

Analisa Kinerja *Sinusoidal* PWM Inverter Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa

HERI HARYANTO¹, VICKY IMMANUEL²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA), Banten ,Indonesia
Email: Heri.Haryanto@ft-untirta.ac.id

ABSTRAK

PWM (pengaturan lebar pulsa) merupakan salah satu teknik yang baik untuk digunakan dalam sistem kendali (control system) saat ini. Pengaturan lebar modulasi dipergunakan di berbagai bidang yang sangat luas, salah satu diantaranya adalah pengaturan kecepatan motor induksi. Untuk membangkitkan sinyal pulse width modulation (PWM) tersebut dapat digunakan beberapa teknik modulasi antara lain sebagai berikut: Sinusodal Pulse Width Modulation, Trapezoidal Pulse Width Modulation, Stair-case delta, Delta-sigma, Selective harmonic PWM, Third Harmonic PWM, Space Vector PWM, dan lainnya. Pada paper ini akan membahas tentang kinerja dari teknik modulasi trapezoidal pada inverter dengan menganalisa kualitas distorsi harmonisa (THD) tegangan, arus, dan respon kecepatan dan torsi elektromagnetik dari motor induksi tiga fasa.

Kata kunci: *PWM, inverter, modulasi sinusoidal, distorsi harmonisa, motor induksi tiga fasa.*

ABSTRACT

PWM (pulse width modulation) is a good technique to use in a control system (control system) at this time . Pulse width modulation are used in a very wide variety of fields , one of which is the induction motor speed control . To generate the signal pulse width modulation (PWM) can be used multiple modulation techniques are as follows : Sinusoidal Pulse Width Modulation, Random PWM, Trapezoidal Pulse Width Modulation, Stair-case delta, Delta-sigma, Selective harmonic PWM, Third Harmonic PWM, Space Vector PWM, and others. This paper will discuss the performance of the inverter sinusoidal modulation techniques to analyze the quality of harmonic distortion (THD) of voltage, current, and response speed and electromagnetic torque of a three phase induction motor.

Keywords: *PWM, inverter, sinusoidal modulation, harmonic distorsion, three phase induction motor .*

1. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan di bidang industri dibandingkan motor jenis lain. Hal ini dikarenakan motor induksi memiliki banyak keunggulan. Tetapi terdapat juga suatu kelemahan dari motor induksi yaitu kesulitan dalam mengatur kecepatan. Karena pengaturan kecepatan motor induksi pada dasarnya dapat dilakukan dengan mengubah jumlah kutub motor atau mengubah frekuensi suplai motor. Pengaturan kecepatan dengan mengubah jumlah kutub sangat sulit karena dilakukan dengan merubah konstruksi fisik motor, sehingga pengaturannya akan sangat terbatas sedangkan pengaturan kecepatan motor induksi dengan mengubah frekuensi suplai motor akan jauh lebih mudah tanpa harus merubah konstruksi fisik motor. Pengaturan kecepatan sebuah motor induksi memerlukan inverter yang berfungsi sebagai sumber catu tegangan dengan frekuensi dan magnitude yang variabel. Tegangan keluaran inverter dapat diatur dengan cara merubah gain inverter. Pengaturan gain inverter dilakukan dengan cara pengaturan sudut penyalaan saklar-saklar inverter yang dikenal dengan teknik pengaturan lebar pulsa (teknik modulasi) / PWM.^[1]

Pada perkembangan saat ini penelitian tentang teknik modulasi pada inverter sangat banyak untuk mengetahui kualitas dari teknik modulasi yang digunakan. Pada umumnya teknik modulasi yang digunakan adalah metode SPWM karena metode ini sangat mudah untuk diimplementasikan, dan pada paper ini akan membahas kinerja teknik modulasi SPWM dengan beban motor induksi tiga fasa dari segi kualitas harmonisa tegangan, arus stator, kecepatan putar motor induksi dan torsi elektromagnetik. Analisa dari kinerja teknik modulasi SPWM ini akan berguna untuk dijadikan pertimbangan sebagai pengaturan kecepatan variabel.

2. METODE PENELITIAN

Prinsip kerja dari teknik modulasi SPWM adalah dengan membandingkan gelombang referensi sinusoidal terhadap gelombang segitiga pembawa (*carrier*) berfrekuensi yang diperlihatkan pada gambar 1 ^[2]. Frekuensi gelombang referensi sinusoidal menentukan frekuensi keluaran *inverter*. Hubungan antara frekuensi referensi dengan frekuensi *carrier* akan mempengaruhi indeks modulasi frekuensi sementara hubungan antara amplitude gelombang referensi dengan amplitude *carrier* menentukan indeks modulasi amplitude yang mempengaruhi tegangan rms keluaran V_{ab} ^[3].

$$Ma = \frac{Ar}{Ac} \quad (1)$$

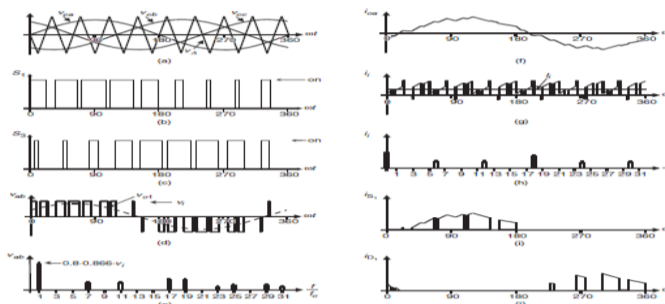
$$Mf = \frac{Fc}{Fr} \quad (2)$$

$$V_{ab_{rms}} = Ma \cdot \sqrt{3} \frac{Vi}{2\sqrt{2}} \quad 0 < Ma \leq 1 \quad (3)$$

