

SIMULASI PENGURANGAN *TOTAL HARMONIC DISTORTION* PADA INVERTER SATU FASA DENGAN METODE *SELECTIVE HARMONIC ELIMINATION*

Aprilia Liberty¹, Dian Yayan Sukma²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km. 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Email: aprilia.liberty@student.unri.ac.id

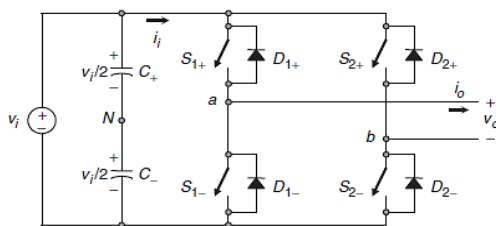
ABSTRACT

In Conversion process to be AC voltage and current, often happens some faults as harmonics. Harmonics effect in Electrical Power System is big enough causes overheated to equipment that has lower impedance. The propose of the research is to design and simulate an inverter to get mininum harmonics distortion values less than 5% as stated in Total Harmonics Distortion (THD). In this case, one phase fullbridge inverter performance uses Selective Harmonics Elimination (SHE) Method and Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) Method. SHE is used to eliminate ordinal harmonics carried by SPWM Inverter. SPWM only eliminates high ordinal harmonics therefore SHE is needed to eliminate lower ordinal harmonics. Determination of switching angle is solved by Newton Raphson Iteration Method. SPWM and SHE are analyzed based on simulation using MATLAB/SIMULINK 2016a software. SHEPWM inverter is equipped with LC filter to produce sinusoidal waveform output. The result of SHEPWM with LC filter design in single phase inverter produces 222 VAC ouput voltage and 0,28% of THD.

Keywords : Inverter, Newton Raphson, SHE, SPWM, THD

I. PENDAHULUAN

Inverter merupakan sebuah alat yang terdiri dari rangkaian elektronika (Gambar 1) yang berfungsi untuk mengubah atau meng-konversi arus listrik searah menjadi arus bolak-balik. Inverter juga merupakan kebalikan dari converter atau adaptor, yang berfungsi meng konversi tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC) (Ashari, 2017).



Gambar 1 Inverter satu fasa *fullbridge* (Hart, 2011)

Umumnya tegangan keluaran inverter harus sinusoida. Namun bentuk gelombang dari inverter yaitu non-sinusoida dan memiliki harmonisa. Untuk aplikasi pada tenaga listrik rendah dan medium, gelombang persegi dapat diterima namun dalam aplikasi tenaga listrik yang lebih tinggi dibutuhkan gelombang sinusoida yang sedikit distorsi. (Mythili & Kayalvizhi, 2013)

Sinusoidal Pulse Width Modulation

Salah satu masalah yang sering timbul dalam proses konversi yaitu *Total Harmonic Distortion* (THD). Dimana harmonisa merupakan pembentukan sinyal sinusoida yang nilainya merupakan kelipatan dari frekuensi dasarnya. Penggunaan metode SPWM memfasilitasi proses penyaklaran MOSFET yang mana menggunakan metode ini lebar pulsa dapat disesuaikan dengan efektif untuk mengurangi harmonisa (Aliyan, Hasanah, & Muslim, 2014).

Beberapa definisi dan pertimbangan yang relevan saat menggunakan PWM sebagai berikut (Hart, 2011) :

- Frequency modulation ratio* m_f . Deret Fourier tegangan keluaran PWM memiliki frekuensi fundamental yang mana sama dengan sinyal referensinya. Seperti persamaan 1

$$m_f = \frac{f_{carrier}}{f_{reference}} = \frac{f_{tri}}{f_{sine}} \quad (1)$$

(Hart, 2011)

- Amplitude modulation ratio* (M) Didefinisikan sebagai rasio amplitudo dari sinyal referensi dan pembawa. Seperti persamaan 2.

