

## Rancangan EMI Filter Untuk Inverter 3 Fasa Berdasarkan Metode SPWM

Ihsan Auditia Akhinov <sup>1)</sup>, Devi Handaya <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta  
Jl. Prof. Dr.G.A.Siwabessy, Kampus UI, Depok  
Email : [ihsan.auditia.akhinov@elektro.pnj.ac.id](mailto:ihsan.auditia.akhinov@elektro.pnj.ac.id)

**Abstrak.** Hasil metode Sinus Pulse Width Modulation (SPWM) untuk inverter 3 fasa mempunyai nilai Total Harmonic Distortion (THD) yang bervariasi. Standar nilai THD berdasarkan IEEE 519-2014 adalah dibawah 5%. Nilai THD yang kecil dapat diperoleh dengan mengatur nilai frekuensi gelombang segitiga menjadi tinggi. Namun, spesifikasi perangkat keras yang dibutuhkan menjadi lebih tinggi. Penelitian ini mencoba melakukan pendekatan pada bagian filter menggunakan simulasi MATLAB. Jenis Filter yang digunakan merupakan EMI filter dengan konfigurasi PI. Konfigurasi Filter EMI dan frekuensi segitiga 1000 Hz menghasilkan nilai THD dibawah 5% dengan range frekuensi sinus 25-100 Hz.

**Katakunci:** SPWM, Inverter, MATLAB, EMI Filter, THD.

### 1. Pendahuluan

Inverter 3 fasa banyak digunakan pada aplikasi yang berdaya besar. Hal ini berkaitan dengan pengaturan frekuensi dan amplitudo sinyal yang dapat dilakukan pada perangkat inverter tersebut. Pengaturan nilai amplitudo dan frekuensi tersebut dapat dilakukan oleh inverter model *voltage source inverter* (VSI) [1]. Pada inverter model VSI 3 fasa untuk menghasilkan gelombang sinusoidal dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu Six-Step dan PWM. Untuk menghasilkan harmonisa sinyal sinus yang kecil sesuai standar dibawah 5% (standar IEEE 519-2014) metode yang digunakan adalah PWM yang di hasilkan oleh komparasi sinyal sinus dan sinyal segitiga (*carrier signal*). Metode ini dikenal juga dengan *Sinus Pulse Width Modulation* (SPWM).

Metode SPWM akan menghasilkan parameter harmonisa yang kecil berdasarkan nilai frekuensi pada sinyal segitiga [2][3]. Nilai frekuensi segitiga besarnya akan dibatasi oleh kemampuan hardware yang digunakan. Untuk itu dengan frekuensi segitiga yang kecil tetap dapat menghasilkan nilai harmonisa yang rendah memerlukan sebuah filter [4][5]. Untuk jenis filter pasif yang di gunakan adalah termasuk golongan low pass filter (LPF). Semakin besar nilai kapasitor atau induktor yang digunakan akan mempengaruhi penurunan nilai output[6].

Penelitian sebelumnya [4], menggunakan *lowpass* filter konfigurasi T filter untuk inverter 3 fasa dengan nilai frekuensi segitiga mencapai 30 Khz. Sehingga hasil yang didapatkan nilai harmonisa tanpa filter mencapai 42,12%. Untuk membuat filter dari keadaan harmonisa tersebut tidak membutuhkan nilai kapasitor dan inductor yang besar akan tetapi membutuhkan *hardware* pembangkit sinyal segitiga yang mempunyai kapabilitas yang baik.

