

ANALISIS REDUKSI HARMONISA PADA VARIABLE SPEED DRIVE MENGGUNAKAN FILTER LC DENGAN BEBAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Maharani Putri¹, Usman Bafaai², Marwan Ramli³
Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara, 2014
maharaniputri.amin@gmail.com

Abstrak

Motor induksi tiga fasa digunakan sebagai penggerak utama mesin-mesin di dunia industri. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai beberapa keuntungan. Namun yang menjadi pertimbangan penggunaan aplikasi ini adalah sistem pengaturan kecepatannya sangat mempengaruhi efisiensinya. Sebagian besar alat yang digunakan sebagai pengatur kecepatan putaran motor induksi tiga fasa adalah Variable Speed Drive (VSD), di mana VSD merupakan beban non linear. Pemakaian beban non linear akan menghasilkan bentuk gelombang arus dan tegangan sinusoidal yang tidak murni. Dari data pengukuran yang dilakukan menggunakan program MATLAB/Simulink dengan penggunaan sebuah Filter LC yang dihubungkan secara parallel terhadap rangkaian terdapat enam orde harmonisa yang tidak sesuai standar IEC61000-3-2 Kelas D. Dari hasil simulasi yang didapat bahwa Filter LC dengan nilai $C = 10 \mu\text{F}$, $L = 0.29 \text{ H}$, dan $R = 85 \Omega$ dapat mengurangi total distorsi harmonisa (THD) menjadi lebih kecil yaitu THD_v berkurang dari 3,5% menjadi 0,55% atau tereduksi 2,95% dan THD_i berkurang dari 102,9% menjadi 23,68% atau tereduksi 79,22 %. Hal ini menunjukkan bahwa Filter LC telah dapat mereduksi arus harmonisa pada Variable Speed Drive.

Kata Kunci : *Variable Speed Drive, Motor induksi 3 Fasa, Harmonisa, Filter LC.*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Motor induksi tiga fasa cukup banyak digunakan sebagai penggerak utama mesin-mesin di dunia industri. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai beberapa keuntungan antara lain, bentuk yang sederhana, konstruksi cukup kuat, biaya murah dan dapat diandalkan. Efisiensi tinggi pada keadaan normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi-rugi gesekan dapat dikurangi dan perawatannya yang minimum. Pada waktu mulai beroperasi tidak memerlukan tambahan peralatan khusus. Namun yang menjadi pertimbangan penggunaan aplikasi ini adalah sistem pengaturan kecepatannya sangat mempengaruhi efisiensinya dan tergantung pada jenis motor serta sistem

pengendalinya. Sebagian besar alat yang digunakan sebagai pengatur kecepatan putaran motor induksi tiga fasa adalah *Variable Speed Drive* (VSD) [1,2,3].

VSD adalah suatu peralatan di mana komponen yang ada di dalamnya merupakan beban non linear. Pada beban non linear, beban tidak lagi menggambarkan bentuk gelombang arus dan tegangan yang proporsional. Pemakaian beban non linear akan menghasilkan bentuk gelombang arus dan tegangan sinusoidal yang tidak murni. Akibatnya akan terbentuk gelombang sinusoidal terdistorsi yang akan menghasilkan harmonisa sehingga akan menurunkan kualitas sistem tenaga listrik yang dapat menyebabkan dampak negatif terhadap peralatan-peralatan lain pada instalasi [1].

¹Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

²Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

³Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

1.2 Perumusan Masalah

- Bagaimana mengidentifikasi harmonisa pada *variable speed drive* dalam pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa.
- Bagaimana mensimulasi *variable speed drive* dan filter pasif LC dengan menggunakan MATLAB/Simulink.
- Bagaimana menentukan besarnya pengaruh filter pasif LC dalam mereduksi harmonisa (IHD_I dan IHD_V) yang dihasilkan *variable speed drive* dengan daya 750 Watt sesuai acuan standar IEC 61000-3-2 kelas D.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- Motor Induksi dianggap stabil.
- Menganalisis besarnya *Individual Harmonic Distortion (IHD)* yang dihasilkan *variable speed drive* tipe ATV12H075 dengan daya 750 Watt.
- Beban berupa motor Induksi tiga fasa.
- Filter yang digunakan adalah filter pasif LC.
- Harmonisa pada *variable speed drive* dan filter akan dimodelkan dan disimulasikan menggunakan MATLAB/Simulink.
- Mengenai resonansi dan pengaruh terhadap sistem lain yang ditimbulkan oleh pemakaian filter pasif LC merupakan persoalan tersendiri dan tidak dibahas.
- Standar harmonisa yang digunakan mengiuti standar IEC 61000-3-2 kelas D.

