

# Rancang Bangun Inverter Berkapasitas 200 Watt dengan Metode Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) Bipolar pada Robot ASPER-19

Muhammad Farhan Adi Purnomo  
mFarhan180599@gmail.com  
Universitas Jember

RB. Moch. Gozali  
gozali.teknik@unej.ac.id  
Universitas Jember

Samsul Bachri  
Bachri170364@unej.ac.id  
Universitas Jember

Wahyu Muldayani

wahyuwuldayani.teknik@unej.ac.id  
Universitas Jember

## Abstrak

Pada penanganan kasus *Covid-19* yang semakin hari menunjukkan akan peningkatkan, bagian teknologi semakin didorong untuk mengadakan suatu inovasi dalam membantu penanganan kasus *Covid-19*. UKM Robotika Fakultas Teknik Universitas Jember melakukan riset berkaitan dengan penanganan *Covid-19* yang menghasilkan Robot Asisten Perawat 19 atau ASPER-19. Robot ini dapat dioperasikan dengan suplai daya antara 150 – 250 Watt menggunakan inverter dikarenakan beban yang disuplai beban AC dengan sumber tegangan DC dari baterai/accu. Perancangan inverter pada penelitian ini menggunakan arduino uno sebagai pembangkit sinyal SPWM. Rangkaian penguat atau *Gate Driver* untuk menguat sinyal SPWM terdiri dari optocoupler PC817 dan transistor BC547. Rangkaian utama inverter yang terdiri dari empat buah MOSFET IRF 3205 yang disusun *full bridge* untuk melakukan proses *switching* serta penambahan trafo SMPS untuk *step up* tegangan AC. Penelitian ini menghasilkan bahwa rancang bangun Inverter berkapasitas 200 Watt dengan metode SPWM Bipolar telah berhasil dirancang dengan tingkat kestabilan hasil keluaran rangkaian inverter pada robot ASPER-19 yang diuji selama 120 menit pengerjaan cenderung stabil pada nilai arus keluaran 0,5 Ampere, serta hasil keluaran rangkaian inverter memiliki nilai frekuensi yang tetap pada nilai 19,5 kHz dengan nilai *error persen* sebesar 2,5%.

**Kata Kunci** — Inverter, Kestabilan Inverter, Robot ASPER-19, SPWM.

## Abstract

In the handling of *Covid-19* cases, which are increasingly showing signs of improvement, the technology department is increasingly being encouraged to innovate in helping to handle *Covid-19* cases. The Robotics UKM, Faculty of Engineering, University of Jember conducted research related to the handling

of *Covid-19* which resulted in the 19th Nurse Assistant Robot or ASPER-19. This robot can be operated with a power supply of between 150 – 250 Watt using an inverter because the load is supplied by an AC load with a DC voltage source from the battery/accu. The inverter design in this study uses Arduino Uno as a SPWM signal generator. The amplifier circuit or Gate Driver to amplify the SPWM signal consists of a PC817 optocoupler and a BC547 transistor. The main inverter circuit consists of four IRF 3205 MOSFETs arranged in full bridge to perform the switching process and the addition of a SMPS transformer for AC voltage step ups. This study resulted that the design of the 200 Watt inverter with the Bipolar SPWM method has been successfully designed with the level of stability of the inverter circuit output on the ASPER-19 robot which was tested for 120 minutes of work tends to be stable at the output current value of 0.5 Ampere, as well as the output circuit output. The inverter has a fixed frequency value of 19.5 kHz with a percent error value of 2.5%.

**Keywords** — ASPER-19 Robot, Inverter, SPWM, Stability Inverter.

## I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi tersebut didorong dengan adanya kebutuhan yang serba digital guna meningkatkan efisiensi dalam melakukan sebuah aktifitas. Ditambah dengan adanya pandemic *Covid-19* yang sangat membatasi segala bentuk kegiatan seperti transaksi maupun produksi sehingga memaksa untuk menerapkan kemajuan teknologi semaksimal mungkin agar kegiatan sehari-hari tetap dapat berjalan seperti biasanya. UKM Robotika Fakultas Teknik Universitas Jember melakukan riset berkaitan dengan penanganan *Covid-19* yang menghasilkan Robot Asisten Perawat 19 atau ASPER-19.

Robot ini dirancang untuk membantu perawat dalam memberikan perawatan pada pasien yang terpapar Covid-19. Robot ini dapat dioperasikan dengan suplai daya antara 150 – 250 Watt dikarenakan beban yang disuplai terdiri dari beban AC berupa LCD Monitor dan lampu indikator serta beban DC berupa rangkaian mikrokontroler yang digunakan. Dalam hal ini, beban AC tersebut akan disuplai melalui inverter dengan kapasitas 150-250 Watt karena sumber tegangan yang digunakan ialah baterai acuu.

Inverter merupakan sebuah konverter yang dapat berfungsi untuk mengubah arus searah (*Direct Current*) menjadi arus bolak-balik (*Alternative Current*). Inverter memiliki beberapa macam yang dibagi berdasarkan bentuk gelombangnya, yaitu gelombang kotak (*square wave*), gelombang sinus modifikasi (*modified sine wave*), dan gelombang sinus murni (*pure sine wave*) [1]. Rangkaian inverter terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian pertama, bagian kedua, dan bagian utama. Pensaklaran pada inverter menggunakan gelombang *Pulse Width Modulation* (PWM). PWM merupakan teknik modulasi sederhana yang digunakan sebagai pengendali output sistem. Pada penelitian kali ini menggunakan teknik modulasi *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM), yang nantinya modulasi lebar pulsa SPWM akan digunakan untuk menghasilkan tegangan keluaran sinusoidal sehingga dapat menguangi harmonisa pada gelombang. Teknik SPWM memiliki dua jenis yang berbeda diantaranya bipolar dan unipolar. SPW bipolar berupa modulasi dua gelombang yaitu gelombang *carrier* dan gelombang utamanya, namun SPWM unipolar menggunakan tiga gelombang. Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian dimaksudkan untuk melakukan Rancang Bangun Inverter Berkapasitas 200 Watt Dengan Metode *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) Bipolar Pada Robot Asper-19.

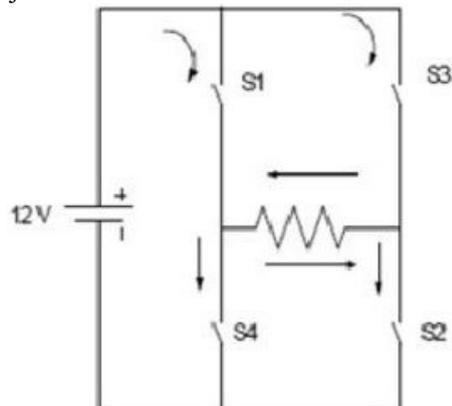
## II. METODELOGI PENELITIAN

### A. Inverter

Inverter merupakan sebuah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah sumber listrik searah DC (*Dirrect Current*) menjadi sumber listrik bolak-balik AC (*Alternating Current*). Inverter dapat digunakan dalam beberapa pengaplikasian alat, diantaranya dapat digunakan dalam sebuah peralatan yang hanya mempunyai arus DC rendah seperti yang dihasilkan oleh baterai (accu) atau panel surya yang diperlukan untuk menyuplai peralatan elektronika dengan masukkan arus AC. Inverter disebut sebagai inverter catu tegangan (*voltage-fed inverter VFI*) apabila tegangan masukan selalu dijaga konstan, disebut inverter catu arus (*current-fed inverter CFI*) apabila arus masukan selalu dipelihara konstan, dan disebut inverter variabel (*variable DC linked inverter*) apabila tegangan masukan dapat diatur [2]. Inverter banyak diaplikasikan pada pengaturan kecepatan motor arus searah (AC) [3].

