

PEMBUATAN HARMONIC FILTER PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGUNAKAN THYRISTOR ANTI-PARALEL DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI ELEKTRIK ITN MALANG

M. Abdul Hamid, Eko Nurcahyo

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo km. 2 Malang
Telepon (0341) 417635 - 417636
E-mail : eko_nu2ng@yahoo.com

Abstrak

Pengendalian motor induksi 3 fasa dengan menggunakan pengendali thyristor anti paralel dapat menimbulkan suatu harmonisa yang akan berdampak cacat pada gelombang tegangan dan arus. Pembuatan serta Pemasangan harmonic filter disini dapat membantu untuk mengurangi harmonisa yang timbul pada sistem. Total Harmonic Distortion yang timbul pada sistem pada saat sebelum dipasang harmonic filter mencapai 6,2 %, dan setelah dipasang harmonic filter yang mana pada makalah ini menggunakan jenis tuning filter, maka Total Harmonic Distortion turun menjadi 4,9 %, dan nilai ini sudah sesuai standarisasi 5%.

Kata kunci : thyristor anti-paralel, motor induksi, matlab simulink, Harmonic Filter.

PENDAHULUAN

Secara umum, tenaga listrik didistribusikan dalam sistem tegangan sinusoidal 3 fasa. Seiring dengan semakin meluasnya penggunaan beban-beban nonlinier, gelombang arus maupun tegangan sinusoidal tersebut dapat terdistorsi dan bentuknya menjadi cacat. Kebanyakan beban yang menimbulkan cacat gelombang (*deforming loads*) adalah beban-beban yang mengandung konverter (*static converter*).

Sistem pengatur kecepatan motor induksi yang merupakan salah satu sumber utama harmonisa. Dalam hal ini pengatur kecepatan dengan mengatur tegangan terminal motor. Pengaturan tegangan tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan sepasang thyristor anti-paralel pada setiap fasenya,

Maka dalam setiap perubahan sudut sulut thyristor anti-paralel menyebabkan Harmonisa dalam sistem tenaga listrik serta dapat menimbulkan pengaruh yang tidak diinginkan.

Pengaruh tersebut antara lain: peralatan menjadi panas, *life time* peralatan menjadi berkurang, bahkan dapat menyebabkan peralatan menjadi rusak, interferensi sinyal (seperti *noise* yang terjadi pada saluran telepon) dan dapat menyebabkan *over voltage*.

Dengan menggunakan bantuan software MATLAB versi 7.0 kita dapat menganalisa *harmonic filter* yang dibutuhkan sebagai unjuk kerja pada motor induksi 3 fasa menggunakan thyristor anti-paralel dan menginputkan parameter-parameter yang dibutuhkan. Tujuan pembahasan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar harmonisa yang di hasilkan

oleh rangkaian pengendali motor induksi 3 fasa yang menggunakan pengendali thyristor anti-paralel pada sistem dan seberapa besar harmonisa tersebut dapat diminimalisir dengan cara pemasangan *Harmonic Filter* hingga dapat memenuhi ketentuan *THD (Total Harmonic Distortion)* 5 %.

Dengan menggunakan software Matlab 7.0 dapat dibandingkan secara simulasi antara pengendali thyristor anti-paralel yang sebelum dan sesudah dipasang harmonic filter.

Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian akan lebih terarah sesuai dengan tujuan dan judul yang ada maka permasalahan dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

- Analisis dilakukan pada motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar DE LORENZO/DL 1021, 1,1 kW, 220/380(Δ /Y) Volt, 4,3/2,5 (Δ /Y) Ampere, $\cos \varphi=0,83$, 50 Hz, 2830 rpm, 2 kutub.
- Pembahasan ditekankan pada analisis dengan nilai pendekatan yang ada dipasaran dari komponen harmonic filter yang digunakan untuk meminimalisasi harmonisa pada rangkaian thyristor anti-paralel untuk pengendali motor induksi 3 fasa jenis rotor sangkar.
- Pengujian pada sudut penyulutan yang sudah ditentukan yaitu saat motor dalam keadaan mantap.
- Pengukuran nilai LC berdasarkan alat ukur LCR meter Model ELC-132A dan Clamp On Power

Hitester Model 3286-20, untuk menentukan nilai orde tiap harmonisa.