1.4 Tujuan

Adapun yang menjadi tujuan pada penelitian untuk menganalisa dan mengidentifikasi sejauh mana pengaruh penggunaan Filter LC sebagai pereduksi akibat munculnya harmonisa pada *Variable Speed Drive* tipe ATV12H075 dengan daya 750 Watt dan mengetahui besarnya reduksi IHD_I dan IHD_V yang dapat dilakukan sesuai acuan standar IEC 61000-3-2 kelas D. Dan untuk mensimulasikan *Variable Speed Drive* serta filter LC dengan menggunakan MATLAB/Simulink.

2. Dasar Teori

2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling banyak digunakan. Penamaannya berdasarkan cara memperoleh arus pada rotornya. Arus motor ini didapat bukan dari sumber tertentu tetapi secara induksi atau imbas, sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator.

Belitan stator yang dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor pada rotor, sehingga terinduksi tegangan dan sesuai dengan hukum lenz, rotor akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara putaran medan stator dan putaran rotor disebut slip (s) [4].

$$n = \frac{120f}{p}$$

.....(2.1)

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\%$$

¹⁾ Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
²⁾ Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
³⁾ Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

.....(2.2)

Di mana:

- N_s = kecepatan sinkron (rpm)
- f = frekuensi stator (Hz)
- P = jumlah kutub stator (buah)
- N_r = Kecepatan rotor (rpm)
- s = Slip

2.2. Variable Speed Drive

Variable speed drive disebut juga dengan variable frequency drive atau disebut dengan inverter merupakan solusi aplikasi yang membutuhkan kemampuan pengaturan motor lebih lanjut, misal: pengaturan putaran motor sesuai bebannya atau sesuai nilai yang diinginkan. Penggunaan VSD bisa untuk aplikasi motor AC maupun DC. Istilah inverter sering digunakan untuk aplikasi AC [5]. Salah satu jenis Variable Speed Drive (VSD) yang sering digunakan adalah tipe ATV12H075M2, di mana tipe jenis ini memiliki input satu fasa dan keluarannya tiga fasa[6].

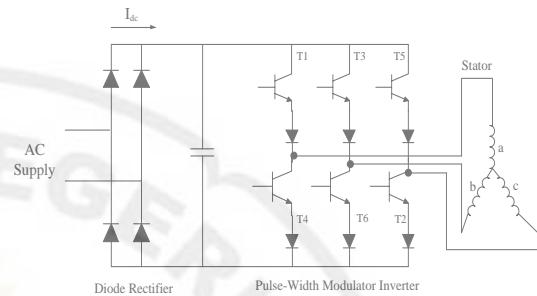


Gambar. 2.1 Variable Speed Drive (VSD) tipe ATV12H075M2 [6]

2.2.1 Prinsip Kerja Variable Speed Drive

Langkah pertama adalah untuk mengkonversi 50-Hz AC ke daya DC.

Langkah kedua adalah untuk mengkonversi listrik DC ini kembali ke AC pada frekuensi yang diinginkan [7].

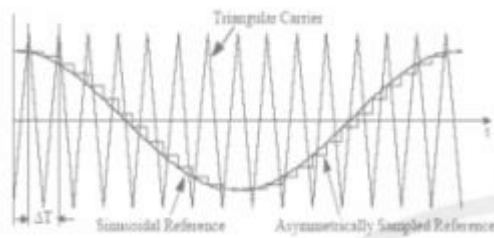


Gambar.2.2. Rangkaian topologi dasar pulse-width modulated inverter drive [7]

a. Transistor Berdasarkan Variable Speed Drive

Strategi yang modern untuk mengendalikan keluaran AC seperti pada konverter daya elektronik yaitu teknik yang dikenal sebagai pulse-width Modulation (PWM), yang duty cycle bervariasi dari switch converter pada frekuensi switching yang tinggi dengan tujuan keluaran frekuensi tegangan atau arus rata-rata rendah. Pada prinsipnya, semua skema modulasi bertujuan untuk menciptakan switch gelombang pulsa yang memiliki dasar rata-rata volt-detik yang sama sebagai bentuk gelombang referensi target pada setiap perubahan saat itu juga. Kesulitan utama dengan adanya switch gelombang pulsa ini di mana gelombang mengandung komponen harmonik yang tidak diinginkan yang harus diminimalkan. Ada tiga teknik utama alternatif-alternatif untuk PWM (diperlihatkan pada Gambar 2.3) adalah [7]:

¹⁾ Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
²⁾ Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
³⁾ Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU



