

Pengurangan Harmonisa Pada Beban Konverter 6 Pulsa Dengan Filter Aktif (Injeksi Ripple Dc)

Yahya Chusna Arif², Suryono³, Mufakkirul Farih¹

¹⁾ Mahasiswa D4 Jurusan Teknik Elektro Industri

^{2) 3)} Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Email: qq_rove@yahoo.com

Abstrak

Dewasa ini dalam aplikasi pengontrolan motor maupun beban lainnya di Industri banyak sekali digunakan konverter daya. Pemakaian beban non linier seperti konverter daya tersebut menyebabkan timbulnya harmonisa pada sistem. Harmonisa dapat menyebabkan bentuk gelombang menjadi tidak sinusoidal terutama arus input. Kandungan harmonisa yang melebihi batas dapat menyebabkan kualitas daya yang tidak baik maka kandungan harmonisa harus dikurangi karena dapat menyebabkan dampak negatif pada kualitas daya seperti turunnya faktor daya pada sistem. Berdasarkan standart IEEE 519-1992 besarnya harmonisa arus yang diharapkan harus di bawah 5%, salah satu cara yang dilakukan untuk mengurangi kandungan harmonisa dengan injeksi harmonisa..Kandungan harmonisa arus input bisa diturunkan tetapi ada peningkatan magnitude arus input yang cukup signifikan. Pada paper ini telah dirancang sebuah filter aktif agar mampu mengurangi kadar harmonisa yang terkandung pada sistem akibat penggunaan beban konverter 6 pulsa. Metode yang digunakan yaitu dengan menginjeksikan dc ripple memanfaatkan keluaran konverter 6 pulsa dihubungkan ke rectifier terkontrol, dimana besarnya dc ripple ini diatur dengan pengaturan penyalaaan thyristor yang disusun secara jembatan. Dari hasil yang telah dilakukan besar kandungan harmonisa sebelum diberikan arus injeksi dc ripple pada sisi input sebesar 27,5% kemudian setelah diberikan injeksi turun menjadi 13,6% dan bentuk gelombang arus input mendekati sinusoidal.

Kata Kunci : Harmonisa, Filter Aktif, Injeksi ripple

1. Pendahuluan

Semakin tingginya biaya atau tarif listrik, maka tuntutan efisiensi dalam pemakaian daya listrik menjadi pertimbangan utama. Efisiensi penggunaan daya listrik dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah sangat tergantung pada kualitas daya listrik. Permasalahan utama dalam kualitas daya adalah munculnya harmonisa yang ditimbulkan oleh beban-beban non linier. Munculnya kandungan harmonisa tersebut pada akhirnya dapat menyebabkan dampak negatif terhadap peralatan-peralatan lain yang terpasang pada sistem. Misalnya pemasangan beban non linier seperti penggunaan konverter yang mana dengan penggunaan konverter ini dapat menyebabkan arus input menjadi tidak sinusoidal. Arus yang tidak sinus tersebut apabila diuraikan ke dalam spektrum frekuensi akan mengandung beberapa nilai harmonisa. Dalam sistem tenaga listrik, kandungan nilai harmonisa yang tinggi sangat merugikan. Kandungan yang disebabkan akibat harmonisa antara lain adalah sebagai berikut: Menurunkan faktor daya pada sistem tenaga listrik, noise pada sistem informasi dan peralatan elektronik, panas pada motor, kesalahan operasi pada sistem pengaman seperti relay trip dengan sendirinya dan kesalahan pembacaan meter. Beberapa cara yang dilakukan adalah dengan memasang filter pasif atau filter aktif. Pada filter pasif ini dapat terdiri dari komponen induktor (L) dan