Pada umumnya, inverter dapat menghasilkan gelombang pada tegangan AC dengan tiga jenis yang berbeda, diantaranya keluaran berupa sinyal kotak (*square wave*), sinyal sinus termodifikasi (*modified sine wave*), dan sinyal sinus murni (*pure sine wave*). Inverter memiliki prinsip kerja

menggunakan empat saklar seperti Gambar 1. Ketika saklar S1 dan S2 berada dalam kondisi on, maka arus DC akan mengalir dari kiri menuju kanan pada beban R. Sedangkan, pada saat saklar S3 dan S4 hidup atau dalam kondisi on, maka arus DC akan mengalir menuju beban R dari arah kanan menuju kiri.



Gbr 1. Prinsip Kerja Inverter

### B. Pulse Width Modulation (PWM)

*Pulse Width Modulation* (PWM) dapat diartikan secara garis besar merupakan sebuah metode untuk memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode tertentu, yang nantinya digunakan untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang nilainya berbeda-beda. Pengaplikasian dari PWM itu sendiri dapat diimplementasikan pada beberapa pekerjaan, diantaranya pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk menuju beban, perangkat regulator tegangan, audio *effect*, serta penguatan pada aplikasi-aplikasi perangkat elektronik lainnya. PWM yang didapatkan dengan cara membandingkan gelombang sinus dengan gelombang pembawa secara diskret. Setelah itu, dari titik potong kedua gelombang tersebut akan didapatkan deretan gelombang pulsa dengan *duty cycle* yang berbeda-beda dan frekuensi sinyal pembawanya tentunya kelipatan dari frekuensi sinyal sinusnya agar dapat dihasilkan PWM yang simetris [4].

Disamping pembangkitan dari sinyal PWM, ada pula beberapa macam teknik dalam proses *switching* PWM. Macam-macam teknik dalam proses *switching* PWM antara lain, teknik *Switching* Bipolar dan Unipolar. Sinusoidal PWM Bipolar memiliki bentuk gelombang yang serupa dengan bentuk gelombang dengan bentuk tegangan persegi. Namun, gelombang sinusoidal PWM bipolar memiliki ciri khas yaitu pada perbedaan lebar pulsa pada fase positif dan fase negatifnya, serta periodik sesuai dengan nilai frekuensi pada tegangan referensinya. Pada teknik *switching* unipolar ini sebenarnya tidak berbeda jauh pada teknik *switching* bipolar. Perbedaan antara kedua teknik *switching* tersebut ialah teknik *switching* menggunakan satu sinyal referensi dan dua sinyal pembawa.

C. MOSFET

Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor atau bisa disingkat MOSFET ialah tergolong pada salah satu jenis transistor yang memiliki bahan dasar semikonduktor berupa silikon serta mempunyai tingkat konsentrasi ketidakmurnian [5]. MOSFET terbuat dari bahan silikon yang nantinya dapat digunakan sebagai pembentuk pada bagian-bagian MOSFET itu sendiri, diantaranya dapat digunakan sebagai substrat, drain, source dan gate. Pembuatan MOSFET dibuat sesuai dengan konfigurasi supaya ruang antara substrat dengan gate dapat dibatasi oleh oksida silikon yang berukuran sangat tipis. Oksida silikon yang membatasi antara substrat dan gate tersebut akan diendapkan pada bagian atas sisi kiri dari kanal, sehingga kinerja dari MOSFET tersebut akan memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan transistor tipe BJT atau Bipolar Junction Transistor yang nantinya dapat menghasilkan keluar daya desipasi yang nilainya lebih rendah. MOSFET memiliki ragam jenis yang berbeda-beda dengan dikelompokkan menurut cara kerja serta saluran yang digunakan berdasarkan tingkat kemurnian oleh MOSFET itu sendiri.

Tegangan *threshod* dapat diartikan sebagai tegangan minimum yang dibutuhkan sebuah transistor MOS untuk dapat mengaktifkan *gate* yang nantinya akan mengalirkan arus antara *drain* dan *source* maksimal (saturasi). Tegangan ambang (*threshod*) dapat diatur dengan mengubah kosentrasi dari *doping*. Tegangan ambang pada MOSFET dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_T = V_{T0} + \gamma \cdot (\sqrt{|-2\phi|} + V_{SB} - \sqrt{|2\phi|}) \quad (1)$$

Dimana:

- $V_T$  = Tegangan Ambang (V)
- $V_{T0}$  = Tegangan ambang untuk  $V_{SB} = 0(V)$
- $\gamma$  = efek bias body ( $V^{1/2}$ )
- $V_{SB}$  = Tegangan *Source – body (bulk)*
- $\phi$  = Potensial Fermi (V)

D. Low Pass Filter

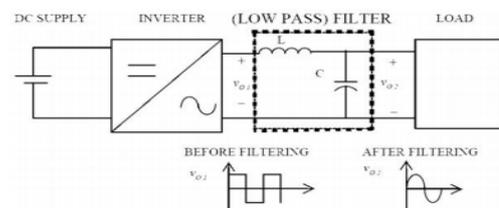
Filter merupakan suatu rangkian berstruktur paralel atau seri antara komponen kapasitor dan komponen induktor. Sebuah struktur rangkaian filter dapat dikonfigurasi pada suatu frekuensi yang tertentu sesuai dengan spesifikasi yang nantinya impedansi dari induktor yang bernilai sama dengan impedansi pada kapasitor. Tingkat keefektifan dari sebuah filter dapat diukur dari perubahan impedansi jaringan atau melalui perhitungan nilai-nilai komponen filter yang dirancang. Pengaplikasian filter tersebut dapat digunakan pada rangkain amplifier, osilator, dan *power supply*. Filter memiliki dua ragam jenis berdasarkan fungsinya, yaitu *high pass filter* dan *low pass filter*. *Low pass filter* merupakan suatu filter yang memiliki fungsi untuk memotong semua harmonisasi yang tidak akan menguntungkan dari sebuah sinyal keluaran yang dihasilkan. Adanya filter ini dapat juga digunakan untuk memastikan tegangan keluaran dan arus keluaran harus berbentuk sinyal murni sinusoidal AC dengan frekuensi

kerjanya. *Low pass filter* ini berfungsi untuk mengeleminasi nilai frekuensi yang dibutuhkan serta memotong frekuensi tinggi yang lebih tinggi daripada frekuensi *cut-off*. Rumus dasar untuk membuat desain filter ialah:

$$F_{co} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} \quad (2)$$

Kemudian, dari hasil keluaran nilai frekuensi dalam sebuah rangkaian filter frekuensi tentunya nilai yang dihasilkan memiliki error yang tidak bisa dihindarkan. Adapun rumus untuk perhitungan nilai error pada rangkaian filter frekuensi, antara lain:

$$\text{Error} = \frac{f_c(\text{ukur}) - f_c(\text{hitung})}{f_c(\text{ukur})} \times 100\% \quad (3)$$



Gbr 1. Blok Diagram LC Filter

E. Stabilitas Rangkaian

Stabilitas rangkaian merupakan suatu kemampuan suatu system tenaga untuk mempertahankan level pada kondisi normal dan kondisi setelah berbeban. Definisi ini memberikan gambaran tentang kekokohan sistem tenaga listrik yang dinilai berdasarkan kemampuan menjaga keseimbangan antara permintaan beban dan daya listrik yang dihasilkan. Sistem ini bisa menjadi tidak stabil karena pertambahan permintaan secara terus menerus yang akan menyebabkan penurunan tegangan yang tak terkontrol [6].