Gambar 2.3 Bentuk gelombang teratur tidak simetris *pulse width modulation* [8]

b. Kontrol kecepatan pada motor induksi dengan VSD

Mengontrol kecepatan motor induksi dengan suplai variasi frekuensi mempertahankan celah udara fluks konstan lebih unggul dari pada dengan metode kontrol kecepatan yang lain. Dalam metode ini kontrol kontinu dan tepat, dan kisaran kecepatan seluruhan. Untuk menghindari saturasi inti, udara-celah, fluks harus dijaga konstan dan ini diperoleh dengan menjaga masukan E_1/f_1 konstan di bawah semua kondisi operasi, dan terdapat kebocoran kecil pada reaktansi stator. Ketidakstabilan tertentu diamati dalam operasi *Variable Speed Drive* pada frekuensi rendah, karena ketidakstabilan yang melekat pada motor pada frekuensi rendah dan interaksi antara inverter dan motor yang disebabkan oleh sumber impedansi terbatas. Namun, hal ini dapat diatasi dengan perubahan desain motor, yaitu dengan mengurangi reaktansi magnetising dan meningkatkan stator dan rotor resistensi. Persamaan torsi dapat dinyatakan sebagai [9]:

$$T = \frac{3p}{2\pi} \left(\frac{E_1}{f_1} \right)^2 \times \frac{f_2 R_2}{[(R_{1s} + R_2')^2 + S^2 (X_1 + X_2')^2]} \dots\dots\dots(2.3)$$

Di mana:

- p : Jumlah pasangan kutub
- f_1 : Frekuensi stator
- E_1 : Tegangan Stator
- f_2 : Frekuensi rotor = Sf_1

2.3. Harmonisa

Harmonisa merupakan gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Gejala pembentukan gelombang dengan frekuensi yang berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut juga frekuensi harmonisa yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonisa. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi 100 Hz, harmonisa ketiganya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Pada Gambar 2.4 dapat dilihat gelombang menumpang pada gelombang murni/aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya [10].

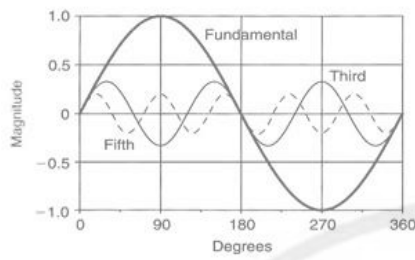
Untuk menentukan nilai *Total Harmonic Distortion (THD)* dari perumusan analisa deret *fourier* untuk tegangan dan arus dalam fungsi waktu yaitu [10]:

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega t + \theta_n) \dots\dots\dots(2.4)$$

$$i(t) = i_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega t + \theta_n) \dots\dots\dots(2.5)$$

1) Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
 2) Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
 3) Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

Analisis Reduksi Harmonisa Pada Variable Speed Drive Menggunakan Filter Lc Dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa



Gambar 2.4. Gelombang fundamental dengan gelombang harmonisanya [11].

Untuk nilai tegangan dan arus *RMS* dari gelombang sinusoidal dapat dihitung nilai puncak gelombang dibagi $\sqrt{2}$ dan secara deret *fourier* untuk tegangan dan arus ditunjukkan Persamaan (2.6 dan 2.7) [12]:

$$V_{RMS} = V_o \sqrt{1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{V_n}{V_1}\right)^2} \quad (2.6)$$

$$I_{RMS} = I_o \sqrt{1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \quad (2.7)$$

Besar nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) untuk tegangan dan arus ditunjukkan pada Persamaan (2.8 dan 2.9) yaitu :

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{V_n}{V_1}\right)^2}}{\frac{V_1}{\sqrt{2}}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_n)^2}}{V_1} \quad (2.8)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}}{\frac{I_1}{\sqrt{2}}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_n)^2}}{I_1} \quad (2.9)$$

Sehingga arus *RMS* terhadap THD_I menjadi:

$$I_{RMS} = I_{1,RMS} \sqrt{1 + THD_I^2} \quad (2.10)$$

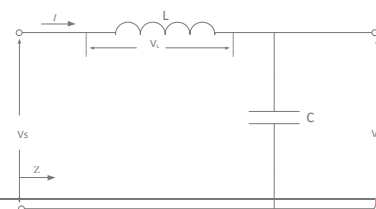
2.4 Batasan Harmonisa Berdasarkan Standar IEC61000-3-2

Kelas D termasuk semua jenis peralatan dengan dayanya dibawah 600 watt khususnya personal komputer, monitor, TV. Batasan arusnya dituliskan dalam bentuk mA/W dan dibatasi pada harga absolut yang nilainya diperlihatkan oleh Tabel 2.1 [13].