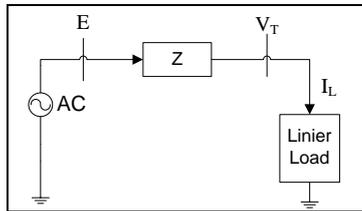
kapasitor (C) yang dipasang pada frekuensi resonansi tertentu. Upaya eliminasi harmonisa yang lain adalah penggunaan filter aktif antara lain adalah model injeksi harmonisa. Seperti yang telah dilakukan oleh Yahya^[1] dengan cara menggunakan sistem simetri dan injeksi harmonisa ketiga untuk perbaikan kualitas daya pada penyearah terkontrol tiga fasa, hanya bisa menurunkan kandungan harmonisa dari 20,14% menjadi 10% kemudian dilanjutkan Kinanta^[2] melakukan perbaikan kualitas daya metode arus injeksi harmonisa ketiga dengan cara kapasitor devider, hasilnya dapat menurunkan kandungan harmonisa arus input dari 25,4% menjadi 11,89% namun meskipun kandungan harmonisa arus input bisa diturunkan tetapi ada peningkatan magnitude arus input yang cukup signifikan. Untuk itu pada paper ini dilakukan upaya eliminasi kandungan harmonisa arus input dengan cara menginjeksi harmonisa ketiga ke dalam arus input tersebut sehingga harmonisa arus input dapat direduksi.

2. Sistem dengan Beban Linier dan beban Non Linier

Kualitas daya khususnya kandungan harmonisa juga sangat tergantung dari jenis beban pada sistem tenaga listrik itu sendiri, yaitu;

2.1 Beban Linier

Beban linier adalah beban yang menghasilkan bentuk gelombang arus sama dengan gelombang tegangan.



Gambar 1. Rangkaian dengan Beban Linier

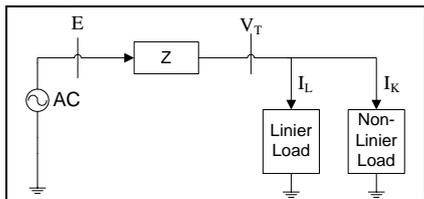
persamaan :

$$V_T = E - I_L \cdot Z$$

Apabila beban adalah beban linier maka tegangan V_T linier juga dan arus beban akan menjadi linier pula.

2.2 Beban Non Linier

Beban non linier adalah beban yang mengakibatkan bentuk arus dan tegangan tidak sinusoidal, arus tidak sinusoidal walaupun tegangan sinusoidal. Ketidak linieran dari gelombang tersebut dapat disebabkan sifat magnetis beban atau saklar semikonduktor.



Gambar 2. Rangkaian dengan Beban Non Linier

persamaan :

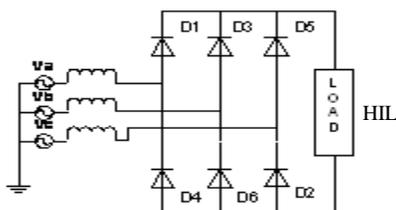
$$V_T = E - (I_L + I_K) \cdot Z$$

Apabila beban merupakan beban non linier maka akibat tambahan beban non linier I_K maka tegangan V_T menjadi non linier juga dan arus beban akan menjadi non linier.

2.2.1 Konverter 6 Pulsa

Rangkaian Konverter 6 pulsa menggunakan enam buah diode dengan urutan konduksi untuk masing-masing diode yaitu $2\pi/3$. Rangkaian full wave rectifier tiga fasa atau rectifier fasa banyak sering digunakan untuk keluaran daya yang tinggi lebih dari 15 kW. Dibawah ini merupakan hubungan rangkaian dari full wave rectifier tiga fasa

Pada rangkaian Konverter 6 pulsa urutan konduksi dari masing diodenya adalah 12, 23, 34, 45, 56, 61.



Gambar 3. Rangkaian Konverter 6 Pulsa

Nilai tegangan rata-rata dari beban (V_L Average) dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{ave} = 1,654 V_m$$

Nilai tegangan RMS dari beban (V_L rms) dapat dihitung dengan rumus :

$$V_{rms} = 1,655 V_m$$

Dengan melihat arus beban yang ditunjukkan pada gambar 1.2 kita dapat menghitung nilai rata-rata dari arus beban (I_{ave}) dengan rumus :

$$I_{ave} = I_m \sqrt{\frac{2}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0,78 I_m$$

Nilai arus RMS dari beban (I_L rms) dapat dihitung dengan rumus :

$$I_{rms} = I_m \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0,552 I_m$$

