

# Rancang Bangun Inverter Fasa Tunggal Variabel Frekuensi Berbasis Bipolar *Sinusoidal Pulse Width Modulation*

Laili Fadihilah<sup>1</sup>, Nanang Mulyono<sup>2</sup>, Suyanto<sup>3</sup>, Dwi Septiyanto<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : laili.fadihilah.tlis19@polban.ac.id

E-mail : nanang.mulyono@polban.ac.id

E-mail : suyanto@polban.ac.id

E-mail : dwi.septiyanto@polban.ac.id

## ABSTRAK

Inverter merupakan perangkat elektronika yang berfungsi mengubah *input* listrik DC menjadi *output* listrik AC. Mesin proses produksi di industri sangat beragam baik ditinjau secara mekanik maupun elektrik. Keberagaman tersebut mempengaruhi dalam penyediaan energi listrik, seperti frekuensi dan tegangan efektifnya. Tujuan dari penelitian ini untuk menghasilkan inverter satu fasa dengan frekuensi yang dapat divariasikan. Teknik *switching* yang digunakan yaitu SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*). SPWM terdiri dari sinyal referensi berbentuk sinusoidal dengan frekuensi yang dapat divariasikan, begitu juga dengan sinyal *carriernya* yang berbentuk segitiga. Kedua sinyal tersebut dibangkitkan berbasis rangkaian analog. Sinyal tersebut dibandingkan dan dipisahkan polaritasnya. Hasil proses tersebut digunakan untuk pensaklaran MOSFET dengan konfigurasi *full bridge*. Inverter yang dibuat menghasilkan keluaran 220 VAC dengan error kurang dari 0,16% dan frekuensi dapat bervariasi 40-60 Hz.

## Kata Kunci

*Inverter 1 fasa, SPWM, frekuensi variabel*

## 1. PENDAHULUAN

Inverter banyak digunakan di rumah tangga maupun di industri. Dalam aplikasinya, inverter ini sangat sesuai sebagai penyedia listrik cadangan ketika sumber listrik dari PLN padam [1]. Demikian pula inverter banyak digunakan dalam aplikasi-aplikasi industri misalnya mengatur kecepatan motor induksi dan motor sinkron, *supply* daya AC tanpa henti (UPS), transmisi tegangan tinggi DC, serta dalam memperbaiki faktor daya [2]. Dalam mengatur kecepatan motor induksi, ada dua variabel yang diperhatikan yaitu tegangan dan frekuensi jala-jala dari PLN, untuk hal itu digunakan inverter yang mempunyai kemampuan untuk menghasilkan tegangan dan frekuensi yang dapat diatur [2].

Ada beberapa peralatan di industri alat yang menggunakan standar Amerika dan Eropa yang memiliki frekuensi berbeda. Jika menggunakan standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) dari Eropa

frekuensi yang digunakan adalah 50 Hz, jika menggunakan standar ANSI (*American National Standards Institute*) dari Amerika frekuensi yang digunakan adalah 60 Hz.

Merujuk pada referensi [3], Mohammad Fauzi telah berhasil membuat suatu alat dengan merancang bangun modul *control* SPWM berbasis Arduino Uno. Metode pembuatan inverter ini menggunakan teknik SPWM dengan mengubah tegangan *input* 24 VDC yang kemudian setelah melalui proses *switching* akan menghasilkan tegangan AC. Inverter dengan menggunakan metode SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) ini menggunakan trafo step up, sehingga tegangan yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukan. Pembangkit sinyal pada karya ilmiah ini menggunakan Arduino Uno berbasis ATmega328.

Studi mengenai inverter dengan metode SPWM juga telah berhasil dibuat pada referensi [4]-[6]. Dimana pada penelitian [4] inverter dibuat untuk sistem UPS dengan daya maksimal 500W dan tegangan dapat dijaga

konstan sebesar 215 V. Penelitian [5] dan [6] menggunakan metode yang sama yaitu SPWM dengan kapasitas tegangan *input* (sumber DC) nya bervariasi. Untuk menaikkan tegangan digunakan trafo step up jenis CT (*center tap*) sehingga tegangan keluaran dari alat tersebut adalah 220 V. Penelitian ini inverter yang dibuat dengan konfigurasi *full bridge*.