Tabel 2.1 Batasan arus harmonisa untuk peralatan kelas D [13]

Harm onisa ke-n	Arus harmonisa maksimum yang diizinkan (mA/W)	Arus harmonisa maksimum yang diizinkan (A)
	75 < P < 600W	P > 600W
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,5	0,40
11	0,35	0,33
13	0,296	0,21
15 ≤ n ≤ 39	3,85/n	2,25/n

2.5. Rancang Filter Pasif LC



1) Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
 2) Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
 3) Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

- Menentukan kapasitas dari kapasitor (C)

Gambar. 2.5. Rangkaian Impedansi Filter LC [14]

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 X_c} \dots\dots\dots(2.12)$$

Filter LC terdiri dari hubungan parallel komponen-komponen pasif yaitu Induktor dan Kapasitor. Dalam merancang filter LC terlebih dahulu menentukan besar kapasitor sesuai kebutuhan fektor daya dan Induktor Filter. Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam merancang Filter LC adalah sebagai berikut [15, 16] :

a. Menghitung Nilai Kapasitor (C)

- Tentukan ukuran kapasitas kapasitor Qc berdasarkan kebutuhan daya reaktif untuk perbaikan faktor daya. Daya reaktif kapasitor (Qc) adalah [15,16]:

$$Q_C = P \{ \tan(\cos^{-1} pf_1) - \tan(\cos^{-1} pf_2) \}$$

Di mana:

- P : daya aktif (kW).
- pf₁ : faktor daya mula-mula sebelum diperbaiki.
- Pf₂ : faktor daya setelah diperbaiki.

- Menentukan Reaktansi kapasitor (X_C):

$$X_C = \frac{V^2}{Q_c} \dots\dots\dots(2.11)$$

Di mana:

- X_C : Reaktansi kapasitif (Ω).
- V : Tegangan RMS (Volt).
- Q_C : Daya reaktif kapasitor (VAR).

Di mana:

- C : Kapasitansi kapasitor (Farad)
- f₀ : Frekuensi fundamental (Hz).

b. Menghitung nilai Induktor (L)

- Menentukan nilai impedansi Z induktor [14]:

$$Z = \frac{V_s}{I} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dari Persamaan (2.11) tentukan Reaktansi Induktif dari Induktor [15,16]:

$$X_L = \frac{X_C}{h_n^2} \dots\dots\dots(2.14)$$

- Menentukan reaktansi karakteristik dari filter pada *orde tuning*:

$$X_n = h_n X_L \dots\dots\dots(2.15)$$

- Menentukan Tahanan (R) dari Induktor [15,16]:

$$R = \frac{X_n}{Q} \dots\dots\dots(2.16)$$

di mana $\omega = 2\pi f_0$, maka nilai induktansi dari indutor (L) [17]:

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 + R^2}}{2\pi f_0} \dots\dots\dots(2.17)$$

Di mana:

- V_s : daya pada input VSD (Volt)
- Z : Impedansi Induktor (Ω)
- I : Arus yang mengalir pada VSD (A)
- L : Induktansi (H)

3. Metode Penelitian

¹⁾ Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
²⁾ Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
³⁾ Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

Analisis Reduksi Harmonisa Pada Variable Speed Drive Menggunakan Filter Lc Dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi yang dimulai dari pengumpulan data yang dilakukan dengan pengukuran harmonisa dari *Variable speed drive* (VSD) tipe ATV12H075M2 yang menggunakan beban motor induksi tiga fasa. Hasil pengukuran berupa total distorsi harmonisa tegangan THD_v, total distorsi harmonisa arus THD_i, nilai harmonisa tegangan IHD_v dan harmonisa arus IHD_i. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan parameter filter pasif LC yang akan digunakan. Hasil pengukuran dan hasil perhitungan selanjutnya dilakukan

Variable Speed Drive tipe ATV12H075M2 dengan daya 750 Watt		
Parameter	Satuan	
S (Apparent Power)	VA	426.9
P (Active Power)	Watt	285.6
Q (Reactive Power)	VAR	317.4
PF (Power Factor)	-	0.67
THD _v	%	3.5
THD _i	%	102.9
Frekuensi	Hz	50
V (Phase Voltage)	Volt	219.63
I (Phase Current)	Ampere	2.402

pemodelan beban dan filter yang disimulasikan dengan program MATLAB/Simulink.

3.1 Teknik pengukuran yang dilakukan

Jenis kabel	Luas penampang (mm ²)	Resistansi (r) (Ω/km)	Reaktansi (x) (Ω/km)	Impedansi kabel (z) (Ω)
NYM	3×2,5	7,41	0,104	0.185+j0.026

Gambar 3.1 Titik pengukuran

Data impedansi kabel dari sumber ke *Variable speed drive* dengan kabel jenis NYM 3×2,5 mm² sepanjang 25 m sesuai ukuran penggunaan diperoleh dari standar kabel.