Tingkat kestabilan pada suatu rangkaian dapat diimplementasikan melalui kondisi pada nilai tegangan, arus, ataupun pada daya yang dihasilkan. Hal ini bergantung pada parameter apa aja yang dibutuhkan untuk dapat menyimpulkan tingkat kestabilan dari suatu rangkaian tersebut. Pada umumnya, kestabilan pada sebuah rangkaian atau alat tertentu yang dirancang baru dapat terlihat melalui penyajian data dalam bentuk grafik linier. Hal ini dapat dilihat dengan nilai grafik pada naik atau turunnya grafik yang akan disajikan dengan menggunakan parameter yang digunakan untuk menentukan kestabilan rangkaian.

Pada penelitian ini, inverter akan dirancang serta diuji untuk mengetahui tingkat kestabilan inverter tersebut. Pengukuran kestabilan inverter pada penelitian ini menggunakan parameter nilai arus keluaran dari inverter yang dihubungkan pada beban robot Asper-19. Nilai arus keluaran dipilih sebagai parameter pada pengukuran kestabilan inverter dikarenakan sumber tegangan yang digunakan ialah baterai/accu dengan kondisi penggunaannya pada kondisi *discharge*. Hal ini akan membuat nilai tegangan sumber akan semakin menurun ketika waktu pemakaiannya semakin lama. Sedangkan, pada nilai arus keluaran akan relatif tetap karena

penggunaan beban yang sama yaitu robot Asper-19. Pada pengujian untuk mengukur kestabilan inverter ini nantinya akan diuji selama dua jam.

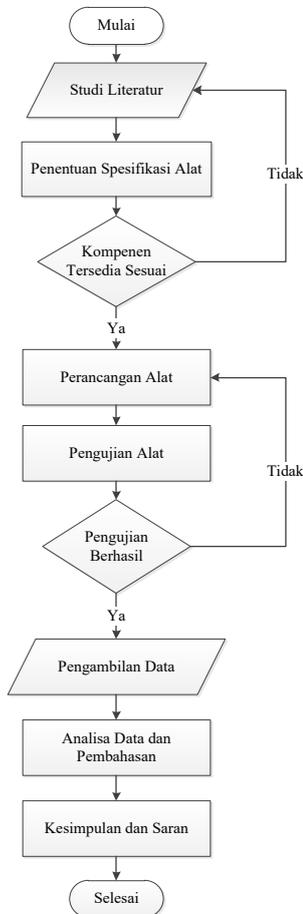
**F. Alat dan Bahan Penelitian**

Pada penelitian kali ini membutuhkan beberapa jenis alat maupun bahan, diantaranya:

- a. PC atau Laptop
- b. Osiloskop
- c. Multimeter
- d. Baterai aki kering
- e. Arduino Uno
- f. Transformator SMPS
- g. MOSFET IRF 3205
- h. Transistor BC547
- i. Optocoupler PC817
- j. IC SG3525

**G. Flowchart Penelitian**

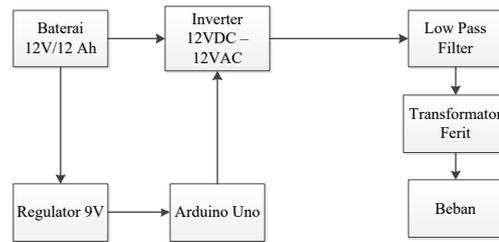
Adapun kerangka konsep yang digunakan pada penelitian ini berfungsi sebagai panduan langkah kerja dalam menjalankan penelitian. Kerangka konsep yang dimaksud ialah sebagai berikut:



Gbr 2. Flowchart Penelitian

**H. Diagram Blok Sistem**

Pada pembuatan rancang bangun inverter berkapasitas 200 Watt ini memiliki beberapa bagian yang akan dirangkai sesuai dengan blok diagram pada Gambar 4.



Gbr 3. Blok Diagram Sistem

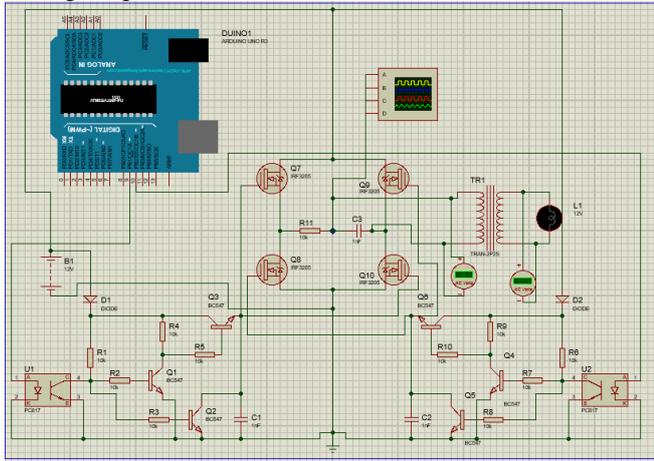
Secara sederhana, blok diagram tersebut dapat dimaksudkan bahwa sumber tegangan DC dari baterai sebesar 12 Volt dengan kapasitas 12 Ah. Tegangan DC dari baterai akan disambungkan pada regulator tegangan 9V untuk dapat mengaktifkan arduino uno. Selain masuk pada regulator tegangan, arus DC mengalir pada rangkaian inverter. Ketika arduino telah aktif, sinyal PWM pada arduino akan aktif dan mengirimkan sinyal *high* dan *low*. Sinyal PWM yang dihasilkan akan dikirimkan pada rangkaian *gate driver* sebagai pembangkit pulsanya. Pada rangkaian *gate driver* tersebut akan ditambahkan penguatan sinyal yang berasal dari transistor bipolar. Setelah sinyal tersebut dikuatkan, arus tersebut akan mengalir pada MOSFET yang telah disusun dengan prinsip kerja *full bridge*. Aliran arus dari MOSFET yang bolak-balik akibat dari saklar elektronik yang membuka dan menutup akan menimbulkan tegangan AC. Tegangan AC yang dihasilkan oleh MOSFET masih memiliki nilai frekuensi yang nantinya untuk membuat frekuensi menjadi 20 kHz, ditambahkan rangkaian *low pass filter*. Selanjutnya, untuk mendapatkan tegangan AC 220 VAC serta daya 200 Watt, digunakanlah sebuah transformator *step-up*. Hasil keluaran tegangan AC tersebut, selanjutnya dapat disambungkan pada beban.

