

PENGARUH ARUS HARMONISA PADA UNJUK KERJA SISTEM *OPEN-LOOP VARIABLE SPEED DRIVE* MOTOR INDUKSI MENGGUNAKAN INVERTER

HARMONIC CURRENT EFFECT TO THE PERFORMANCE OF OPEN-LOOP SYSTEM VARIABLE SPEED DRIVE INDUCTION MOTOR USING INVERTER

Suroso*, Winasis, Daru Tri Nugroho, dan Sebastian Adi Prakoso

*Email: suroso.te.unsoed@gmail.com

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jenderal Soedirman, Purbalingga

Abstrak – Salah satu aplikasi dari inverter adalah pada Variabel Speed Drive (VSD) untuk mengatur kecepatan motor induksi dengan mengubah nilai tegangan atau frekuensi keluaran dari inverter. Keandalan motor induksi yang digerakkan menggunakan inveter seringkali dipengaruhi dengan adanya harmonisa arus dan tegangan yang timbul akibat karakteristik beban non linear yang dihasilkan oleh penggunaan inverter. Fenomena harmonisa ini membawa kerugian dalam proses industri yang menggunakan VSD dan motor induksi, karena tidak semua inverter yang dipakai menghasilkan gelombang sinusoidal murni. Dalam makalah ini disajikan analisa pengaruh harmonisa terhadap kinerja dari motor induksi tipe sangkar tupai dilihat dari nilai kecepatan, torsi dan efisiensi dengan melakukan simulasi komputer dan eksperimen di laboratorium. Dari analisis data menunjukkan, kenaikan nilai harmonisa arus telah mengakibatkan kenaikan pada nilai kecepatan sebesar 1,41%, kenaikan torsi motor hingga 1,81 Nm, dan penurunan efisiensi 1% sampai 5%. Harmonisa arus keluaran inverter juga mengakibatkan ripple pada torsi lebih besar 2 sampai 5 kali lipat, hal ini mengakibatkan kecepatan motor tidak stabil dan menimbulkan getaran serta motor cepat panas.

Kat kunci: harmonisa, *variable speed drive*, inverter, motor induksi.

Abstract -- One of the the inverter's applications is in Variable Speed Drive (VSD) to control the speed of an induction motor by varying the voltage or the output frequency of the inverter. Induction motor reliability driven by using inverter is often affected by harmonics components of the current and voltage generated by the inverter. This phenomenon brings harmonic losses in the industry process applying VSD and induction motors, because not all inverters produce a pure sinusoidal wave. Thi paper presents the effect of harmonics on the performance of squirrel cage induction motor type i.e. the speed, torque and efficiency by conducting computer simulation and experimental test in laboratory. The increase in the value of harmonics resulting an increase in the value of speed 1.41%, an increase in the value of torque 1.81 Nm, and decreased of efficiency 1to5%, the harmonics also resulted torque ripple 2 to5 times resulting in unstable speed of motor, arising engine vibration and causing motor heating.

Keywords: harmonics, variable speed drive, inverter, induction motors.

I. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa adalah suatu mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran motor dengan prinsip-prinsip induksi [1]. Motor induksi lebih banyak dipakai dibandingkan motor arus searah (DC) karena motor induksi harganya lebih murah, mudah dalam perawatan, serta lebih handal [2][3].

Rangkaian konverter daya yang digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi AC disebut inverter [4]. Rangkaian inverter bisa

menggunakan komponen transistor, Insulated Gate Bipolar Junction Transistor (IGBT), Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET), maupun thyristor sebagai komponen utama. Bila digunakan transistor, MOSFET dan IGBT dayanya terbatas pada kapasitas kecil sampai sedang, tetapi frekuensi pensaklarannya bisa tinggi serta tidak perlu rangkaian komutasi. Bila menggunakan thyristor dayanya lebih besar namun frekuensi pensaklarannya rendah dan perlu rangkaian komutasi sebagai penyulut [5].