Tabel 3.1. Impedansi kabel saluran

3.2 Data Hasil Pengukuran

Tabel 3.2. Data Hasil Pengukuran

Pada Tabel 3.3 ditunjukkan bahwa data hasil pengukuran individual distorsi harmonisa arus (*IHD_i*) dan individual distorsi harmonisa tegangan (*IHD_v*) dari setiap orde harmonisa. Orde harmonisa yang ditampilkan adalah orde harmonisa ganjil dari orde ke-1 sampai dengan orde

¹⁾ Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
²⁾ Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
³⁾ Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

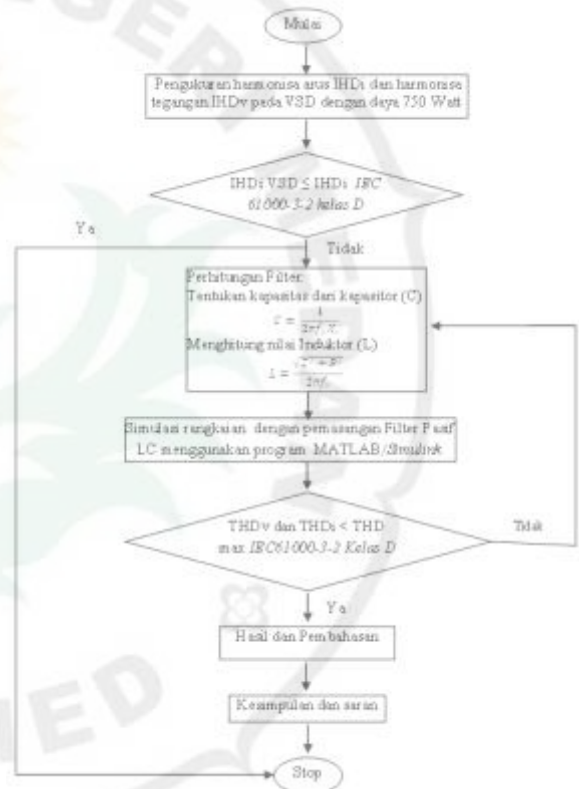
Analisis Reduksi Harmonisa Pada Variable Speed Drive Menggunakan Filter Lc Dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa

ke-15 dengan nilai yang berbeda untuk setiap harmonisa. Jika dibandingkan dengan standar IEC61000-3-2 Kelas D, ada beberapa orde harmonisa arus (I_{HDI}) pada Variable Speed Drive dari hasil pengukuran yang tidak sesuai dengan standar.

menggunakan sistem VSD dapat dilihat pada flowchart berikut. Tahapan-tahapan ini akan disimulasikan dengan menggunakan software Matlab Simulink.

Tabel 3.3. Data hasil pengukuran harmonisa arus dan Tegangan

Harmo nisa ke-n	Batasan arus harmonisa Standar		Arus Harmonisa VSD Hasil Pengukuran (Amper e)	Keteran gan
	IEC61000-3-2 Kelas D (P > 600 W)	(mA/ W)		
3	3,4	1,62	1,95	Tidak sesuai
5	1,9	0,9	1,26	Tidak sesuai
7	1	0,47	0,51	Tidak sesuai
9	0,5	0,23	0,12	sesuai
11	0,35	0,16	0,36	Tidak sesuai
13	0,296	0,14	0,34	Tidak sesuai
15	0,256	0,12	0,16	Tidak sesuai



Gambar 3.2 Diagram alir pelaksanaan penelitian

3.3 Diagram Alir Penelitian

Setiap tahapan simulasi yang akan dilakukan untuk menganalisa pengaruh harmonisa pada pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan

3.4. Perbandingan Klasifikasi Arus Harmonisa Pada Variable Speed Drive (VSD) Berdasarkan Standar IEC61000-3-2 Kelas D

1) Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
 2) Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
 3) Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

Analisis Reduksi Harmonisa Pada Variable Speed Drive Menggunakan Filter Lc Dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa

Tabel 3.4 Perbandingan Klasifikasi Arus Harmonisa Pada *Variable Speed Drive* (VSD) Berdasarkan Standar IEC61000-3-2 Kelas D

$$L = \frac{\sqrt{91.43^2 + 1.57^2}}{2\pi f_0} = 0.29 \text{ H}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh parameter filter LC adalah

