

## INVERTER PWM UNTUK MENGERAKKAN MESIN ARUS SEARAH TANPA SIKAT BERBASIS ARDUINO

Sony Prakarsa Putra<sup>1\*</sup>, Zulwisli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Pendidikan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektronika Universitas Negeri Padang

Jl. Prof.Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang

\*Corresponding author e-mail :[sonypp08@gmail.com](mailto:sonypp08@gmail.com)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membuat inverter PWM yang dapat menggerakkan Mesin Arus Searah Tanpa Sikat (MASTS). Inverter PWM dimaksudkan untuk memperbaiki kekurangan pada inverter *six-step*. Inverter adalah suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC menjadi tegangan AC dengan frekuensi tertentu. Penggunaan inverter banyak ditemukan pada kendaraan listrik. Sistem yang sering digunakan untuk mengendalikan inverter adalah kendali berbasis *Pulse Width Modulation* (PWM), dimana lebar pulsa dimanfaatkan untuk mengatur kecepatan. Inverter diuji dengan menggunakan 3 pasang mosfet sebagai saklar untuk mengendali keluaran tiga fasa inverter. Pada inverter, PWM digunakan untuk mengatur besarnya lebar pulsa frekuensi yang akan diberikan pada mosfet. Pada penelitian ini digunakan 3 buah variasi *duty cycle* 30%, 60%, 90% untuk mengetahui pengaruh kecepatan MASTS terhadap PWM dengan menggunakan inverter PWM. Hasil dari penelitian ini kecepatan MASTS dapat dipengaruhi dengan perubahan *duty cycle*, dengan bertambahnya nilai *duty cycle* maka semakin cepat kecepatan MASTS, begitu juga sebaliknya.

**Kata kunci** :Mosfet, Sensor Hall, MASTS, PWM, Inverter.

### ABSTRACT

*This study aims to create a PWM inverter that can drive the Brushless Unidirectional Flow Machine (MASTS). PWM inverters are intended to correct deficiencies in six-step inverters. Inverter is a circuit that is used to convert a DC voltage source into an AC voltage with a certain frequency. The use of inverters is found in electric vehicles. The system often used to control an inverter is a Pulse Width Modulation (PWM) based control, where pulse width is used to regulate speed. The inverter is tested using 3 pairs of mosfets as a switch to control the three-phase output of the inverter. In the inverter, PWM is used to adjust the width of the frequency pulse that will be given to the mosfet. This research used 3 variations of duty cycle 30%, 60%, 90% to determine the effect of MASTS speed on PWM by using a PWM inverter. The results of this study the speed of MASTS can be influenced by changes in duty cycle, with increasing value of the duty cycle, the faster the speed of MASTS, and vice versa.*

**Keywords**:Mosfet, Sensor Hall, MASTS, PWM, Inverter.

## I. PENDAHULUAN

Mesin penggerak bertenaga elektrik yang populer adalah Mesin Arus Searah Tanpa Sikat (MASTS), kelebihan MASTS dibanding dengan mesin penggerak jenis bertenaga elektrik lainnya adalah motor MASTS memiliki efisiensi lebih tinggi dari pada motor induksi, dimensi lebih kecil dari pada motor arus searah lainnya. Dengan tidak adanya sikat, membuat perawatan MASTS menjadi

gampang, hampir tidak ada derau/*noise*, dan dapat beroperasi pada lingkungan yang mudah terbakar. Kelebihan lain dibanding dengan mesin induksi adalah responnya lebih cepat, lebih tahan lama, dan mempunyai kecepatan yang tinggi[1].

MASTS merupakan motor listrik sinkron AC tiga fasa[2]. penggunaan MASTS di dalam ruangan dapat langsung menggunakan sumber AC tiga fasa listrik PLN. Pada aplikasi bergerak seperti kendaraan listrik, diperlukan sumber AC tiga fasa

yang mampu bergerak, untuk mendapatkan itu diperlukan inverter.

Inverter merupakan sebuah konverter DC ke AC dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang dapat dirubah dan memungkinkan motor AC dapat digerakkan dengan baik. Saat ini inverter mulai sering digunakan sebagai penggerak MASTS[3]. Salah satu metode inverter penggerak MASTS adalah metode *six-step*.