$$M = \frac{V_{m,reference}}{V_{m,carrier}} = \frac{V_{m,sine}}{V_{m,tri}} \quad (2)$$

(Hart, 2011)

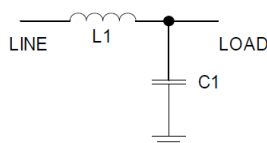
- c. Saklar. Saklar-saklar pada rangkaian jembatan penuh harus dapat membawa arus pada tujuannya untuk PWM seperti operasi pada pembangkitan persegi
- d. Tegangan referensi. Tegangan referensi sinusoida harus digenerasikan pada rangkaian control inverter atau dibawa dari luar referensi.

Filter LC

Filter pasif adalah yang paling konvensional untuk mengurangi harmonisa dari inverter yang terhubung ke grid karena mudah digunakan tanpa ada penambahan bagian control (Khamphakdi & Khan-ngern, 2009).

Untuk menghasilkan keluaran inverter agar berbentuk gelombang sinusoida, diperlukan dua tahap yaitu (Ashari, 2017):

- a. Membentuk suatu gelombang ac, dapat berupa gelombang persegi, segitiga, modulasi lebar pulsa (PWM).
- b. Selanjutnya melakukan *filtering*. Tipe *filter* LC (Gambar 2) adalah yang paling banyak digunakan inverter satu fasa karena hanya terdiri dari komponen L dan C.



Gambar 2 LC filter (Khamphakdi & Khan-ngern, 2009)

Persamaan untuk mencari nilai *filter* LC seperti persamaan 3 dan 4 berikut

$$C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L} \quad (3)$$

(Khamphakdi & Khan-ngern, 2009)

$$L = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C} \quad (4)$$

(Khamphakdi & Khan-ngern, 2009)

Dimana :

- L = Induktor
- C = Kapasitor
- f_0 = Frekuensi *Cut-off*

Selective Harmonic Elimination Pulse Width Modulation Technique

Objek utama adalah untuk mendapatkan keluaran tegangan ac sinusoidal dimana komponen fundamental dapat disesuaikan keinginan dalam sebuah range dan harmonisa dengan selektif dieliminasi (Rashid, 2011).

Dengan memvariasikan sudut fasa dari gelombang carrier dari inverter SPWM, yang mana menghasilkan harmonisa dominan dengan sidebands sangat dekat pada amplitudo dari harmonisa tegangan yang menonjol pada sistem tetapi pada polaritas kebalikannya. Dengan metode ini nilai THD dihitung untuk variasi 3, 5, 7 dan 9 urutan orde harmonisa. (Rajpriya, Ravi, & A.Zaidi, 2013)

Metode ini digunakan dengan memecahkan persamaan nonlinear. Persamaan-persamaan ini dibentuk untuk memecahkan nilai sudut penyaklaran inverter yang tidak diketahui (Aboadla, et al., 2016).

Penggunaan iterasi Newton-Raphson dilakukan dalam metode SHE pada inverter satu fasa untuk menghasilkan sudut penyaklaran dan selanjutnya digunakan untuk mereduksi harmonisa yang diinginkan (Toubal Mamar, et al., 2020). Pengembangan persamaan deret fourier pada SHEPWM satu fasa seperti persamaan 5 berikut

$$V_n = \frac{4V_{dc}}{n\pi} \sum_{k=1}^N (-1)^{k+1} \cos n\alpha_k, n = 1, 3, 5, \dots \quad (5)$$

(Aboadla, et al., 2016)

Dimana

- N = nomor sudut penyaklaran per quarter
- V_{dc} = amplitudo sumber dc
- n = urutan orde harmonisa
- α_k = sudut penyaklaran, dikondisikan dengan persamaan 6

$$\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \dots < \alpha_N < \pi/2 \quad (6)$$

(Aboadla, et al., 2016)