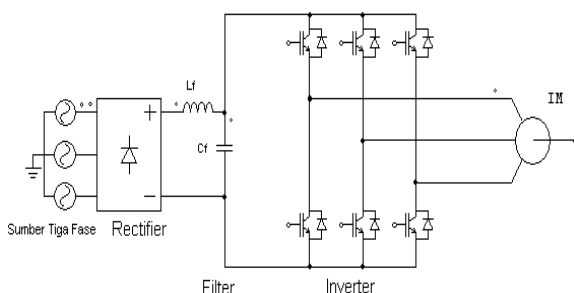
Dalam prakteknya keberadaan harmonik dalam suatu sistem tenaga listrik membawa kerugian pada berbagai alat, salah satunya pada motor induksi. Harmonik urutan genap biasanya memiliki rms yang lebih kecil dibandingkan harmonik urutan ganjil. Jumlah antara frekuensi fundamental dan kelipatannya, akan menyebabkan frekuensi fundamental tidak lagi berbentuk sinus murni, tetapi mengalami distorsi.

Oleh karena itu diperlukan kajian baik berupa analisis maupun penelitian pengujian di laboratorium atau industri untuk melihat bagaimana pengaruh harmonisa pada kinerja motor induksi tiga fasa. Dengan demikian kita bisa melihat bagaimana relevansinya terhadap operasi motor induksi tersebut.

Makalah ini menyajikan analisa pengaruh harmonisa arus keluaran inverter pada unjuk kerja variable speed drive motor induksi tiga fase. Analisa simulasi komputer dan eksperimen dilaboratorium disajikan untuk mengkaji unjuk kerja sistem.

II. METODE PENELITIAN

Untuk menganalisa pengaruh harmonisa terhadap kinerja motor induksi tiga fasa, pada penelitian ini akan dibandingkan nilai harmonisa dari rangkaian inverter yang menghasilkan gelombang sinus sebagai gelombang yang memiliki distorsi harmonisa kecil dan rangkaian inverter yang menghasilkan gelombang kotak sebagai gelombang yang memiliki distorsi harmonisa yang lebih besar.



Gambar-1. Inverter dengan Beban Motor Induksi.

Pengambilan dan pengumpulan data dilakukan di laboratorium konversi energi listrik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Jenderal Soedirman untuk mengetahui unjuk kinerjanya dengan menggunakan data *name plate* dari motor induksi tiga fasa yang diteliti dan dari buku instruction manual hitachi Inverter SJ 200 untuk spek inverter yang digunakan. Berikut ini adalah datanya.

1) Motor Induksi Tiga Fasa

Data *name plate* motor induksi tiga fasa di laboratorium konversi energi listrik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Jenderal Soedirman adalah sebagai berikut :

Tipe rotor	: Sangkar Tupai
Rated output	: 0,5 HP / 0,37-0,4 kW
Frekuensi	: 50 Hz
Rated voltage	: 220 / 380 V
Rated current	: 5,7 / 0,95 A
RPM (75% full load)	: 2850 ^r / _{min}
Winding connection	: Y-Δ
Jumlah kutub	: 2 kutub

Impedansi motor yang terdiri dari tahanan stator (R_s), tahanan rotor (R_r), induktansi rotor (L_r), induktansi stator (L_s), dan induktansi magnetisasi (L_m) seperti pada Tabel-1 berikut ini.

Tabel-1. Data resistansi dan reaktansi motor induksi.

R_s (Ω)	X_s (Ω)	X_m (Ω)	R_r (Ω)	X_r (Ω)
35	9	320	17,2	4,3

2) Hitachi Inverter SJ 200

Berikut merupakan data inverter yang digunakan dalam eksperimen:

Tipe Inverter	: Pulse Width Modulation – Voltage Source Inverter (PWM-VSI)
Applicable motor size	: 0.2 kW (1/2 HP) – 2.2 kW (2 HP)
Rated capacity	: 4.2 kVA
Rated input Voltage	: 3-phase, 380 to 480 V \pm 10%, 50/60 Hz \pm 5 %
Rated input current	: 7.0 A
Rated output current	: 5.5 A
Starting torsi	: 200 % or more
Control method	: Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) control