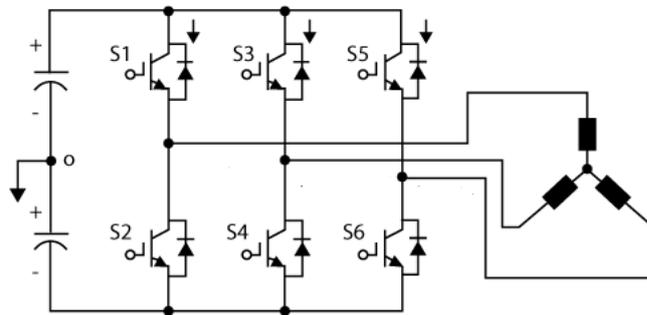
Adapun teknologi inverter 3 fasa yang telah dilakukan untuk menghasilkan gelombang sinyal AC dengan nilai harmonisa yang kecil dilakukan dengan bantuan komputer dan software MATLAB[7]. Sinyal segitiga yang dihasilkan dari perangkat Komputer tersebut memiliki nilai frekuensi sinyal segitiga yang tinggi. Gelombang sinyal AC yang dihasilkan tetap membutuhkan filter sederhana dari komponen Induktor dan kapasitor untuk memperkecil nilai THD.

Pada penelitian ini mencoba melakukan perancangan dan simulasi pada MATLAB menggunakan frekuensi segitiga sebesar 1000 Hz dihubungkan dengan EMI filter dengan konfigurasi PI. Untuk mencapai standar IEEE 519-2014 sebesar 5% nilai *frekuensi cut off* akan divariasikan.

#### 1.1 Metode SPWM

Untuk inverter 3 fasa terdiri dari 6 saklar yaitu  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5,$  dan  $S_6$ . Skalar tersebut bisa menggunakan Mosfet/IGBT yang terlihat pada Gambar 1. Pengoperasian saklar tersebut diatur oleh

metode SPWM. Metode SPWM terdiri dari sinyal segitiga disebut sebagai sinyal pembawa dan sinyal sinus sebagai sinyal referensi. Untuk menentukan waktu aktif masing-masing saklar akan dihasilkan dari komparasi Amplitudo pembawa  $A_c$  dan Amplitudo referensi  $A_{ref}$ , dengan aturan sebagai berikut untuk fasa 0 [1][8], jika  $A_{ref} > A_c$  maka  $S_1$  On,  $S_2$  Off, atau jika  $A_{ref} < A_c$  maka  $S_1$  Off,  $S_2$  On.

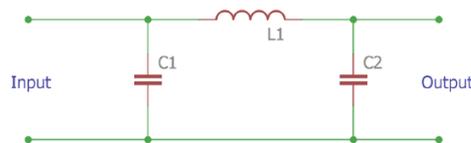


Gambar 1. Konfigurasi inverter 3 fasa

Aturan tersebut berlaku untuk satu sinyal pada lintasan R dengan fasa netral. Untuk Saklar lainnya  $S_3$ - $S_4$ , dan  $S_5$ - $S_6$ . sinyal refensi akan menyesuaikan. Sinyal refensi fasa -120 untuk mengatur  $S_3$ - $S_4$ , dan Sinyal refensi fasa +120 untuk  $S_5$ - $S_6$ .

### 1.2 Lowpass Filter

Filter yang digunakan adalah filter pasif orde 2 dengan konfigurasi PI bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lowpass filter orde 2

Untuk formula filter ini :

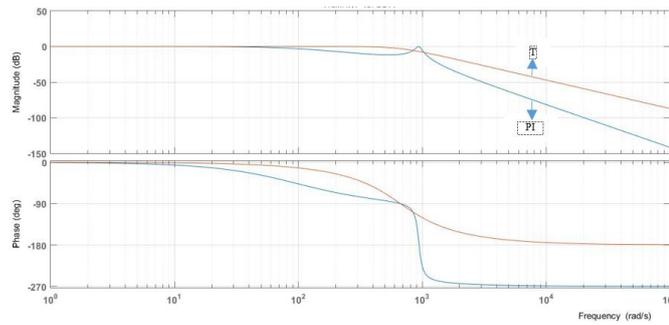
$$f_{cut} = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (1)$$

