

# Investigasi Pengaruh Deadband Modulasi Lebar Pulsa Pada Inverter Satu Fasa

## *(Investigation Of Deadband Pulse Width Modulation Effect On A Single-Phase Inverter)*

1<sup>st</sup> Muhammad Ngainul Wafa  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
muhammadngainuwafa@stud  
ent.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Irwan Purnama  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
irwanp@telkomuniversity.ac.  
id

3<sup>rd</sup> Bandiyah Sri Aprilia  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
bandiyah@telkomuniversity.a  
c.id

### Abstrak

Untuk menghasilkan daya listrik AC, diperlukan sebuah alat yang bisa mengubah daya listrik DC. Sebuah konverter DC/AC atau dikenal dengan inverter yang dirangkai dari beberapa saklar dirancang sehingga mampu merubah tegangan input DC menjadi tegangan output AC. Salah satu cara untuk mendapatkan tegangan output AC dari sebuah inverter satu fasa adalah dengan melakukan pemodulasian lebar pulsa dengan waktu cuplik (*sample time*) tertentu pada sebuah mikrokontroler MCU C2000 sebagai pembangkit tegangan Pulse Width Modulation (PWM). Pada penelitian ini, akan diinvestigasi pengaruh *deadband* modulasi lebar pulsa pada inverter satu fasa. Berdasarkan hasil pengukuran dengan beberapa perubahan waktu *deadband* didapatkan nilai THD tegangan sebesar 1,32%, serta nilai efisiensi inverter sebelum trafo sebesar 94% dan nilai efisiensi inverter sesudah trafo sebesar 75% pada beban 100 Watt. Sehingga dapat diketahui bahwa pada penelitian ini perubahan waktu *deadband* tidak terlalu berpengaruh pada nilai THD tegangan maupun nilai efisiensi yang dihasilkan.

**Kata Kunci:** inverter satu fasa, modulasi lebar pulsa, *deadband*, MCU C2000, tegangan sinusoidal.

### Abstract

To produce an AC electric power, a device is required to convert an DC electric power. A DC/AC converter, known as inverter, which is configured by several switches do that it can convert DC output voltage to be AC output voltage. A technique to get an AC output voltage from the single-phase inverter is by modulating the pulse width with certain sampling time by using the MCU C2000 microcontroller as a Pulse Width Modulation (PWM) voltage generator. In this research, the effect of pulse width modulation *deadband* on a single-phase inverter is investigated. The measurement result using *deadband* time variation shows that the THD voltage value is 1.32%, the inverter efficiency value before the transformer is 94% and the inverter efficiency value after the transformer is 75% at a load of 100Watt. Therefore, it can be concluded that in this research, *deadband* time changing does not have a big effect to the voltage THD value and the inverter efficiency.

**Keywords:** single-phase inverter, pulse width modulation, *deadband*, MCU C2000, sinusoidal voltage.

## I. PENDAHULUAN

Dalam Secara umum, modulasi lebar pulsa merupakan sebuah teknik untuk memanipulasi lebar sinyal dalam bentuk pulsa, dalam suatu perioda dengan nilai frekuensi dan amplitudo yang tetap [1]. Modulasi lebar pulsa tersebut dapat dilakukan pada inverter satu fasa, dimana inverter sendiri berperan untuk mengubah tegangan *input Direct Current* (DC) menjadi tegangan *output Alternating Current* (AC) [2] [3].

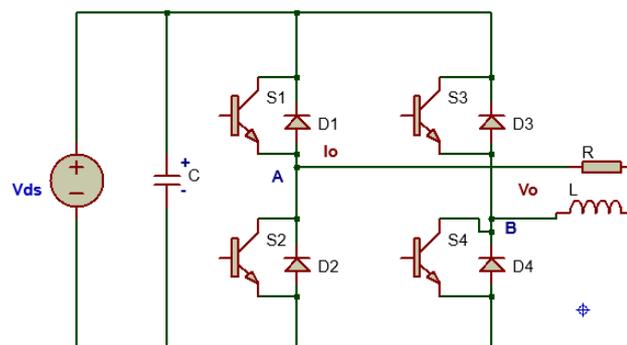
Berdasarkan penelusuran literatur, gelombang keluaran inverter yang paling banyak digunakan adalah inverter dengan gelombang keluaran sinus modifikasi (*modified sine wave*) [4]. Namun, yang menjadi permasalahan adalah inverter tersebut tidak dapat digunakan pada beban induktif dan tidak memiliki efisiensi yang tinggi. Pemodelasian lebar pulsa pada inverter satu fasa akan mempengaruhi hasil dari nilai efisiensi energi. Selain itu, modulasi tersebut mampu meningkatkan kualitas dari keluaran gelombang sinus dan perubahan nilai frekuensi pada arus sinus atau bolak-balik. Terdapat tiga parameter pada gelombang sinusoidal untuk membentuk sinyal termodulasi, diantaranya yaitu amplitudo, frekuensi dan fasa.