Kekurangan dari metode *six-step* memiliki arus rms yang tinggi, rugi-rugi daya yang tinggi, dan bising[4]. Dalam metode *six-step* kecepatan motor diatur dengan mengurangi atau menambah tegangan pada *input* dan ini menjadi tidak efisien, juga dapat menyebabkan motor cepat rusak karena tegangan yang diperlukan oleh motor tidak tercapai dengan sempurna. Sehingga diperlukan usaha untuk memperbaikinya, salah satu cara dengan membuat inverter PWM.

Teknik PWM tidak hanya digunakan pada bidang penggerak putaran motor tetapi juga pada bidang telekomunikasi, manajemen daya pada IC (*intergrated Circuit*) dan signal processing[5]. Kelebihan metode PWM dibanding dengan metode *six-step* adalah mengatur kecepatan pada motor tanpa mengurangi tegangan *input*, dengan adanya *duty cycle* kecepatan pada motor diatur sesuai dengan keinginan.

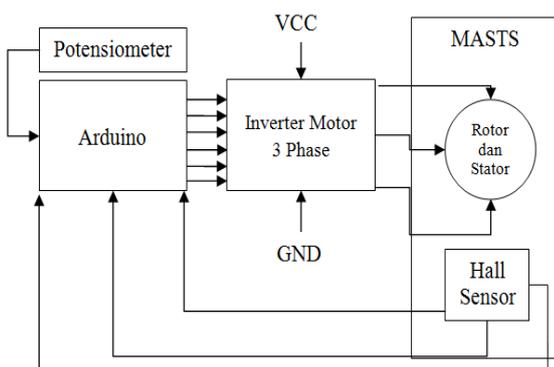
Pada penelitian ini diharapkan dapat membangun dan mewujudkan inverter tiga fasa dengan PWM untuk memperbaiki kelemahan yang ada pada inverter *six-step*.

## II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Dalam pembuatan dan perancangan sistem akan dijelaskan beberapa bagian yang berfungsi untuk mengolah data, cara kerja sistem dan penjelasan perangkat keras yang digunakan. Terdapat beberapa bagian dalam perancangan dan pembuatan alat diantaranya :

### 1. Diagram Blok Rangkaian

Perancangan dan pembuatan alat diperlukan suatu diagram blok diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Perancangan Alat

Berdasarkan gambar 1 diagram blok rancangan alat, dapat dijelaskan potensiometer berfungsi mengendalikan *duty cycle* untuk mengatur kecepatan motor. Mikrokontroler arduino berfungsi untuk memberikan sinyal PWM pada inverter. Inverter tiga fasa berfungsi sebagai konverter tegangan DC ke tegangan AC dan berfungsi sebagai penggerak MASTS. Sensor hall digunakan untuk menentukan perubahan komutasi pewaktu untuk MASTS.

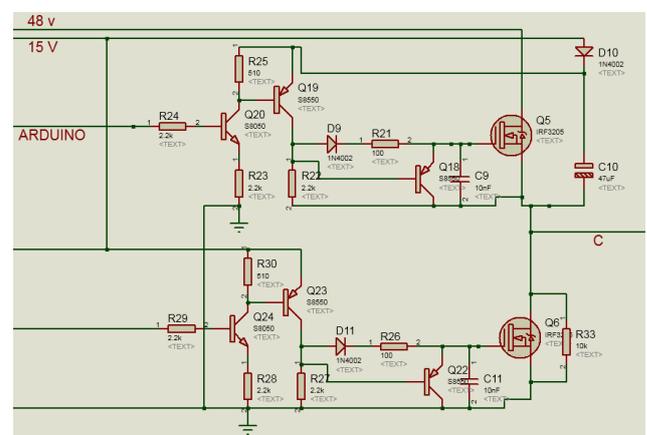
### 2. Prinsip kerja alat

Sistem dibagi ke dalam beberapa bagian, antara lain sumber DC, mikrokontroler arduino, potensiometer, Inverter tiga fasa, dan sensor hall yang terpasang pada MASTS. Sumber tegangan berupa baterai 12 Vdc yang akan memberikan tegangan ke rangkaian sistem minimum menggunakan mikrokontroler arduino dan 30 Vdc untuk rangkaian inverter motor tiga fasa.