$$C = \frac{1}{Z_o \cdot \pi \cdot f_{cut}} \dots\dots\dots (2)$$

$$L = \frac{Z_o}{\pi \cdot f_{cut}} \dots\dots\dots (3)$$

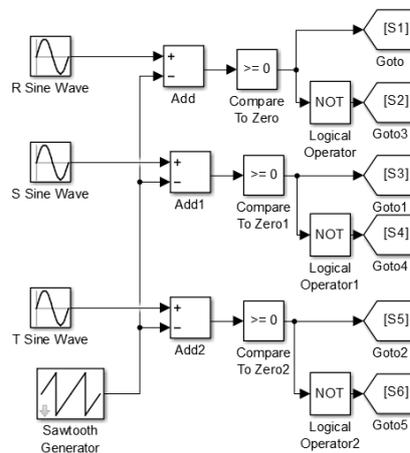
### 1.3 Metodologi

Metode yang akan dilakukan adalah pengembangan dari penelitian sebelumnya [4]. Untuk membuat nilai THD mengecil dari output inverter ditambahkan lowpass filter. Konfigurasi model EMI filter dapat dikombinasikan dari rangkaian R,L,C [9]. Penggunaan Pi bertujuan untuk mengurangi ketergantungan dengan jumlah induktor. Selain itu Hasil EMI filter pada konfigurasi PI menghasilkan slope kemiringan yang lebih baik dari konfigurasi T bisa dilihat pada Gambar 3.



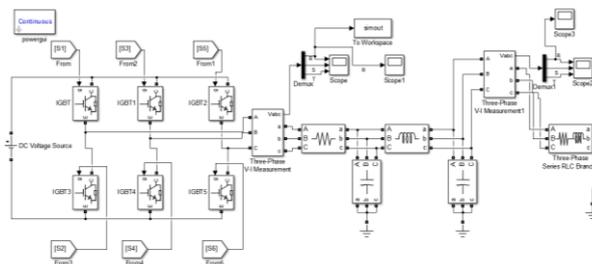
Gambar 3. Hasil bode plot low pass filter dengan konfigurasi T dan PI

Metode SPWM membutuhkan pengkomparasian sinyal pembawa dan referensi. Sistem ini dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai sistem komutasi di inverter. Amplitudo pembawa 20% lebih besar dari amplitudo sinyal referensi [1]. Salah satu tujuannya adalah untuk menghindari harmonisa disaat amplitudo sinyal referensi berada di titik maksimum atau minimum. Frekuensi sinyal pembawa adalah sebesar 1000 Hz , sedangkan frekuensi sinyal referensi adalah 0-100 Hz.



Gambar 4. Konfigurasi sistem SPWM 3 fasa

Untuk konfigurasi sistem SPWM pada 3 fasa dapat dilihat pada Gambar 5. Komponen utama dari sistem tersebut adalah Komponen IGBT dengan fungsi sebagai saklar, Komponen sumber tegangan DC dan juga rangkaian PI filter. Nilai masing-masing komponen pada PI filter akan divariasikan sesuai dengan hasil perhitungan berdasarkan cut off frequency. Sinyal output yang dihasilkan dari keluaran IGBT akan melewati EMI filter. Hasil dari filter akan diamati dari segi Vrms dan juga THD.



Gambar 5. SPWM dengan filter konfigurasi PI dan beban

Untuk beban yang dihubungkan pada jaringan 3 fasa R-S-T membunyai sifat resistansi dan induktansi dimana bernilai tetap. Filter EMI dengan konfigurasi PI akan bekerja dengan baik jika nilai impedansi pada jaringan inverter lebih rendah dari beban yang akan diberikan [9].

Untuk spesifikasi sinyal pembawa ( $f_c$ ) adalah 1000 Hz dan frekuensi referensi 0-100 Hz ( $f_{ref}$ ) maka nilai rasio modulasi frekuensinya adalah 0-10. Sedangkan untuk nilai rasio modulasi amplitudo adalah sebesar 0.8 dengan perbandingan nilai amplitudo sinyal referensi  $A_{ref}$  sama dengan 0.8 kali amplitudo sinyal pembawa  $A_c$ [10][11][12].