Keterangan :

- Ma = Indeks modulasi amplitude
- Mf = Indeks modulasi frekuensi
- Ar = Amplitude gelombang *sinusoidal* (referensi)
- Ac = Amplitude *carrier* (gelombang pembawa / segitiga)
- F_c = Frekuensi gelombang segitiga (Hz) (*carrier*)
- F_r = Amplitude gelombang *sinusoidal* (Hz) (referensi)
- V_{ab} = Tegangan output inverter (Volt)
- V_i = Tegangan input (Vdc) (Volt)

Analisa Kinerja *Sinusoidal* PWM Inverter Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa



Gambar 1. Perbandingan Gelombang *Sinusoidal* (gelombang referensi) Dengan Gelombang Segitiga/Pembawa (*triangular wave*) dan outputnya [3]

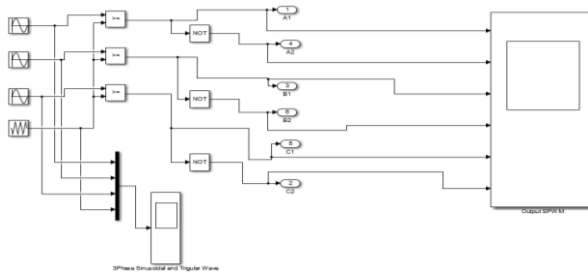
3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Sistem Menggunakan Metode SPWM *Inverter* Dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa

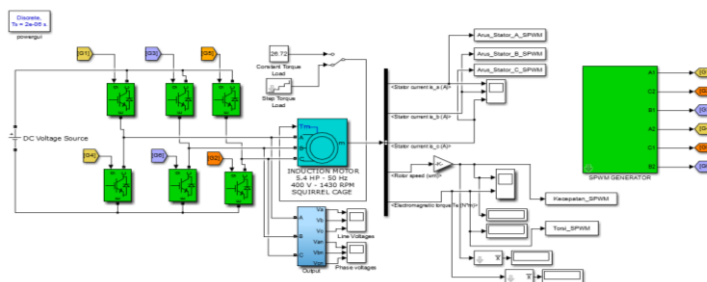
Pada penelitian ini akan menganalisa metode teknik modulasi yang pertama yaitu dengan metode SPWM. Analisa dilakukan dengan berbagai macam variasi pengujian untuk mengetahui berbagai parameter antara lain sebagai berikut: kualitas distorsi harmonisa tegangan output (THDv) dari *inverter*, distorsi harmonisa arus stator dari motor induksi tiga fasa (THDi), serta respon kecepatan dan torsi. Variasi pengujian yang dilakukan terdiri dari empat pengujian yaitu :

1. Pengujian dengan variasi indeks modulasi amplitude (ma).
2. Pengujian dengan variasi nilai frekuensi *carrier* (*switching*).
3. Pengujian dengan variasi nilai frekuensi fundamental (output).
4. Pengujian dengan variasi torsi beban (TL) pada motor induksi tiga fasa.

Pada gambar 2 dan gambar 3. merupakan blok diagram pada simulasi menggunakan software matlab dan pada tabel 1 merupakan data parameter motor induksi tiga fasa yang digunakan.



Gambar 2. Blok diagram perancangan SPWM generator



Gambar 3. Blok diagram secara keseluruhan SPWM *inverter* dengan beban motor induksi tiga fasa

Tabel 1. Data spesifikasi dan parameter motor induksi tiga fasa

<i>Rated Power</i>	5.4 HP (4 KW)
<i>Rated Voltage</i>	400 V
<i>Rated Frequency</i>	50 Hz
<i>Rated Speed</i>	1430 Rpm
<i>Torque Nominal (Tm)</i>	26.65 Nm
<i>Pole Pairs</i>	2 (4 Kutub)
<i>Stator Resistance (Rs)</i>	1.405 Ω
<i>Stator Inductance (Lls)</i>	0.005839 H
<i>Rotor Resistance (Rr)</i>	1.395 Ω
<i>Rotor Inductance (Llr')</i>	0.005839 H
<i>Mutual Inductance</i>	0.1722 H
<i>Moment Of Inertia</i>	0.0131 Kg.m ²
<i>Friction Factor</i>	0.002985 N.m.s

3.1.1 Pengujian Dengan Variasi Indeks Modulasi Amplitude (ma)

Pada pengujian variasi indeks modulasi amplitude ini akan menggunakan variasi indeks modulasi amplitude dari range (0.1-1) dengan nilai tegangan Vdc sebesar 653.19 volt, nilai frekuensi fundamental sebesar 50 Hz, dan nilai frekuensi *carrier* sebesar 2000 Hz, serta nilai torsi beban konstan pada motor induksi tiga fasa dengan nilai (TL) sebesar 26.72 Nm (Torsi nominal). Pemilihan tegangan Vdc sebesar 653.19 volt didapatkan dengan persamaan (2-3) sebagai berikut agar tegangan output yang dicapai dapat mencapai tegangan input motor induksi tiga fasa yaitu 400 volt.