Sudut penyaklaran akan diadaptasikan untuk menciptakan sinyal keluaran optimal dengan THD yang tereduksi, persamaan 7 :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=3,5,7,\dots}^{\infty} (V_n)^2}}{V_1} \quad (7)$$

(Hart, 2011)

Dimana

- V_n = amplitudo komponen fundamental
- V_1 = amplitudo harmonisa n^{th}

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah melakukan perancangan inverter satu fasa jembatan penuh dengan pembangkitan SPWM kemudian menggabungkan metode SHE dengan PWM kemudian melakukan perancangan *filter* LC agar mendapatkan keluaran yang berbentuk sinyal sinusoidal. Simulasi perancangan dilakukan agar mendapatkan nilai tegangan keluaran THD yang rendah yaitu kurang dari 5%.

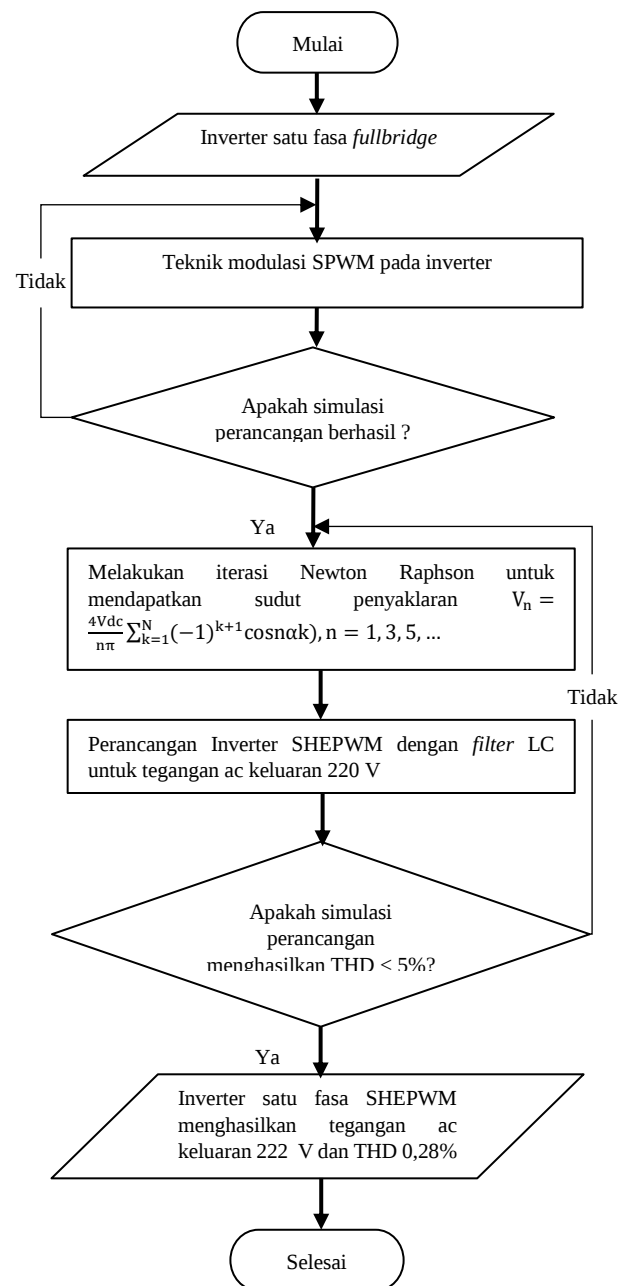
Alat dan Bahan

Adapun perangkat keras yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian ini adalah Laptop Lenovo G480 dengan spesifikasi :

- Sistem Operasi : Windows 10 Pro 64-bit
- RAM : 8 GB
- Processor : Intel® Core™ i3-2328M CPU @2.20GHz
- Perangkat lunak yang digunakan yaitu Matlab/Simulink 2016a 64 bit yang dikembangkan oleh Mathwork, inc.