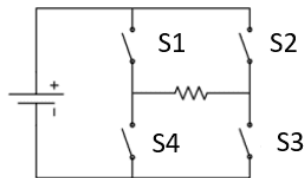
Penelitian yang berkaitan dengan teknik *switching* banyak dilakukan diantaranya berdasarkan referensi [7] dan [8].

Penelitian yang akan ditampilkan dalam paper ini adalah pembahasan mengenai rancang bangun inverter satu fasa variabel frekuensi berbasis bipolar SPWM dengan menggunakan rangkaian analog sebagai pembangkit sinyal serta pembahasan yang detail pada proses perancangan dan pengujian yang dilakukan secara bertahap dari setiap modul hingga rangkaian keseluruhan inverter.

## 2. INVERTER

### 2.1 Inverter Satu Fasa

Inverter merupakan sistem yang mengubah sumber tegangan DC yang tetap menjadi tegangan AC dengan nilai tegangan dan frekuensi tetap atau variabel. Rangkaian inverter satu fasa dapat dibentuk dengan konfigurasi *full-bridge*. Prinsip kerja dari inverter *full-bridge* satu fasa terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian inverter *full-bridge* satu fasa

Adapun prinsip kerja inverter satu fasa jembatan penuh yaitu jika saklar S1 dan S3 dalam keadaan ON, maka arus mengalir dari kiri ke kanan. Sehingga terbentuk setengah gelombang periode pertama (positif). Kemudian jika saklar S2 dan S4 dalam keadaan ON, maka arus mengalir dari kanan ke kiri sehingga terbentuk setengah gelombang periode kedua (negatif).

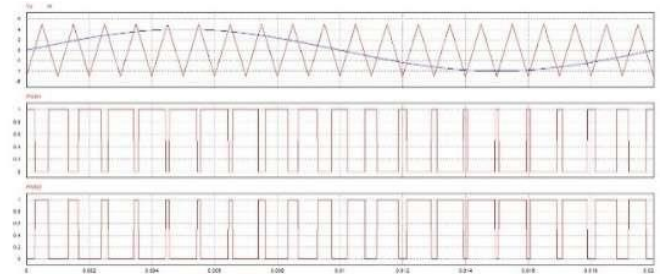
Tabel 1. Prinsip Kerja Inverter Fasa Tunggal Jembatan Penuh

Saklar ON	Saklar OFF	Tegangan Keluaran (Vo)
S1 dan S3	S2 dan S4	+Vo

S2 dan S4	S1 dan S3	-Vo
S1 dan S2	S3 dan S4	OFF
S2 dan S3	S1 dan S4	OFF

### 2.2 Sinusoidal Pulse-Width-Modulation (SPWM)

SPWM atau *Sinusoidal Pulse Width Modulation* merupakan suatu metode untuk memodulasi lebar pulsa dengan bentuk gelombang tegangan keluaran  $V_{rms}$  (rata-rata). Untuk dapat menghasilkan SPWM membutuhkan sinyal referensi dan *carrier*. Sinyal referensi disini menggunakan sinyal sinusoidal dengan frekuensi yang dapat diatur, kemudian gelombang sinusoidal pada frekuensi yang diinginkan dibandingkan dengan bentuk gelombang segitiga, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Modulasi Lebar Pulsa

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tahapan Perancangan Alat

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah rancang bangun alat. Perancangan alat ini akan disesuaikan dengan batasan masalah. Tahapan dari perancangan alat ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Gagasan dan Ide  
Gagasan dan ide pada penelitian ini yaitu rancang bangun inverter satu fasa metode SPWM.
2. Studi Pendahuluan  
Penulis mencari beberapa referensi mengenai inverter satu fasa dan pengkondisi sinyal dari beberapa jurnal ilmiah, buku-buku, dan *website*.
3. Perancangan *Hardware*  
Pada kegiatan ini terdiri dari menetapkan spesifikasi alat atau inverter, menggambar rangkaian dan memilih komponen, serta simulasi pada aplikasi Proteus 8.12. Inverter yang dibuat terbagi dari beberapa modul yaitu modul osilator, modul komparator, modul pemisah polaritas, modul isolator, serta modul MOSFET.

