

Implementasi Teknik Direct Digital Synthesis (DDS) untuk Inverter Satu Fasa Sinus Murni 0.5 kVA

Khusnul Mubarak¹, Ibrahim Nawawi², Ika Setyowati³
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar^{1,2,3}

khusnulmubarak772@gmail.com¹, ibrahim_nw@untidar.ac.id², ikasetyowati@untidar.ac.id³

ABSTRAK

Kebutuhan alat konversi listrik DC (*Direct current*) ke Listrik AC (*Alternating current*) atau biasa disebut sebagai inverter sampai saat ini masih diperlukan dan dikembangkan. Pengembangan dilakukan untuk mendapatkan inverter dengan kualitas yang lebih baik serta efisiensi yang tinggi. Untuk memperbaiki kualitas dari inverter dan bisa mendapatkan efisiensi yang tinggi, dibutuhkan gelombang keluaran dengan bentuk sinus murni dan total distorsi harmonik minimal. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah rancang bangun inverter dengan mengimplementasikan teknik DDS (*Direct Digital Synthesis*) sehingga bentuk gelombang keluaran sinus murni dengan frekuensi 50 Hz dan tegangan output 220 VAC dengan input tegangan 24 VDC. Implementasi teknik DDS untuk inverter menggunakan komponen MOSFET IRFP260N, Gate driver IC IR2110, Mikrokontroler atmega-16, Filter LC serta Trafo CT 10 A. Penelitian ini membuktikan bahwa Teknik DDS terbukti mampu menghasilkan sinyal sinus untuk inverter satu fasa dengan frekuensi rata-rata 50,05 Hz dengan nilai error 0,99% dari frekuensi yang diharapkan yaitu 50 Hz. Pemberian input tegangan 24 VDC menghasilkan output inverter sebesar 192 VAC dan didapat nilai error 12,72 %. Inverter mampu menahan beban dengan daya 500 W dengan pengujian yang sudah dilakukan.

Kata kunci : *Direct Digital Synthesis , Inverter, sinus murni.*

ABSTRACT

The need for a DC (*Direct current*) to AC (*Alternating current*) electricity conversion tool or commonly referred to as an inverter is still needed and developed. Developments were made to obtain an inverter with better quality and high efficiency. To improve the quality of the inverter and achieve high efficiency, it requires an output waveform with a pure sine form and minimal total harmonic distortion. This study aims to make an inverter design by implementing the DDS (*Direct Digital Synthesis*) technique so that the output waveform is pure sine with a frequency of 50 Hz and an output voltage of 220 VAC with an input voltage of 24 VDC. The implementation of the DDS technique for inverters uses MOSFET components IRFP260N, Gate driver IC IR2110, Microcontroller atmega-16, LC filters and CT 10 A transformers. 05 Hz with an error value of 0.99% of the expected frequency, namely 50 Hz. Giving 24 VDC input voltage produces an inverter output of 192 VAC and the error value is 12.72%. The inverter is able to withstand loads with a power of 500 W with tests that have been done.

Key word : *Direct Digital Synthesis , Inverter, pure sine.*

I. PENDAHULUAN

Energi terbarukan (EBT) adalah energi non fosil yang dapat diperbarui dan dikelola dengan baik[1]. selain dari ketersediaannya yang tidak terbatas, keuntungan penggunaan EBT adalah penurunan gas emisi yang dihasilkan karena minimalnya gas buang dari penggunaan energi ini, yang dapat menjaga ekosistem kehidupan di bumi. Berbagai energi baru dan terbarukan dapat dimanfaatkan untuk kehidupan sehari-hari, salah satunya sinar matahari. Untuk bisa memanfaatkan energi listrik yang dihasilkan dari sinar matahari, dibutuhkan suatu teknologi untuk mengkonversi arus listrik searah menjadi bolak-balik dikarenakan listrik yang dihasilkan sinar matahari searah (DC) sedangkan kebutuhan Listrik ada yang mengharuskan untuk menggunakan listrik bolak-balik (AC). Teknologi yang saat ini berkembang adalah Inverter.