Analisa dilakukan dengan mensimulasikan melalui software PSIM dan dengan eksperimen di laboratorium. Data nilai harmonisa, gelombang spektrum harmonisa arus dan tegangan yang didapat dari simulasi akan digunakan sebagai data pembandingan hasil pengukuran eksperimen untuk mendapatkan unjuk kerja sistem.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Harmonisa Arus dan Tegangan Pada Inverter Gelombang Sinus

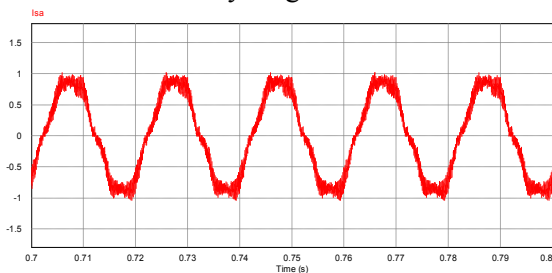
Tabel-2 menunjukkan hasil pengukuran nilai arus dan tegangan keluaran rangkaian

inverter gelombang sinus. Rentang frekuensi inverter yang diinput dari frekuensi 10-50 Hz, orde harmonisa dari orde 2-15. Tabel-2 menunjukkan nilai arus dan tegangan dari hasil eksperimen. Terlihat nilai arus semakin besar seiring bertambahnya frekuensi dari inverter. Demikian juga pada nilai tegangan fasa dan tegangan antar fasa semakin besar seiring bertambahnya frekuensi dari inverter.

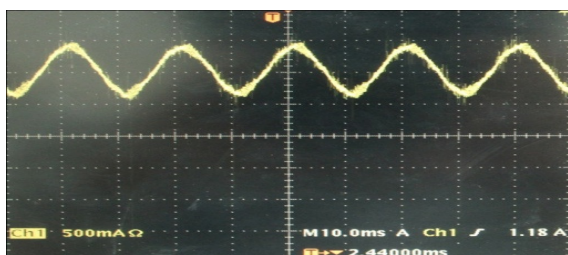
Tabel-2. Nilai Arus dan Tegangan Rangkaian Gelombang Sinus dari Hasil Eksperimen.

Frekuensi (Hz)	Arus Fasa (Amp)	Tegangan Fasa (Volt)	Tegangan Antar Fasa (Volt)
10	0.15	51.96	90
15	0.16	75.05	130
20	0.2	96.99	168
25	0.24	120.08	208
30	0.26	143.18	248
35	0.27	166.27	288
40	0.275	188.21	326
45	0.28	211.31	366
50	0.2857	229.79	398

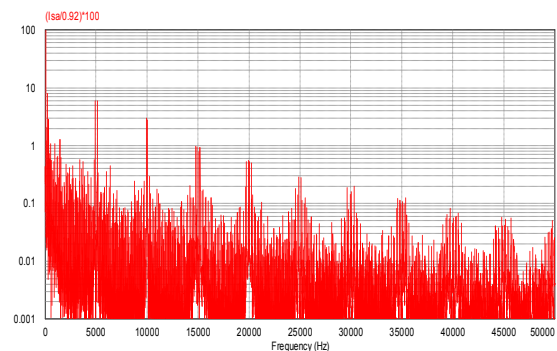
Gambar-2 menunjukkan gelombang arus keluaran inverter menggunakan simulasi komputer. Sedangkan Gambar-3 menunjukkan gelombang arus keluaran inverter hasil pengujian eksperimen dari inverter yang digunakan sebagai penggerak motor induksi. Terlihat gambar gelombang arus yang telah terdistorsi oleh harmonisa, serta nilai harmonisanya juga dapat di amati melalui gambar spektrum harmonisanya digambar 4 dan Gambar-5.