- Simulasi menggunakan software Matlab 7.0
- Tidak membahas sistem proteksi motor.

KAJIAN PUSTAKA

Harmonisa

- Indeks Harmonisa

Dalam analisa harmonisa terdapat beberapa indeks yang penting untuk menggambarkan efek dan harmonisa pada komponen sistem tenaga.

- Total Harmonic Distortion (THD)

Pendefinisian rasio nilai rms komponen harmonisa ke nilai rms komponen dasar biasanya dinyatakan dalam bentuk persen. Indeks ini digunakan untuk mengukur deviasi bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinus sempurna. Pada saat terjadi gelombang sinus sempurna, nilai THD adalah nol. Indeks yang umum digunakan adalah:

Indeks yang umum digunakan adalah:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N V_n^2}}{V_1} \tag{1}$$

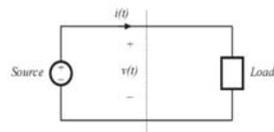
dimana :

V_n = komponen harmonisa

V_1 = komponen fundamental

n = komponen harmonisa maksimum yang diamati

- Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Tegangan
Peralatan yang diterapkan pada sistem tenaga listrik, seperti contoh yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 1. Rangkaian distribusi sederhana

Secara umum, tegangan dan arus dapat dinyatakan dalam deret fourier sebagai berikut :

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega t - \varphi_n) \tag{2}$$

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega t - \theta_n) \tag{3}$$

Maka daya aktif dapat dinyatakan sebagai :

$$P_{total} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \cos(\varphi_n - \theta_n) \tag{4}$$

Dan daya nyata dinyatakan sebagai :

$$S_{total} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \tag{5}$$

Bila daya reaktif diturunkan dengan cara yang sama sebagaimana mendapatkan daya aktif P , maka didapat :

$$Q_{total} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \sin(\varphi_n - \theta_n) \tag{6}$$

Sebuah suplai energi listrik yang disalurkan ke beberapa beban yang terhubung paralel melalui kawat penghantar

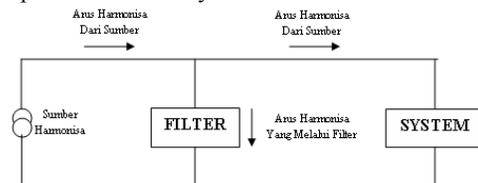
(Transmission Lines) yang mengandung impedansi sebesar Z . Apabila ada arus harmonisa yang melalui impedansi Z dan sumber, akan menimbulkan tegangan harmonisa yang besar, amplitudo tegangannya akan semakin meningkat disertai juga dengan peningkatan frekuensinya. Karena terdapat impedansi hambatan saluran, maka terdapat selisih tegangan yang dapat secara signifikan terdistorsi oleh beban, bisa berasal dari beban nonlinier yang terbagi kecil-kecil. Dimana arus akan timbul pada saat tegangan suplai mencapai titik maksimum saja. Hal ini akan menyebabkan turunnya tegangan yang melewati impedansi Z dan akan menjadi lebih besar pula apabila tegangan pada sumber mencapai titik maksimum. Sehingga tegangan yang dikirimkan pada akhirnya akan menjadi turun.

Teori Dasar Filter Harmonisa

Tujuan dari pemasangan filter harmonisa adalah untuk mereduksi mplitudo

frekuensi tertentu dari sebuah tegangan dan arus. Dengan penambahan filter harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang mengandung sumber-sumber harmonisa maka penyebaran arus harmonisa ke seluruh jaringan dapat ditekan sekecil mungkin.

Selain itu filter harmonisa pada frekuensi dasar dapat mengkompensasi daya reaktif dan digunakan untuk memperbaiki faktor daya.