Terdapat beberapa penelitian mengenai inverter dengan menggunakan beberapa macam mikrokontroler, diantaranya mikrokontroler PIC16F877, dan AT89C51 untuk sistem pengaturan pensakelaran PWM. Selain itu, *output* inverter yang dihasilkan

masih memiliki distorsi harmonisa yang besar. Agar inverter tersebut bekerja lebih optimal, digunakanlah metode *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM), agar mendapatkan sebuah lebar pulsa yang bervariasi sehingga harmonisa yang ada dapat diminimalisir nilainya. Berdasarkan pada permasalahan ini, penulis akan menginvestigasi pengaruh *deadband* modulasi lebar pulsa pada inverter satu fasa. Inverter tersebut akan digabungkan dengan pensakelaran PWM melalui aplikasi MATLAB versi R2019b dan *simulink* untuk simulasi rangkaian dan pemrograman. Penggunaan MCU C2000 (*ControlCard Piccolo F28035 Experimenter's Kit*) berfungsi sebagai prosesor serbaguna dengan fitur lengkap, sehingga memungkinkan untuk *generate* sinyal PWM yang memiliki resolusi bagus. Dengan harapan, hasil yang diperoleh dapat memiliki efisiensi keluaran inverter yang tinggi.

## II. KAJIAN TEORI

Perealisasi inverter dapat dilakukan dengan dua cara konfigurasi, salah satunya yaitu dengan menggunakan konfigurasi inverter *full bridge* sesuai pada Gambar 2.1. *Full-Bridge* Inverter atau *H-Bridge* Inverter adalah rangkaian dasar untuk mengubah arus dari arus DC ke arus AC. Tegangan keluaran AC dapat dikontrol dengan cara mengatur urutan penyalaan dan pemadaman sakelar dari masukan arus DC. Tegangan keluarannya dapat menjadi nol atau  $\pm V_{dc}$  tergantung dari sakelar yang ditutup. Pengaturan tersebut mengikuti lebar pulsa dari PWM.

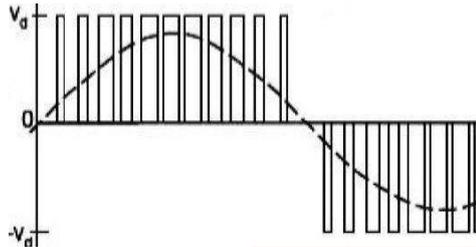


Gambar 2.1 H-Bridge Inverter

PWM ini merupakan sebuah metode yang berfungsi untuk memanipulasi lebar sinyal pulsa pada suatu perioda untuk menghasilkan tegangan rata-rata atau untuk mengendalikan

sirkuit analog dengan mikroprosesor keluaran yang digital [5]. Dapat disebut sebagai sebuah teknik modulasi dengan cara mengubah atau mengatur lebar pulsa (*duty*

cycle) dengan nilai amplitudo dan nilai frekuensi yang tetap [6]. Pada dasarnya, PWM digunakan untuk mendapatkan gelombang sinusoidal dan prinsip pembangkitan sinyal PWM dapat dilakukan pada dua buah sinyal yang memiliki frekuensi berbeda. Sinyal PWM tersebut memiliki frekuensi dan amplitudo yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bermacam-macam dan berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli.