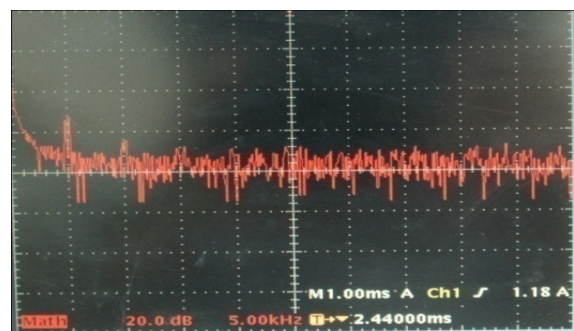
Gambar-2. Gelombang sinus arus frekuensi 50 Hz hasil simulasi.



Gambar-3. Gelombang sinus arus hasil eksperimen.

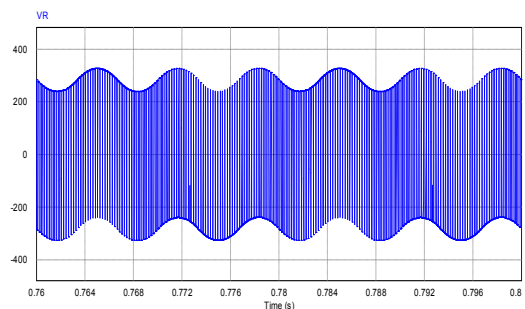


Gambar-4. Spektrum harmonisa gelombang arus inverter hasil simulasi.

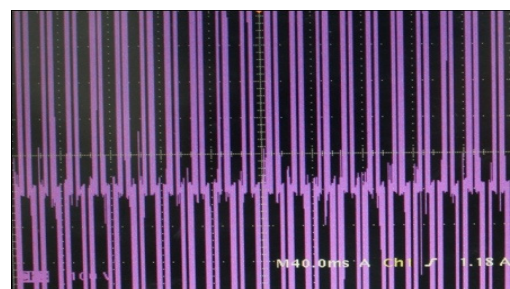


Gambar-5. Spektrum harmonisa gelombang arus hasil pengukuran.

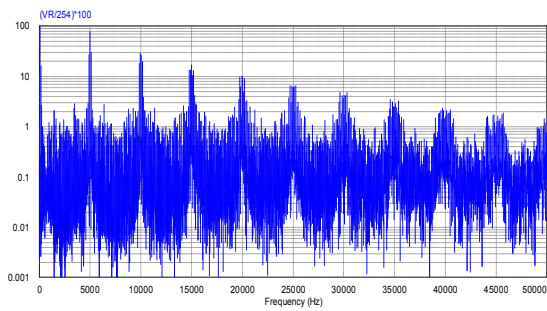
Gelombang tegangan keluaran inverter hasil simulasi computer dan pengujian eksperimen ditunjukkan di Gambar-6 dan Gambar-7. Spektrum harmonisa tegangan hasil simulasi komputer dan eksperimen ditunjukkan di Gambar-8 dan Gambar-9.



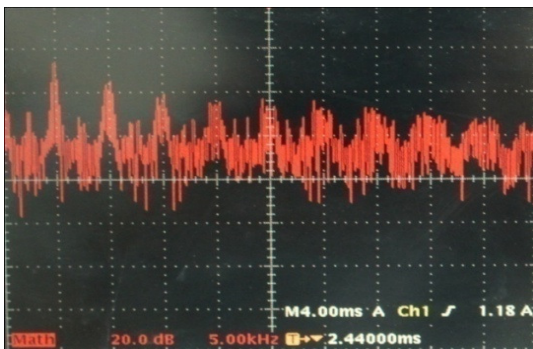
Gambar-6. Gelombang tegangan fasa pada simulasi.



Gambar-7. Gelombang tegangan fasa saat eksperimen.



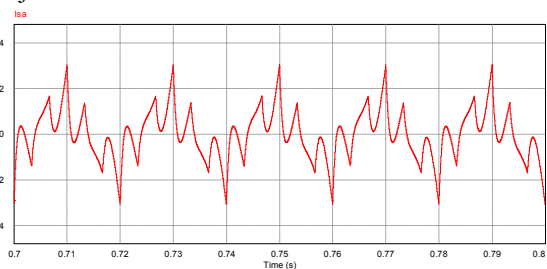
Gambar-8. Spektrum harmonisa gelombang tegangan fasa pada simulasi.