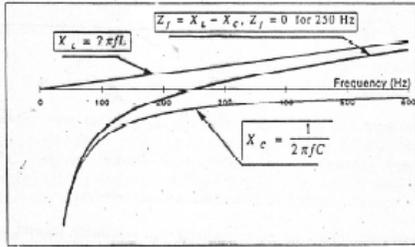
Gambar 2. Pemasangan Filter Harmonisa

Tuned Filter

Tuned filter biasanya digunakan dalam sistem tegangan tinggi untuk mereduksi arus harmonisa. Mereka terdiri atas kapasitor yang terhubung seri dengan induktif reaktor. Jika resistansi filter yang digunakan kecil maka hal ini dapat diabaikan, impedansi filter terlihat di bawah ini :

$$Z_f = X_L - X_C = 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} \tag{7}$$

Impedansi filter dengan fungsi frekuensi terlihat pada gambar 3 dibawah ini :

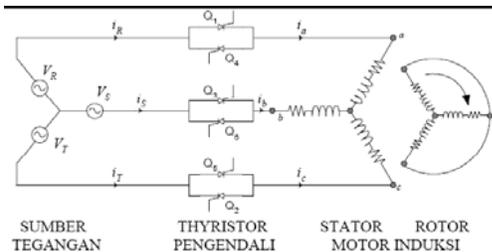


Gambar 3. Respons impedansi pada shunt filter

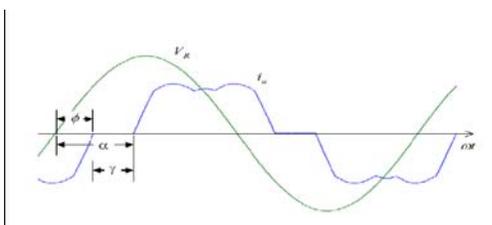
Pengendali Thyristor Anti-Paralel

Pengendali thyristor anti-paralel pada motor induksi tiga fase adalah suatu pengendalian dengan cara mengatur tegangan terminal motor. Pengaturan tegangan terminal motor tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan sepasang thyristor yang dihubungkan secara antiparalel pada masing-masing fasenya, sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4.

Sistem tersebut terdiri atas sumber tegangan tiga fase, dengan tiga pasang thyristor identik yang terhubung anti-paralel pada tiap fase motor besar. Sudut penyalaan thyristor dihitung dari titik persilangan nol tegangan sumbernya. Pengaturan tegangan terminal motor diperoleh dengan mengatur penghantaran thyristor dengan urutan tertentu. Bentuk gelombang tegangan dan arus motor ditunjukkan oleh gambar 5.

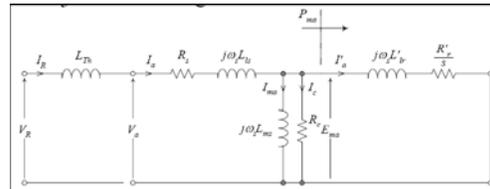


Gambar 4. Motor induksi dengan pengendali thyristor anti-paralel.



Gambar 5. Bentuk gelombang steadystate sistem pada gambar 1, $\alpha = 78^\circ$, $\Phi = 38^\circ$, $\gamma = 40^\circ$.

Motor yang dikendalikan thyristor dapat dimodelkan dengan menambahkan reaktansi seri, X_{TH} , pada setiap fase motor. Model tersebut seperti ditunjukkan oleh gambar 6.



Gambar 6. Motor induksi terkendali thyristor.