Gambar 2.2 Bentuk SPWM

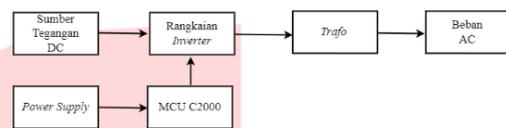
Ketika proses pensakelaran terjadi, diperlukan waktu jeda atau disebut dengan *deadband*. *Deadband* atau periode waktu tunda ini diterapkan untuk menghindari terjadinya korsleting pada saat arus DC melintasi inverter atau proses pensakelaran [7]. Dalam kenyataannya, terdapat dua metode untuk referensi tegangan yaitu pembentukan gelombang yang sekaligus digunakan untuk penyerangan kontrol tegangan inverter, dan untuk pendeteksian pada saat penyeberangan arus yang kosong. Pada metode pertama, *deadband* dapat dirasakan pada tegangan output yang dibandingkan dengan referensi, sedangkan pada metode yang kedua, arus atau keluaran pengaruh dari *deadband* ini tidak berasa dan dapat diabaikan.

Proses pensakelaran yang terjadi harus mengikuti pola tertentu sehingga tegangan *output* dari sebuah inverter berupa sinyal sinusoidal setelah melewati sebuah *Low-Pass Filter* (LPF). Teknik ini dikenal dengan Sinusoidal PWM (SPWM) yaitu satu teknik pensakelaran yang membandingkan antara sinyal sinusoidal sebagai sinyal referensi dengan sinyal segitiga sebagai sinyal pembawa [8]. Adapun bentuk sinyal SPWM seperti pada Gambar 2.2 diatas. Rangkaian SPWM dapat diatur sesuai dengan perubahan gelombang dari gelombang sinusoidal yang nantinya akan menghasilkan gelombang pulsa. Dalam sistem tersebut, digunakan komparator untuk membandingkan  $V_{reference}$

dengan gelombang  $V_{carrier}$ . Prinsip kerja dari SPWM ini adalah membandingkan gelombang segitiga dengan gelombang sinusoidal. Kondisi tersebut dapat dilihat, jika nilai tegangan sinusoidal lebih besar dari tegangan komparator, maka keluaran komparator akan bernilai 1 (*high*). Sebaliknya, jika nilai tegangan sinusoidal tersebut lebih kecil dari nilai tegangan segitiga maka keluaran yang dihasilkan oleh komparator tersebut akan bernilai 0 (*low*).

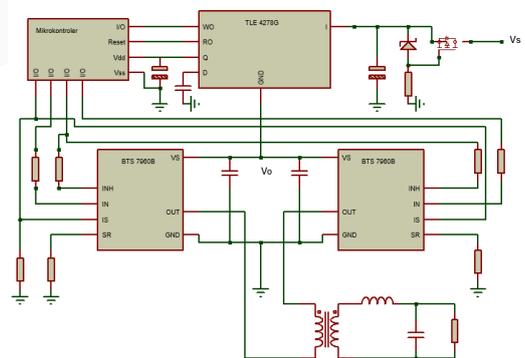
### III. METODE

#### 3.1 Desain Sistem

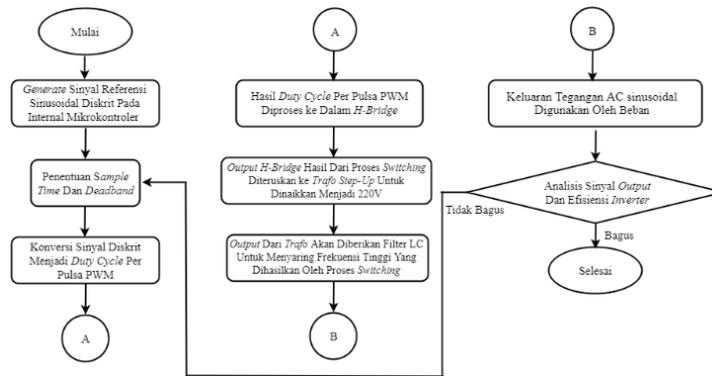


Gambar 3.1 Desain Sistem

Pada Gambar 3.1 terdapat diagram blok sistem secara keseluruhan mengenai rancangan sistem inverter ini diatur oleh MCU C2000 dengan memodulasi sinyal sinusoid pada sinyal pembawa PWM, sehingga dihasilkan sinyal SPWM sebagai hasil dari modulasi. Pengaturan *duty cycle* PWM disesuaikan dengan kalkulasi sehingga menghasilkan variasi *duty cycle* yang mengikuti sinyal sinusoid untuk dialirkan ke bagian inverter (*H-Bridge*) untuk dilakukannya proses konversi arus DC menjadi arus AC yang sinusoidal. Adapun desain rangkaian dan diagram alir yang digunakan pada sistem ini yaitu sesuai pada Gambar 3.2 rangkaian sistem dan Gambar 3.3 diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.2 Rangkaian Sistem