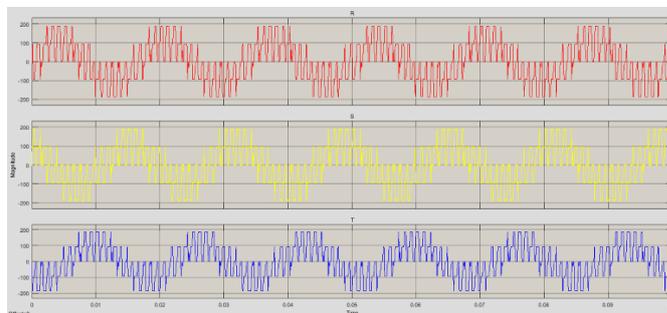
$$M_f = \frac{f_c}{f_{ref}} \dots\dots\dots (4)$$

$$M_f = \frac{A_{ref}}{A_c} \dots\dots\dots (5)$$

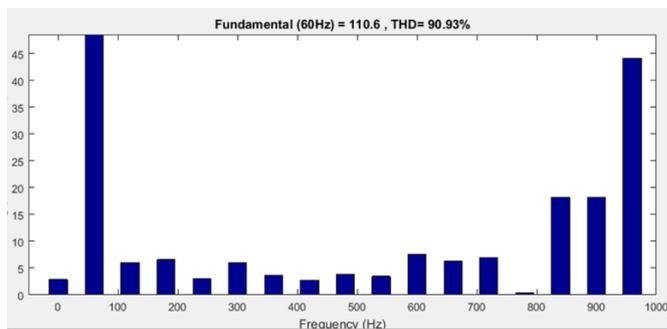
**2. Pembahasan**

Menguraikan hasil analisis kualitatif dan/atau kuantitatif dengan penekanan pada jawaban atas permasalahan. Pembahasan juga dikembangkan dengan hasil-hasil penelitian sudah ada berikut referensi yang mendukung. Isi didukung dengan gambar dan tabel yang dirujuk dalam naskah.

Untuk menentukan nilai kapasitor dan induktor pada EMI filter perlu melihat hasil output inverter tanpa filter yang dapat dilihat pada Gambar 6. Selanjutnya, jaringan R pada 3 fasa maka ditransformasikan menggunakan Fast Fourier Tranform (FFT) dan dilihat magnitude yang besar diluar frekuensi referensi.



Gambar 6. Hasil Inverter 3 fasa tanpa filter



Gambar 7. FFT dan analisa THD pada fasa R

Tabel 1. Parameter Inverter

| Parameter                        | Nilai           |
|----------------------------------|-----------------|
| Frekuensi Pembawa/ Gel. Segitiga | 1000 Hz         |
| Frekuensi Sinus                  | 0-100 Hz        |
| Sumber DC                        | 282 V           |
| Tipe Saklar                      | IGBT            |
| Amplitudo Sinyal Pembawa         | 1               |
| Amplitudo Sinyal Referensi       | 0.8             |
| Impendansi Inverter              | 10 ohm          |
| Impendansi Beban                 | 100 ohm & 10 mH |

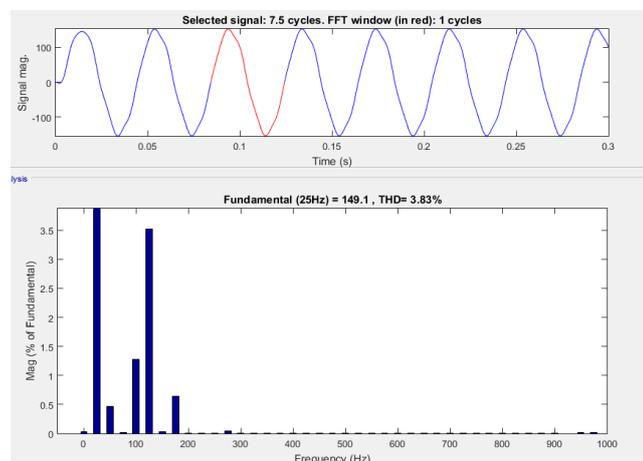
Parameter tetap yang ada pada inverter dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai frekuensi sinyal referensi yang digunakan 0-100 Hz sehingga frekuensi diluar itu akan dihilangkan oleh filter. Pada Gambar 7 didapatkan nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) mencapai 90.93% untuk frekuensi referensi 60 Hz. Hal tersebut melebihi batas maksimal IEEE 519-2014 sebesar 5%. Perangkat yang terhubung dengan inverter ini tanpa menggunakan filter akan mempersingkat umur pemakaian.