Inverter menjadi salah satu bagian terpenting dalam dunia elektronika karena mampu merubah

dari arus searah DC menjadi bolak-balik AC. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hutagalung (2017) dengan prototype rangkaian Inverter 900 watt, menggunakan baterai dan mikrokontroler AT8535 dengan tampilan LCD 16x2 sangat bermanfaat untuk efisiensi penggunaan listrik di rumah tangga dengan daya sebesar 900 watt. Sistem kerja dari rangkaian inverter DC yang dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC (bolak-balik)[2].

Terdapat beberapa jenis inverter yang dibedakan berdasarkan gelombang keluarannya yaitu gelombang kotak (*Square Wave*), gelombang modifikasi (*modified sine wave*), dan gelombang sinus murni (*pure sine wave*). Akan tetapi beberapa inverter tersebut memiliki kekurangan apabila digunakan pada beban induktif. Untuk memperbaiki kualitas dari inverter dan bisa mendapatkan efisiensi yang tinggi dari sebuah inverter, dibutuhkan tegangan keluaran dengan gelombang sinus dan total distorsi harmonik minimal. Efisiensi pada sebuah

inverter akan berpengaruh terhadap tegangan output yang dihasilkan oleh inverter. Tegangan output inverter yang ideal yaitu tegangan yang mempunyai gelombang sinus murni (*pure sine wave*).

Ada beberapa macam metode pengaturan inverter dilakukan dalam rangka memperbaiki unjuk kerja serta mendapat efisiensi yang tinggi dalam sistem inverter. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, metode pengaturan PWM adalah salah satu metode yang terbukti baik. dimana pengaturan PWM diimplementasikan dalam bentuk pembangkitan pulsa. Macam-macam analisis teknik pembangkitan PWM dengan algoritma yang berbeda-beda telah dilakukan. Salah satu metode yang digunakan adalah teknik *Direct Digital Synthesis* (DDS). Pemilihan terhadap teknik DDS dikarenakan teknik ini mempunyai tingkat akurat yang tinggi dari satu persen pada frekuensi hingga 3 kHz dan tanpa menggunakan tambahan perangkat keras.

Direct Digital Synthesis (DDS) adalah metode untuk mewujudkan bentuk gelombang frekuensi tinggi yang kompleks[3]. Selain itu, keuntungan dari *Direct Digital Synthesis* adalah penyetelan frekuensi yang sangat cepat, sangat rendah frekuensi spektrum pitch, pengulangan sintesis yang baik selama relikasi, serta kenyamanan kontrol digital sintesis selama menggunakan interface digital[4]. Untuk bisa mengaplikasikan teknik DDS pada inverter, maka tugas akhir ini bertujuan untuk membuat sebuah rancangan dengan mengimplementasikan teknik DDS dalam sebuah inverter yang diharapkan dapat menghasilkan output berupa sinus murni dengan efisiensi yang tinggi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang dilakukan oleh Baberma (2018) mengenai rancang bangun inverter sinus murni DC ke AC berdaya rendah menggunakan Mikrokontroler. Arief (2017) Dengan Kendali Sinusoidal PWM. Metode inverter yang digunakan yaitu tipe PWM yang dikontrol menggunakan Arduino Kalang Terbuka [5]. Hasil yang didapatkan dari tugas akhir ini yaitu kapasitas daya maksimal inverter sebesar 120 VA yang didapatkan dari tegangan sumber 12 Volt, trafo CT, dan kapasitas arus dari sumber DC atau aki menghasilkan rugi-rugi switching disisi primer trafo sehingga menghasilkan tegangan 8,13 V. Tanpa filter, gelombang Keluaran inverter memiliki ripple tegangan yang besar sehingga memerlukan filter LPF untuk meloloskan frekuensi dibawah frekuensi cut off. Saat menggunakan frekuensi cut off 300 Hz, gelombang sudah mendekati sinus.