Gambar 3.3 Diagram Alir

### 3.3 Desain Perangkat Lunak

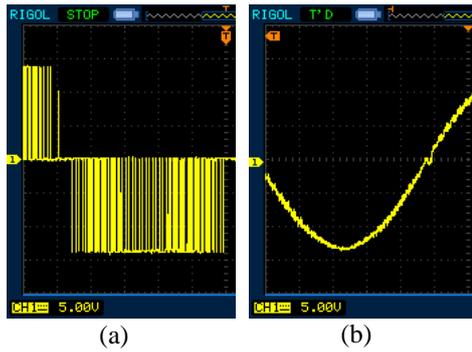
Berdasarkan diagram alir diatas, diawali dengan proses men-generate sinyal referensi sinusoidal diskrit pada internal mikrokontroler. Setelah men-generate sinyal referensi sinusoidal diskrit pada internal mikrokontroler, langkah selanjutnya yaitu penentuan waktu *sampling* atau *sample time* dan *deadband*. Setelah melakukan penentuan waktu *sampling* dan nilai *deadband*, selanjutnya masuk kedalam proses konversi sinyal diskrit menjadi *duty cycle* per pulsa PWM. Dari hasil konversi sinyal diskrit menjadi *duty cycle* per pulsa PWM tersebut, akan digunakan sebagai *input* sinyal *H-Bridge*, sebagai referensi *switching*. Kemudian sumber arus DC dari *power supply* diberikan kepada *input* daya dari *H-Bridge*. *Output H-Bridge* hasil dari proses *switching* akan diberikan filter LC untuk menyaring frekuensi tinggi yang dihasilkan oleh proses *switching*. Kemudian sumber arus DC dari *power supply* diberikan kepada *input* daya dari *H-Bridge*. *Output H-Bridge* hasil dari proses *switching* diteruskan ke trafo atau transformator *step-up* untuk dinaikkan menjadi 220V. Selanjutnya *output* dari trafo akan diberikan filter LC untuk menyaring frekuensi tinggi yang dihasilkan oleh proses *switching*. *Inveter* mulai mengkonversi arus DC menjadi AC. Rangkaian inverter akan menghasilkan sinyal AC yang telah optimal menuju *output* atau beban. Keluaran yang dihasilkan yaitu listrik tegangan AC sinusoidal. Selanjutnya dilakukan analisis sinyal *output* dan efisiensi daya. Jika hasil dari sinyal *output* dan efisiensi daya bagus, maka pengambilan data sudah selesai. Namun, jika hasil dari sinyal *output* dan efisiensi daya tidak bagus, maka akan dilakukan proses pengulangan pada penentuan waktu *sampling* sampai

didapatkan hasil dari sinyal *output* dan efisiensi daya yang bagus.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Simulasi Modulasi Lebar Pulsa

Simulasi modulasi lebar pulsa dilakukan dua kali pengujian yaitusimulasi modulasi tanpa filter dan dengan filter, dengan menggunakan osiloskop RIGOL DS2302A *digital oscilloscope* untuk membuktikan apakah hasil keluaran tanpa filter mampu menghasilkan sinyal SPWM atau tidak, dan setelah melewati filter apakah sinyal berbentuk sinusoidal atau tidak, dengan mempertimbangkan pengaturan nilai pada *sample time* serta melihat nilai arus SPWM dengan filter yang dibangkitkan dengan Piccolo F28035. Penentuan *sample time* atau waktu *sampling* yang diberikan yaitu sebesar 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 dan 0,5ms, berdasarkan keterbatasan *H-Bridge*. Penentuan *sample time* sangat mempengaruhi keluaran hasil dari sinyal SPWM yaitu berbentuk rapat, tidak renggang dan rapi, dan simulasi modulasi lebar pulsa dengan menggunakan filter dapat menghasilkan sinyal sinusoidal sesuai pada Gambar 4.1, sehingga nilai *sample time* yang paling bagus untuk digunakan yaitu sebesar  $st = 0,1ms$ .