$$V_{ab_{rms}} = Ma \cdot \sqrt{3} \frac{V_i}{2\sqrt{2}}$$

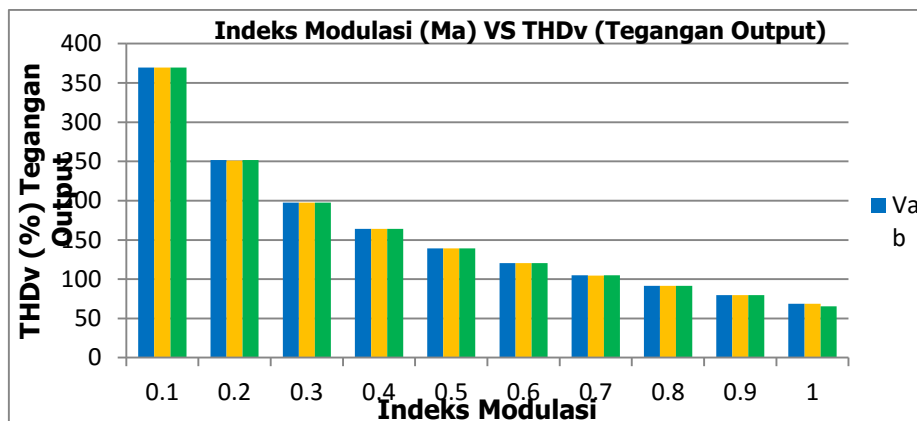
$$400 = 1 \cdot \sqrt{3} \frac{V_i}{2\sqrt{2}}$$

$$400 \cdot 2 = \sqrt{3} \cdot V_i$$

$$V_i = 653.19 \text{ Volt}$$

Perhitungan diatas menggunakan parameter dengan indeks modulasi sebesar 1 agar tegangan yang dihasilkan oleh output *inverter* mencapai 400 volt, sedangkan untuk nilai distorsi harmonisa tegangan yang ditimbulkan oleh frekuensi *switching* didapatkan dengan menggunakan simulasi matlab yang terlihat pada tabel 1. Berdasarkan pengujian ini akan didapatkan pengaruh yang terjadi antar variasi indeks modulasi amplitude yang digunakan. Berikut pada tabel 1 merupakan hasil yang didapatkan dari simulasi.

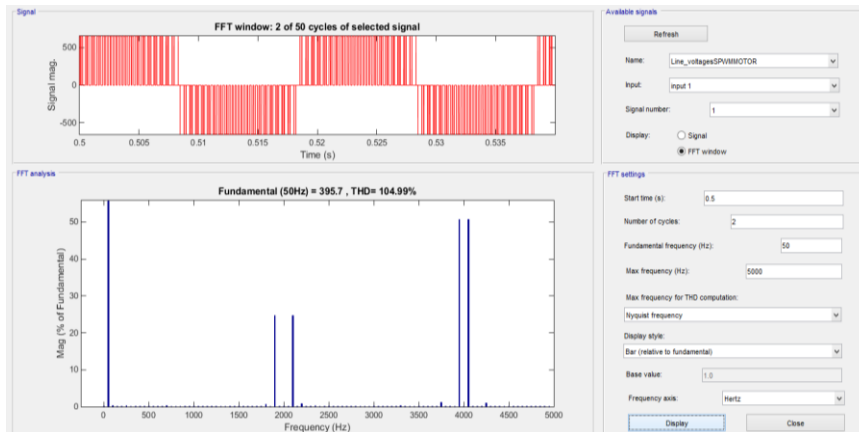
Analisa Kinerja *Sinusoidal* PWM Inverter Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa



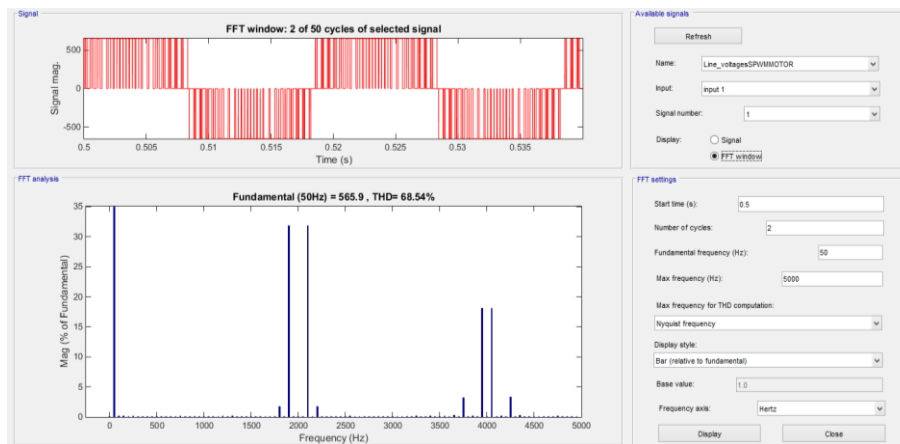
Gambar 4. Perbandingan indeks modulasi amplitude SPWM terhadap THDv (tegangan output)

Tabel 2. Pengujian dengan metode SPWM *inverter* terhadap motor induksi tiga fasa (variasi indeks modulasi amplitude range 0.1-1)