3.5. Perhitungan Nilai L dan C dari Filter LC

a. Perhitungan nilai C

$$\begin{aligned} \Delta Q &= P(\tan \varphi_{awal} - \tan \varphi_{target}) \\ &= 286 (\tan 47,933^\circ - \tan 36,86^\circ) \\ &= 286 (1,108 - 0,75) \\ \Delta Q &= 286 (0,35) = 102,388 \text{ VAR} \end{aligned}$$

Jadi kebutuhan kapasitor C per fasa sebesar 102,388 VAR

$$X_c = \frac{V^2}{\Delta Q} = \frac{219.63^2}{102.388} = 471.122 \Omega$$

$$C = \frac{1}{314 \times 471.122} = 6.76 \times 10^{-6}$$

atau diambil nilai C sebesar = 10 µF

b. Perhitungan nilai L

Dari data ukur I = 2,402 Ampere pada faktor daya 0,67, maka

$$Z = \frac{219,63}{2,402} = 91,43 \Omega$$

Kemudian tentukan reaktansi induktif dari induktor:

$$X_L = \frac{471.122}{3^2} = 52.35 \Omega$$

Tentukan reaktansi karakteristik dari filter pada *orde tuning*:

$$X_n = 3 \times 52.35 = 157.05 \Omega$$

Tentukan Tahanan (R) dari Induktor:

$$R = \frac{157.05}{100} = 1.57 \Omega$$

Jadi induktansi dari inductor (L) :

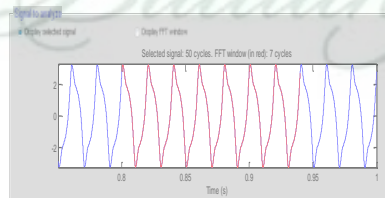
Harm nisa ke-n	Individual Distorsi Harmonisa (IHD)		TH Di (%)	THD _v (%)
	Arus (i) (Amp ere)	Tegan (v) (Volt)		
3	1,95	5,27	102 ,9	3,5
5	1,26	4,83		
7	0,51	3,29		
9	0,12	1,09		
11	0,36	0,65		
13	0,34	0,65		
15	0,16	0,65		

C = 10µF dan L = 0.29 H

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1. Harmonisa Arus Setelah Pemakaian Filter LC

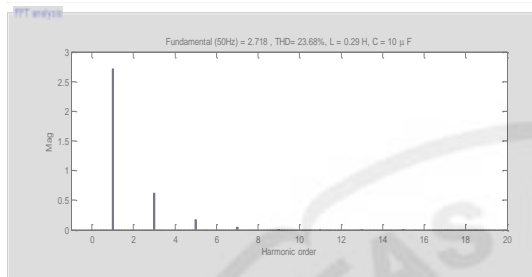
Total distorsi harmonisa tegangan THDi hasil pengukuran dari *Variable Speed Drive* adalah 102,9 %. Setelah penggunaan Filter LC diperoleh, di mana total distorsi harmonisa tegangan THDi berkurang menjadi 23,68% atau tereduksi sebesar 79,22%.



1) Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
 2) Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
 3) Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

Analisis Reduksi Harmonisa Pada Variable Speed Drive Menggunakan Filter Lc Dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa

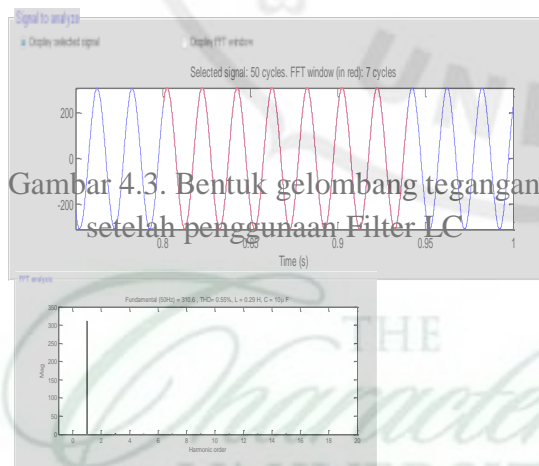
Gambar. 4.1 Bentuk gelombang arus setelah pemakaian Filter LC



Gambar.4.2. Spektrum harmonisa arus setelah pemakaian Filter LC

4.2 Harmonisa Tegangan Setelah Pemakaian Filter LC

Total distorsi harmonisa tegangan THD_v hasil pengukuran dari *Variable Speed Drive* adalah 3,5 %. Setelah pemakaian Filter LC diperoleh bahwa total distorsi harmonisa tegangan THD_i berkurang menjadi 0,55 % atau tereduksi sebesar 2,95%.