**Gambar 4.1** Hasil Simulasi Modulasi Lebar Pulsa (a) Sinyal SPWM, (b) Sinyal Sinusoidal

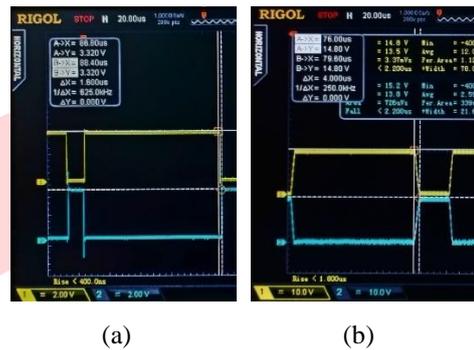
**4.2 Pengujian PWM MCU C2000**

Pengujian dilakukan untuk melihat hasil dari PWM pada MCU C2000 dengan menerapkan penggunaan nilai *sample time* atau waktu *sampling* sebesar  $st = 0,1ms$  untuk menentukan tingkat kehalusan bentuk dari hasil keluaran sinyal PWM, serta mempertimbangkan pengaturan nilai *deadband* pada simulasi *simulink*. Pengaturan Nilai *deadband* yang digunakan adalah 50, 100, 150, 200, dan 500  $\mu s$ . Adapun Gambar 4.2 (a) merupakan hasil gambar pengujian PWM MCU C2000 pada osiloskop dan dapat dilihat pada Tabel 4.1 merupakan Hasil Analisis Pengujian PWM MCU C2000 dibawah ini.

**Tabel 4.1** Hasil Analisis Pengujian PWM MCU C2000

No	Deadband ( $\mu s$ )	Selisih Nilai A (X,Y) dan B (X,Y)		
		Frequency (kHz)	Period ( $\mu s$ )	Nilai Rising & Falling A (X,Y) dan B (X,Y)
1.	50	0	0	1,6 $\mu s$ 0 V
2.	100	0	0	2,4 $\mu s$ 0 V
3.	150	0	0	2,8 $\mu s$ 0,24 V
4.	300	0	0	1,4 $\mu s$ 0,12 V
5.	500	0	0	1,8 $\mu s$ 0 V

Berdasarkan analisis diatas, dapat disimpulkan bahwa penentuan nilai *deadband* pada hasil pengujian PWM MCU C2000 terhadap nilai *frequency*, *periode*, nilai *rising* dan *falling* A (X,Y) (Channel 1) B (X,Y) (Channel 2) tidak berasa atau dapat diabaikan, karena selisih nilai pada *frequency*, *periode*, dan nilai *rising* A tidak menunjukkan perbedaan yang drastis dan sesuai dengan metode *deadband* yang kedua, dimana arus atau keluaran pengaruh dari pengaturan nilai *deadband* tidak berasa.



**Gambar 4.2** Hasil Gambar Pengujian Dengan Deadband 50  $\mu s$   
(a) Pengujian PWM MCU C2000, (b) Pengujian VDS

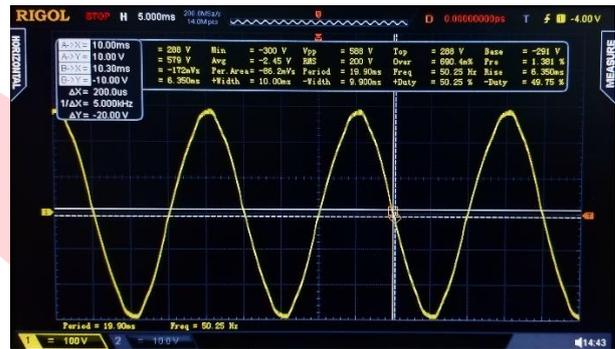
**4.3 Pengujian Tegangan Drain-Source MOSFET (V<sub>DS</sub>)**

Pengujian dilakukan dengan menerapkan penggunaan nilai *sample time* atau waktu *sampling* sebesar  $st = 0,1ms$  untuk menentukan seberapa halus bentuk dari hasil keluaran sinyal PWM, serta mempertimbangkan pengaturan nilai *deadband* pada simulasi *simulink*. Pengaturan Nilai *deadband* yang digunakan adalah 50, 100, 150, 200, dan 500  $\mu s$ . Pengaturan nilai *deadband* pada simulasi *simulink* bertujuan untuk menentukan perpindahan nilai *rising* dan *falling* pada sinyal PWM A (Channel 1) dan PWM B (Channel 2) dengan memperhatikan nilai parameter Frekuensi (kHz), Periode ( $\mu s$ ), Amplitudo (V), dan Nilai *rising* A (X-Y) dan B (X-Y). Adapun Gambar 4.2 (b) diatas merupakan hasil gambar pengujian V<sub>DS</sub> pada osiloskop dan dapat dilihat pada Tabel 4.2 merupakan hasil analisis pengujian V<sub>DS</sub> dibawah ini.