Ma	Tegangan Output (THDv (%) dan Fundamental)			Arus Stator (THDi (%) dan Fundamental)			Speed (RPM)	Te (Nm)
	Vab	Vbc	Vca	Is_A	Is_B	Is_C		
0.1	40.28 V (369.38 %)	40.27 V (369.42 %)	40.28 V (369.38 %)	5.90 A (2.36 %)	5.89 A (2.36 %)	5.90 A (2.34 %)	(- 1.71E+04)	0.07
0.2	80.09 V (251.87 %)	80.67 V (250.82 %)	80.09 V (251.87 %)	11.69 A (2.16 %)	11.79 A (2.15 %)	11.78 A (2.15 %)	(- 1.68E+04)	0.28
0.3	119.9 V (197.72 %)	120.1 V (197.34 %)	119.9 V (197.72 %)	17.53 A (1.98 %)	17.56 A (1.98 %)	17.55 A (1.98 %)	(- 1.62E+04)	0.66
0.4	159.5 V (163.97 %)	159.4 V (163.89 %)	159.5 V (163.97 %)	23.3 A (1.84 %)	23.28 A (1.83 %)	23.28 A (1.84 %)	(- 1.52E+04)	1.23
0.5	200 V (139.33%)	199.9 V (139.21 %)	200 V (139.33%)	29.1A (1.68 %)	29.09 A (1.69 %)	29.09 A (1.68 %)	(- 1.36E+04)	2.14
0.6	240 V (120.45 %)	240.1 V (120.47 %)	240 V (120.45 %)	34.43 A (1.59 %)	34.47 A (1.59 %)	34.44 A (1.59 %)	(- 1.03E+04)	3.92
0.7	279.8 V (104.99 %)	280.3 V (104.75 %)	279.8 V (104.99 %)	10.89 A (5.45 %)	10.97 A (5.42 %)	10.93 A (5.43 %)	1344	27.14
0.8	319.6 V (91.65 %)	319.7 V (91.64 %)	319.6 V (91.65 %)	9.43 A (6.79 %)	9.46 A (6.78 %)	9.45 A (6.80 %)	1390	27.14
0.9	360 V (79.58 %)	359.9 V (79.59 %)	360 V (79.58 %)	8.53 A (8.20 %)	8.51 A (8.21 %)	8.52 A (8.20 %)	1417	27.14
1	400.1 V (68.54 %)	399.8 V (68.62 %)	400.1 V (68.54 %)	7.97 A (9.71 %)	7.91 A (9.75 %)	7.94 A (9.71 %)	1435	27.13



Gambar 5. FFT spektrum harmonisa tegangan V_{ab} dengan indeks modulasi amplitude sebesar 0.7



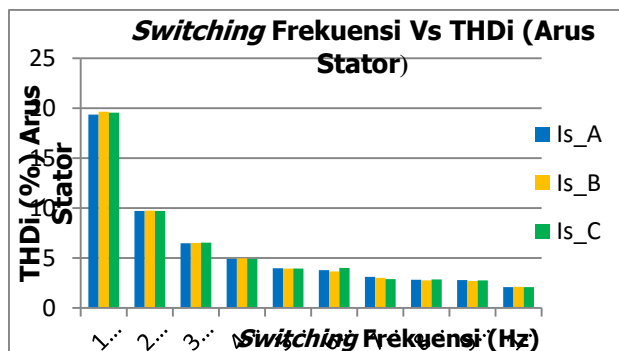
Gambar 6. FFT spektrum harmonisa tegangan V_{ab} dengan indeks modulasi amplitude sebesar 1

Berdasarkan tabel 2 dan gambar 4. pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa semakin tinggi nilai indeks modulasi amplitude yang digunakan maka nilai harmonisa tegangan output semakin kecil dan nilai tegangan yang dihasilkan semakin besar terlihat pada gambar 3.4, begitu juga berlaku sebaliknya jika semakin rendah nilai indeks modulasi, nilai distorsi harmonisa tegangan akan semakin besar serta nilai tegangan output akan semakin kecil seperti ditunjukkan pada gambar 5.

3.1.2 Pengujian Dengan Variasi Nilai Frekuensi *Carrier (switching)*

Pada pengujian ini akan dilakukan dengan variasi nilai frekuensi *carrier (switching)* dengan range sebesar 1 KHz - 10 KHz dengan parameter nilai tegangan V_{dc} sebesar 653.19 volt, nilai indeks modulasi amplitude sebesar 1, nilai frekuensi fundamental sebesar 50 Hz, serta nilai torsi beban konstan motor induksi sebesar 26.72 Nm (torsi nominal). Pengujian ini didapatkan hasil pengaruh variasi frekuensi *carrier* terhadap output yang dihasilkan. Berikut pada tabel 3. hasil yang diperoleh dari simulasi.

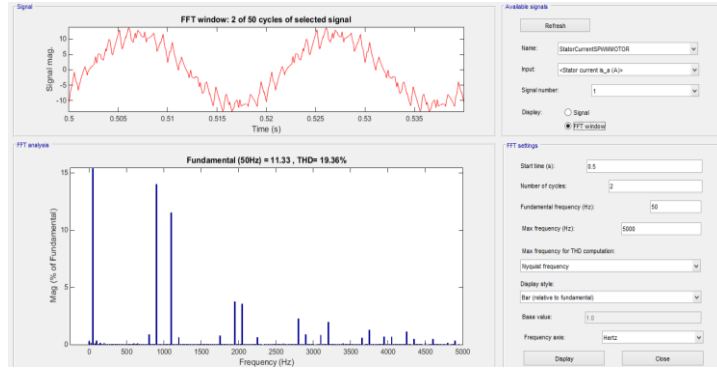
Analisa Kinerja *Sinusoidal* PWM Inverter Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa