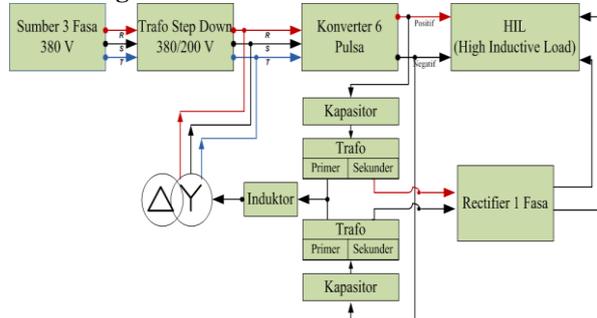
Dimana nilai

$$I_m = 1,73 V_m / R$$

Perhitungan THD sebagai berikut :

$$THD = \sqrt{\frac{I_{rms}^2}{I_{rms1}^2} - 1}$$

3. Konfigurasi Sistem



Gambar 4. Blok Diagram Sistem

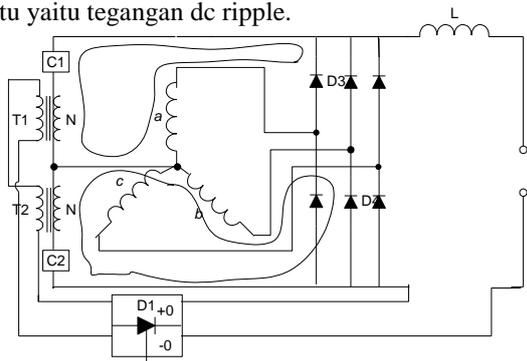
Blok diagram diatas merupakan blok diagram sistem filter aktif injeksi ripple dc, pada perancangan sistem ini adanya penyearah konverter 6 pulsa akan menghasilkan harmonisa pada sisi masukan terutama cacat pada gelombang arus. Salah satu caranya untuk mereduksi sinyal yaitu dengan cara menggunakan filter aktif, pada sistem yang akan dirancang ini metode yang digunakan pada filter aktif ini dengan memanfaatkan keluaran dari penyearah konverter 6 pulsa yang masih berupa dc ripple. Besarnya harmonisa akan ditekan dengan menginjeksikan kembali keluaran dari penyearah konverter 6 pulsa yang menghasilkan gelombang arus pada frekuensi ketiga serta mengembalikan kembali keluaran dari penyearah konverter 6 pulsa yang kemudian akan dicacah kembali melalui penyearah terkontrol 1 fasa. Kompensasi dilakukan dengan cara mengambil sisi netral dari trafo tiga fasa hubungan delta-wye yang dihubungkan melalui trafo seri dari lilitan trafo

primer. Untuk lilitan sekunder trafo seri akan masuk penyearah terkontrol dan keluaran akan dikembalikan lagi ke sisi beban.

3.1 Metode Injeksi Ripple DC

Rangkaian konverter menghasilkan sebuah tegangan ripple di masing-masing output dc. Dengan 6 pulsa dapat menyearahkan ripple yang mempunyai periode $1/6T$, dimana $T=1/f$.

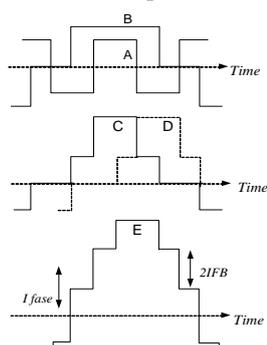
Pada konverter sisi trafo lilitan hubungan wye, untuk sisi dc bentuk gelombang tidak sinusoidal terdapat tegangan ripple $1/3T$ dari periodenya yaitu tegangan triplen frekuensi. Tegangan ini mempunyai fasa yang sama dengan yang berhubungan pada setiap sisi dc dan juga mengacu pada kondisi yang menjadi satu yaitu tegangan dc ripple.