**Tabel 4.2** Hasil Analisis Pengujian PWM MCU C2000

No.	Deadband (µs)	Selisih Nilai A (X,Y) dan B (X,Y)		
		Frequency (kHz)	Periode (µs)	Nilai Rising & Falling A (X,Y) dan B (X,Y)
1.	50	0	0	4 µs
				0 V
2.	100	0	0	3,6 µs
				0 V
3.	150	0	0	5.2 µs
				1,4 V
4.	300	0	0	4.8 µs
				0 V
5.	500	0	0	4,4 µs

Berdasarkan analisis diatas, dapat disimpulkan bahwa penentuan nilai deadband pada hasil pengujian  $V_{DS}$  terhadap nilai frequency, periode, nilai rising dan falling A (X,Y) (Channel 1) B (X,Y) (Channel 2) tidak berasa atau dapat diabaikan, karena selisih nilai pada frequency, periode, dan nilai rising dan falling tidak menunjukkan perbedaan yang drastis dan sesuai dengan metode deadband yang kedua, dimana arus atau keluaran pengaruh dari pengaturan nilai deadband tidak berasa.



**Gambar 4.3** Hasil Gambar Pengujian  $V_{out}$  Dengan Deadband 50 µs

**4.4 Pengujian Tegangan Output ( $V_{out}$ )**

Pengujian  $V_{out}$  dilakukan dengan tujuan untuk melihat jumlah tegangan dan bentuk gelombang keluaran yang berupa gelombang sinusoidal dengan beban yang digunakan yaitu resistor 100 Watt. Pengaturan Nilai deadband yang digunakan adalah 50, 100, 150, 200, dan 500 µs. Pengaturan nilai deadband pada simulasi simulink bertujuan untuk menentukan perpindahan nilai rising pada sinyal PWM A dan PWM B di Channel 1 dengan memperhatikan nilai parameter tegangan (V), frekuensi (Hz), periode (ms), amplitudo (V), dan nilai rising A (X) dan B (X) untuk membuktikan berpengaruh atau tidaknya penerapan deadband pada hasil keluaran berupa gelombang sinusoidal ini. Adapun Gambar 4.3 merupakan hasil gambar pengujian  $V_{out}$  pada osiloskop, dan Tabel 4.3 merupakan hasil analisis pengujian  $V_{out}$ .

**Tabel 4.3** Hasil Analisis Pengujian PWM MCU C2000

No.	Deadband (µs)	F (Hz)	P (ms)	Selisih Nilai Rising A (X) dan B (X)
1.	50	50.25	19.90	0.20 ms
2.	100	50.25	19.90	0.30 ms
3.	150	50.25	19.90	0.20 ms
4.	300	50.25	19.90	0.20 ms
5.	500	50.25	19.90	0.20 ms

Berdasarkan hasil analisis pengujian  $V_{out}$  diatas, dapat disimpulkan bahwa gelombang keluaran yang dihasilkan sesuai dengan target yaitu berupa gelombang sinusoidal. Pengaturan nilai pada deadband tidak berpengaruh atau dapat diabaikan karena selisih nilai rising A (X) dan B (X) rata-rata memiliki nilai yang relatif sama yaitu sebesar 0.20ms. Hal tersebut didukung oleh saran dari konsultan PLN, dimana deadband harus dihindari karena berperan

sebagai sumber *delay action* dan ketidakstabilan sistem. Adapun nilai  $V_{in}$  yaitu 13,7V dan  $V_{out}$  yang dihasilkan yaitu rata-rata sebesar 200V.

#### 4.5 Perhitungan Distorsi Tegangan Output

Perhitungan nilai THD dilakukan dari harmonik kedua sampai dengan harmonik ke 8 menggunakan osiloskop atau *spectrum analyzer* dengan menggunakan fungsi yang ada didalam alat tersebut yaitu *fast fourier transform* atau FFT, dimana FFT tersebut berfungsi untuk mengeskalisasi hasil keluaran dari sinyal harmonik yang diuji. Nilai *deadband* yang digunakan adalah 50, 100, 150, 200, dan 500  $\mu$ s. Hasil gambar FFT dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.4 merupakan hasil nilai THD per-*deadband*.