#### 4. Realisasi *Hardware*

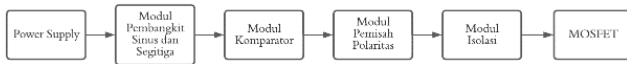
Tahapan ini terdiri dari pembuatan *layout* PCB dan perakitan komponen.

#### 5. Pengujian Alat dan Pelaporan

Tahap pengujian yang dilakukan secara bertahap dari modul ke modul kemudian menguji rangkaian keseluruhan. Setelah pembuatan alat dan diuji keberhasilannya, langkah selanjutnya yaitu menganalisis data yang didapatkan.

### 3.2 Perancangan dan Realisasi Inverter

Gambar 3 menunjukkan diagram blok inverter yang telah dibuat. Inverter tersebut memiliki spesifikasi tegangan keluaran 220V AC, frekuensi dapat di variasikan 50 Hz hingga 60 Hz, daya 500 VA.

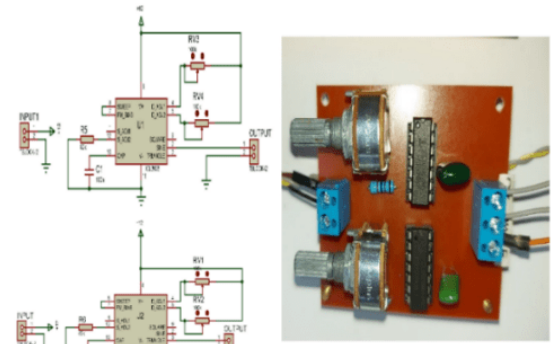


Gambar 3. Diagram Blok Inverter

Sumber yang digunakan berupa *power supply* karena OP-AMP yang digunakan membutuhkan *input* plus (+), minus (-) dan *ground*. Namun pada penelitian ini *power supply* tidak termasuk ke dalam pembuatan alat ini. Metode SPWM ini menggunakan IC (*Integrated Circuit*) sebagai sinyal referensi dan sinyal *carriernya*. Sinyal tersebut berupa sinyal sinusoidal dan sinyal segitiga yang frekuensinya dapat diatur. Kemudian pada modul komparator akan dibandingkan kedua sinyal tersebut sehingga menghasilkan sinyal kotak. Pada modul pemisah polaritas sinyal kotak tersebut *outputnya* berbeda fasa 180°. Sinyal yang telah berbeda polaritas tersebut masuk ke rangkaian daya. Sebelum masuk ke rangkaian daya, terdapat modul *driver/optocoupler* sebagai isolator antara rangkaian daya dan rangkaian kontrol yang selanjutnya akan masuk ke MOSFET. Inverter ini tidak menggunakan trafo, sehingga perlu sumber DC dari 12 V DC ke 166 V DC, maka perlu penaik tegangan agar sumber DC lebih besar sehingga *output* dari inverter ini adalah 220 VAC dengan frekuensi yang dapat diubah 50-60 Hz.

#### 3.2.1 Modul Osilator

Modul osilator menggunakan IC L8038 sebagai pembangkit sinyal sinus dan sinyal segitiga. Besarnya frekuensi keluaran ditentukan menggunakan persamaan (1).



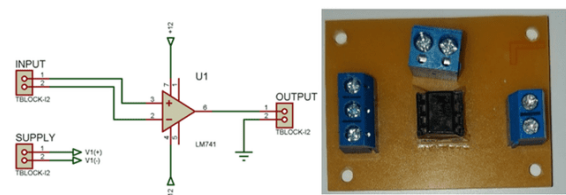
$$f = \frac{0,33}{R \times C} \quad (1)$$

Gambar 4. Rangkaian dan Realisasi Modul Osilator

Nilai frekuensi sinyal keluaran pada Gambar 9 dan 10 ditentukan oleh nilai R1, R2, dan C, dengan nilai resistansi R1 besarnya sama dengan R2. Nilai R1 dihitung dengan persamaan (1) sehingga diperoleh 68 KΩ. Sedangkan R2 dipilih nilainya sama dengan R1. Nilai C yang ditentukan sebesar 100 uF. Modul ini menghasilkan dua gelombang dengan rangkaian yang sama pada Gambar 9 dan 10.