### 2.1. Hubungan EMI Filter dengan Frekuensi Cut Off

Tabel 2. Hasil Simulasi THD terhadap Nilai Frekuensi Referensi & Frekuensi Cut Off

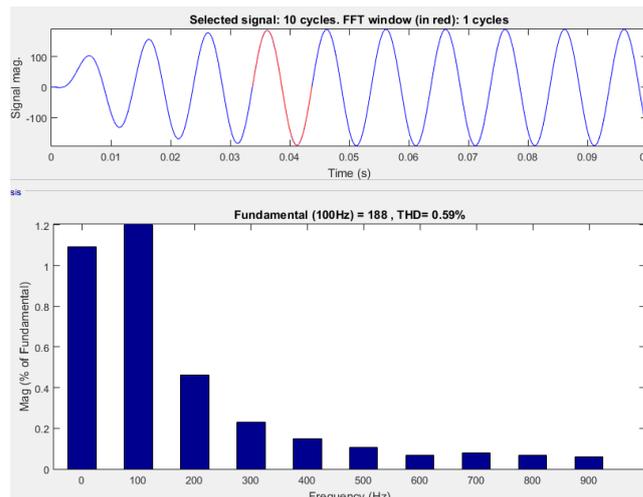
| No. | Frekuensi Referensi (Hz) | Frekuensi Cut Off (Hz) | THD (%) |
|-----|--------------------------|------------------------|---------|
| 1   | 60                       | 800                    | 24.98   |
| 2   | 60                       | 500                    | 11.49   |
| 3   | 60                       | 200                    | 1.86    |
| 4   | 60                       | 150                    | 1.92    |
| 5   | 75                       | 150                    | 2.49    |
| 6   | 100                      | 150                    | 0.70    |
| 7   | 25                       | 150                    | 8.19    |
| 8   | 10                       | 150                    | 7.88    |
| 9   | 10                       | 120                    | 6.45    |
| 10  | 10                       | 110                    | 6.17    |
| 11  | 15                       | 110                    | 7.94    |
| 12  | 25                       | 110                    | 3.83    |
| 13  | 50                       | 110                    | 1.72    |
| 14  | 75                       | 110                    | 0.48    |
| 15  | 100                      | 110                    | 0.59    |

Hasil simulasi yang ada pada Tabel 2 memperlihatkan nilai frekuensi *cut off* yang mendekati nilai frekuensi referensi akan menghasilkan persentasi nilai THD yang kecil. Pada keadaan frekuensi *cut off* mencapai 110 Hz, nilai frekuensi referensi terkecil yang memenuhi standar THD dibawah 5% hanya terdapat pada frekuensi 25-100 Hz. Nilai frekuensi referensi 0-25 tidak bisa digunakan karena tidak memenuhi standar.



Gambar 8. Sinyal Fasa R terhadap Netral dan Analisa FFT-THD dengan 110 Hz dan 25 Hz

Salah satu cuplikan dari hasil keluaran dengan ketentuan  $f_{cut}$  110 Hz dan  $f_{ref}$  25 Hz pada Gambar 8. Sinyal sinus keluaran dari filter dapat dilihat masih memiliki harmonisa sinyal akan tetapi berdasarkan analisa THD sebesar 3.83 % masih dalam standar. Untuk cuplikan  $f_{cut}$  110 Hz dan  $f_{ref}$  100 Hz bisa dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Sinyal Fasa R terhadap Netral dan Analisa FFT-THD dengan 110 Hz dan 100 Hz