Gambar 4.4 Hasil Gambar FFT Dengan *Deadband* 50  $\mu$ s

Tabel 4.4 Hasil Nilai THD Per-*Deadband*

No.	<i>Deadband</i> ( $\mu$ s)	THD (%)
1.	50	1,32
2.	100	1,32
3.	150	1,32
4.	300	1,32
5.	500	1,32

Adapun rumus perhitungan nilai THD tegangan yaitu sebagai berikut :

$$\text{THD (\%)} = 100 \times \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_s} \quad (4.1)$$

Berdasarkan perhitungan diatas dan hasil nilai THD tegangan per-*deadband*, didapatkan THD sebesar 1,32%. Hal tersebut membuktikan bahwa, pengaplikasian nilai *deadband* tidak mempengaruhi dari hasil THD tegangan.

#### 4.6 Perhitungan Efisiensi Inverter

Perhitungan nilai efisiensi inverter dilakukan dengan dua kondisi, yaitu perhitungan nilai efisiensi inverter sebelum trafo dan perhitungan nilai efisiensi inverter sesudah trafo. Nilai *deadband* yang digunakan adalah 50, 100, 150, 200, dan 500 $\mu$ s.

Tabel 4.5 Hasil Efisiensi Sebelum dan Sesudah Trafo Pada Setiap *Deadband*

No.	<i>Deadband</i> ( $\mu$ s)	Efisiensi Sebelum Trafo (%)	Efisiensi Sesudah Trafo (%)
1.	50	94	75
2.	100	93	75
3.	150	94	75
4.	300	94	75
5.	500	94	75

Untuk perhitungan nilai efisiensi inverter dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (4.2)$$

Berdasarkan perhitungan nilai efisiensi inverter yang dilakukan dengan dua kondisi, yaitu perhitungan nilai efisiensi inverter sebelum trafo dan perhitungan nilai efisiensi inverter sesudah trafo menghasilkan nilai efisiensi inverter sebelum trafo sebesar 94% dan nilai efisiensi inverter sesudah trafo sebesar 75% pada beban 100Watt.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan dari investigasi pengaruh *deadband* modulasi lebar pulsa pada inverter satu fasa, maka bisa dilihat bahwa perubahan nilai *deadband* tidak terlalu mempengaruhi hasil dari pengujian VDS,  $V_{out}$ , *Total Harmonic Distortion* (THD) tegangan dan efisiensi dikarenakan tidak terasa dan sesuai dengan saran dari konsultan PLN, bahwa *deadband* harus dihindari karena berperan sebagai sumber *delay action* dan ketidakstabilan sistem.

#### REFERENSI

- [1] B. M. Barr, "Beginner' S Corner," no. September, pp. 103–104, 2001.
- [2] D. Pratama, "Implementasi Pulse Width Modulation ( PWM ) Pada Sistem Blending Kacang Menggunakan Sensor," vol. 1, no. 1, 2021.

- [3] H. Dehbonei, L. Borle, and C. V. Nayar, "A review and a proposal for optimal harmonic mitigation in single-phase pulse width modulation," *Proc. Int. Conf. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 1, pp. 408–414, 2001, doi: 10.1109/peds.2001.975348.
- [4] E. Mandayatma, J. T. Elektro, and P. N. Malang, "Rancang bangun spwm inverter 3 fasa daya kecil metode skalar," vol. 08, no. 1, pp. 50–55, 2020.
- [5] D. Nugraha, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Dengan Dengan Modulasi Lebar Pulsa PWM Menggunakan Antarmuka Komputer," *Jtev (Jurnal Tek. Elektro Dan Vokasional)*, vol. 06, no. 01, pp. 340–351, 2020.
- [6] I. Bagus, F. Citarsa, I. Nyoman, W. Satiawan, and K. Wiryajati, "Pengaruh Teknik Modulasi PWM pada Keluaran Inverter Tiga Fasa untuk Pengaturan Kecepatan Variabel Motor Induksi," *Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Mataram*, vol. 2, no. 1, pp. 948732–39, 2015.
- [7] B. Tauhid, "Perancangan Inverter Satu Fasa PWM dengan Teknik Eliminasi Harmonisa." *Jur. Tek. Elektro Universitas Tanjungpura*, 2017.
- [8] M. H. Darajat, "untuk memenuhi salah satu persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta," 2020