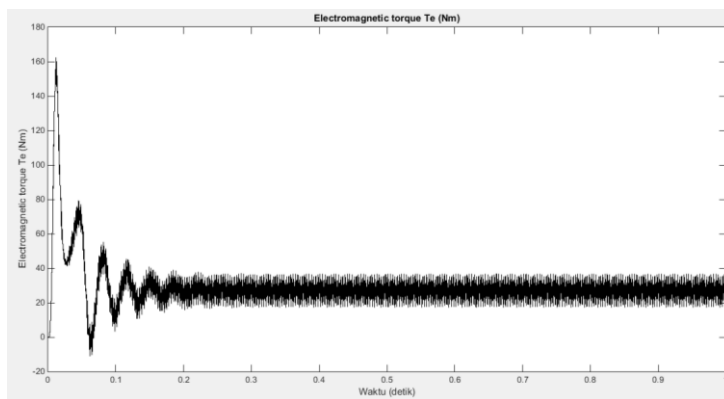
Gambar 7. Perbandingan *switching* frekuensi SPWM terhadap THDi (arus stator)

Tabel 3. Pengujian dengan metode SPWM *inverter* terhadap motor induksi tiga fasa (variasi frekuensi *carrier* range 1KHz – 10 KHz)

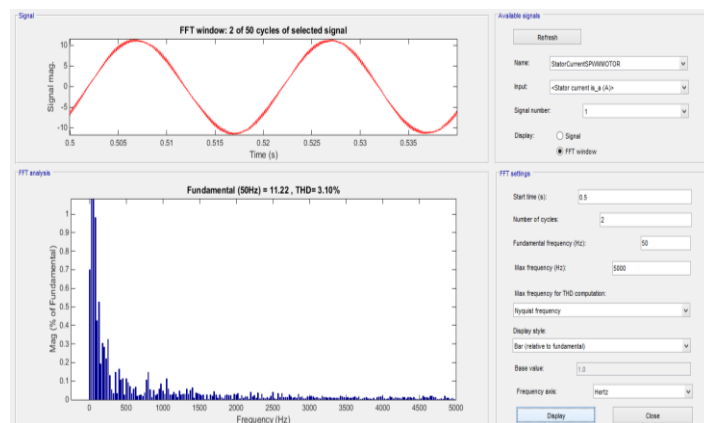
Fc (Hz)	Tegangan Output (THDv (%) dan Fundamental)			Arus Stator (THDi (%) and Fundamental)			Speed (RPM)	Te (Nm) Riak (%)
	Vab	Vbc	Vca	Is_A	Is_B	Is_C		
1000	399.9 V (68.58 %)	399.2 V (68.86 %)	399.9 V (68.58 %)	8.00 A (19.36 %)	7.89 A (19.69 %)	7.94 A (19.56 %)	1434	27.13 (71.76 %)
2000	400.1 V (68.54 %)	399.8 V (68.62 %)	400.1 V (68.54 %)	7.97 A (9.71 %)	7.91 A (9.75 %)	7.94 A (9.71 %)	1435	27.13 (38.92 %)
3000	400.2 V (68.50 %)	399.8 V (68.66 %)	399.7 V (68.66 %)	7.97 A (6.49 %)	7.95 A (6.52 %)	7.90 A (6.56 %)	1434	27.04 (30.76 %)
4000	400.2 V (68.52 %)	399.7 V (68.57 %)	400.2 V (68.52 %)	7.98 A (4.90 %)	7.90 A (4.98 %)	7.94 A (4.93 %)	1435	27.13 (28.67 %)
5000	398.6 V (68.94 %)	399.2 V (68.80 %)	398.6 V (68.94 %)	7.91 A (3.98 %)	7.99 A (3.95 %)	7.96 A (3.96 %)	1434	27.13 (20.49 %)
6000	400.1 V (68.49 %)	400 V (68.54 %)	399.8 V (68.69 %)	8.00 A (3.80 %)	7.99 A (3.65 %)	7.92 A (4.01 %)	1432	27.08 (23.37 %)
7000	400 V (68.70 %)	400 V (68.58 %)	399.9 V (68.54 %)	7.93 A (3.11 %)	7.94 A (3.02 %)	7.94 A (2.91 %)	1433	27.17 (17.66 %)
8000	399.7 V (68.76 %)	400.7 V (68.20 %)	399.7 V (68.76 %)	7.85 A (2.84 %)	8.02 A (2.77 %)	7.95 A (2.88 %)	1435	27.13 (18.20 %)
9000	399.7 V (68.62 %)	400.1 V (68.55 %)	399.8 V (68.63 %)	7.90 A (2.80 %)	7.95 A (2.69 %)	7.92 A (2.76 %)	1436	26.97 (17.38 %)
10K	401 V (68.29 %)	401.1 V (68.18 %)	401 V (68.29 %)	7.91 A (2.10 %)	7.94 A (2.13 %)	7.93 A (2.11 %)	1435	27.13 (10.13 %)



Gambar 8. FFT spektrum harmonisa arus stator (i_{s_A}) dengan frekuensi *carrier* sebesar 1000 Hz

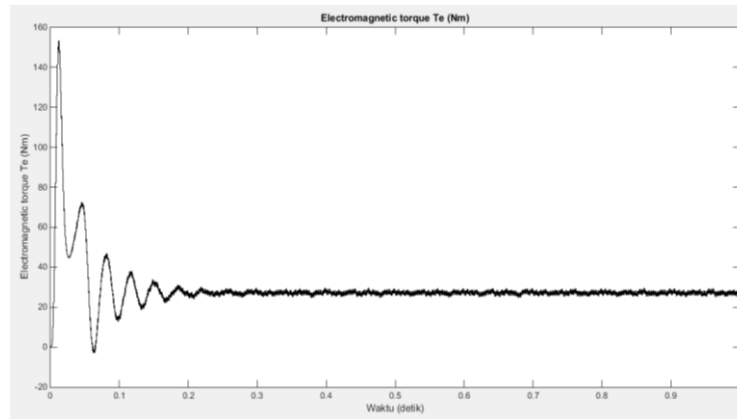


Gambar 9. Torsi elektromagnetik kondisi frekuensi *carrier* sebesar 1000 Hz



Gambar 10. FFT spektrum harmonisa arus stator I_{s_A} dengan frekuensi *carrier* sebesar 7000 Hz