Gambar 4.3. Bentuk gelombang tegangan setelah penggunaan Filter LC

Gambar 4.4. Spektrum harmonisa tegangan setelah pemakaian Filter LC

Tabel 4.1 Perbandingan Klasifikasi Arus Harmonisa Pada *Variable Speed Drive* (VSD) Berdasarkan Standar *IEC61000-3-2 Kelas D*

Harm onisa ke-n	Batasan arus harmonisa Standar IEC61000-3-2 Kelas D (P > 600 W)		Arus Harmonisa VSD Setelah Pemakaian Filter LC (Ampe re)	Tegangan Harmonisa VSD Setelah Pemakaian Filter LC (Volt)	Keterangan
	(mA /W)	A mpe re			

3	3,4	1,62	0,62	1,52	Sesuai
5	1,9	0,9	0,18	0,72	Sesuai
7	1	0,476	0,04	0,22	Sesuai
9	0,5	0,23	0,01	0,04	Sesuai
11	0,35	0,16	0,01	0,10	Sesuai
13	0,29	0,14	0,01	0,08	Sesuai
15	0,25	0,121	0,00	0,03	Sesuai

THD _i dan THD _v (%)	23,68 %	0,55 %
---	---------	--------

4.3. Perbandingan Arus Harmonisa Sebelum dan Setelah Pemakaian Filter LC

Perbandingan nilai arus harmonisa sebelum dan setelah pemakaian Filter LC dapat di lihat pada Tabel 4.2 yang menunjukkan terjadinya penurunan nilai arus harmonisa IHD_i pada setiap orde harmonisa. Besar nilai penurunan arus harmonisa IHD_i pada orde ke-3 adalah 68.21%, orde ke-5 adalah 85.71%, orde ke-

1) Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
 2) Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
 3) Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

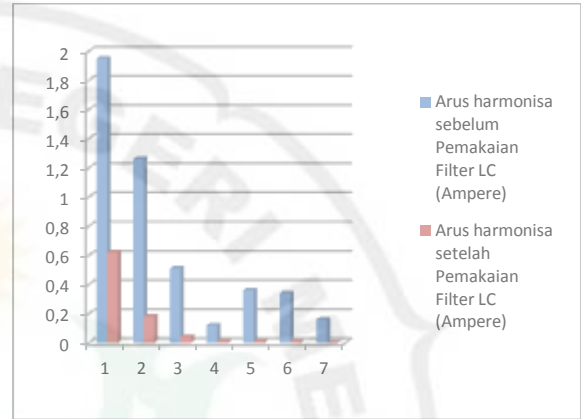
Analisis Reduksi Harmonisa Pada Variable Speed Drive Menggunakan Filter Lc Dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa

7 adalah 92.16% orde ke-9 adalah 91.67%, orde ke-11 adalah 97.22% , orde ke-13 adalah 97.06%, dan orde ke-15 adalah 100%.

menggunakan filter. Hal ini menunjukkan bahwa Filter LC telah dapat mereduksi arus harmonisa pada *Variable Speed Drive*.

Tabel 4.2. Nilai perbandingan arus harmonisa IHDi sebelum dan setelah pemakaian Filter LC

Batasan arus harmonisa Standar IEC6100 0-3-2 Kelas D (P > 600) (Ampere)	Arus harmonisa sebelum Pemakaian Filter LC (Ampere)	Arus harmonisa setelah Pemakaian Filter LC (Ampere)	Besar penurun arus harmonisa (%)
1.62	1.95	0.62	68.21
0.9	1.26	0.18	85.71
0.476	0.51	0.04	92.16
0.23	0.12	0.01	91.67
0.16	0.36	0.01	97.22
0.14	0.34	0.01	97.06
0.121	0.16	0	100.00



Gambar 4.5. Diagram perbandingan arus harmonisa sebelum dan setelah pemakaian Filter LC

Dari hasil simulasi yang didapat bahwa Filter LC dengan nilai $C=10 \mu F$, $L=0.29 H$, dan $R=85 \Omega$ dapat mengurangi total distorsi harmonisa arus THDi sebesar 86,73 % maupun individual distorsi harmonisa arus IHDi dengan nilai rata-rata orde harmonisa mencapai 90,29 %.