**I. Pemodelan Sistem**

Pembuatan rancang bangun inverter ini diawali dengan perancangan yang digunakan untuk membuat skema inverter pada *software* simulasi. Hal ini digunakan untuk menanggulangi adanya kesalahan pada saat perancangan alat nantinya. *Software* simulasi yang digunakan ialah *software* proteus. Skema rangkaian inverter dapat terlihat seperti pada Gambar 5.

Sistem dimulai dengan menyusun program yang digunakan untuk membangkitkan sinyal SPWM pada arduino uno. Penyusunan program ini menggunakan *software* arduino. Setelah program yang disusun telah selesai, dilanjutkan dengan membangkitkan sinyal SPWM yang dilakukan oleh mikrokontroler arduino uno. Sinyal SPWM yang dibangkitkan memiliki tegangan awal sebesar 5 Volt. Besar tegangan ini belum cukup untuk memberikan *trigger* pada MOSFET agar melakukan *switching*. Oleh karena itu, sinyal SPWM terlebih dahulu diperkuat menggunakan rangkaian

gate driver. Disini, sinyal SPWM akan ditingkatkan nilai tegangan, sehingga nilai tegangannya menjadi 12 Volt. Selanjutnya, keluaran dari rangkaian gate driver terhubung dengan gate MOSFET IRF 3205 untuk dilakukan proses switching. Jika hasil dari switching nilainya sebesar 12 Volt AC, maka tegangan akan di step-up menggunakan trafo untuk menghasilkan nilai tegangan 220 VAC yang selanjutnya dihubungkan pada beban.



Gbr 4. Pemodelan Sistem Inverter

J. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang digunakan pada penelitian kali ini ialah menggunakan metode trial and error. Metode ini diimplementasikan dengan cara melakukan percobaan perancangan sampai tidak didapatkan troubleshoot yang terjadi dalam rangkaian serta pada proses pengambilan data. Pengujian yang dilakukan pada penelitian kali ini ada tiga macam, yaitu:

- a. Pengujian rangkaian inverter untuk mendapatkan nilai efisiensi inverter. Data yang diambil pada pengujian rangkaian inverter ialah tegangan, arus, dan daya masukan, tegangan, arus, dan daya keluaran.
- b. Pengujian inverter menggunakan beban variatif untuk mendapatkan kapasitas inverter 200 Watt. data yang diambil pada pengujian inverter beban variatif ialah tegangan, arus, dan daya masukan, tegangan, arus, dan daya keluaran serta nilai frekuensi.

Pengujian kestabilan inverter untuk mengetahui tingkat kestabilan inverter. Pada pengujian ini dilakukan dengan mengambil data berupa nilai tegangan keluaran, arus keluaran, dan nilai frekuensi. Selanjutnya, disajikan grafik untuk dapat mendapatkan karakteristik yang diinginkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Rangkaian Inverter

Dalam pengujian rangkaian inverter pada penelitian kali ini, keluaran dari rangkaian inverter dihubungkan dengan beban resistif. Pemilihan beban resistif yang digunakan ialah resistor kapur yang memiliki nilai hambatan sebesar 39 Ω dengan

kapasitas daya 20 Watt agar resistor tersebut tidak cepat mengalami kenaikan suhu atau panas. Proses pengujian ini sendiri dilakukan dengan menggunakan sumber power supply. Hal ini dimaksudkan agar pada proses pengujian didapatkan variasi tegangan input yang diterima oleh rangkaian inverter. Tujuan dari pemberian variasi tegangan input yang diterima rangkaian inverter ialah guna mengetahui tidak efisiensi dari rangkaian inverter yang telah dirancang pada penelitian kali ini. Nilai variasi tegangan input yang digunakan pada proses pengujian dimulai dari 1 volt sampai dengan 15 volt. Batas maksimal 15 volt dari variasi tegangan input dipilih karena guna melihat juga efisiensi rangkaian jika tegangan input lebih dari 12 Volt seperti spesifikasi yang ditetapkan. Berikut merupakan table 1 pengujian data yang didapatkan selama proses pengujian rangkaian inverter.

TABEL I  
PENGUJIAN RANGKAIAN INVERTER

| No | Masukan  |            |          | Keluaran |            |          | E%     |
|----|----------|------------|----------|----------|------------|----------|--------|
|    | V (Volt) | I (Ampere) | P (Watt) | V (Volt) | I (Ampere) | P (Watt) |        |
| 1  | 1,200    | 0          | 0        | 0,005    | 0,000      | 0        | 0,00%  |
| 2  | 2,400    | 0          | 0        | 0,005    | 0,000      | 0        | 0,00%  |
| 3  | 3,700    | 0,024      | 0,089    | 1,02     | 0,027      | 0,027    | 30,63% |
| 4  | 4,600    | 0,094      | 0,432    | 3,8      | 0,100      | 0,379    | 87,62% |
| 5  | 5,600    | 0,111      | 0,622    | 4,6      | 0,118      | 0,542    | 87,18% |
| 6  | 6,700    | 0,133      | 0,891    | 5,56     | 0,144      | 0,799    | 89,72% |
| 7  | 7,700    | 0,152      | 1,170    | 6,27     | 0,163      | 1,022    | 87,32% |
| 8  | 8,300    | 0,162      | 1,345    | 6,76     | 0,176      | 1,188    | 88,38% |
| 9  | 9,300    | 0,189      | 1,758    | 7,85     | 0,204      | 1,598    | 90,88% |
| 10 | 10,400   | 0,218      | 2,267    | 9,06     | 0,238      | 2,154    | 94,99% |
| 11 | 11,3     | 0,245      | 2,7685   | 10,17    | 0,264      | 2,683    | 96,91% |
| 12 | 12,600   | 0,275      | 3,47     | 11,36    | 0,296      | 3,365    | 97,11% |
| 13 | 13,200   | 0,34       | 4,488    | 12,66    | 0,300      | 3,798    | 84,63% |
| 14 | 14,200   | 0,52       | 7,384    | 13,12    | 0,310      | 4,067    | 55,08% |
| 15 | 15,400   | 0,8        | 12,32    | 13,63    | 0,330      | 4,498    | 36,51% |

Dalam pengujian pada penelitian ini, nilai efisiensi diambil berdasarkan nilai pada kondisi rangkaian gelombang AC. Oleh sebab itu, hasil pembacaan pada keluaran rangkaian inverter ialah tegangan dan arus AC. Dari hasil yang didapatkan pada pengambilan data, pada saat nilai tegangan input 1 Volt dan 2 Volt, nilai tegangan output yang masih benilai 0 Volt, sehingga menyebabkan belum muncul efisiensi rangkaian disini. Kemudian, pada tegangan 3,7 volt barulah MOSFET melakukan proses pensaklaran dengan hasil tegangan keluaran masih belum maksimal, sehingga membuat efisiensi rangkaian hanya menyentuh angka 30,63%. Selanjutnya, pada pengujian yang dilakukan dengan memberikan variasi tegangan input mulai dari 4 Volt sampai dengan 13 Volt, nilai efisiensi yang didapatkan lebih dari 80% dengan nilai efisiensi terbesar ialah tercatat pada nilai tegangan input 12,6 Volt dengan efisiensi mencapai 97,11%. Berbeda halnya ketika variasi tegangan input dinaikkan menjadi 14 Volt sampai dengan 15 Volt. Hasil efisiensi rangkaian yang didapatkan masing- masing hanya mencapai 55,08% dan 36,51%. Sementara itu, secara keseluruhan nilai rata-rata efisiensi rangkaian inverter pada penelitian ini ialah

mencapai 79%. Hal tersebut dapat diartikan bahwa rangkaian inverter ini dapat bekerja dengan baik pada nilai tegangan input mulai dari 4 Volt sampai dengan 13 Volt dengan nilai efisiensi rangkaian inverter mencapai 79%.

