan harmonik yang cukup tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut perlu difikirkan disain filter dengan menggunakan filter aktif.

Daftar Pustaka

- [1]. **Ambrish Chandra, Bhim Singh, B.N. Singh and Kamal-Al-Haddad** and "An improved control algorithm of shunt active filter for voltage regulation, harmonic elimination, power-factor correction, and balancing of nonlinear loads" IEEE Trans on Power Electronics Vol. 15, no 3, pp 495 – 507, May 2000.
- [2]. **Arrilaga, J, Bradley, D, A, Boderger P.S** *Power Syatem Harmonics*, NewYork : John Wiley and Sons Inc.
- [3]. **Cividino**, *Power Factor, Harmonics Distortion; Cause Effect and Considerans*, IEEE Telecommunications Energy Conference, INTELEC'92, October 1992,
- [4]. **Dahono, Pekik A**, *Pengaruh Harmonisa pada Sistem Distribusi Energi Listrik* Jakarta : Pelatihan Kualitas Daya dan Harmonisa, 2007
- [5]. **Dahono, Pekik A.**, *Kajian Indek Kualitas Tenaga Listrik* Jakarta : Pelatihan Kualitas Daya dan Harmonisa 2007
- [6]. **El-Habrouk, M., Darwish, M.K., and Mehta, P.:** 'Active power filters: A review', IEE Proc., Electr. Power Appl. vol. 147, pp. 493–413, 2000.
- [7]. **Hermanto, Bambang**, *Phenomena Harmonik di Sistem Distribusi Tenaga Listrik : Masalah, Penyebab dan Mengatasinya*, Energi dan Listril Vol VII, 1996
- [8]. **I Nengah Suweden, I Wayan Rinas**, *Analisa Penanggulangan THD pada Sistem kelistrikan di RSUP Sanglah*, Jurnal Vol 8 No. 2 Juli – Desember 2009 Teknik Eelektro Fakultas Teknik Universitas Udayana 2009
- [9]. **IEEE Load Characteristics Task Force**, *The effect of The Power System Harmonics and Power System Equipment and Load*, IEEE Trans. Power App, Sys. Vol 104 1985
- [10]. **IEEE** *Guide for harmonic control and reactive compensation of Static Power Converters*, IEEE Std. 519-1992.
- [11]. **Limantara, Limboto**, *Hybrid Active Filter Untuk Meredam Resonansi Harmonisa pada Sistem Pembangkitan di Industri*, Jurnal teknik Elektro Vol 2 No. 1 Maret 2002
- [12]. **M. H. J. Bollen**, "Understanding Power Quality Problems", *Standard Publishers Distributors*, First Indian Edition, 2001, Delhi.
- [13]. **Sharon. D**, *Robotic and Automated Manufacturing.*, Pitman Publishing London 1992
- [14]. **Wardani**, *Pengaruh Beban Industri pada Mutu Tenaga Listrik*, Energi dan Listrik, Vol 4 No. 2 Juni 1996