Gambar 5. Penyearah penuh dengan penginjeksian kembali ripple T1 dan T2 merupakan trafo umpan balik; N:1, perbandinganrasio; C merupakan kapasitor block; block D1 merupakan feedback rectifier; gambar sirkulasi garis merupakan alur dari arus injeksi pada D3 dan D4 saat kondisi On

Pada sisi belitan dari trafo satu fasa yang dihubungkan dengan common mode dari tegangan dc ripple. Trafo ini menyediakan komutasi dari tegangan pada rectifier penug gelombang satu fasa yang dihubungkan pada belitan sekunder dari trafo. Keluaran dari konverter umpan balik tersebut langsung dihubungkan secara seri dengan keluaran dari rangkaian penyearah penuh tiga fasa. Frekuensi dari injeksi harmonisa dihitung melalui frekuensi suplai oleh karena itu masalah dari sinkronisasi sumber harmonisa dengan frekuensi utama tidak akan muncul.

Permasalahan dari arus injeksi yaitu pada operasi pengaturan fasanya, tetapi hal tersebut dapat diatasi dengan menggunakan rectifier terkontrol pada umpan balik. Kontrol sudut penyulutan dari rectifier umpan balik sehingga rectifier utama menjadi terkontrol, jika thyristor dari rectifier umpan balik tersebut disulut pada sudut 30° setelah proses disamakan maka rectifier utama dengan thyristor maka kemudian bentuk gelombang dari rectifier utama akan berubah menjadi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6



Gambar 6. Gelombang akibat beban induktif; A. Triplen frekuensi arus yang diinjeksikan; B. Arus rectifier sebelum modifikasi; C. Arus fase dari lilitan rectifier; D. Fase kedua pada keadaan 120° ; E. Arus fase modifikasi

Arus masukan konverter 3 fasa di gunakan persamaan Deret Fourier. Persamaan untuk arus masukan konverter 3 fasa adalah sebagai berikut :

$$i_s(t) = I_{dc} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t]$$

Karena gelombang arus masukan pada konverter 3 fasa mempunyai sifat simetri ganjil, maka nilai $a_n = 0$ dan nilai dari b_n adalah :

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_s(t) \sin n\omega t \, d\omega t$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \left\{ \int_{\pi/6}^{5\pi/6} i_a \sin n\omega t \, d\omega t - \int_{7\pi/6}^{11\pi/6} i_a \sin n\omega t \, d\omega t \right\}$$

$$b_n = \frac{4i_a}{n\pi} \cos n\pi \sin \frac{n\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{3}$$

b_n ada nilainya jika $n = 1,5,7,11,13,17,\dots$ dan

$b_n = 0$ jika $n = 2,4,6,8,10,12,\dots$

Dari persamaan diatas, maka akan didapat nilai arus input adalah sebagai berikut :

$$i_s(t) = \frac{4\sqrt{3}i_a}{2\pi} \left[\frac{\sin \omega t}{1} - \frac{\sin 5\omega t}{5} - \frac{\sin 7\omega t}{7} - \frac{\sin 11\omega t}{11} - \frac{\sin 13\omega t}{13} \right]$$

Setelah adanya injeksi arus I_f , maka arus masukan dari penyearah jembatan tiga fasa dinyatakan oleh persamaan :

$$I_{sa}(\omega t) = (0.096 I_f + 1.07 I_0) \sin(\omega t) + (0.243 I_f - 0.252 I_0) \sin(5\omega t) + (0.130 I_f - 0.140 I_0) \sin(7\omega t) + (-0.057 I_f - 0.075 I_0) \sin(11\omega t) + (0.042 I_f - 0.057 I_0) \sin(13\omega t) + \dots$$

Dimana I_f adalah nilai rms dari arus harmonisa ketiga yang bersirkulasi. Dari persamaan dengan harga arus beban tertentu I_0 , dan dengan memilih harga I_f tertentu, arus harmonisa ke-5, ke-7, ke-11 dan ke-13 dapat dikurangi.

3.2 Perancangan Alat dan Komponen

Pada perancangan injeksi arus harmonisa pada sistem dibuthkan beberapa komponen untuk dapat dilakukan injeksi diantaranya trafo tiga fasa, kapasitor, induktor.

3.2.1 Trafo Tiga Fasa

Digunakan trafo tiga fasa dengan hubungan delta wye, untuk belitan primer hubungan Y trafo dihubungkan dengan masukan penyearah dan titik netralnya dihubungkan dengan variabel induktor untuk sirkulasi harmonisa ketiga. Arus yang masuk pada

masing-masing belitan primer besarnya adalah $I_f/3$. Untuk sisi sekunder dihubungkan delta dan tidak dibebani.