**B. Pengujian Inverter pada Beban Variatif**

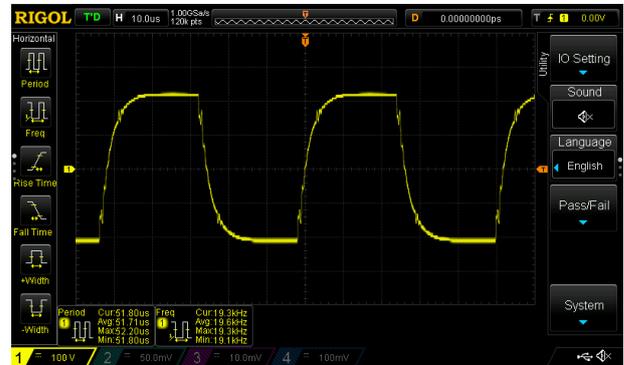
Dalam pengujian inverter dengan beban variatif pada penelitian kali ini, pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi beban. Variasi beban disini terdiri dari beban resistif yang nantinya akan diparalel untuk mendapat beban daya yang cukup besar. Beban resistif yang digunakan ialah lampu pijar dan heater. Besar nilai beban yang digunakan pada proses pengujian dimulai dari lampu pijar 5 Watt sampai dengan paralel antara lampu pijar dan heater yang bernilai 1030 Watt. Data yang didapatkan pada pengujian kali ini akan dianalisis mengenai hubungan hubungan variasi beban terhadap tegangan keluaran, arus keluaran, daya keluaran, frekuensi gelombang, dan bentuk gelombang yang dihasilkan. Berikut merupakan data yang didapatkan pada pengujian inverter dengan beban variatif yang disajikan pada tabel 2.

TABEL 2  
PENGUJIAN INVERTER PADA BEBAN VARIATIF

| No | Beban (Watt) | Masukan  |            |          | Keluaran |            |          | Frekuensi (kHz) |
|----|--------------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|-----------------|
|    |              | V (Volt) | I (Ampere) | P (Watt) | V (Volt) | I (Ampere) | P (Watt) |                 |
| 1  | 5            | 12,850   | 3,122      | 40,118   | 224,5    | 0,150      | 33,596   | 19,9            |
| 2  | 10           | 12,850   | 1,495      | 19,211   | 227,7    | 0,066      | 14,976   | 19,9            |
| 3  | 15           | 12,790   | 1,832      | 23,431   | 225,1    | 0,076      | 17,009   | 19,9            |
| 4  | 25           | 12,790   | 2,497      | 31,937   | 229,6    | 0,106      | 24,356   | 19,9            |
| 5  | 40           | 12,750   | 3,242      | 41,336   | 226,4    | 0,160      | 36,231   | 19,9            |
| 6  | 50           | 12,560   | 3,671      | 46,108   | 222,5    | 0,194      | 43,192   | 19,9            |
| 7  | 55           | 12,550   | 3,244      | 40,712   | 226,1    | 0,160      | 36,239   | 19,9            |
| 8  | 65           | 12,200   | 4,29       | 52,338   | 212,5    | 0,232      | 49,238   | 19,9            |
| 9  | 72           | 12,120   | 5,063      | 61,364   | 219,8    | 0,247      | 54,280   | 19,9            |
| 10 | 80           | 12,030   | 4,29       | 51,609   | 203,6    | 0,232      | 47,219   | 19,9            |
| 11 | 90           | 12,040   | 4,79       | 57,672   | 204,6    | 0,262      | 53,589   | 19,9            |
| 12 | 100          | 12,08    | 5,036      | 60,835   | 188,5    | 0,276      | 52,049   | 19,9            |
| 13 | 125          | 12,07    | 5,097      | 61,521   | 187,2    | 0,237      | 44,323   | 19,9            |
| 14 | 155          | 12,07    | 5,309      | 64,080   | 185,8    | 0,275      | 51,049   | 19,9            |
| 15 | 195          | 12,05    | 5,352      | 64,492   | 185,1    | 0,325      | 60,163   | 19,9            |
| 16 | 300          | 12,000   | 6,921      | 83,052   | 151      | 0,506      | 76,424   | 19,9            |
| 17 | 350          | 11,770   | 6,325      | 74,445   | 145,4    | 0,472      | 68,633   | 19,9            |
| 18 | 380          | 11,820   | 6,718      | 79,407   | 141,8    | 0,497      | 70,536   | 19,9            |
| 19 | 650          | 11,730   | 7,591      | 89,042   | 117      | 0,549      | 64,242   | 19,9            |
| 20 | 1030         | 11,780   | 7,894      | 92,991   | 98,2     | 0,673      | 66,109   | 19,9            |

Pada tabel 2 menyajikan data yang didapatkan pada pengujian inverter beban variatif. Pada pengujian pertama beban yang dihubungkan ialah lampu pijar berdaya 5 Watt. Dari hasil pengujian pertama, didapatkan hasil tegangan masukan 12,85 Volt dengan arus 3,122 Ampere, sehingga dihasilkan daya input sebesar 40,118 Watt. Sementara itu, nilai tegangan keluaran yang terukur ialah 224,5 Volt dan arus keluaran sebesar 0,15 Ampere, sehingga daya yang terukur ialah 33,596 Watt dengan frekuensi yang terbaca pada osiloskop ialah 19,9 kHz. Kemudian, pada pengujian kedua dengan beban lampu pijar sebesar 10 Watt didapatkan hasil tegangan dan arus masukan yang dihasilkan oleh baterai

masing-masing sebesar 12,85 Volt dan 1,495 Ampere sehingga daya masukan yang dihasilkan sebesar 19,211 Watt. Lalu, pada sisi keluaran didapatkan hasil tegangan keluaran dan arus keluaran yang masing-masing memiliki nilai sebesar 227,7 Volt dan 0,066 Ampere, sehingga daya yang terukur bernilai 14,976 Ampere dengan besar nilai frekuensi yang tetap yaitu 19,9 kHz yang memiliki bentuk gelombang seperti pada Gambar 6. Bentuk gelombang yang dihasilkan pada pengujian ini dihasilkan berdasarkan gelombang *modified sine wave* yang kemudian difilter dengan filter pasif sehingga bentuk gelombang tidak bisa *pure sine wave*.