PWM digunakan sebagai penggerak motor melalui perubahan *duty cycle*. Ketika *duty cycle* 0% motor akan berhenti. Ketika *duty cycle* 50% motor akan berputar dengan kecepatan setengah dari maksimal. Ketika *duty cycle* dalam kondisi 100% motor akan berputar dengan kecepatan maksimal. Pergerakan motor di tentukan dengan perubahan pewaktu komutasi yang di hasilkan oleh sensor hall. Jika terdapat kesalahan saat penentuan pewaktu komutasi maka motor tidak akan bergerak.

### 3. Rancangan Rangkaian Driver Mosfet

Rangkaian Driver Mosfer sistem inverter PWM untuk menggerakkan mesin arus searah tanpa sikat berbasis arduino dibuat dengan aplikasi Proteus versi 8.8 profesional. Pada gambar 2 ditunjukkan rancangan rangkaian keseluruhan.



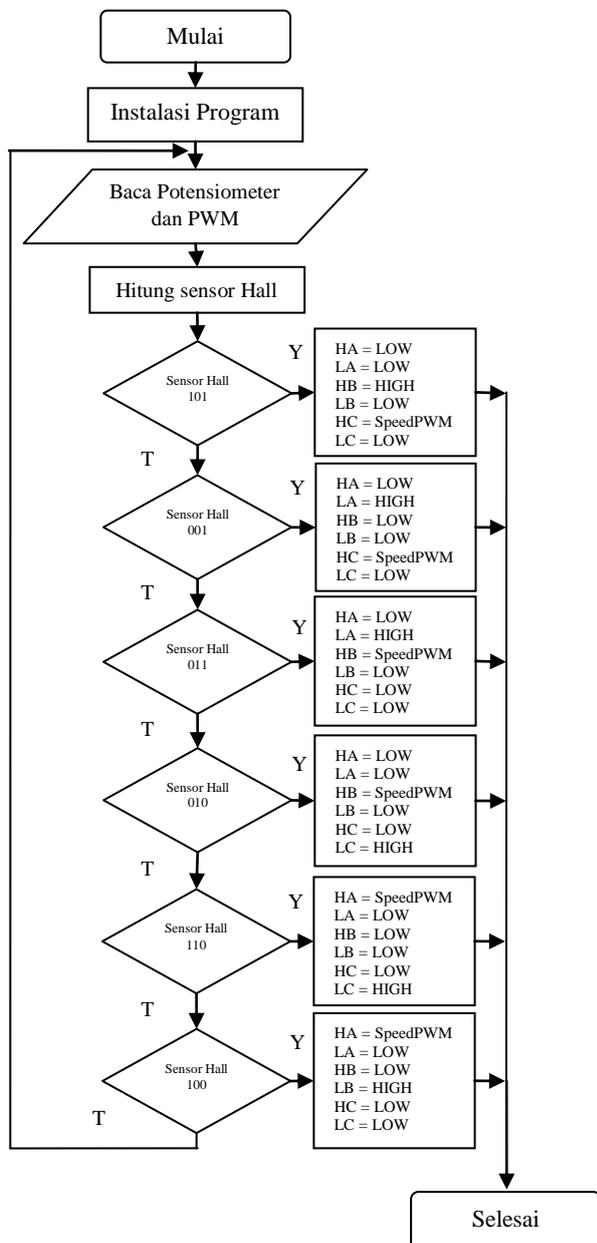
Gambar 2. Rangkaian Driver Mosfet Keseluruhan Sistem

Rangkaian driver mosfet dirancang dengan aplikasi Proteus Versi 8.8 Profesional. Driver mosfet digunakan untuk penguat arus yang dihasilkan oleh arduino. Pada rangkaian ini penulis menggunakan

Mosfet tipe IRF3205 N-Chanel sebagai saklar untuk penggerak inverter tiga fasa, dan juga menggunakan komponen pendukung seperti resistor, transistor, dioda, kapasitor, dan potensiometer. Rangkaian driver mosfet merupakan gabungan dari beberapa rangkaian dengan koneksi pin yang telah disesuaikan untuk komponen.