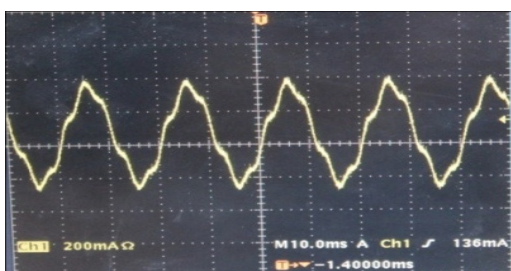
Gambar-9. Spektrum harmonisa gelombang tegangan fasa pada eksperimen.

B. Analisa Harmonisa Arus dan Tegangan Pada Inverter Gelombang Kotak

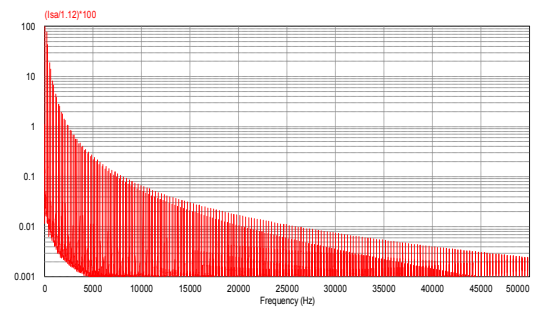
Gambar-10 dan Gambar-11 menunjukkan hasil simulasi computer untuk gelombang arus keluaran inverter yang mengalir ke motor induksi untuk inverter yang beroperasi dengan mode gelombang kotak. Spektrum harmonisa dari arus inverter tersebut ditunjukkan dalam Gambar-12 dan Gambar-13.



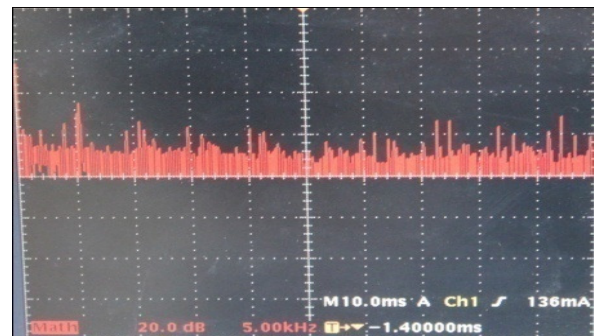
Gambar-10. Gelombang arus fasa pada simulasi.



Gambar-11. Gelombang arus eksperimen.

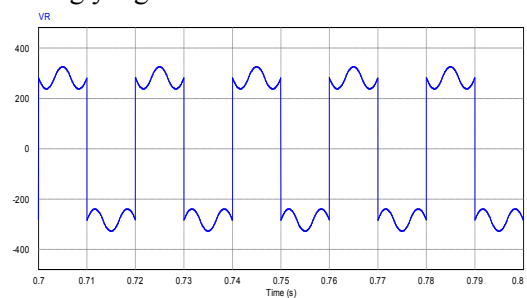


Gambar-12. Spektrum harmonisa gelombang arus simulasi.

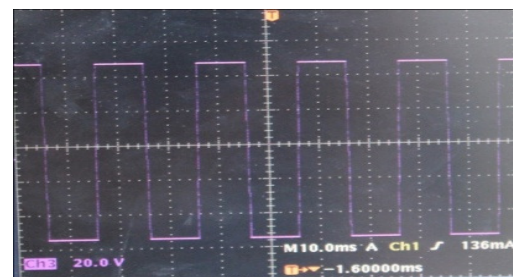


Gambar-13. Spektrum harmonisa gelombang arus fasa pada eksperimen frekuensi 50 Hz.