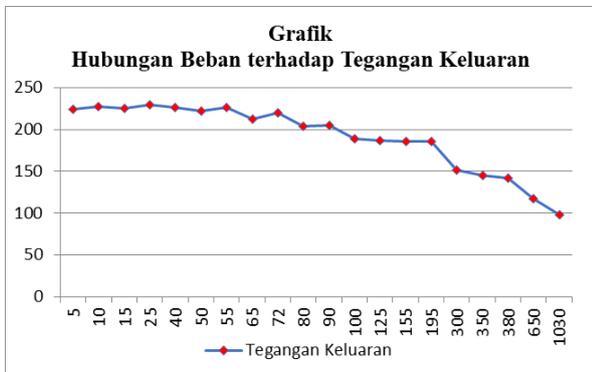
Gbr 5. Bentuk Gelombang pada Beban 10 Watt

Kemudian, beban yang dihubungkan ditambahkan menjadi 155 Watt. Dengan beban tersebut, nilai tegangan dan arus masukan yang diberikan oleh baterai pada rangkaian inverter masing-masing bernilai sebesar 12,07 Volt dan 5,309 Ampere dengan daya masukan yang diukur 64,08 Watt. Selain itu, data yang didapatkan pada sisi keluaran diantara pada tegangan keluaran bernilai 185,8 Volt dan 0,275 Ampere dengan nilai daya keluaran sebesar 51,049 Watt yang memiliki nilai frekuensi yang masih tetap sebesar 19,9 kHz. Selanjutnya, beban heater diganti menjadi 380 Watt. Dalam pengujian tersebut, didapatkan nilai tegangan masukan dari baterai sebesar 11,82 Volt serta arus masukan dari baterai bernilai 6,718 Ampere sehingga daya masukan tersebut bernilai 79,407 Watt. Setelah itu, pada sisi keluaran rangkaian didapatkan hasil tegangan keluaran juga telah melebihi dari batas yaitu  $\pm 10\%$  dari 220 VAC yang bernilai 141,8 Volt dengan nilai arus keluaran sebesar 0,497 Ampere, hal ini membuat nilai daya keluaran sebesar 70,536 Watt dengan nilai frekuensi yang masih tetap diangka 19,9 kHz yang memiliki bentuk gelombang dengan amplitudo yang mulai mengalami penyusutan.

Kemudian, pengujian dilanjutkan pada beban yang melebihi kapasitas inverter ialah dengan beban 650 Watt. Nilai beban tersebut didapatkan dari rangkaian paralel beban antara lampu pijar dan heater. Tegangan masukan yang diberikan oleh baterai bernilai 11,73 Volt dengan nilai arus 7,591 Ampere, sehingga didapatkan nilai daya masukan pada bernilai 89,042 Watt. Sementara, pada bagian keluaran rangkaian, nilai yang didapatkan untuk tegangan keluaran dan arus keluaran masing-masing bernilai 117 Volt dan 0,549 Ampere, sehingga daya keluaran bernilai 64,242 Watt dan 66,109 Watt dengan bentuk gelombang yang memiliki

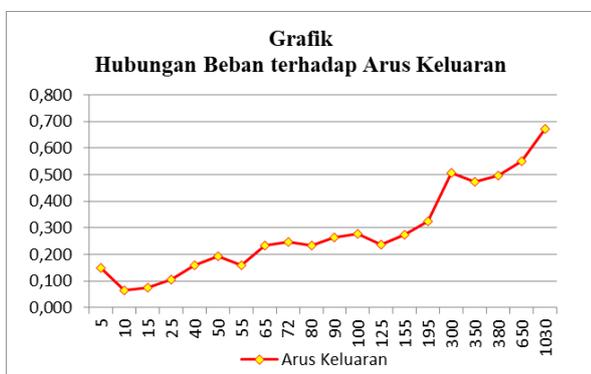
perubahan mencolok pada amplitudo gelombang yang semakin mengecil walupun pada nilai frekuensi yang terbaca tetap pada 19,9 kHz.

Hasil data yang didapatkan pada tabel 2 selanjutnya akan disajikan dalam bentuk grafik guna mengentahui hubungan antara masing-masing data yang didapatkan dengan beban variatif yang digunakan diantaranya seperti hubungan beban terhadap tegangan keluaran, hubungan beban terhadap arus keluaran, dan hubungan beban terhadap daya keluaran. Grafik-grafik yang berisi hasil pengolahan data tersebut disajikan pada gambar 7 sampai dengan gambar 9.



Gbr 6. Grafik Hubungan Beban terhadap Tegangan Keluaran

Pada Gambar 7 yang menyajikan grafik hubungan antara beban terhadap tegangan keluaran. Nilai tegangan keluaran paling besar yang didapatkan ialah 229,6 Volt pada beban 25 Watt karena diakibatkan adanya lonjakan tegangan yang dihasilkan pada saat pengujian tersebut. Dari grafik diatas, dapat menunjukkan bahwa dengan nilai beban variatif yang semakin besar, menyebabkan nilai tegangan keluaran cenderung mengalami penurunan. Hal ini dipengaruhi oleh penggunaan baterai yang digunakan juga mengalami discharge atau penurunan nilai tegangan akibat penggunaan beban yang digunakan. Oleh sebab itu, ketika tegangan masuk dari baterai mengalami penurunan, maka nilai tegangan keluaran dari inverter juga mengalami penurunan atau semakin kecil nilainya.



Gbr 7. Grafik Hubungan Beban terhadap Arus Keluaran

Pada Gambar 8 menyajikan grafik mengenai hubungan antara beban terhadap arus keluaran. Hasil pengujian mendapat nilai arus dengan nilai terbesar ialah 0,673 Ampere pada pemasangan beban 1030 Watt. Berdasarkan data pada

grafik tersebut, dapat menjelaskan pada ketika beban variatif yang dihubungkan semakin besar, maka menyebabkan nilai arus keluaran yang diterima beban menjadi semakin besar pula. Hal ini sejalan dengan landasan teori yang menunjukkan bahwa hubungan antara beban dan arus berbanding lurus. Sementara itu, ketika arus keluaran semakin besar atau meningkat, nilai tegangan keluaran cenderung semakin kecil. Oleh sebab itu, hasil yang didapatkan pada pengujian ini sesuai dengan semakin besarnya nilai arus keluaran dari rangkaian inverter.



Gbr 8. Grafik Hubungan Beban terhadap Daya Keluaran

Dalam Gambar 9 menampilkan grafik yang menyajikan hubungan antara beban terhadap daya keluaran. Data pada daya keluaran yang paling besar bernilai 76,424 Watt pada pemasangan beban bernilai 300 Watt. Berdasarkan hasil grafik yang telah disajikan, maka daya yang dihasilkan cenderung mengalami kenaikan pada beban 10 Watt sampai dengan 300 Watt. Sementara itu, pada beban 350 Watt sampai dengan 1030 Watt mengalami penurunan. Mengingat spesifikasi yang diharapkan oleh peneliti sebesar 200 Watt, dari hasil yang didapatkan ketika beban 195 Watt, inverter masih dapat menyuplai beban sekitar 60,163 Watt. Hal tersebut masih cukup untuk menyalakan lampu pijar yang dipasangkan sebagai beban, walaupun waktu yang diperlukan lampu menyala agak redup. Begitu juga pada beban 650 Watt dan 1030 Watt yang pada dasarnya melebihi batas spesifikasi inverter yang dibuat. Pada beban tersebut, rangkaian inverter masih dapat menyuplai AC dengan daya masing-masing 64,242 Watt dan 66, 109 Watt, hal tersebut juga masih mencukupi untuk menghidupkan heater pada beban tersebut.