Saputro (2018) dalam perancangan inverter sinus menggunakan daya kelas AB yang bersumber dari dua baterai 12 VDC yang digabungkan menjadi

24 VDC. Tetapi yang terbaca hanya 20 VDC, dan yang 4 VDC hilang dikarenakan terjadi panas pada resistor [6]. Pada penelitian ini muncul beban resistif yang berpengaruh terhadap performa inverter dimana terjadi disipasi daya yang besar dirangkaian penguat daya kelas AB sehingga efisiensi dari penguat daya kelas AB dan intibesi trafo lebih rendah dibandingkan inverter switching.

Lukman (2019) membandingkan 4 buah inverter yang dibeli di pasar baik langsung maupun secara on-line [7]. Hasil yang didapat ada dua jenis inverter yang ada di pasaran, yaitu pertama : gelombang luaran berbentuk sinusoida yang dimodifikasi (*modified sinusoida*) dan kedua : gelombang sinusoida murni. Tegangan luaran tidak tepat 220 volt tergantung pada merek. Stabilitas frekuensi relatif baik mendekati 50 Hz, dengan toleransi meksimum 0,25%.

Djaelani, dkk (2014) melakukan penelitian dengan menggunakan DDS (*Direct Digital Synthsizer*), khususnya tentang cara kerja simulator DDS 8 bit [8]. Simulator dilakukan dengan menggunakan software LabView oleh *National International* (NI). Simulator ini terdiri dari dua bagian yaitu : *front panel* dan *diagramblock*. *Front panel* akan melakukan pembacaan yang hasilnya berupa tabel pengukuran. Serta ada tabel pada hasil dan pembahasan yang merupakan hasil perhitungan pada *diagram block*. Hasil tabel dari Pengukuran dibandingkan dengan tabel Hasil dan Pembahasan mempunyai nilai sama, maka rangkaian pada *diagram block* sesuai dengan output simulator. Cara kerja rangkaian pada *diagram block* adalah merupakan analisis dari simulasi DDS 8 bit

Turahyo (2018) melakukan penelitian dengan menggunakan inverter untuk memperbaiki kualitas tegangan listrik pada konsumen rumah tanngga. Kualitas tegangan kurang baik dikarenakan terjadinya fluktuasi tegangan listrik secara singkat dikarenakan bertambahnya beban atau berkurangnya beban secara mendadak [9]. Dengan menggunakan metode DDS untuk membangkitkan pulsa PWM inverter satu fasa dan mosfet untuk saklar daya pada inverter. Dilakukannya pengaturan besaran indeks modulasi pada pembangkit pulsa PWM bertujuan supaya dapat dihasilkan kualitas tegangan keluaran yang lebih baik. Kompensasi tegangan listrik *inverter* satu fase pada tegangan listrik masukan dari PLN pada tegangan 170-240 volt AC menghasilkan tegangan keluaran sebesar 211-225 volt AC pada beban antara 60-340W dengan THD maksimum 3.65%.

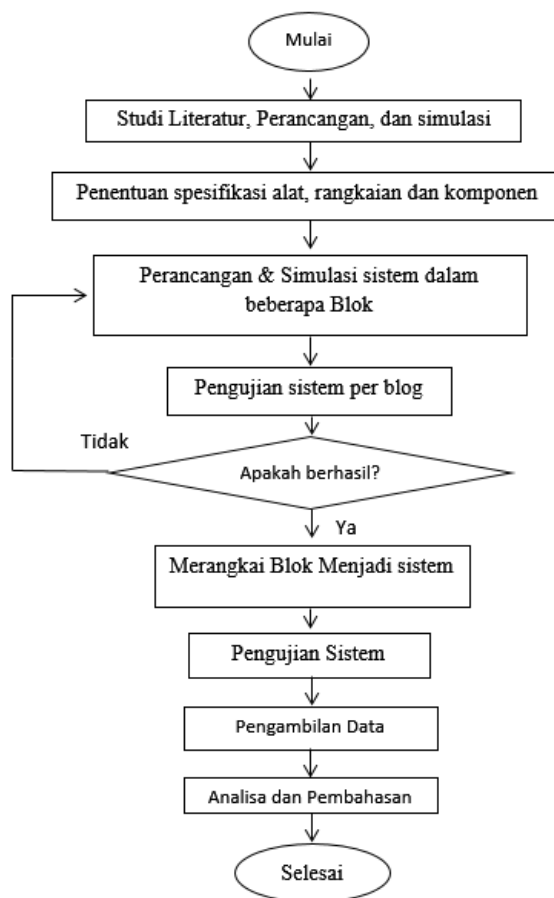
III. METODOLOGI PENELITIAN

Sistem inverter yang peneliti buat adalah inverter yang dapat menghasilkan sinyal output sinus murni dengan menerapkan metode *Direct Digital*