Bila tegangan primer adalah V_{ab} , arus dalam sisi primer adalah

$$I = 1/3 I_f$$

Jadi daya dalam trafo :

$$S = \sqrt{3} V_{ab} I \text{ VA}$$

Bila persamaan diatas disubstitusikan diperoleh :

$$S = (V_{ab} I_f) / \sqrt{3}$$

3.2.2 Kapasitor

Kapasitor yang tersedia dalam dalam pasaran mempunyai ukuran-ukuran yang standar sehingga untuk dapat mengatasi tegangan lebih dan untuk memperoleh kapasitas yang diharapkan maka harus disusun secara paralel atau seri.

Pertimbangan pemilihan kapasitor adalah sebagai berikut :

- Koefisien temperatur terhadap kapasitansi.
- Daya reaktif perunit volume
- Rugi daya
- Kelayakan dan daya tahan
- Nilai Kapasitor

Pada rangkaian ini dibutuhkan kapasitor yang memiliki koefisien temperatur yang rendah, untuk menghindari perubahan penalaan yang disebabkan oleh perubahan kapasitansi akibat perubahan suhu lingkungan atau akibat pemanasan sendiri dari kapasitor. Tegangan kapasitor untuk rangkaian pada system ini dinyatakan oleh persamaan :

$$V_{cap} = V_0/2 + I_f/2 \cdot 1/3\omega C$$

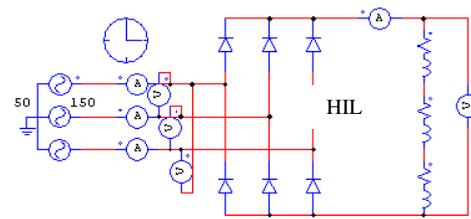
3.2.3 Induktor

Induktor yang digunakan pada rangkaian injeksi arus harus dirancang dengan anggapan bahwa induktor bekerja pada frekuensi rendah, untuk itu dipilih sedemikian rupa sehingga kerugian akibat hysteresis, arus eddy dan kejenuhan diabaikan sehingga digunakan induktor dengan inti besi laminasi (lamination iron). Ukuran dari induktor tergantung pada arus rms maksimum.

4. Hasil Pengujian

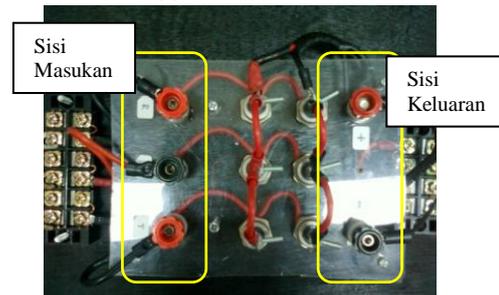
Pada pengujian sistem rangkaian secara keseluruhan, rangkaian full wave rectifier tiga fasa menggunakan beban HIL(High Inductive Load) dengan menggunakan resistor variabel dengan harapan gelombang dari sisi masukan mengalami cacat. Rangkaian konverter 6 pulsa tanpa diberikan injeksi arus.

4.1 Pengujian Sistem

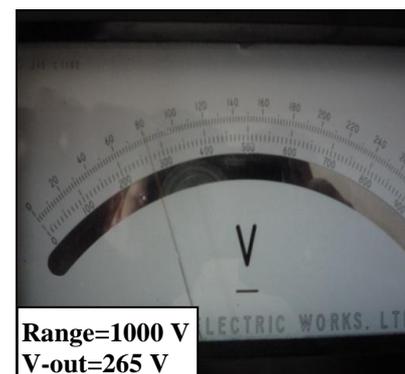


Gambar 7. Gambar rangkaian konverter 6 pulsa

Rangkaian konverter 6 pulsa diberikan tegangan masukan melalui trafo step down 380/200 volt kemudian didapatkan tegangan keluaran dari konverter sebesar 260 volt.