Berdasarkan hasil analisa pada pengujian rangkaian inverter dengan beban variatif, bahwa rangkaian inverter dirancang sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan yaitu 200 Watt dengan pembuktian pada pengujian pada beban mulai 5 Watt sampai dengan 195 Watt, inverter tetap bisa menghasilkan tegangan keluaran pada beban 195 Watt masih dapat menghasilkan nilai 185,1 VAC diman nilai tersebut kurang dari batas toleransinya sebesar  $\pm 10\%$  dari 220 VAC serta daya keluaran pada beban-beban tersebut dengan bentuk gelombang *modified sine wave* yang menyerupai gelombang sinus murni hasil dari *switching* MOSFET dengan masukkan sinyal SPWM bipolar walaupun nilai daya yang dihasilkan tidak maksimal sesuai dengan beban yang dihubungkan.

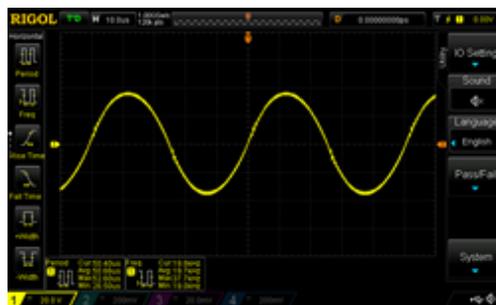
C. Pengujian Kestabilan Inverter

Dalam pengujian kestabilan inverter pada penelitian kali ini, pengujian dilakukan dengan implementasi secara langsung pada robot Asisten Perawat (ASPER)-19 dengan pemasangan rangkaian inverter untuk menyuplai robot tersebut selama 2 jam. Kondisi baterai dikondisikan pada kondisi *discharge* sehingga baterai akan mengalami penurunan kapasitas tegangan selama proses berjalannya pengujian kestabilan inverter. Berikut merupakan tabel 3 yang menyajikan data pada pengujian kestabilan inverter.

Pada tabel 3 menyajikan data yang didapatkan selama proses pengujian kestabilan rangkaian inverter dimana data yang didapatkan berupa lama waktu kerja, tegangan keluaran, arus keluaran, dan frekuensi gelombang, serta bentuk gelombang yang dihasilkan. Pada pengujian pertama yang diuji pada menit ke-0 didapatkan hasil berupa tegangan keluaran sebesar 220,5 Volt dengan arus keluaran sebesar 0,487 Ampere serta besar frekuensi senilai 19,5 kHz dengan bentuk gelombang seperti pada gambar 10. Bentuk gelombang yang dihasilkan mempunyai bentuk *modified sine wave* dengan penambahan *low pass filter* untuk mengurangi *ripple* atau *noise* pada gelombang, sehingga bentuk gelombang yang ditampilkan pada osiloskop menyerupai gelombang sinus murni (Gambar 10).

TABEL 3  
PENGUJIAN KESTABILAN INVERTER

| No | Waktu (Menit) | Vout (Volt) | Iout (Ampere) | Frekuensi (kHz) |
|----|---------------|-------------|---------------|-----------------|
| 1  | 0             | 220,500     | 0,487         | 19,5            |
| 2  | 5             | 220,900     | 0,485         | 19,5            |
| 3  | 10            | 220,600     | 0,485         | 19,5            |
| 4  | 15            | 221,800     | 0,486         | 19,5            |
| 5  | 20            | 219,400     | 0,483         | 19,5            |
| 6  | 25            | 219,000     | 0,482         | 19,5            |
| 7  | 30            | 215,700     | 0,501         | 19,5            |
| 8  | 35            | 216,100     | 0,496         | 19,5            |
| 9  | 40            | 215,500     | 0,501         | 19,5            |
| 10 | 45            | 215,300     | 0,503         | 19,5            |
| 11 | 50            | 214,900     | 0,500         | 19,5            |
| 12 | 55            | 215,200     | 0,502         | 19,5            |
| 13 | 60            | 214,600     | 0,501         | 19,5            |
| 14 | 65            | 213,300     | 0,499         | 19,7            |
| 15 | 70            | 213,300     | 0,499         | 19,5            |
| 16 | 75            | 213,200     | 0,499         | 19,5            |
| 17 | 80            | 212,700     | 0,498         | 19,5            |
| 18 | 85            | 212,800     | 0,498         | 19,5            |
| 19 | 90            | 212,200     | 0,497         | 19,5            |
| 20 | 95            | 211,900     | 0,499         | 19,5            |
| 21 | 100           | 211,900     | 0,498         | 19,5            |
| 22 | 105           | 211,000     | 0,498         | 19,5            |
| 23 | 110           | 210,700     | 0,496         | 19,5            |
| 24 | 115           | 210,600     | 0,494         | 19,5            |
| 25 | 120           | 210,100     | 0,490         | 19,5            |



Gbr 9. Bentuk Gelombang Pengujian Kestabilan Inverter

Kemudian, pada pengujian kedua yang dilakukan pengambilan data pada menit ke-5 dengan terlihat bahwa nilai tegangan keluaran yang dihasilkan pada pengujian ini sebesar 220,9 Volt dengan memiliki besar arus keluaran senilai 0,485 Ampere serta frekuensi yang tetap sama yaitu 19,5 kHz. Lalu, pada pengujian berikutnya dilakukan pada menit ke-70. Hasil yang didapatkan pada pengambilan data kali ini ialah besar nilai tegangan keluaran sebesar 213,3 Volt serta memiliki nilai arus keluaran sebesar 0,499 Ampere dengan nilai frekuensi yang masih tetap pada angka 19,5 kHz. Dari hasil tersebut, memperlihatkan bahwa nilai tegangan keluaran mulai mengalami penurunan, tidak seperti pada nilai awal yang mencapai 220,5 Volt. Penurunan nilai tegangan keluaran tersebut terjadi karena dipengaruhi oleh nilai tegangan input yang juga mengalami *discharge*, sehingga hal tersebut membuat nilai yang dihasilkan pada sisi keluaran mengalami penurunan..

Kemudian, pengujian yang terakhir dilakukan dengan mengambil data pada menit ke-120 atau pada saat rangkaian inverter ini telah bekerja selama 2 jam. Hasil data yang didapatkan pada pengujian ini ialah nilai tegangan keluaran 210,1 Volt dengan nilai arus keluaran sebesar 0,49 Ampere dengan bentuk gelombang yang diperlihatkan pada gambar 4.55 serta nilai frekuensi yang didapatkan masih tetap yaitu 19,5 kHz.