Analisa Kinerja *Sinusoidal* PWM Inverter Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa



Gambar 11. Torsi elektromagnetik kondisi frekuensi *carrier* sebesar 7000 Hz

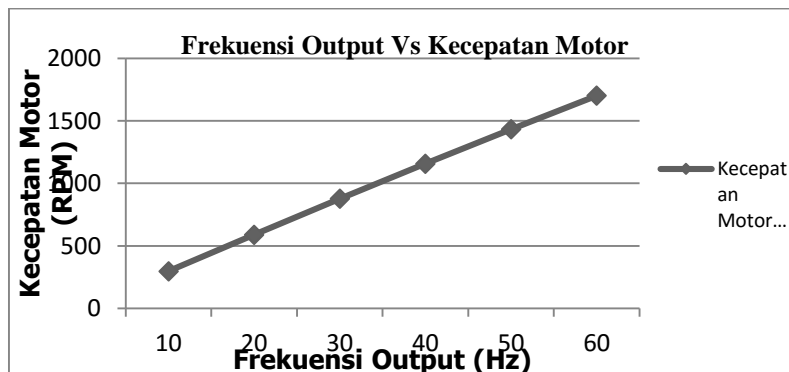
Berdasarkan hasil yang didapatkan pada tabel 3. dan grafik 7. terlihat bahwa pengaruh variasi frekuensi *carrier / switching* terdapat pada nilai distorsi harmonisa arus stator bahwa semakin besar nilai frekuensi *carrier* yang digunakan, nilai distorsi arus stator akan semakin kecil dan gelombang yang ditimbulkan akan semakin *sinusoidal* terlihat pada gambar 8. berlaku sebaliknya semakin kecil nilai frekuensi *carrier*, nilai distorsi harmonisa arus stator akan semakin besar seperti pada gambar 10. Berdasarkan pada tabel 3. didapatkan bahwa nilai distorsi harmonisa arus stator (THDi) terbesar dengan kondisi frekuensi *carrier* sebesar 1000 Hz, sedangkan nilai distorsi harmonisa arus stator (THDi) terendah dengan kondisi frekuensi *carrier* sebesar 10000 Hz. Pengujian variasi frekuensi *carrier* juga akan berpengaruh pada riak dari torsi elektromagnetik motor induksi, semakin besar nilai frekuensi *carrier* maka nilai riak dari torsi elektromagnetik akan rendah seperti pada gambar 9. dengan nilai sebesar 17.66 % dan sebaliknya semakin kecil frekuensi *carrier* maka nilai riak torsi elektromagnetik yang ditimbulkan akan semakin besar seperti pada gambar 10. dengan nilai sebesar 71.76 %

3.1.3 Pengujian Dengan Variasi Nilai Frekuensi Fundamental

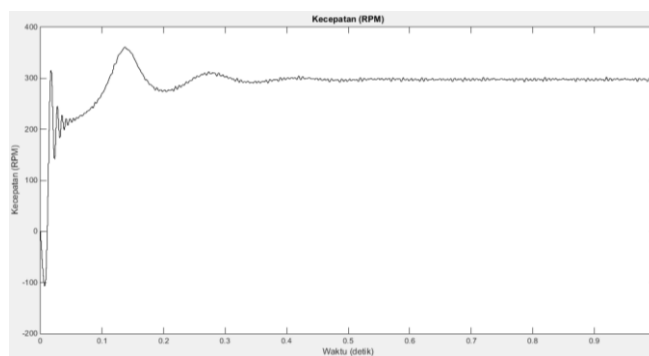
Pada pengujian ini dilakukan dengan kondisi variasi nilai frekuensi fundamental dengan nilai range 10 Hz - 60 Hz. Parameter yang digunakan dalam pengujian ini dengan nilai tegangan Vdc sebesar 653.19 volt, nilai indeks modulasi amplitude sebesar 1, nilai frekuensi *carrier* sebesar 7000 Hz, serta beban torsi konstan pada motor induksi tiga fasa sebesar 26.72 Nm. Penentuan parameter nilai indeks modulasi amplitude dan frekuensi *carrier* yang digunakan berdasarkan segi kualitas terbaik nilai harmonisa tegangan (THDv) dan arus stator (THDi) yang dihasilkan pada pengujian sebelumnya, untuk penentuan parameter indeks modulasi amplitude berdasarkan hasil pengujian pada tabel 2, sedangkan untuk penentuan frekuensi *carrier* berdasarkan pengujian pada tabel 3. Pada pengujian ini akan didapatkan analisa pengaruh dari variasi nilai frekuensi fundamental terhadap kualitas harmonisa tegangan dari *inverter* dan juga kinerja dari motor induksi tiga fasa baik dari segi harmonisa arus stator, kecepatan dan torsi elektromagnetik motor induksi tersebut. Berikut pada tabel 4. adalah hasil pengujian dari simulasi.