Adapun besarnya X_{TH} , didefinisikan :

$$X_{TH} = \omega L_{TH} = \frac{\omega L_f(\gamma)}{1 - f(\gamma)} \text{ ohm} \quad (8)$$

dimana :

$$f(\gamma) = \left(\frac{3}{2\pi}\right)(\gamma + \sin \gamma) \quad (9)$$

Dan

$$L = L_{ls} + L'_{lr} \quad (10)$$

Daya mekanis yang dibangkitkan adalah :

$$P_{mech} = \frac{3(1-s)}{s} R'_r (I'_a)^2 W \quad (11)$$

Torsi yang dihasilkan adalah :

$$T = \frac{P_{mech}}{\omega_m} \text{ N.m} \quad (12)$$

Dimana :

s = slip motor

ω_m = kecepatan sudut mekanis rotor

Matlab 7.0

Matlab merupakan suatu software yang sangat baik untuk digunakan menganalisa berbagai kebutuhan dalam bidang teknik. Didalam matlab terdapat dua bagian penting yaitu M-files yang digunakan untuk menuliskan listing program dan simulink digunakan untuk melakukan simulasi.

Dengan menggunakan simulink yang merupakan kesatuan dalam program tersebut kita dapat melakukan suatu pemodelan sistem kontrol atau suatu plant yang akan diatur. Hal itu dapat didesain dengan menggunakan blok-blok yang tersedia serta setting parameter-parameter akan menjadi lebih mudah. Blok-blok simulink juga dapat di bentuk dari persamaan matematika dengan menggunakan blok *transfer function* sehingga kita dapat menuliskan persamaan dalam blok tersebut sesuai dengan parameter yang kita cari.

ALGORITMA PROGRAM

Algoritma Pemecahan Program Secara Umum

1. Pengujian Parameter Motor Induksi meliputi :
 - a. DC test
 - b. Tanpa Beban (*No Load Test*)
 - c. Rotor Tertahan (*Blocked Rotor Test*)

Gambar 11. Rangkaian Tuned Filter

Untuk menghitung besarnya nilai besar kompensasi harmonic filter adalah :

$$Z_f = X_L - X_C = 2\pi f_n L - \frac{1}{2\pi f_n C}$$

Untuk impedansi ideal $Z_f = 0$, dimana dalam kenyataan terdapat nilai besar impedansi. Perhitungan Z_f ideal sebagai berikut :

Diketahui disini terdapat nilai C sebesar 8 μ F, maka :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_n C} = \frac{1}{2.3,14.250.8.10^{-6}}$$

$$= \frac{1}{0,01256} = 79,618\Omega$$

dimana :

$$X_C = X_L = 79,618 \Omega$$

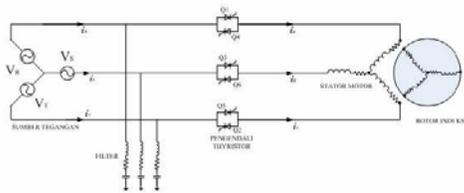
maka nilai L dapat dihitung dengan :

$$X_L = 2.\pi.f_n.L$$

$$79,618 = 2.3,14.250.L$$

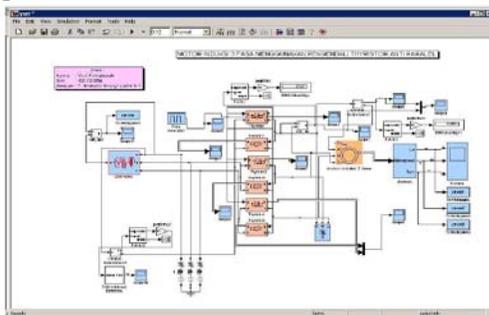
$$L = \frac{79,618}{2.3,14.250} = 50,7mH$$

Adapun pemasangan letak kapasitor dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 12. Pemasangan Tune Filter

Untuk pemasangan Tuned fileter dapat dilihat pada diagram blok simulasi dibawah ini :

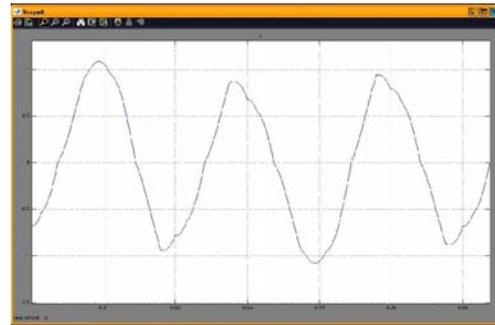


Gambar 13. Blok Rangkaian Pengendali Thyristor Anti Paralel Sesudah di Filter

Untuk $Z_f = 0$, $C = 8$ F dan $L = 50,7$ mH dalam simulasi program matlab menghasilkan gelombang arus dan tegangan serta THD sebagai berikut :