Synthesis (DDS). Metode ini mampu mengubah sinyal digital menjadi bentuk sinyal analog. Sinyal analog berupa sinyal kotak, sinyal segitiga, dan juga sinyal sinus. sebelum dilakukan proses DDS, terlebih dahulu dilakukan studi literatur, perancangan dan langsung disimulasikan pada software. Alur penelitian yang dilakukan peneliti bisa dilihat pada gambar 1.

Proses internal dari DDS terdiri dari beberapa tahap, meliputi Tuning word dan clock referensi dilanjutkan dengan Phase Accumulator untuk menghitung sudut fase alamat untuk tabel pencarian yang menampilkan digit nilai amplitudo sesuai dengan sudut fase ke ADC. sistem internal DDS bisa dilihat pada gambar 2.

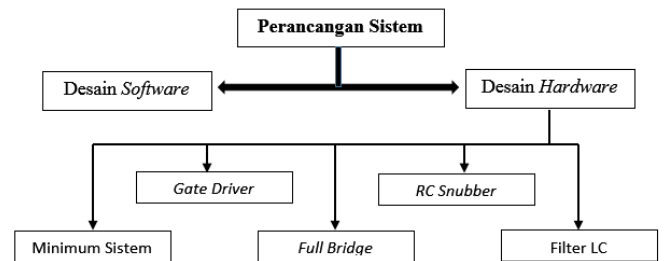
Perancangan untuk mengimplementasikan teknik DDS untuk inverter sinus murni terdiri dari dua tahapan yang bisa dilihat pada gambar 3 yaitu tahap perancangan perangkat lunak (*software*) berupa Pembuatan skematik, program perintah mikrokontroler dan program pemrosesan sinyal dengan pengaturan *duty cycle* dan tahap perancangan perangkat keras (*hardware*).



Gambar 1. Alur penelitian



Gambar 2. Internal DDS



Gambar 3. Perancangan sistem

1. Desain Software

Sine look up table diperlukan dalam perancangan software DDS. Nilai *sine look up* pada proses DDS diperoleh dengan menggunakan bantuan software *Smart_Sine* yang ditunjukkan gambar 3.3. Dengan menetapkan nilai peak value 220, *nomor of table entrie* 31 serta total angle 180, didapatkan nilai dari tabel sinus yaitu 0, 22, 44, 66, 87, 107, 126, 143, 159, 174, 187, 198, 206, 213, 217, 220, 220, 217, 213, 206, 198, 187, 174, 159, 143, 126, 107, 87, 66, 44, 22, dan ditambah 0 diakhir dari tabel. Penambahan 0 di akhir ini berfungsi untuk menciptakan waktu mati yaitu diawali dengan angka 0 dan diakhiri dengan 0. Waktu mati berfungsi untuk menghindari terjadinya korsleting karena konduksi silang antara mosfet di kaki yang sama yang sedang digerakkan. Itu merupakan tabel dari setengah siklus dari gelombang sinus.

Frekuensi switching adalah hal yang perlu diperhatikan. Setelah menemukan look up tabel, selanjutnya yaitu menentukan frekuensi switching PWM yang diinginkan. Langkah ini dilakukan untuk mendapatkan nilai TOP yang sesuai. Nilai TOP akan digunakan sebagai nilai ICR1. Dengan memasukkan masing-masing nilai ke persamaan 1. Pada penelitian kali ini frekuensi PWM yang diharapkan yaitu 16 kHz, frekuensi oscillator 12 MHz serta prescaler yang digunakan 1.