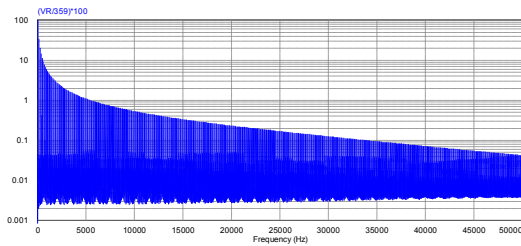
Gambar-14 dan Gambar-15 menunjukkan gelombang tegangan keluaran inverter hasil simulasi dan hasil eksperimen. Spektrum harmonisanya ditunjukkan dalam Gambar-16 dan Gambar-17. Pada gambar spektrum harmonisa di tersebut menunjukkan bahwa pada rangkaian inverter mode gelombang kotak lebih banyak menghasilkan harmonisa karena pengaruh distorsi gelombang yang dihasilkan.



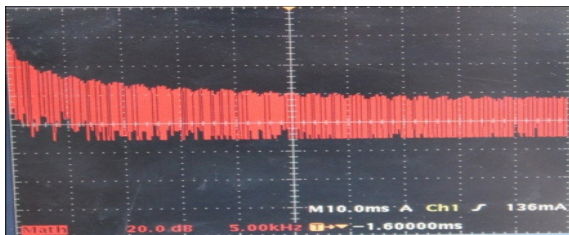
Gambar-14. Gelombang tegangan fasa pada simulasi.



Gambar-15. Gelombang tegangan fasa pada eksperimen.



Gambar-16. Spektrum harmonisa gelombang tegangan fasa pada simulasi.



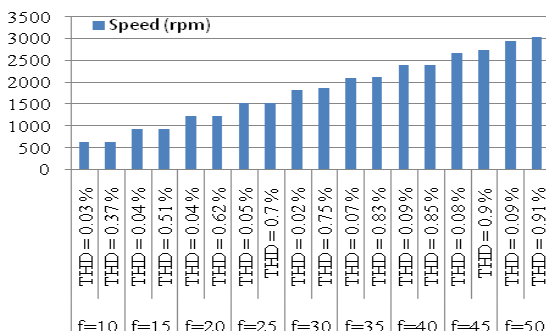
Gambar-17. Spektrum harmonisa gelombang tegangan fasa pada eksperimen.

C. Analisa Pengaruh Harmonisa Pada Kecepatan, Torsi dan Efisiensi Motor

Tabel-3. Nilai *Speed*, Torsi dan Efisiensi Motor Induksi.

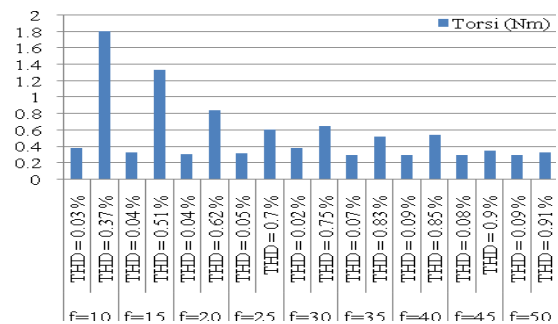
Frekuensi (Hz)	<i>Speed</i> (rpm)		Torsi (N/m)		Efisiensi (%)	
	Sinus	Kotak	Sinus	Kotak	Sinus	Kotak
10	612	623	0.39	1.81	27.91	22.14
15	915	923	0.33	1.34	44.04	40.22
20	1217	1226	0.31	0.85	55.21	52.59
25	1516	1529	0.32	0.61	62.55	60.51
30	1813	1858	0.38	0.66	67.42	66.60
35	2104	2114	0.3	0.52	70.74	68.97
40	2392	2401	0.298	0.54	73.08	70.84
45	2676	2730	0.297	0.36	74.77	73.38
50	2958	3029	0.296	0.33	76.03	74.26

Tabel-3 menunjukkan nilai *speed* dan efisiensi semakin besar sebanding dengan kenaikan nilai frekuensi inverter, sebaliknya dengan nilai torsi, semakin bertambahnya frekuensi inverter maka semakin kecil nilai torsinya.