Langkah - Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.



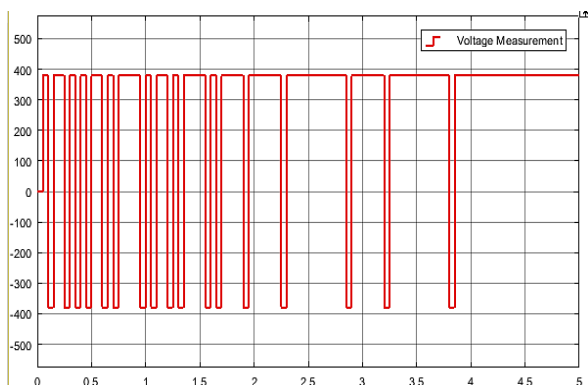
Gambar 3 Diagram alir penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini berisikan hasil simulasi menggunakan Matlab/Simulink 2016a serta analisa hasil.

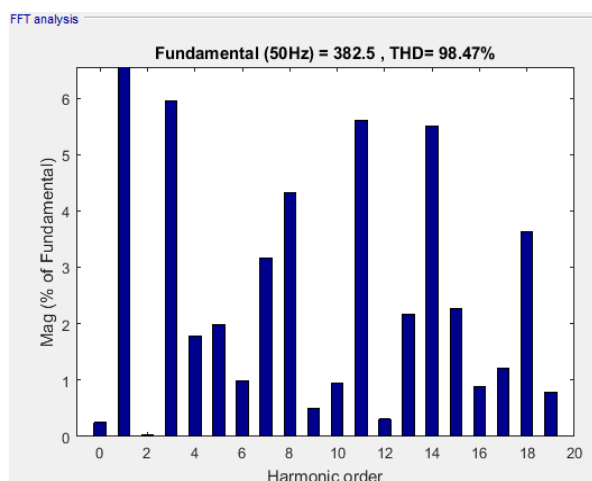
Hasil Simulasi Inverter SPWM Satu Fasa

Pada rancangan inverter dengan SPWM dihasilkan bentuk tegangan keluaran seperti Gambar 4.



Gambar 4 Tegangan keluaran inverter SPWM

Gambar 4 menunjukkan bahwa tegangan keluaran inverter PWM berbentuk gelombang persegi yaitu 382 V.



Gambar 5 FFT analysis Tegangan keluaran inverter

Dari hasil FFT analysis Simulink (Gambar 5) menunjukkan bahwa inverter SPWM menghasilkan tegangan ac keluaran 382,5 V dan THD 98,47%

Hasil Iterasi Newton-Raphson

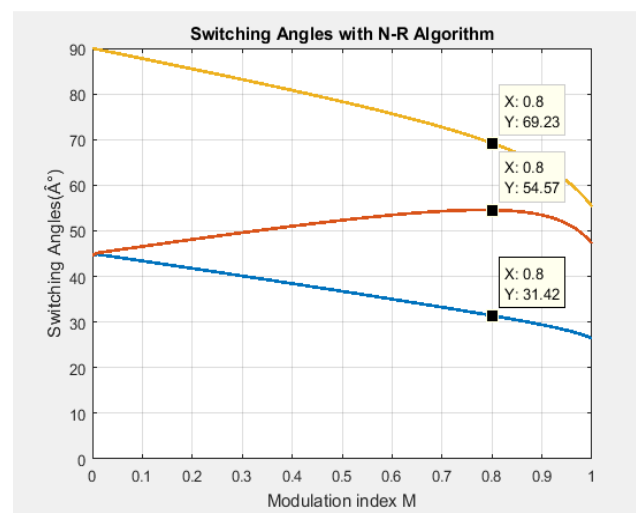
Harmonisa yang akan di eliminasi yaitu pada urutan orde ke 3 dan 5. Setelah dilakukan iterasi Newton Raphson di Matlab dengan menentukan *set point* terlebih dahulu maka didapatkan tiga sudut penyaklaran (Tabel 1).