2. Desain Hardware

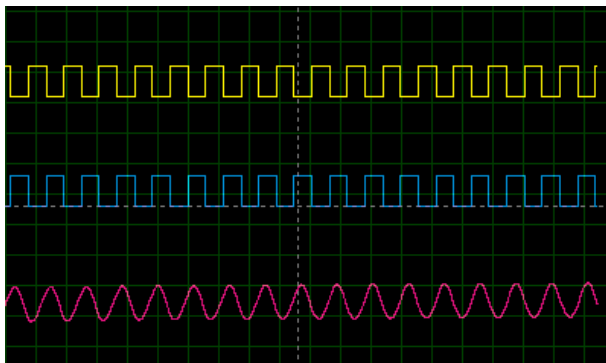
Desain Hardware tersiri dari lima bagian, mulai dari tahapan minimum sistem, gate driver, full bride, RC snubber, dan filter LC. Dari kelima bagian ini sudah dilakukan percangan dan disumulasikan dengan bantuan software proteus. Simulasi dilakukan untuk mengetahui apakah perancangan yang sudah dilakukan sudah benar atau belum.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data yang didapat dari hasil simulasi dan juga data dari pengukuran langsung yang dilakukan peneliti terhadap sistem yang sudah dibuat.

1. Hasil Simulasi dengan Proteus

Hasil simulasi ditunjukkan Gambar 4 yang disimulasikan dalam software proteus dan Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran pada Simulasi Proteus tanpa beban. Simulasi dilakukan dengan menggunakan mikrokontroller atmega-16 dengan output PWM yang ada pada port D5. PWM yang digunakan adalah mode 14 dengan ICR digunakan sebagai top. Port D0 digunakan untuk menswitch mosfet 1, Port D1 digunakan untuk menswitch mosfet 2, Port D2 digunakan untuk menswitch mosfet 3, Port D3 digunakan untuk menswitch mosfet 4. Pada gambar inyal terdapat 3 gelombang sinyal. Sinyal yang teratas dengan warna kuning dan gelombang tengah dengan warna biru merupakan sinyal switching dari dari mikrokontroller untuk mendrive mosfet melalui IC ir2110. Gambar gelombang yang paling bawah dengan warna merah adalah output dari rangkaian inverter yang telah disimulasikan dengan frekuensi switching 16 KHz dan frekuensi output sebesar 50 Hz.



Gambar 4. Hasil Simulasi

Tabel 4.1 Simulasi Proteus tanpa beban

V_{input}	V_{CT}	I_{input}	V_{Output}	I_{output}
24 VDC	24 VDC	0 A	220 VAC	0 A

2. Pengamatan Output PWM

a. Pengamatan Output PWM Mikrokontroller

Output PWM dari mikrokontroller diamati dengan menggunakan osiloskop. Pin output yang digunakan adalah PortD.0, PortD.1, PortD.2, dan PortD.3 sebagai pensaklaran serta PortD.5 sebagai timer 1 yang di-And kan dengan PortD.1 & PortD.3.

output dari masing-masing sinyal bisa dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Output PWM Mikrokontroller

No	Output PIN	F (Hz)	Duty Cycle (%)	V_{rms} (V)
1	PD.0	50	50.0	3.42
2	PD.1 & Timer 1	-	-	3.62
3	PD.2	50.05	49.9	3.82
4	PD.2 & Timer 1	-	-	4.02

b. Pengamatan Output PWM Driver Mosfet

Pengamatan output driver mosfet dengan melihat output dari sinyal LO dan HO dari IC driver ir2110 ditunjukkan tabel 3. Mosfet tipe ini baik digunakan untuk merancang sebuah inverter, tetapi dalam beban perancangan beban maksimal yang akan digunakan 500 watt sedangkan daya total dissipation mosfet sebesar 300 watt (Datasheet). Sehingga inverter akan mampu digunakan dengan baik bila beban yang diberikan adalah kurang dari 300 watt.

Tabel 3. Output PWM driver mosfet.