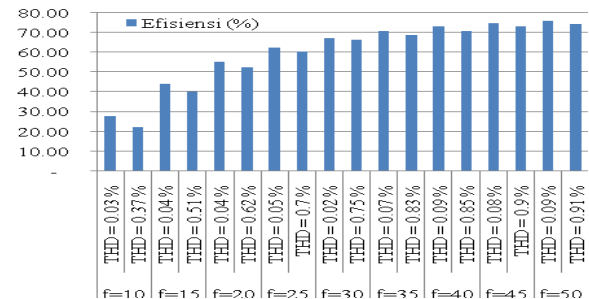
Gambar-18. Grafik perbandingan nilai kecepatan antara rangkaian gelombang sinus dan gelombang kotak.

Gambar-18 grafik nilai kecepatan menunjukkan nilai *speed* yang dihasilkan pada rangkaian gelombang kotak (THD tinggi) lebih besar dibanding dengan gelombang sinus (THD rendah). Semakin besar nilai THD maka semakin besar nilai *speed*. Selisih kenaikan kecepatan pada rangkaian gelombang kotak dibanding rangkaian gelombang sinus rata-rata sebesar 25,78 rpm atau sebesar 1,41 %. Namun kecepatan yang dihasilkan pada rangkaian gelombang kotak tidak stabil, hal ini dapat membuat motor cepat panas dan timbul getaran.



Gambar-19. Grafik perbandingan nilai torsi antara rangkaian gelombang sinus dan gelombang kotak.

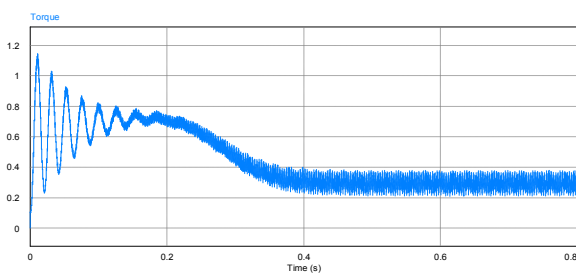
Gambar-19 menunjukkan nilai torsi pada rangkaian gelombang kotak (THD tinggi) terlihat mengalami penurunan yang cukup tinggi saat kenaikan frekuensi inverter, berbeda dibanding nilai torsi pada rangkaian gelombang sinus (THD rendah) yang cukup stabil pada saat kenaikan frekuensi inverter. Pada rangkaian gelombang kotak (THD tinggi) membutuhkan kerja torsi yang tinggi rata-rata sebesar 2 sampai 4 kali lipat dari torsi rangkaian gelombang sinus (THD rendah) dan mengalami penurunan yang tinggi pula sebesar 1 sampai 1,5 kalinya dari nilai torsi sebelumnya.



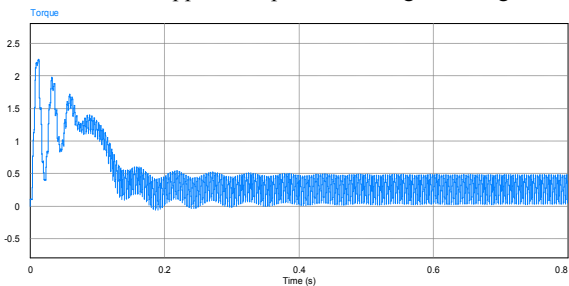
Gambar-20. Grafik perbandingan nilai efisiensi antara rangkaian gelombang sinus dan gelombang kotak.

Dari grafik Gambar-20 terlihat nilai efisiensi meningkat sebanding dengan kenaikan frekuensi inverter. Pada rangkaian gelombang kotak (THD

tinggi) mengalami penurunan efisiensi rata-rata sebesar 1 sampai 5% dari rangkaian gelombang sinus (THD rendah). Semakin besar THD maka efisiensi motor induksi semakin menurun. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa harmonisa mempengaruhi nilai efisiensi, sehingga menurunkan kinerja motor induksi dengan mengurangi nilai dari efisiensi motor induksi tersebut. Pengaruh lain karena adanya harmonisa yaitu terdapat *ripple* torsi, berikut besarnya nilai *ripple* pada torsi pada rangkaian gelombang kotak dan gelombang sinus.