Gambar 14. Gelombang Tegangan terhadap Waktu Z_f ideal



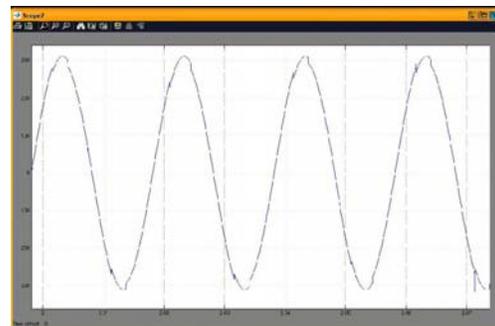
Gambar 15. Gelombang Arus terhadap Waktu Z_f ideal



Gambar 15. Gelombang THD terhadap Waktu Z_f ideal

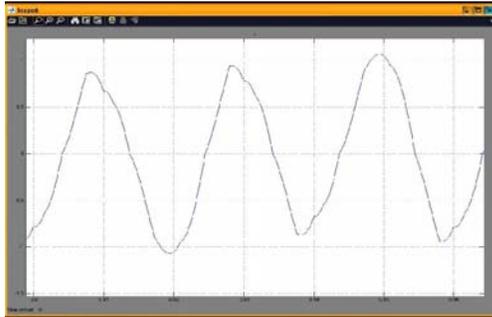
Dengan data Percobaan didapat nilai komponen C dan L berdasarkan pengukuran :

Diketahui untuk nilai dari $C_1=8,17$ F, $C_2=8,26$ F, $C_3=8.09$ F dan nilai $L_1= 46,15mH$, $L_2 = 5,72mH$, $L_3 =45,86mH$, sehingga didapatkan bentuk grafik sebagai berikut :

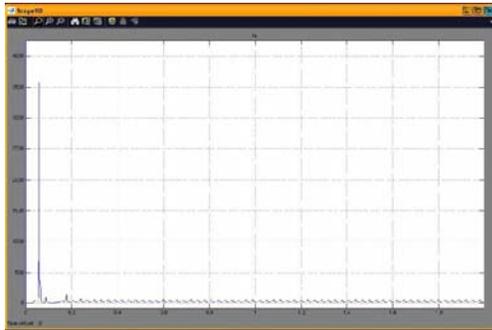


**Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008
Bidang Teknik Elektro**

Gambar 16. Gelombang Tegangan terhadap Waktu Z_f Dengan Tune Filter



Gambar 17. Gelombang Arus terhadap Waktu Z_f Dengan Tune Filter



Gambar 18. Gelombang THD terhadap Waktu Z_f Dengan Tune Filter

Dari hasil pengukuran didapatkan nilai tegangan dan arus harmonisa yang ditimbulkan dari penggunaan pengendali thyristor anti paralel sebelum dan sesudah dipasang tuned filter sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Sebelum di Filter

SEBELUM DIFILTER						
Orde H	R		S		T	
	A	%	A	%	A	%
1	0.62	100	0.58	100	0.53	100
2	0	1.4	0.01	2.2	0	1.4
3	0.02	3.5	0.01	2.4	0.02	3.4
4	0	0.6	0	0.8	0	0.4
5	0.03	4.8	0.03	4.8	0.03	4.8
6	0	0	0	0.2	0	0.3
7	0	0.8	0	0.6	0	0.4
8	0	0.3	0	0.1	0	0.1
9	0	0.6	0	0.2	0	0.6
10	0	0	0	0.2	0	0
11	0	0.3	0	0.5	0	0.4
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0.2	0	0.2	0	0.2
14	0	0	0	0	0	0.1
15	0	0.2	0	0.1	0	0.1
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0.2	0	0.1
18	0	0	0	0.1	0	0
19	0	0	0	0.2	0	0
20	0	0	0	0.1	0	0.1
THD	6.2%		5.9%		6.1%	