Gambar 8. Rangkaian Konverter 6 Pulsa



Gambar 9. Tegangan Keluaran dari Koonverter 6 Pulsa

Dengan hasil yang didapatkan maka perhitungan secara teori adalah :

$$V_{rms} = 1,655 V_m$$

$$V_{rms} = 1,655 \left(\frac{200\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \right)$$

$$V_{rms} = 270 \text{ volt}$$

Sehingga beesarnya error dapat dihitung melalui

$$\text{error} = \frac{V_{dc-teori} - V_{dc-praktek}}{V_{dc-teori}} \times 100\%$$

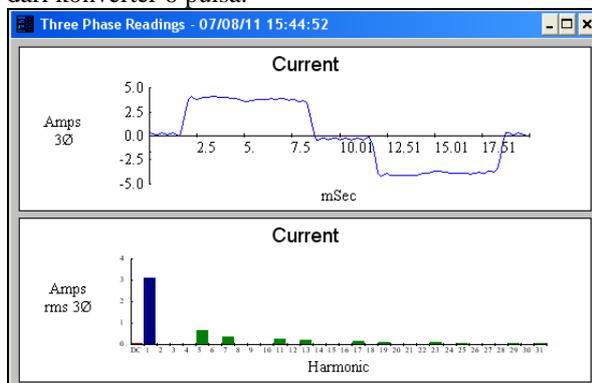
$$\text{error} = \frac{270 - 265}{270} \times 100\%$$

$$\text{error} = 1.85\%$$

Untuk arus masukan dari rangkaian konverter 6 pulsa mengalami distorsi, sehingga gelombang arus masukan menjadi cacat karena adanya harmonisa.

Sehingga terdapat fekuensi harmonisa lain yang muncul pada gelombang arus masukan tersebut.

Berikut ini gambar gelombang arus masukan dari konverter 6 pulsa.



Gambar 10. Bentuk Arus Masukan Rangkaian Konverter 6 Pulsa

Berikut data pengukuran yang ditunjukan melalui digital power fluke serta besarnya harmonisa untuk masing-masing harmonisa yang muncul akibat dari beban non linier konverter dan HIL(High Inductive Load).

Three Phase Readings - 06/09/11 13:35:02				
Summary Information		Voltage	Current	
Frequency	49.97	RMS	201.7	2.92
Power	-0.98	Peak	283.6	3.88
Kw	1.02	DC Offset	-0.2	-0.05
KVA	-0.02	Crest	1.41	1.33
Peak Kw	*	THD Rms	2.33	27.43
Phase	179° lag	THD Fund	2.33	28.53
Total PF	-0.96	HRMS	4.7	0.80
DPF	-1.00	KFactor		7.99

Gambar 11. Data pengukuran meter digital Power Fluke Meter 41B

Besar frekuensi yang muncul pada konverter 6 pulsa yaitu pada harmonisa $6k \pm 1$, sehingga yang muncul frekuensi 250 Hz, 350 Hz, 550 Hz, dan 650 Hz.

Tabel 1. Besar Spektrum arus untuk tiap frekuensi

I-1 (50Hz)	I-5 (250Hz)	I7 (350Hz)	I-11 (550Hz)	I-13 (650Hz)
2.80 A	0.61 A	0.33 A	0.25 A	0.18 A

Untuk perhitungan besarnya THD arus pada frekuensi harmonisa ke-5, ke-7, ke-11, dan ke-13 maka bisa dihitung yaitu :

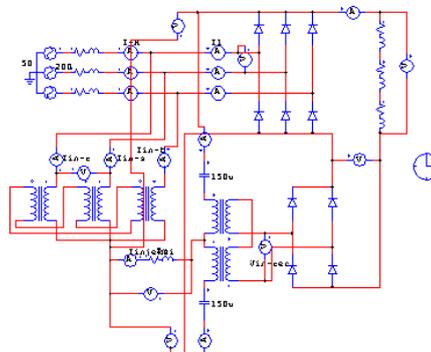
$$THD - I = \frac{\sqrt{\sum_{n=5}^{n=ganjil} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \text{ dengan nilai } = 5, 7, 11, 13$$

$$THD - I = \frac{\sqrt{(0.61^2 + 0.33^2 + 0.25^2 + 0.18^2)}}{2.8} \times 100\% = 27.10\%$$