Tabel 1. Sudut penyaklaran hasil iterasi Newton Raphson

M (Indeks modulasi)	Degree (°)			Radian (Rad)		
	α_1	α_2	α_3	α_1	α_2	α_3
0,1	43,3952	46,5751	87,7471	0,7573	0,8128	1,5314
0,2	41,7655	48,1125	85,4762	0,7289	0,8397	1,4918

M (Indeks modulasi)	Degree (°)			Radian (Rad)		
	α_1	α_2	α_3	α_1	α_2	α_3
0,3	40,1136	49,5993	83,1668	0,7000	0,8656	1,4514
0,4	38,4402	51,0147	80,7918	0,6708	0,8903	1,4100
0,5	36,7436	52,3233	78,3119	0,6412	0,9131	1,3667
0,6	35,0192	53,4616	75,6620	0,6111	0,9330	1,3205
0,7	33,2552	54,3045	72,7213	0,5804	0,9477	1,2691
0,8	31,4202	54,5694	69,2269	0,5483	0,9523	1,2082
0,9	29,4054	53,4507	64,4559	0,5132	0,9328	1,1249
1	26,4389	47,2314	55,3176	0,4614	0,8243	0,9654

Dengan data Tabel 1 maka diperoleh bentuk grafik sudut penyaklaran seperti pada Gambar 6.

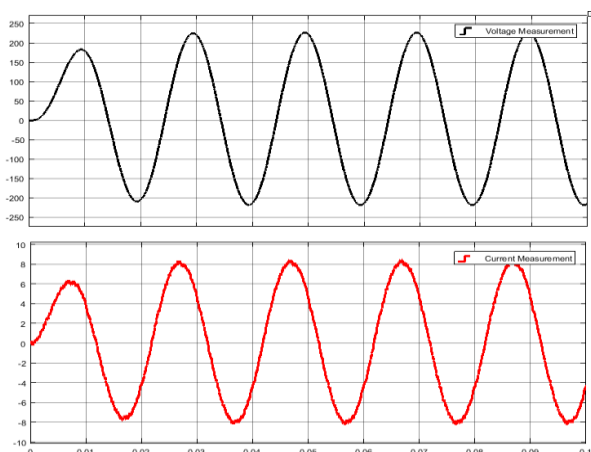


Gambar 6 Grafik sudut penyaklaran hasil iterasi Newton Raphson

Dari hasil iterasi tersebut kemudian diuji coba setiap nilai indeks modulasi (M) agar menghasilkan nilai keluaran yang diinginkan sehingga nilai M = 0,8 ditetapkan sebagai nilai yang dibutuhkan karena dapat menghasilkan THD < 5% dan tegangan ac keluaran 220 V.

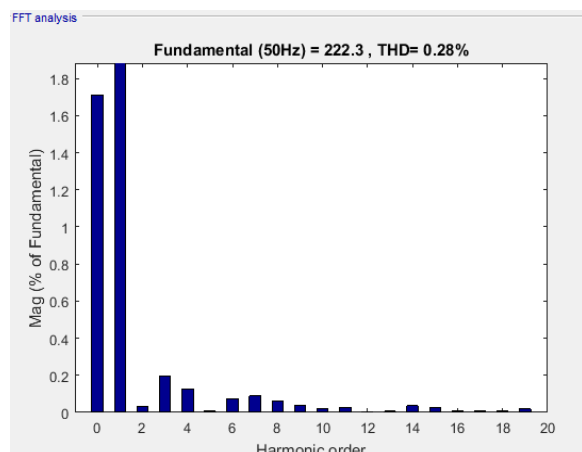
Hasil Simulasi SHEPWM dengan Filter LC

Perancangan inverter SHEPWM dengan *filter* LC menghasilkan bentuk gelombang keluaran tegangan ac seperti pada Gambar 7



Gambar 7 Hasil keluaran tegangan (kuning) dan arus (biru) SHEPWM dengan *filter* LC

Setelah mendapatkan sudut penyaklaran pada nilai M yang ditentukan, nilai-nilai sudut digabungkan dengan SPWM kemudian dilakukan pemasangan *filter* LC yang disesuaikan sehingga menghasilkan keluaran seperti Gambar 8.