4. Bagan Alir

Bagan alir (*flowchart*) adalah bagan (*chart*) yang menunjukkan alir (*flow*) di dalam program atau prosedur sistem secara logika. Bagan alir biasanya digunakan untuk membantu alat komunikasi dan untuk dokumentasi. Bagan alir dapat diterima di kalangan lain seperti manufaktur, milliter, manajemen, dan sain. Bagan alir inverter PWM dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Sistem MASTS

Gambar 3 merupakan *flowchart* sistem MASTS. *Flowchart* sistem bekerja dimulai dari simbol mulai, kemudian dilanjutkan menuju instalasi program. Selanjutnya alir diagram akan membaca potensiometer dan PWM, sistem akan menghitung nilai yang dikeluarkan oleh sensor hall, jika nilai yang dibaca sesuai dengan nilai yang telah diprogram maka motor akan bergerak dan sistem akan selesai, jika tidak sistem akan kembali membaca potensiometer dan PWM.

5. Peralatan dan Komponen Yang Digunakan

Dalam inverter 3 fasa digunakan komponen-komponen yang dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Komponen Inverter

No	Komponen	Spesifikasi	Keterangan
1	Mosfet	Irf3205	3 pasang komponen daya
2	Dioda	1n4002	6 buah untuk driver mosfet
3	Tansistor PNP	S8550	Penguat dan pengaman mosfet
4	Transistor NPN	S8050	Pengaman mosfet
5	Mikrokontroler	Arduino	Sebagai pengatur
6	Pin header	2 kaki dan 3 kaki	Massukan power supply dan keluaran MASTS
7	Elco	47nF	Filter tegangan
8	Kapasitor mika	10nF	6 buah
9	Resistor	510Ω, 2200Ω, 100Ω	Pengaman transistor

Untuk dapat melihat bentuk gelombang yang dihasilkan oleh inverter tiga fasa, maka dibutuhkan perangkat lain. Perangkat yang mendukung dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perangkat Yang Digunakan

No	Alat	Spesifikasi	Keterangan
1	Multimeter	Heles SP-38D	Untuk mengukur tegangan, arus dan pengecekan komponen
2	Oscilloscope	Protek 3110	Untuk mengukur gelombang
3	Power Supply	Protek PL-3005T	Suplai tegangan
4	Tachometer	DT-6236B	Mengukur RPM

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dibuat untuk mengetahui kinerja dari sistem dan juga untuk mengetahui apakah alat sudah sesuai dengan perencanaan. Pengujian alat dilakukan secara perbagian pada masing-masing bidang rangkaian antara *input* dan *output*, kemudian dilakukan ke sistem yang telah terpadu.

#### A. Pengujian Alat

Dari segi *hardware* dilakukan pengujian gelombang serta analisa rangkaian. Berikut adalah rangkaian-rangkaian yang diuji dan dilakukan pengukuran.

##### 1. Pengukuran Gelombang PWM Inverter

Pengukuran gelombang pada inverter dilakukan saat inverter dengan beban. Tegangan yang diberikan pada inverter sebesar 30 volt. Inverter PWM menggunakan potensiometer sebagai parameter penggerak MASTS. Pengukuran dilakukan pada titik-titik yang sudah ditentukan dan dengan memvariasikan nilai *duty cycle* pada potensiometer dengan perbandingan 77 (30%), 153 (60%), 230 (90%) untuk melihat perbedaan pada kecepatan MASTS.

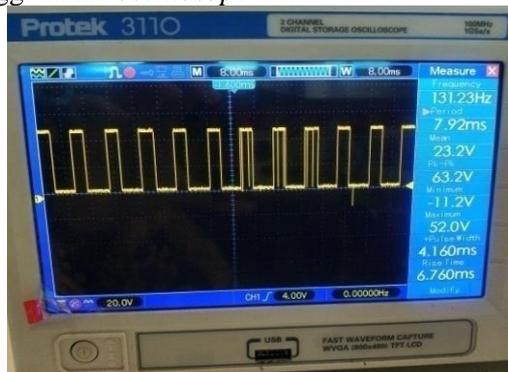


Gambar 4. Proses Pengukuran Gelombang

Gambar 4 merupakan peralatan yang digunakan untuk mengukur PWM inverter 3 fasa, peralatan yang digunakan seperti *power supply*, *oscilloscope*, multimeter, dan tahcometer.