#### 3.2.2 Modul Komparator

Modul komparator digunakan sebagai pembanding antara sinyal sinus dan sinyal segitiga sehingga menghasilkan PWM dengan bentuk gelombang kotak. Modul ini menghasilkan gelombang seperti pada Gambar 11.



Gambar 5. Rangkaian dan Realisasi Modul Komparator

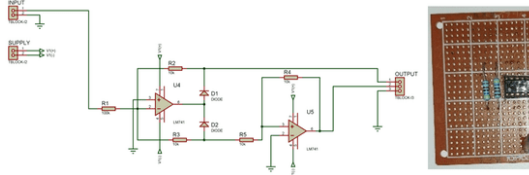
Modul komparator ini menggunakan OP-AMP LM741 sebagai pembanding antara sinyal sinus dan sinyal segitiga.

#### 3.2.3 Modul Pemisah Polaritas

Sinyal PWM dari modul komparator masih dalam kondisi bipolar. Agar PWM dapat

bekerja dengan sistem *switching* MOSFET maka sinyal tersebut dipisahkan polaritasnya menggunakan persamaan (2).

$$G = \frac{R_f}{R_i} \quad (2)$$



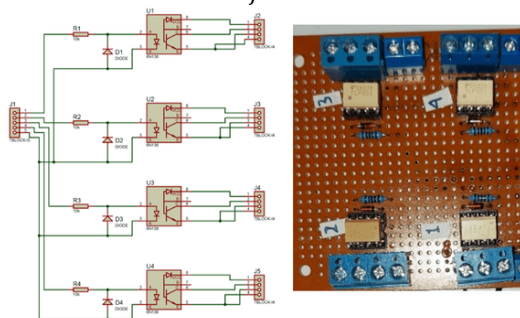
Gambar 6. Rangkaian dan Realisasi Modul Pemisah Polaritas

Sinyal keluaran pada Gambar 12 ditentukan oleh nilai  $R_f$  dan  $R_i$  dengan nilai resistansi  $R$  dihitung dengan persamaan (2) sehingga diperoleh  $47\Omega$ . Nilai *gain* diperoleh adalah 1 yang artinya nilai  $V_{in}$  sama dengan nilai  $V_{out}$ .

### 3.2.4 Modul Isolator

Modul isolator digunakan untuk memisahkan rangkaian daya dan rangkaian kontrol. Untuk menyulut kerja *optocoupler* TLP351 diperlukan  $V_f$  dengan mencari nilai  $R$  menggunakan persamaan (3).

$$R = \frac{V_s - V_f}{I_f} \quad (3)$$

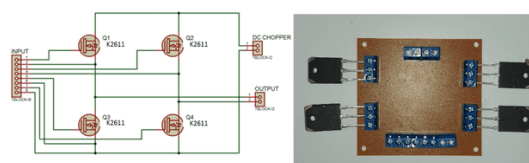


Gambar 7. Rangkaian dan Realisasi Modul Isolator

Sinyal keluaran pada Gambar 13 ditentukan oleh nilai  $R$  sebesar  $1k\Omega$  diperoleh dari persamaan (3) sehingga *optocoupler* dapat bekerja.

### 3.2.5 MOSFET

MOSFET digunakan sebagai *switching* inverter mengubah tegangan DC menjadi AC dengan menggunakan MOSFET K2611.



Gambar 8. Rangkaian dan Realisasi MOSFET

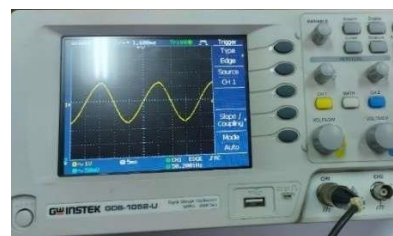
MOSFET disini dirangkai secara *full bridge* sehingga *output* dari MOSFET ini menjadi tegangan AC.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

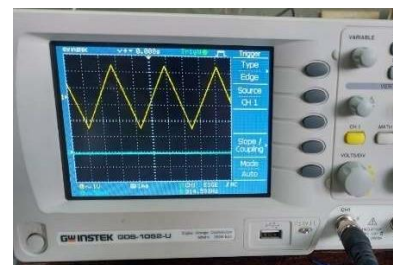
Bagian ini akan memaparkan secara lengkap tentang hasil pengujian setiap modul dan hasil keseluruhan inverter yang dibuat.