No	Gate driver	F (Hz)	Duty Cycle (%)	Teganan (Volt)		
				RMS	MAX	MIN
1	LO IC 1	50,05	49,90	3,62	5,84	0,20
2	HO IC 1	-	-	2,01	14,50	-1,00
3	LO IC 2	50,05	50,00	3,62	5,63	0,00
4	HO IC 2	-	-	2,21	14,50	-1,00

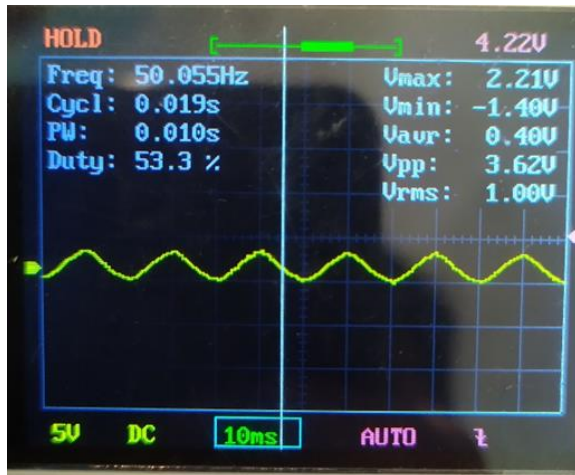
c. Pengamatan Output Full-Bridge Inverter

Nilai frekuensi yang keluar sebesar 50 Hz, sudah sesuai dengan frekuensi yang diharapkan yaitu sebesar 50Hz. Semenara untuk nilai yang lain akan di tampilan pada tabel 4.

Tabel 4. Output Full-bridge inverter

No	Nama	Nilai	Satuan
1	Frekuensi	50,05	Hertz (Hz)
2	Duty Cycle	53,30	Presentase (%)
3	V_{max}	2,21	Volt (V)
4	V_{pp}	3,62	Volt (V)
5	V_{rms}	1,00	Volt (V)

Bentuk gelombang output dari full-bridge berupa sinus seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Gelombang output Full-bridge

Perbandingan simulasi dengan pengukuran langsung Untuk proses analisis keberhasilan sistem inverter, dilakukan dengan melakukan Perbandingan antara hasil dari simulasi dengan pengukuran langsung. Untuk perbandingan dari simulasi dan pengukuran secara langsung bisa dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan simulasi dengan pengukuran langsung

No	Parameter	Simulasi dengan Proteus	Pengukuran pada Hardware
1	Tegangan Baterai	24 VDC	24 VDC
2	Bentuk Gelombang Output Inverter	Sinus	Sinus
3	Frekuensi	50 Hz	50,05 Hz
4	Tegangan Output Inverter	220 VAC	192 VAC

3. Pengamatan DC To AC Converter dengan Berbagai Jenis Beban.

Pengujian pada beban dan pengukuran juga diperlukan Untuk proses analisis keberhasilan sistem inverter, mulai dari pengukuran tegangan baterai atau aki, arus input, tegangan output dan arus output inverter yang bisa dilihat pada tabel 6. Analisis keberhasilan ini diambil sampel yaitu Dengan melakukan pengamatan pada sampel dari tanpa beban, beban lampu 5 W serta beban motor 25 W dengan masukan baterai atau aki 22.4 VDC.

Tabel 6. DC to AC converter dengan berbagai jenis beban.

Kondisi Beban	Tegangan baterai $V_{in}(VDC)$	Tegangan Output (VAC)	Beban Real (W)
Tanpa Beban	24	192	0,384
Lampu 5 Watt	24	185	4,440
Motor 25 Watt	24	177	25,311
Motor 50 Watt	23,5	169	50,869
Setrika 350 Watt	23,5	160	348,320
Setrika 350 Watt dan Motor 50 Watt	23,5	153	383,112
Setrika 350 Watt dan 3 Motor 50 Watt	23,5	145	501,990

4. Efisiensi Sistem

Data dari Hasil pengukuran yang sudah dilakukan, digunakan untuk melakukan perhitungan seberapa besar nilai efisiensi dari sistem yang sudah dibuat. Dengan persamaan

$$V_{in} \times I_{in} \times ef = V_{out} \times I_{out} \quad \dots\dots\dots (1)$$

V_{in} = Tegangan Input (V)

I_{in} = Arus input (A)

ef = Efisiensi (%)

V_{out} = Tegangan output (V)

I_{out} = Arus output (A)

Perhitungan tersebut memberikan beberapa informasi tentang efisiensi dari sistem setelah dilakukan pengujian yang dapat dilihat dalam tabel 7.