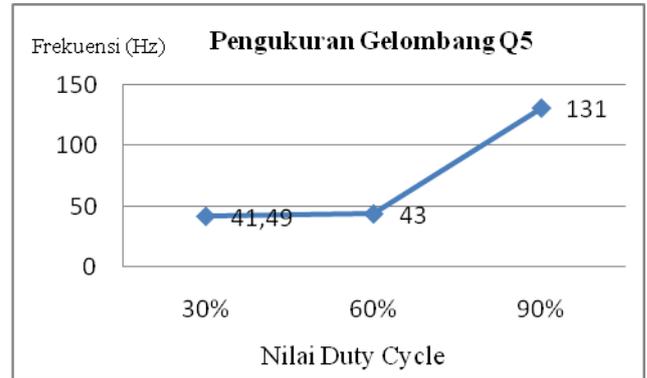
##### 2. Pengukuran Gelombang PWM Q5

Pengukuran pada Q5 (HC) dimana kondisi Q5 dalam keadaan aktif high. Pengukuran dilakukan menggunakan *oscilloscope*.



Gambar 5. Bentuk Gelombang Pada Q5

Gambar 5 merupakan bentuk gelombang pada Q5 setelah dilakukan pengukuran dengan nilai *duty cycle* 230 (90%).

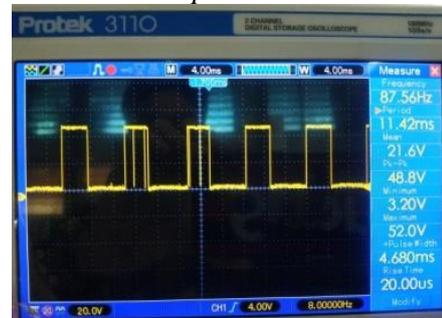


Gambar 6. Grafik Gelombang Pada Q5

Gambar 6 merupakan hasil pengukuran gelombang Q5. Dimana proses pengukuran menggunakan *oscilloscope* dengan memvariasikan nilai *duty cycle* dan mendapatkan hasil sebagai berikut: 77 (30%) menghasilkan frekuensi sebesar 41.49Hz, 153 (60%) menghasilkan frekuensi 43.47Hz, dan 230 (90%) menghasilkan frekuensi 131.23Hz.

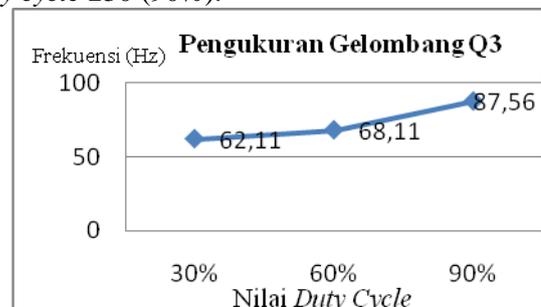
##### 3. Pengukuran Gelombang PWM Q3

Pengukuran pada Q3 (HB) dimana kondisi Q3 dalam keadaan aktif high. Pengukuran dilakukan menggunakan *oscilloscope*.



Gambar 7. Bentuk Gelombang Pada Q3

Gambar 7 merupakan bentuk gelombang pada Q3 setelah dilakukan pengukuran dengan nilai *duty cycle* 230 (90%).



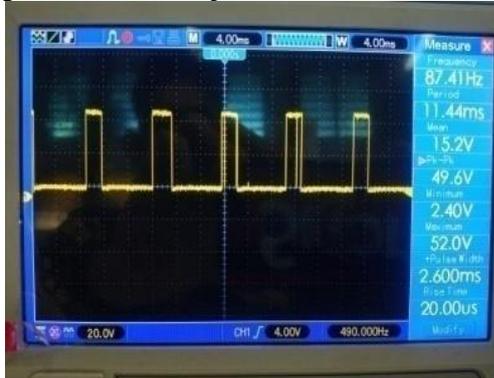
Gambar 8. Grafik Gelombang Pada Q3

Gambar 8 merupakan hasil pengukuran gelombang Q3. Proses pengukuran menggunakan *oscilloscope* dengan memvariasikan nilai *duty cycle* dan mendapatkan hasil sebagai berikut: 77 (30%) menghasilkan frekuensi sebesar 62.11Hz, 153 (60%)

menghasilkan frekuensi 68.11Hz, dan 230 (90%) menghasilkan frekuensi 87.56Hz.