### 4.1 Hasil Pengujian Modul Osilator

Hasil pengujian modul ini dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *power supply* 12V DC, mengatur resistor variabel untuk memperoleh frekuensi 50 Hz pada terminal *block* sisi *output* pada Gambar 4. Bentuk sinyal *output* osilator ini berbentuk sinusoidal dan segitiga. Berdasarkan Gambar 9 diperoleh sinyal sinus dengan frekuensi 50 Hz dengan nilai 3 Vp-p. sedangkan berdasarkan Gambar 10 diperoleh sinyal segitiga dengan frekuensi 314 Hz dengan nilai 3,8 Vp-p. Dengan cara yang sama untuk memperoleh sinyal berbentuk segitiga seperti Gambar 10. Sedangkan untuk sinyal sinus dan segitiga dengan nilai frekuensi selain pada gambar tadi, dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.



Gambar 9. Bentuk Gelombang Keluaran Osilator Sinus



Gambar 10. Bentuk Gelombang Keluaran Osilator Segitiga

Berikut ini pada Tabel 2 dan Tabel 3 hasil pengujian pada modul osilator.

Tabel 2. Hasil Pengujian Osilator Sinusoidal

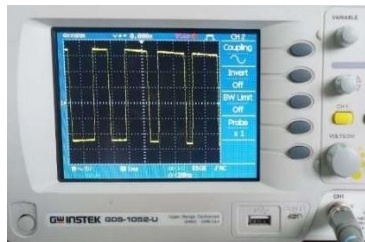
No	Frekuensi Sinus (Hz)	Vp-p (V)
1.	50	3
2.	60	3,6

Tabel 3. Hasil Pengujian Osilator Segitiga

No	Frekuensi Segitiga (kHz)	Vp-p (V)
1.	0,314	3,8
2.	1	3,8
3.	2,1	3,8
4.	3,1	3,8
5.	4,1	3,8

#### 4.2 Hasil Pengujian Modul Komparator

Hasil pengujian modul ini dapat dilihat pada Gambar 11. Pengujian modul komparator ini membutuhkan sumber plus (+), minus (-), dan *ground*. Bentuk sinyal *output* komparator ini berbentuk sinyal kotak.



Gambar 11. Bentuk Gelombang Keluaran Sinyal Komparator

Berikut ini pada Tabel 4 hasil pengujian pada modul komparator.

Tabel 4. Hasil Pengujian Komparator

No	Frekuensi Sinus (Hz)	Frekuensi Segitiga (Hz)	Vp-p (V)
1.	50	314	30
2.	60	314	30

Berdasarkan dari Tabel 4, *output* dari modul komparator ketika frekuensi sinus diatur menjadi 50 Hz atau 60 Hz dan frekuensi segitiga 314 Hz, menghasilkan *output* komparator yaitu 30 Vp-p.

#### 4.3 Hasil Pengujian Modul Pemisah Polaritas

Hasil pengujian modul ini dapat dilihat pada Gambar 12. Pengujian modul pemisah polaritas ini membutuhkan sumber plus (+), minus (-), dan *ground*. Bentuk sinyal *output* pemisah polaritas berbentuk sinyal kotak yang berbeda fasa 180°. *Output* yang diukur yaitu

terminal keluaran (pin 1 dan 2) pada Gambar 6.



Gambar 12. Bentuk Gelombang Keluaran Modul Pemisah Polaritas dengan Frekuensi *Carrier* 314 Hz

Berikut ini pada Tabel 5 hasil pengujian pada modul pemisah polaritas.