Nilai frekuensi yang terukur pada pengujian ini ialah bernilai konstan pada angka 19,5 kHz. Sedangkan, nilai frekuensi yang diharapkan pada spesifikasi sebesar 20 kHz. Oleh karena itu, terdapat *error persen* pada perhitungan frekuensi. Perhitungan *error persen* seperti pada rumus:

$$EP\% = \frac{f_{hitung} - f_{ukur}}{f_{hitung}} \times 100\% \tag{4}$$

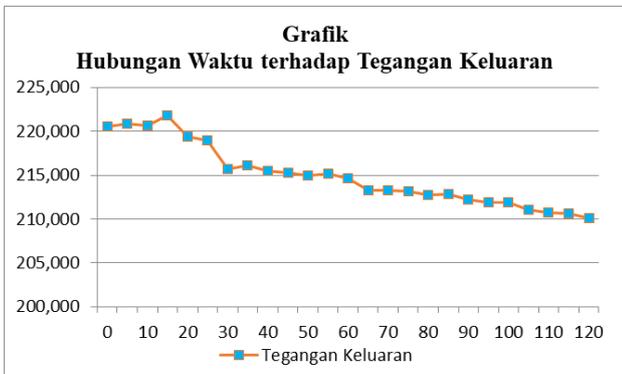
$$EP\% = \frac{20 - 19,5}{20} \times 100\%$$

$$EP\% = 2,5 \%$$

Dari hasil perhitungan rumus diatas, maka didapatkan nilai *error persen* pada perhitungan frekuensi terukur sebesar 2,5%

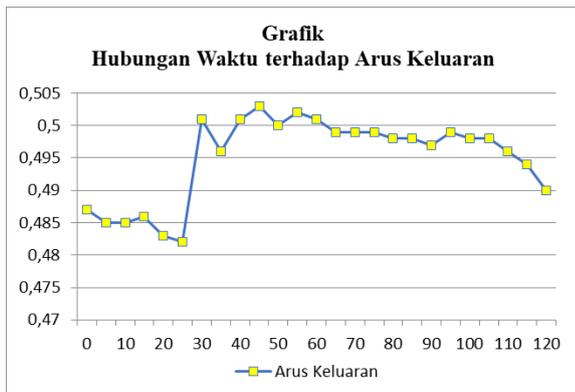
Dari hasil tabel 3, data yang didapatkan akan disajikan melalui grafik. Grafik-grafik tersebut menyajikan hubungan antara waktu terhadap tegangan keluaran dan hubungan antara waktu terhadap arus keluaran. Grafik tersebut disajikan pada gambar 11 dan 12.





Gbr 10. Grafik Hubungan Waktu terhadap Tegangan Keluaran

Pada Gambar 11 merupakan grafik yang menyajikan hubungan antara waktu terhadap tegangan keluaran inverter. Berdasarkan grafik tersebut, didapatkan nilai tegangan keluaran pada rangkaian inverter selama 120 menit atau 2 jam cenderung mengalami penurunan atau semakin lama waktu kerja dari inverter maka nilai tegangan keluaran juga semakin kecil. Walaupun sempat terjadi sedikit kenaikan tegangan pada menit ke-15 dengan nilai 221,8 Volt. Namun, pada menit-menit selanjutnya tegangan keluaran cenderung semakin kecil nilainya. Hal tersebut dipengaruhi oleh nilai tegangan masukan pada baterai yang dalam kondisi *discharge*, sehingga semakin lama baterai tersebut dihubungkan pada beban, nilai kapasitas suplai dari baterai juga akan menurun. Oleh sebab itu, nilai tegangan keluaran pada rangkaian inverter yang dihubungkan pada robot ASPER-19 dalam waktu 120 menit nilainya semakin kecil.



Gbr 11. Grafik Hubungan Waktu terhadap Arus Keluaran

Hasil Gambar 12 menunjukkan bahwa grafik yang disajikan berupa hubungan antara waktu terhadap arus keluaran. Dari hasil sajian data yang diimplementasikan pada grafik tersebut, didapatkan nilai arus keluaran paling minimal sebesar 0,483 Ampere serta paling maksimal bernilai 0,503 Ampere, sehingga selisih perubahan nilai arusnya hanya 0,02 Ampere. Nilai selisih yang sangat kecil tersebut, dapat diartikan bahwa arus keluran pada rangkaian inverter penelitian ini yang dilakukan selama 120 menit konstan pada angka kurang lebih 0,5 Ampere. Hal ini disebabkan beban yang dihubungkan pada rangkaian inverter tetap yaitu robot ASPER-19, sehingga walaupun kapasitas tegangan baterai jgihjhj

mengalami penurunan pada saat berkerja selama 120 menit, nilai arus keluaran yang dihasilkan akan tetap.

Berdasarkan analisa pada hasil pengujian kestabilan inverter, maka dapat dilihat bahwa ketika rangkain inverter dihubungkan pada beban robot ASPER-19 yang dilakukan selama 120 menit atau 2 jam, nilai arus keluaran inverter konstan pada kisaran kurang lebih 0,5 Ampere walaupun dengan nilai tegangan yang semakin kecil serta nilai frekuensi gelombang tetap dengan nilai 19,5 kHz, sehingga inverter pada penelitian ini bisa dikatakan dapat berkerja stabil selama 120 menit guna menyuplai robot ASPER-19.

#### IV. KESIMPULAN (PENUTUP)

Berdasarkan analisa dan pembahasan pada penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Inverter Berkapasitas 200 Watt dengan Metode *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) Bipolar pada Robot ASPER-19” didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Rancang bangun Inverter berkapasitas 200 Watt dengan metode SPWM Bipolar telah berhasil dirancang. Hal ini dibuktikan dengan inverter tetap dapat berkerja pada beban dibawah 200 Watt dengan nilai tegangan keluaran pada beban 195 Watt masih dapat mencapai nilai 185,1 VAC.
2. Tingkat kestabilan hasil keluaran rangkaian inverter pada robot ASPER-19 yang diuji selama 120 menit pengerjaan cenderung stabil. Hal ini dibuktikan dengan nilai arus keluaran yang dihasilkan cenderung konstan pada kisaran 0,5 Ampere walaupun nilai tegangan keluaran menurun disebabkan baterai dalam kondisi *discharge*.
3. Hasil keluaran rangkaian inverter memiliki nilai frekuensi yang tetap pada nilai 19,5 kHz dengan nilai *error persen* sebesar 2,5% dimana nilai tersebut telah mendekati nilai 20 kHz sesuai dnegan spesifikasi yang diharapkan. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian selama 120 menit yang memiliki nilai frekuensi tetap 19,5 kHz dengan bentuk gelombang tetap serta nilai *error persen* yang hanya 2,5%.

#### REFERENSI

- [1] B. Rifqi, “Rancang Bangun Inverter Full Bridge Satu Fasa,” 2018.
- [2] M. Ali, “Aplikasi Elektronika Daya Pada Sistem Tenaga Listrik,” p. 34, 2018.
- [3] Y. A. Sinaga, “RANCANG BANGUN INVERTER 1 PHASA DENGAN KONTROL PEMBANGKIT PULSE WIDTH MODULATION (PWM),” 2016.
- [4] A. M. Iksan, “RANCANG BANGUN INVERTER DC KE AC SATU FASA MODE PUSH PULL BERBASIS ARDUINO,” vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [5] N. Desiwantiyani, “Rancang Bangun Inverter SPWM,” *Ranc. Bangun Invert. SPWM*, pp. 1–45, 2018.
- [6] L. Multa *et al.*, “A-008 Pengaruh Penempatan Unified Power Flow Controller Terhadap Kestabilan Tegangan Sistem Tenaga Listrik,” *Ojs.Unud.Ac.Id*, no. November, pp. 14–15, 2013, [Online]. Available: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/prosidingcsgteis2013/article/download/7206/5457>.