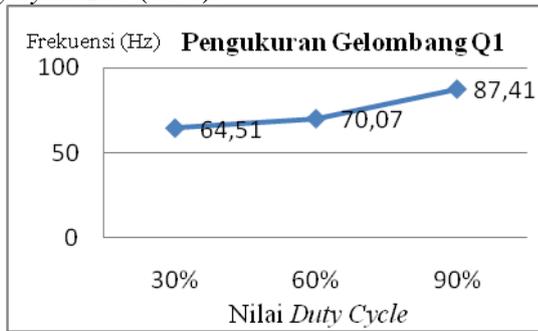
**4. Pengukuran Gelombang PWM Q1**

Pengukuran pada Q1 (HA) dimana kondisi Q1 dalam keadaan aktif high. Pengukuran dilakukan menggunakan *oscilloscope*.



Gambar 9. Bentuk Gelombang Pada Q1

Gambar 9 merupakan bentuk gelombang pada Q1 setelah dilakukan pengukuran dengan nilai *duty cycle* 230 (90%).



Gambar 10. Grafik Gelombang Pada Q1

Gambar 10 merupakan hasil pengukuran gelombang Q1. Proses pengukuran menggunakan *oscilloscope* dengan memvariasikan nilai *duty cycle* dan mendapatkan hasil sebagai berikut : 77 (30%) menghasilkan frekuensi sebesar 64.51Hz, 153 (60%) menghasilkan frekuensi 70.07Hz, dan 230 (90%) menghasilkan frekuensi 87.41Hz.

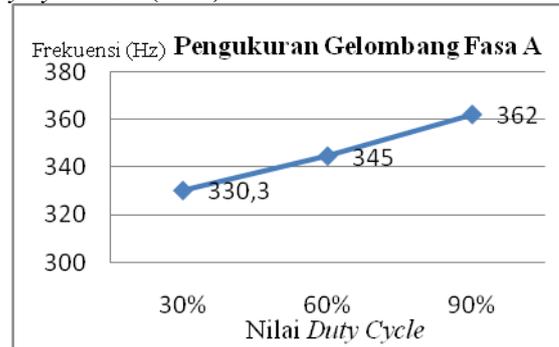
**5. Pengukuran Gelombang Fasa A**

Pengukuran fasa A dilakukan pada kabel biru inverter dengan menggunakan *oscilloscope*.



Gambar 11. Bentuk Gelombang Fasa A

Gambar 11 adalah bentuk gelombang pada fasa A setelah dilakukan pengukuran dengan nilai *duty cycle* 230 (90%).

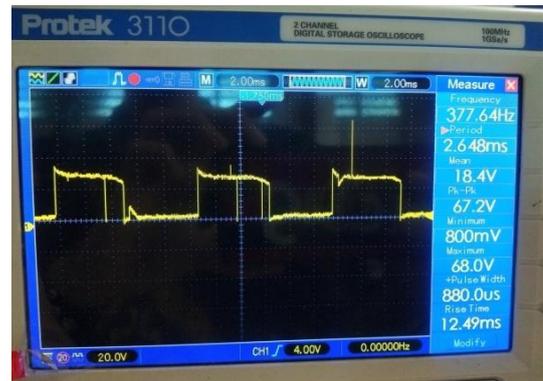


Gambar 12. Grafik Gelombang Fasa A

Gambar 12 adalah hasil dari pengukuran gelombang fasa A. Proses pengukuran menggunakan *oscilloscope* dengan memvariasikan nilai *duty cycle* dan mendapatkan hasil sebagai berikut: 77 (30%) menghasilkan frekuensi sebesar 330.30Hz, 153 (60%) menghasilkan frekuensi 344.82Hz, dan 230 (90%) menghasilkan frekuensi 362.31Hz.