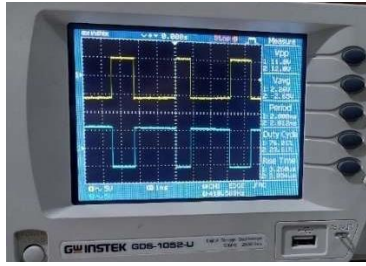
Tabel 5. Hasil Pengujian Pemisah Polaritas

N	Termin al Keluaran	Frekuensi Sinus (Hz)	Frekuensi Segitiga (kHz)	Vp-p (V)
1.	Pin 1	50	0,314	13
	Pin 2			13
2.	Pin 1	50	1	13
	Pin 2			13
3.	Pin 1	50	2,1	13,5
	Pin 2			13,5
4.	Pin 1	50	3,1	13,5
	Pin 2			13,5
5.	Pin 1	50	4,1	13,5
	Pin 2			13,5
6.	Pin 1	154	0,314	13,5
	Pin 2			13,5

Berdasarkan dari Tabel 5, *output* dari pemisah polaritas pin 1 dan 2 adalah  $\pm 13$  Vp-p.

#### 4.4 Hasil Pengujian Modul Isolator

Pengujian modul isolator ini membutuhkan sumber plus (+) dan *ground* dari *power supply* terisolasi. Bentuk sinyal *input* dan *output* rangkaian isolator ini berbentuk sinyal kotak. *Output* yang diukur yaitu terminal keluaran (pin 2 dan 3) pada Gambar 7.



Gambar 13. Bentuk Gelombang Keluaran Modul Isolator dengan Frekuensi Sinus 50 Hz dan Frekuensi Carrier 314 Hz

Berikut ini pada Tabel 6 hasil pengujian pada modul isolator.

Tabel 6. Hasil Pengujian Modul Isolator

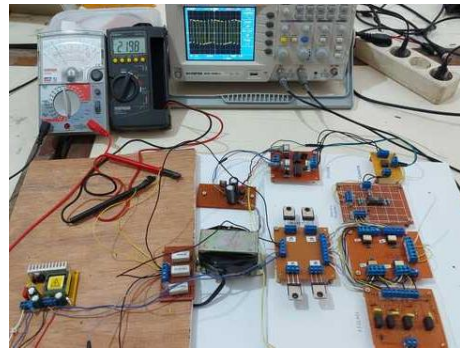
No	Terminal Keluaran	Frekuensi Sinus (Hz)	Frekuensi Segitiga (kHz)	V <sub>p-p</sub> (V)
1.	Pin 2 Pin 3	50	0,314	12 12
2.	Pin 2 Pin 3	50	1	12 12
3.	Pin 2 Pin 3	50	2,1	12 12,5
4.	Pin 2 Pin 3	50	3,1	12,7 5 12,5
5.	Pin 2 Pin 3	50	4,1	12,5 11,7 5
6.	Pin 2 Pin 3	60	0,314	12 12,2 5
7.	Pin 2 Pin 3	60	1	12,2 5
8.	Pin 2 Pin 3	60	2,1	12,7 5 12,5
9.	Pin 2 Pin 3	60	3,1	12,7 5 12,5
10.	Pin 2 Pin 3	60	4,1	12,5 12,5

*Optocoupler* pada modul isolator ini menggunakan 4 buah. *Output* yang diukur pada *oscilloscope* yaitu *optocoupler* 1 dan 2. Karena *optocoupler* 3 dikopel dengan *optocoupler* 1 maka nilai *V<sub>p-p</sub>* dari *optocoupler* 1 dan 3 nilainya sama yaitu  $\pm 12$  V. Kemudian *optocoupler* 4 dikopel dengan *optocoupler* 2 maka nilai *V<sub>p-p</sub>* dari

*optocoupler* 4 dan 2 nilainya sama yaitu  $\pm 12$  V.

#### 4.5 Hasil Pengujian Inverter

Pengujian inverter ini membutuhkan DC *Chopper* untuk menaikkan tegangan menjadi 220 VAC. Kemudian pada pengujian inverter ini menggunakan beban resistor 5 watt sebanyak 2 buah.



Gambar 14. Inverter dengan Frekuensi Sinyal Referensi 50 Hz

Hasil pengujian inverter ini dilakukan dengan cara mengatur frekuensi sinyal sinusoidal dari 40 Hz-60 Hz sedangkan untuk sinyal segitiga ditetapkan dengan frekuensi 314 Hz. Berikut ini pada Tabel 7 hasil pengujian inverter yang dibebani dengan beban resistif 5 watt.