Tabel 4. Pengujian dengan metode SPWM *inverter* terhadap motor induksi tiga fasa (variasi frekuensi fundamental range 10 Hz - 60 Hz)

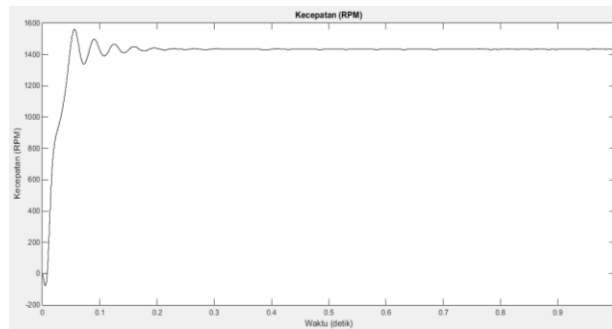
F (Hz)	Tegangan Output (THDv (%) dan Fundamental)			Arus Stator (THDi (%) dan Fundamental)			Speed (RPM)	Te (Nm) Riak (%)
	Vab	Vbc	Vca	Is_A	Is_B	Is_C		
10	400.1 V (68.55 %)	400 V (68.54 %)	400.2 V (68.52 %)	20.35 A (1.29 %)	20.32 A (1.28 %)	20.32 A (1.29 %)	297.6	26.81 (79.70 %)
20	399.9 V (68.60 %)	400.2 V (68.50 %)	399.8 V (68.61 %)	10.47 A (2.28 %)	10.5 A (2.32 %)	10.5 A (2.43 %)	590.2	26.86 (38.53 %)
30	399.9 V (68.62 %)	400.1 V (68.57 %)	399.9 V (68.56 %)	7.80 A (3.99 %)	7.74 A (3.90 %)	7.82 A (3.75 %)	877.5	26.71 (29.76 %)
40	399.7 V (68.64 %)	400 V (68.57 %)	400.6 V (68.41 %)	7.5 A (14.69 %)	7.23 A (15.07 %)	7.58 A (13.51 %)	1158	26.54 (39.48 %)
50	400 V (68.70 %)	400 V (68.58 %)	399.9 V (68.54 %)	7.93 A (3.11 %)	7.94 A (3.02 %)	7.94 A (2.91 %)	1433	27.17 (17.66 %)
60	400.7 V (68.54 %)	399.9 V (68.56 %)	399.9 V (68.52 %)	9.13 A (2.86 %)	9.03 A (2.74 %)	9.02 A (2.76 %)	1702	26.85 (22.34 %)



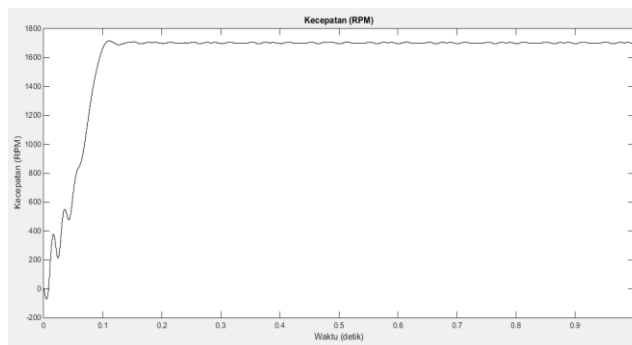
Gambar 11. Perbandingan antara frekuensi fundamental / output dengan kecepatan motor induksi tiga fasa



Gambar 12. Kecepatan motor induksi tiga fasa dengan frekuensi output sebesar 10 Hz



Gambar 13. Kecepatan motor induksi tiga fasa dengan frekuensi output sebesar 50 Hz



Gambar .14. Kecepatan motor induksi tiga fasa dengan frekuensi output sebesar 60 Hz

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4. didapatkan hasil bahwa saat kondisi frekuensi rendah yang dihasilkan oleh output *inverter* sebesar 10 Hz motor induksi tiga fasa berputar dengan kecepatan 297.6 rpm terlihat pada gambar 12. untuk kondisi frekuensi fundamental motor induksi dengan nilai 50 Hz motor induksi berputar dengan kecepatan 1433 rpm terlihat pada gambar 13. dan dengan kondisi frekuensi output tertinggi dari pengujian ini dengan nilai sebesar 60 Hz didapatkan kecepatan motor induksi sebesar 1702 rpm ditunjukkan pada gambar 14. Pada pengujian ini didapatkan bahwa semakin besar frekuensi output akan semakin besar kecepatan putar motor induksi yang dihasilkan, berlaku sebaliknya semakin kecil frekuensi output yang diberikan pada motor induksi maka kecepatan putar motor induksi akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan karakteristik frekuensi dengan kecepatan pada motor induksi seperti ditunjukkan pada grafik 11.