Gambar-21. *Ripple* torsi pada inverter gelombang sinus.



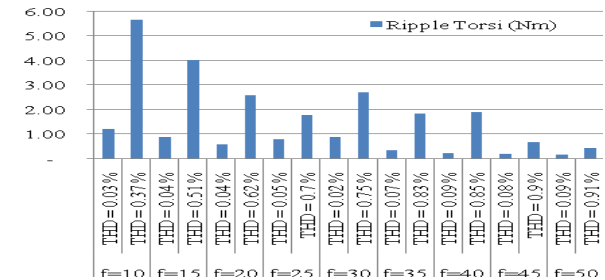
Gambar-22. *Ripple* torsi pada inverter gelombang kotak.

Tabel-4. Nilai *ripple* torsi.

F inverter	Nilai <i>Ripple</i> Torsi (Nm)	
	Gelombang Sinus	Gelombang Kotak
10	1.21635749	5.6613715
15	0.89854711	4.0324589
20	0.582198961	2.6062132
25	0.79949516	1.78007279
30	0.90492841	2.7231923
35	0.3546014	1.854602
40	0.23144155	1.89898767
45	0.22118167	0.69023174
50	0.16426846	0.457794635

Dari Tabel-4 dapat dilihat nilai *ripple* torsi dari gelombang kotak (THD tinggi) lebih tinggi dari gelombang sinus (THD rendah). Kenaikan *ripple* pada rangkaian gelombang kotak rata-rata sebesar 2-5 kali lipat dari *ripple* pada rangkaian gelombang sinus. Semakin besar frekuensi inverter maka semakin kecil *ripple* torsi. Demikian juga semakin besar nilai THD maka semakin kecil *ripple* torsi. Dengan adanya ripple ini peralatan menjadi cepat

panas, timbul getaran dan kecepatan motor induksi yang tidak stabil.



Gamba- 23. Grafik perbandingan nilai *ripple* torsi.

IV. KESIMPULAN

Makalah ini membahas pengaruh harmonisa arus dan tegangan keluaran inverter pada unjuk kerja motor induksi tiga fase. Selisih kenaikan kecepatan pada inverter gelombang kotak dibanding rangkaian inverter gelombang sinus rata-rata sebesar 1,41%. Namun kecepatan yang dihasilkan pada rangkaian inverter gelombang kotak tidak stabil, hal ini dapat membuat motor cepat panas dan timbul getaran.

Rangkaian inverter gelombang kotak memiliki *ripple* torsi yang lebih besar dibanding pada rangkaian gelombang sinus rata-rata sebesar 2-5 kali lipat dari *ripple* pada rangkaian inverter gelombang sinus. Hal ini menunjukkan pengaruh harmonisa yang terdapat pada rangkaian inverter gelombang kotak memperbesar *ripple* torsi motor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Luqman Assafat. Analisa Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Harmonisa Pada Motor Induksi Tiga Fasa Tipe Rotor Sangkar Tupai. *Prosiding Seminar Nasional UNIMUS*, Semarang. 2010: 438-453.
- [2] Istanto W. Djatmiko, Kustono. Performansi Parameter Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Sumber Tegangan Dan Frekuensi Variabel. *Jurnal Edukasi Elektro*. 2009; 5(1): 19-28.
- [3] Zaenab Muslimin. Pengontrolan Motor Induksi Tiga Fase dengan Inverter Berbasis Mikrokontroler AT89S51. *Jurnal Penelitian Enjiniring*. 2009; 12(2): 103-110.
- [4] M. H. Rashid. *Power Electronics Hand Book*. Academic Press, 2007.
- [5] Yadi Yunus, Suyamto. Rancang Bangun Alat Pengatur Kecepatan Motor Induksi Dengan Cara Mengatur Frekuensi. *Prosiding Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*. Yogyakarta. Agustus 2008; IV: 137-142.