Tabel 7. Hasil Pengujian Inverter

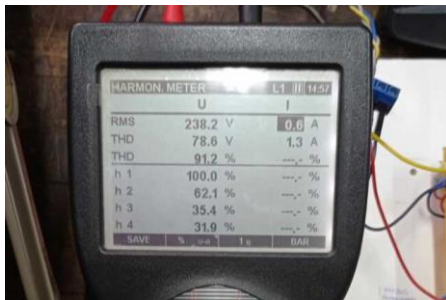
No	Frekuensi Sinus (Hz)	Frekuensi Segitiga (Hz)	Tegangan Output (V <sub>r</sub> ms)	Tegangan Output Target (V)	Selisih Error (%)
1	40	314	188	220	0,15
2	45	314	220	220	-
3	50	314	219,8	220	0,0009
4	55	314	219,9	220	0,0005
5	60	314	219,9	220	0,0005

Dari kelima frekuensi ketika diubah-ubah frekuensi referensinya (sinyal sinusoidal) menghasilkan *output* yang cukup stabil.



Gambar 15. Grafik Pengujian Inverter dengan Beban 5 watt

Dari Gambar 10 dan Tabel 8 menunjukkan hasil tegangan *output* dari inverter ketika dibebani beban resistif 5 watt. Tegangan *output* (vrms) minimum dihasilkan ketika frekuensi diatur sebesar 40 Hz. Kemudian ketika frekuensi sinus diatur sebesar 45 Hz – 60 Hz, tegangan *output* (vrms) mencapai maksimum sebesar 220V AC dengan error antara 0,0005%-0,15%.



Gambar 16. Pengukuran Nilai THD Inverter SPWM

Nilai THD pada inverter ini diukur. Hasil menunjukkan bahwa THD inverter dengan teknik *switching* SPWM ketika di bebani dengan beban resistif 5 watt masih terlampaui tinggi yaitu sebesar 91,2%, sehingga diperlukan filter untuk mereduksi nilai THD.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perakitan dan pengujian dapat ditarik kesimpulan telah dihasilkan inverter metode SPWM satu fasa variabel frekuensi yang dapat diatur antara 40 Hz-60 dengan tegangan keluaran AC sebesar 220 V

(Vrms) dengan error sebesar 0,0005 % - 0,15%. Namun nilai THD dari inverter ini masih terlampaui tinggi yaitu sebesar 91,2%, sehingga diperlukan filter untuk mereduksi nilai THD.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan tugas akhir nomor B/209/PL1/HK.02.00/2022

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. K. Wardana, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa SPWM dengan *Output* Tegangan dan Frekuensi Variabel," *TEKNO*, vol. 28, no. 1, pp. p1-16, 2018.
- [2] H. Gilang, "Perancangan dan Pembuatan Inverter Sumber Tegangan Enam Pulsa Tiga Fasa Variabel Frekuensi yang Dikendalikan dengan PC," Sumatera Barat, 2007.
- [3] M. Fauzi, "Rancang Bangun Modul *Control* SPWM Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Elkoli*, vol. 8, pp. 92-98, 2021.
- [4] I. Ferdiansyah, "Desain SPWM Single Phase Full Bridge Inverter pada Sistem Uninterruptible Power Supply (UPS) 500 W," *Jurnal Arus Elektro Indonesia (JAEI)*, pp. 1-7, 2021.
- [5] I. Aqidatul, "RANCANG BANGUN DAN ANALISIS INVERTER *FULL BRIDGE* 1 FASA DENGAN BERBAGAI VARIASI *INPUT* MENGGUNAKAN SPWM (*SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION*)," Surabaya, 2017.
- [6] N. Desiwantiyanti, "RANCANG BANGUN INVERTER SPWM," Yogyakarta, 2018.
- [7] M. Indra, M. Nanang, and S. Dwi "Rancang Bangun Modul *Trapezium Pulse Width Modulation* (TPWM)," *SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)*, vol. 3, pp. 1-8, 2021.
- [8] S. Natanael, S. Dwi, and M. Nanang, "Rancang Bangun Modul *Discontinue Pulse Width Modulation* (DPWM)," *SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)*, vol. 3, pp. 1-10, 2021.