4.2 Pengujian Integrasi secara Close Loop

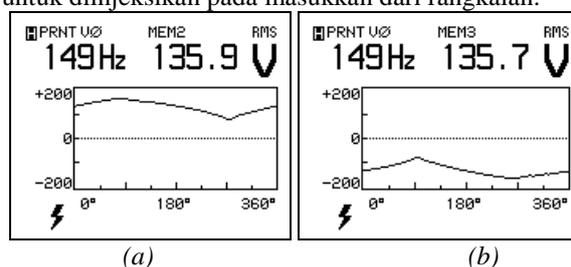
Pada tahap ini pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan cara mengijkesikan konverer 6 pulsa dengan rangkaian injeksi yang terdiri atas trafo 1 fasa sebanyak tiga buah serta induktor untuk rangkaian penyearah 1 fasa untuk pengaturan

besar arus injeksi. Dalam tahap ini dilakukan dua macam percobaan yang pertama untuk pengaturan besar arus injeksi menggunakan penyearah tak terkontrol 1 fasa sedangkan yang kedua menggunakan rangkaian semikonverter.



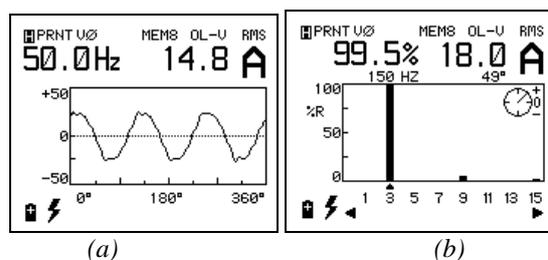
Gambar 12. Rangkaian Integrasi secara Close Loop

Dalam pengintegrasian sistem secara keseluruhan maka ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan agar penginjeksian arus bisa berfungsi sehingga dapat mengurangi besar nilai THD arus dari rangkaian konverter 6 pulsa. Tegangan V_{de} dan V_{fe} , serta besarnya tegangan V_{eN} dan juga arus pada I_{eN} . Pada parameter tersebut yang menghasilkan gelombang dengan frekuensi ketiga yaitu 150 Hz untuk diinjeksikan pada masukan dari rangkaian.



Gambar 13 (a)(b). Tegangan Keluaran dari besaran V_{de} dan V_{fe}

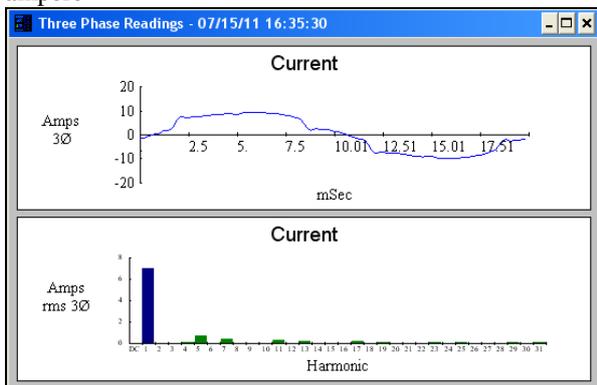
Tegangan pada titik eN mengandung frekuensi 150 Hz. Apabila tegangan pada titik eN tidak menghasilkan frekuensi ke 150 Hz maka injeksi tidak akan berjalan seperti yang diinginkan. Tegangan pada V_{eN} akan mengalir melalui sebuah induktor variabel, induktor didesain untuk bekerja pada frekuensi ke 150 Hz.



Gambar 14 (a)(b). Bentuk arus dan bentuk spektrum dari parameter I_{eN}

Berikut hasil dari pengujian dari integrasi secara close, dengan tegangan input sebesar 200 volt serta

besar arus output dibebani sebesar 14.8 ampere. Dari pengujian besar arus input menjadi tambah besar 7.09 ampere



Gambar 15. Bentuk Arus Masukan Rangkaian secara Close Loop

Berikut data pengukuran yang ditunjukkan melalui digital power fluke serta besarnya harmonisa untuk masing-masing harmonisa setelah dilakukan integrasai secara close loop.