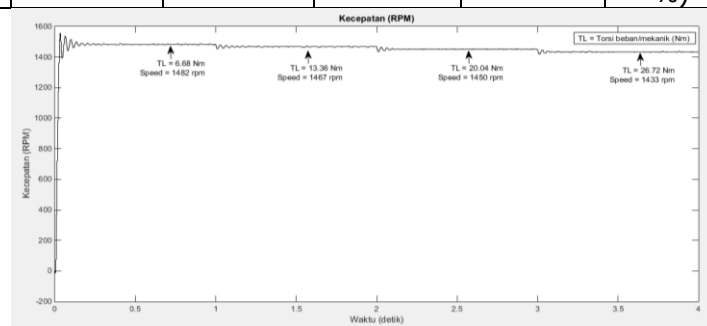
3.1.4 Pengujian Dengan Variasi Torsi Beban (TL) Pada Motor Induksi Tiga Fasa

Pengujian dengan variasi torsi beban (TL) ini dilakukan dengan memberikan beban pada motor induksi tiga fasa dengan nilai torsi beban sebesar 0 Nm ; 6.68 Nm; 13.36 Nm; 20.04 Nm; dan 26.72 Nm dengan kondisi variasi beban berubah setiap selang waktu nya yaitu 0; 0.8; 1.6; 2.4; 3.2; 4 detik. Parameter lainnya seperti tegangan V_{dc} sebesar 653.19 volt, nilai indeks modulasi sebesar 1, nilai frekuensi *carrier* sebesar 7000 Hz, serta frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Berdasarkan pengujian ini akan terlihat hasil dan pengaruh yang didapatkan dari variasi torsi beban terhadap kualitas output harmonisa tegangan dari *inverter* dan kinerja motor induksi dari segi harmonisa arus stator, kecepatan putar, dan torsi elektromagnetik dari

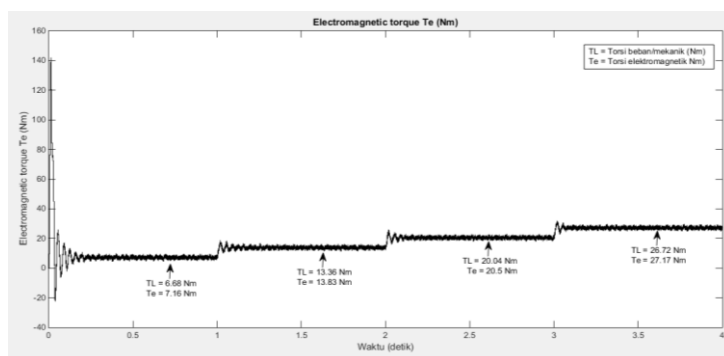
motor induksi tiga fasa. Pada tabel 5. akan menunjukkan hasil pengujian dari simulasi sebagai berikut.

Tabel 5. Pengujian dengan metode SPWM *inverter* terhadap motor induksi tiga fasa (variasi torsi beban (TL) berbeda/step)

TL (Nm)	Tegangan Output (THDv (%) dan Fundamental)			Arus Stator (THDi (%) dan Fundamental)			Speed (RPM)	Te (Nm) Riak (%)
	Vab	Vbc	Vca	Is_A	Is_B	Is_C		
6.68	399.9 V (68.74 %)	399.9 V (68.57 %)	399.8 V (68.52 %)	4.43 A (5.86 %)	4.45 A (5.62 %)	4.43 A (5.44 %)	1482	7.16 (63.33 %)
13.36	399.9 V (68.73 %)	399.8 V (68.55 %)	399.8 V (68.54 %)	5.29 A (4.50 %)	5.28 A (4.57 %)	5.28 A (4.70 %)	1467	13.83 (37.45 %)
20.04	399.5 V (68.79 %)	399.9 V (68.48 %)	399.6 V (68.68 %)	6.43 A (3.70 %)	6.52 A (3.75 %)	6.52 A (3.88 %)	1450	20.5 (24.34 %)
26.72	399.5 V (68.77 %)	399.8 V (68.49 %)	399.7 V (68.68 %)	7.92 A (3.13 %)	7.94 A (3.15 %)	7.96A (3.08 %)	1433	27.17 (16.30 %)



Gambar 15. Kecepatan motor induksi tiga fasa dengan kondisivariasi step torsi beban



Gambar 16. Torsi elektromagnetik motor induksi tiga fasa dengan kondisi variasi step torsi beban

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 5 pengaruh variasi step torsi beban pada motor induksi tiga fasa didapatkan bahwa semakin besar torsi beban (TL) yang diberikan akan semakin besar nilai arus stator yang dihasilkan sedangkan dari segi kecepatan putar, semakin besar nilai torsi beban yang diberikan maka kecepatan putar motor induksi akan semakin turun seperti ditunjukkan pada gambar 3.12, pada kondisi tanpa beban (0 Nm) kecepatan putar motor

induksi bernilai 1497 rpm dan dengan kondisi beban penuh / torsi nominal (26.72 Nm) kecepatan putar motor induksi berputar dengan nilai 1433 rpm. Sedangkan untuk nilai torsi elektromagnetik pada tabel 5 terlihat nilai riak yang cukup besar di tunjukkan pada gambar 16. Riak yang ditimbulkan ini berdasarkan dari segi kualitas harmonisa tegangan output dan harmonisa arus stator.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa besar/kecilnya nilai indeks modulasi amplitude berpengaruh pada nilai harmonisa tegangan, sedangkan untuk variasi frekuensi *carrier* berpengaruh pada nilai harmonisa arus stator dan riak pada torsi elektromagnetik pada motor induksi. Pada metode SPWM ini memiliki kualitas kinerja yang cukup baik dari segi kualitas harmonisa tegangan, arus stator dan juga riak torsi elektromagnetik yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Wahyu, Satiawan., & B.F. Citarsa., & Supriono. (2015). *Perbandingan Kinerja Teknik Modulasi Inverter Dua-Level untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fase*. Elektronik Jurnal Arus Elektro Indonesia (eJAEI).
- Bimal, B. (2002). *Modern Power Electronics And AC Drives*. Prentice Hall.
- Rashid, M. (2011). *Power Electronic Handbook Devices, Circuits, And, Applications Third Edition*. Butterworth-Heinemann.