## 2.2. Hubungan EMI Filter dengan Impedansi Beban

Tabel 3. Parameter Inverter

| No. | Beban            |                 | THD (%) |
|-----|------------------|-----------------|---------|
|     | Resistansi (ohm) | Induktansi (mH) |         |
| 1   | 25               | 25              | 1.64    |
| 2   | 50               | 50              | 1.78    |
| 3   | 75               | 75              | 1.88    |
| 4   | 125              | 125             | 1.97    |
| 5   | 500              | 500             | 2.07    |
| 6   | 1000             | 1000            | 2.09    |

Pada Tabel 3 dilakukan simulasi untuk nilai beban yang bervariasi. Hasil yang didapatkan menunjukkan filter EMI mampu bekerja dengan baik berdasarkan nilai THD yang kecil dari 5 %.

## 3. Simpulan

Hasil simulasi menunjukkan untuk menggunakan EMI filter dengan keterbatasan sinyal pembawa 1000 Hz dapat menjaga nilai THD di bawah 5%. Sehingga pemakaian inverter dengan EMI filter ini sesuai dengan standar yang berlaku. Akan tetapi nilai frekuensi referensi yang direkomendasikan berdasarkan simulasi menjadi 25-100 Hz.

## Daftar Pustaka

- [1]. S.-H. Kim, "Preface," in *Electric Motor Control*, S.-H. Kim, Ed. Elsevier, 2017, pp. xi–xii.
- [2]. V. Shankar, A. Kumar, and A. N. Tiwari, "Performance Analysis of Three Phase Voltage Source Inverter using PWM and SPWM Techniques," in *2019 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*, 2019, pp. 759–763.
- [3]. M. Esa, M. A. Muqem Nawaz, and S. Naheed, "Harmonic Analysis of Three level Flying Capacitor Inverter," 2017, doi: 10.6084/m9.figshare.7700507.
- [4]. T. Bhattacharjee, M. Jamil, and A. Jana, "Design of SPWM based three phase inverter model," in *2018 Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP)*, 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICSESP.2018.8376696.
- [5]. M. Esa, M. Abdul, and M. Nawaz, "THD analysis of SPWM & THPWM controlled three phase voltage source inverter," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 10, pp. 391–398, 2017, doi: 10.6084/m9.figshare.7641887.
- [6]. A. B. Williams, *Analog Filter and Circuit Design Handbook*, First edit. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

- [7]. Y. m. Y. Buswig, A. Affam, J. Norhuzaimin, A.-K. Othman, and M. O. Qays, "Development and Modelling of Three Phase Inverter for Harmonic Improvement using Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) Control Technique," vol. 8, pp. 1897–1902, 2019, doi: 10.35940/ijrte.C4624.118419.
- [8]. N. Farhana Abdul Hamid, M. Alleef Abd Jalil, and N. Syafiqah Syahirah Mohamed, "Design and simulation of single phase inverter using SPWM unipolar technique," J. Phys. Conf. Ser., vol. 1432, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1432/1/012021.
- [9]. R. L. Ozenbaugh Pullen, Timothy M., CRC Press., "EMI filter design." CRC Press, Boca Raton, Fla., 2012, [Online]. Available: <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781439863220>.
- [10]. M. Esa and M. A. Muqem Nawaz, "THD analysis of SPWM & THPWM Controlled Three phase Voltage Source Inverter," 2017, doi: 10.6084/m9.figshare.7641887.
- [11]. I. Ferdiansyah, I. Sudiharto, E. Sunarno, and M. G. Muhammad, "Desain SPWM Single Phase Full Bridge Inverter pada Sistem Uninterruptible Power Supply 500W," J. Arus Elektro Indones., vol. 7, no. 1, pp. 10–16, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/E-JAEI/article/view/23438/9857>.
- [12]. Y. Birbir, K. Yurtbasi, and V. Kanburoglu, "Design of a single-phase SPWM inverter application with PIC micro controller," Eng. Sci. Technol. an Int. J., vol. 22, no. 2, pp. 592–599, 2019, doi: 10.1016/j.jestch.2018.11.014.