Pada Gambar 4.5, ditunjukkan bahwa diagram perbandingan arus harmonisa IHDi sebelum dan setelah pemakaian Filter LC. Pada diagram tersebut ditunjukkan perbandingan arus harmonisa hasil pengukuran terhadap arus harmonisa hasil simulasi dari orde ke-3 sampai orde ke-15. Arus harmonisa hasil pengukuran ditunjukkan oleh diagram berwarna biru, dan arus harmonisa hasil simulasi ditunjukkan oleh diagram warna merah. Pada Gambar 4.5, ditunjukkan bahwa arus harmonisa setelah pemakaian Filter LC lebih kecil dibandingkan tidak

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah *Variable Speed Drive* yang diukur menghasilkan harmonisa dengan beberapa orde harmonisa arus yang tidak sesuai standar *IEC61000-3-2 Kelas D*. Setelah pemakaian Filter LC dengan nilai $C = 10 \mu F$, $L = 0.29 H$, dan $R = 85 \Omega$, total distorsi harmonisa (*THD*) pada *Variable Speed Drive* menjadi lebih kecil yaitu *THDv* berkurang dari 3,5% menjadi 0,55% atau tereduksi 2,95% dan *THDi* berkurang dari

¹⁾ Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
²⁾ Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
³⁾ Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

Analisis Reduksi Harmonisa Pada Variable Speed Drive Menggunakan Filter Lc Dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa

102.9% menjadi 23,68% atau tereduksi 79,22 %. Bahwa setelah pemakaian Filter LC nilai individual distorsi harmonisa arus (IHDi) orde ke-3 sampai dengan orde ke-21 dari *Variable Speed Drive* telah sesuai standar IEC61000-3-2 Kelas D dan menjadi lebih rendah.

5.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pereduksian harmonisa *Variable Speed Drive* dengan menggunakan jenis filter yang lainnya. Disarankan pula untuk peneliti selanjutnya melakukan analisa penggunaan filter untuk beban *non linier* lainnya.

Daftar Pustaka

- [1] Mohan, Ned, 1995, *Power electronics Converters, Application, and Design*, John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Rijono, Yon. 1997. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. ANDI. Yogyakarta .
- [3] Wijaya Mochtar. 2001. *Dasar-dasar Mesin Listrik*. Djambatan. Jakarta.
- [4] Zuhail, 1988, *Dasar teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, PT. Gramedia, Jakarta.
- [5] Sabirin Taufiq, 2010, *Variable Speed Drive Part 1*, www.taufiqsabirin.wordpress.com/2010/08/04/variable-speed-drive-part-1/.
- [6] Schneider Electric Manual Book, April 2009, *Altiva 12 Variable Speed Drives for asynchronous motors user manual*.
- [7] Win Thida, Sabai Nang, and Nandar Maung Hnin, 2008, *Analysis of Variable Frequency Three Phase Induction Motor Drive*, World Academy of Science, Engineering and Technology.
- [8] Muhammad H, Rasyid, 1993, *Power Electronics Circuit, Devices, and Applications Second Edition*, New Jersey : Prentice Hall, Upper Saddle River.
- [9] Sen P C, Professor of Eletronics and Telecommunication Engineering Jadavpur University, 1990, *Power Elektronik Second Reprint*, Tata McGraw-Hil Publishing Company Limited, New Delhi.
- [10] Johan Lundquist, 2001, *On Harmonic Distortion in Power Systems*, Sweden.
- [11] Jose R. Rodriguez, Juan W. Dixon, Jose R. Espinoza, Jorge Pont, Pablo Lezana, 2005, *PWM Regenerative Rectifiers: State of the Art*, IEEE transaction on industrial electronics, vol. 52, No.1, Februari 2005, pp 5-21.
- [12] Grady Mack, 2005, *Understanding Power System Harmonic*, University of Texas at Austin.
- [13] Basu Supriatim, Bollen. J. H. M, Undeland M. Tore, 2008, *PFC Strategies in Light of EN 61000-3-2*, Norwegian University of Science and Techology Trondheim, Norway, Paper Indentification Number A123656, pp:1-9.
- [14] John Bird, BSc(Hons), CEng, MIEE, FIEIE, CMath, FIMA, FCollP, 2003, *Electrical Circuit Throry and Technology, Revise Second Edition*, Newnes.
- [15] Wakileh G.J, 2001, *Power System Harmonics: Fundamental, Analysis and Filter Design*, Springer Velag Press.

¹⁾ Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

²⁾ Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

³⁾ Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU

Analisis Reduksi Harmonisa Pada Variable Speed Drive Menggunakan Filter Lc Dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa

- [16] D.A. Gonzales and J.C. McCall, 1987, *Design of Filter to Reduce Harmonic Distortion in Industrial Power System*, IEEE Trans Ind. Application, Vol 1A-23, pp. 504-511. 130-134.
- [17] Masri, Syafudin, 2004, *Analisis Kualitas Daya Sistem Distribusi Tenaga Listrik Perumahan Modern*, Jurnal Rekayasa Elektrika, Volume 3 No. 2. Tersedia <http://www.ft-elektro.usk.ac.id/rekayasa/2004/321-2004.pdf>. [06juni2008].



¹⁾ Maharani Putri Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
²⁾ Usman Bafaai Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU
³⁾ Marwan Ramli Mahasiswa Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro USU