Gambar 8 FFT analysis tegangan keluaran SHEPWM dengan *filter* LC

Dari teknik SHEPWM ini mendapatkan hasil tegangan ac keluaran 222,3 V, dan THD 0,28% (Gambar 8). Dapat dilihat juga bahwa nilai harmonisa orde ke 3 yang semula hampir 6% (Gambar 5) berkurang menjadi sekitar 0,2% (Gambar 8) dan orde ke 5 semula 2% (Gambar 5) menjadi sekitar 0,02% (Gambar 8). Bentuk gelombang tegangan sudah berbentuk sinusoida.

IV. KESIMPULAN

Metode SHE hanya dapat mereduksi harmonisa pada orde rendah yaitu 3, 5, ..., 13 dengan menggunakan iterasi Newton Raphson untuk mendapatkan sudut penyaklarannya.

Sedangkan harmonisa yang lebih besar di eliminasi oleh SPWM dan *filter* LC. Pemasangan *filter* LC serta perhitungan *filter* LC yang tepat menghasilkan bentuk gelombang sinusoida dengan sedikit distorsi dan tegangan keluaran yang diinginkan. Teknik SHEPWM pada inverter satu fasa dengan *filter* LC menghasilkan tegangan ac keluaran 222,3 V dan nilai THD yang lebih rendah dari 5% yaitu 0,28%.

Daftar Pustaka

- Aboadla, E. H., Khan, S., Habaebi, M. H., Gunawan, T., Hamidah, B. A., & Tohtayong, M. (2016). *Modulation Optimization Effect on Total Harmonic Distortion of Single Phase H-Bridge Inverter Based Selective Harmonic Elimination Technique*. IEEE International Conference on Computer & Communication Engineering, Malaysia pp 200-203.
- Aliyan, L. R., Hasanah, R. N., & Muslim, M. A. (2014). *Design of Inverter with Less Harmonics using Buck-Boost Converter and SPWM*. EECSEI, Yogyakarta pp 296-300.
- Ashari, M. (2017). *Desain Konverter Elektronika Daya*. Informatika Bandung, Bandung pp 131-151.
- Hart, D. W. (2011). *Power Electronics*. McGraw-Hill, New York pp 332-379.
- Khamphakdi, P., & Khan-ngern, W. (2009). *The Analysis of Output filter for Grid Connected Single Phase Full Bridge Inverter Based on PSpice Simulation Technique*. King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok pp 1-3.
- Mythili, M., & Kayalvizhi, N. (2013). *Harmonic Minimization in Multilevel Inverters Using Selective Harmonic Elimination PWM Technique*. IEEE International Conference on Renewable Energy and Sustainable Energy, India pp 70-74.
- Rajpriya, G., Ravi, D. S., & A.Zaidi, A. M. (2013). *Design dan Development of MATLAB Simulink Based Selective Harmonic*

Elimination Technique for Three Phase Voltage Source Inverter. IEEE International Conference on Advanced Computing and Communication System, India pp 1-5.

Rashid, M. H. (2011). *Power Electronics Handbook*. Elsevier Inc, Burlington pp 358-406.

Toubal Mamar, A. E., Helaimi, M., Taleb, R., Mouloudj, H., Elamri, O., & Gadoum, A. (2020, February). *Mathematical Analysis of N-R Algorithm for Experimental Implementation of SHEPWM Control on Single Phase Inverter*, Vol. 68 No. 2, IJETT, Morocco pp 9-16.