Tabel 2. Hasil Pengukuran Sesudah di Filter

SESUDAH DIFILTER						
Orde H	R		S		T	
	A	%	A	%	A	%
1	0.63	100	0.58	100	0.54	100
2	0	1.4	0.01	1.9	0	0.8
3	0.02	3.0	0.01	1.9	0.01	2.2
4	0	0.6	0	0.2	0	0.3
5	0.02	3.5	0.02	3.9	0.02	3.9
6	0	0.1	0	0	0	0.3
7	0	0.2	0	0.2	0	0.4
8	0	0	0	0.1	0	0.2
9	0	0.4	0	0.2	0	0.4
10	0	0.1	0	0	0	0.1
11	0	0.2	0	0.5	0	0.4
12	0	0	0	0	0	0.1
13	0	0	0	0.2	0	0.2
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0.1	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0.2	0	0.1
18	0	0	0	0	0	0.1
19	0	0.1	0	0	0	0.1
20	0	0	0	0.1	0	0
THD	4.9%		4.8%		4.7%	

Tabel 3. Hasil Pengukuran Tegangan Sebelum Dan Sesudah Di Filter

TEGANGAN				
Orde H	SEBELUM		SESUDAH	
	V	%	V	%
1	210.8	100	212	100
2	0.7	0.3	1.1	0.5
3	1.2	0.6	0.9	0.4
4	0.3	0.1	0.4	0.2
5	4.1	2.0	2.9	1.4
6	0.2	0	0.3	0.2
7	0.7	0.3	0.3	0.1
8	0.1	0	0.2	0
9	0.3	0.1	0	0
10	0.1	0	0.1	0
11	0.6	0.3	0.3	0.1
12	0	0	0.1	0
13	0.3	0.1	0	0
14	0.1	0	0.1	0
15	0.2	0	0.4	0.2
16	0	0	0.1	0
17	0.4	0.2	0.2	0
18	0	0	0.1	0
19	0.2	0	0.1	0
20	0	0	0	0
THD	2.1%		1.69%	

[4] Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drives, And Power System Fifth Edition". Laval University.

KESIMPULAN

Dari analisis penentuan harmonic filter jenis tuned filter pada pengendali motor induksi 3 fasa menggunakan pengendali thyristor anti-paralel ditarik beberapa kesimpulan :

1. Untuk percobaan dalam pemakaian tanpa filter didapatkan nilai Total Harmonic Distortion untuk arus Ir, Is, It sebesar 6,2%, 5,9%, 6,1%.
2. Pada saat sesudah dipasang filter Total Distortion pada arus Ir, Is, It sebesar 4,9%, 4,8%, 4,7%.
3. Dari bentuk gelombang tegangan dapat diperbaiki sebesar 0,41% yang semula sebelum dipasang filter nilai dari Total Harmonic Distortion sebesar 2,1% dan setelah dipasang filter menjadi 1,69%.
4. Maka dari pemasangan harmonic tuned filter ini didapat nilai total harmonisa yang sudah sesuai standart 5 %.
5. Dalam pengukuran harmonisa penggunaan pengendali thyristor anti-paralel orde harmonisa terbesar pada orde ke 5 sebesar 4,8%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jusmin Sutanto, Hernadi Buhro, Implikasi Harmonisa dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya" Dept Tek.Energi Politeknik Negeri Bandung.
- [2] Roger C. Dugan, Mark F. Mc Granaghan, Suryo Santoso, H. Wayne Beaty " Electrica Power System Quality Second Edition", McGraw-Hill.
- [3] S.Wasito, 2001. "Vademekum Elektronika Edisi Kedua" P T.Gramedia Pustaka Utama, Jakarta,