Three Phase Readings - 07/15/11 16:35:30				
Summary Information			Voltage	Current
Frequency	49.97	RMS	201.1	7.09
Power		Peak	281.8	9.93
KW	2.44	DC Offset	-0.1	-0.05
KVA	2.47	Crest	1.4	1.40
KVAR	-0.21	THD Rms	1.98	13.63
Peak KW	*	THD Fund	1.98	13.76
Phase	5° lag	HRMS	4.0	0.97
Total PF	0.99	KFactor		2.83
DPF	1.00			

Gambar 16. Data pengukuran meter digital Power Fluke Meter 41B

Besar frekuensi yang muncul pada konverter 6 pulsa yaitu pada harmonisa 6k±1, sehingga yang muncul frekuensi 250 Hz, 350 Hz, 550 Hz, dan 650 Hz.

Tabel 2. Besar Spektrum arus untuk tiap frekuensi

I-1 (50Hz)	I-5 (250Hz)	I7 (350Hz)	I-11 (550Hz)	I-13 (650Hz)
4.96 A	0.48 A	0.28 A	0.23 A	0.15 A

$$THD - I = \frac{\sqrt{\sum_{n=5}^{n=ganjil} I_n^2}}{I_1} \times 100\%$$

dengan nilai n = 5, 7, 11, 13

$$THD - I = \frac{\sqrt{(0.48^2 + 0.28^2 + 0.23^2 + 0.15^2)}}{4.96} \times 100\% = 12.4\%$$

Setelah dilakukan injeksi ripple arus pada rangkaian maka pada sisi masukan gelombang menjadi lebih baik gelombang sinusoidal dan kadar harmonisa THD mengalami penurunan 27% menjadi 13%. Tetapi dengan dilakukan injeksi ini besar arus pada sisi masukan menjadi bertambah besar mencapai 7.09 ampere.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari semua pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. Setelah dilakukan penginjeksian arus pada sistem arus mengalami kadar harmonisa yaitu THD menjadi sesuai standart yang semula 27,1% menjadi 13,6%.
2. Dengan dilakukan injeksi arus dilakukan akan mengakibatkan besarnya arus pada sisi masukan menjadi semakin besar.

6. Daftar Pustaka

[1] Yahya Chusna Arif, Agus Indra G, "Teknik Perbaikan Kualitas Daya Pada Penyearah Terkontrol 3 Fasa Dengan Menggunakan Sistem Simetri Dan Injeksi Harmonisa Ketiga". IES 2002.

[2] Muhammad H. Rhasid, "POWER ELECTRONICS : CIRCUITS, DEVICE, AND APPLICATIONS, 2ND ED.", PT Prenhallindo, Jakarta, 1999.

[3] Kinanta S., "Perbaikan Kualitas Daya pada Penyearah Terkontrol Tiga Fasa dengan menggunakan Injeksi Harmonisa Ketiga berbasis PI Kontroller (sub judul: Injeksi Harmonisa)", Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri, PENS-ITS 2004.

[4] Baird, J.F., Arrilaga J., "Harmonic reduction in dc-ripple reinjection", Proc. IEE, C, 127, 294-303, 1980.

[5] Ardiansyah, Farit, Indhana Sudiharto, ST, MT " Rancang Bangun PFC yang dilengkapi metering dengan Pengontrolan Capacitor Bank untuk Beban Dinamis", PENS-ITS, Surabaya, 2007.

[6] Arrilaga J, "Power System Harmonic", fourth edition 1994.

[7] Yahya C.A., Suryono, Reny R., Novy Ayub W. "Buku Diktat-Kualitas Daya", PENS-ITS, Surabaya, 2005.

[8] M. Zaenal Effendi, "Desain Transformator Frekwensi Rendah (50 Hz)", Desain Komponen Magenetik 2007.

[9] Ali M. Eltamaly, Ph.D., "A Modified Harmonics Reduction Technique of Three Phase Controlled Converter", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 55, NO. 2, Februari 2008.

[10] Sikyung Kim, member IEEE. "Approach of Harmonic Suppression Based on Triple Harmonics Injection with Passive Circuit".

[11] A.Toumi, M. Ghariani, I. Ben Salah, and R. Neji, "Three Phase PFC Rectifier using a Switching Current Injection Device for Vehicle Power Train Applications", IREC (Internasional Renewable Energy Congress) November 5-7, 2010-Sousse, Tunisia.