Tabel 7. Efisiensi sistem

No	Parameter pengujian	Efisiensi (%)
1	Beban resistif, lampu 5 Watt	88
2	Beban induktif, motor 25 Watt	86
3	Beban induktif, motor 50 Watt	86
4	Beban resistif, setrika 350 Watt	85
5	Motor 50 W dan Setrika 350 Watt	81
6	3 motor 50 W dan Setrika 350 Watt	79

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, bisa diambil beberapa kesimpulan bahwa:

- a. Teknik DDS terbukti mampu menghasilkan sinyal sinus untuk inverter satu fasa. Sehingga inverter tersebut dapat berfungsi sesuai dengan teori serta simulasi yang dilakukan melalui software proteus.
- b. Inverter diberi input tegangan sebesar 24 VDC, output inverter sebesar 192 VAC, sehingga errornya 12,72 % dari tegangan keluaran 220 VAC yang diharapkan.
- c. Bentuk sinyal keluaran inverter berupa sinyal sinus dengan frekuensi rata-rata 50,05 Hz, sehingga errornya 0,99% dari frekuensi yang diharapkan sebesar 50 Hz.
- d. Kemampuan inverter mampu menahan beban sebesar 0,5 kVA dibuktikan dengan beberapa pengujian yang sudah dilakukan pada hardware inverter.
- e. Error yang terjadi di inverter dipengaruhi oleh daya yang hilang terutama saat terjadi switcing pada rangkaian full-bridge yang terlihat pada gambar sinyal yang ditampilkan oleh osiloskop.

REFERENSI

- [1] L. Abubakar, "Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan," *J. Badan Pengkaj. dan Penerapan Teknol.*, vol. Vol. 8, no. 2, pp. 155–162, 2007.
- [2] S. N. Hutagalung, "Prototype Rangkaian Inverter Dc Ke Ac 900 Watt," *J. Pelita Inform.*, vol. 16, no. 3, pp. 278–280, 2017.
- [3] B. C. Rutherford and C. S. Lewis, "Practical direct digital synthesis for realizing high frequency signals from low frequency domains," *2018 IEEE Radar Conf. RadarConf 2018*, pp. 670–675, 2018.
- [4] I. V. Ryabov, S. V. Tolmachev, and P. M. Yuriev, "DIRECT DIGITAL SYNTHESIZER WITH FAST FREQUENCY TUNING," *IEEE*, 2018.
- [5] L. P. S. Raharja, O. A. Q., Z. Arief, and N. A. Windarko, "Reduction of Total Harmonic Distortion (THD) on Multilevel Inverter with Modified PWM using Genetic Algorithm," *Emit. Int. J. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 91–118, 2017.
- [6] F. Saputra, "Perancangan Inverter Sinusoidal Menggunakan," *Peranc. Invert. Sinusoidal Menggunakan Penguat Dayakelas AB*, 2018.
- [7] M. Luqman, E. Mandayatma, and S. Nurcahyo,

"Studi Komparasi Unjuk Kerja," *Studi Komparasi Unjuk Kerja Invert. 12V-Dc Ke 220 V-Ac Yang Ada Di Pasar.*, vol. 17, pp. 95–115, 2019.

- [8] Elan Djaelani, Riyo Wardoyo, Rico Dachlan, "Simulator *Direct Digital Synthesizer* (DDS) 8 Bit : Cara Kerja pengubah number to boolean array, array subset, dan pengubah boolean array to number. terdapat pada bagian hasil dan Digital Signal Prosesing Pada," vol. 13, no. 1, pp. 11–22, 2014.
- [9] Turahyo, F. D. Wijaya, and E. Firmansyah, "Desain Inverter Satu Fase Untuk Perbaikan Kualitas Tegangan Listrik Berbasis DDS," vol. 001, pp. 2–13, 2015.