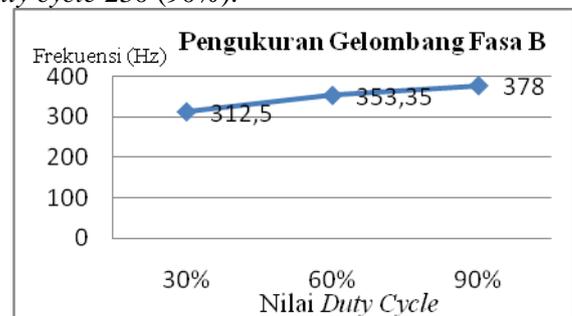
**6. Pengukuran Gelombang Fasa B**

Pengukuran fasa B dilakukan pada kabel kuning inverter dengan menggunakan *oscilloscope*.



Gambar 13. Bentuk Gelombang Fasa B

Gambar 13 adalah bentuk gelombang pada fasa B setelah dilakukan pengukuran dengan nilai *duty cycle* 230 (90%).



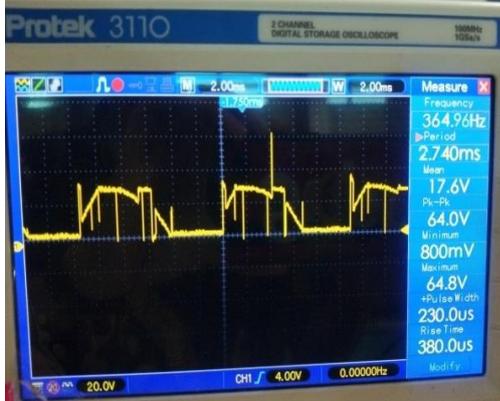
Gambar 14. Grafik Gelombang Fasa B

Gambar 14 adalah hasil dari pengukuran gelombang fasa B. Proses pengukuran menggunakan *oscilloscope* dengan memvariasikan nilai *duty cycle* dan mendapatkan hasil sebagai berikut : 77 (30%) menghasilkan frekuensi sebesar 312.5Hz, pada 153

(60%) menghasilkan frekuensi 353.35Hz, dan 230 (90%) menghasilkan frekuensi 377.64Hz.

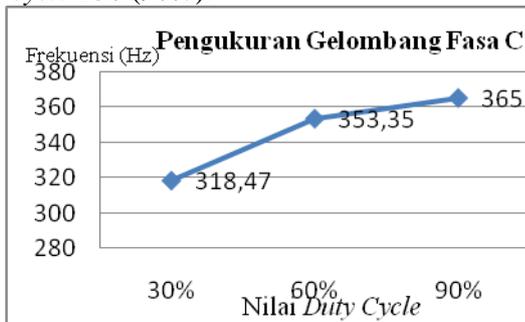
7. Pengukuran Gelombang Fasa C

Pengukuran fasa C dilakukan pada kabel hijau inverter dengan menggunakan *oscilloscope*.



Gambar15. Bentuk Gelombang Fasa C

Gambar 15 adalah bentuk gelombang pada fasa C setelah dilakukan pengukuran dengan nilai *duty cycle* 230 (90%).

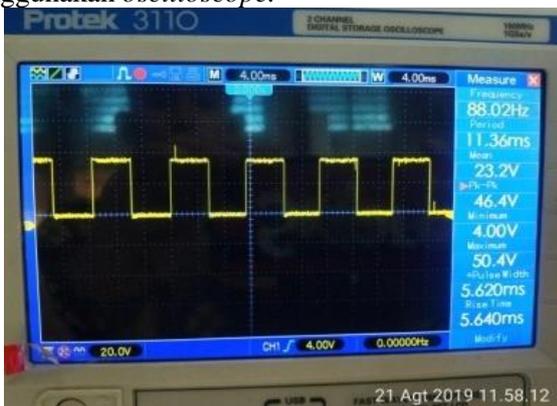


Gambar 16. Grafik Gelombang Pada Fasa C

Gambar 16 adalah hasil dari pengukuran gelombang fasa C. Proses pengukuran menggunakan *oscilloscope* dengan memvariasikan nilai *duty cycle* dan mendapatkan hasil sebagai berikut 77 (30%) menghasilkan frekuensi sebesar 318.47Hz, 153 (60%) menghasilkan frekuensi sebesar 353.35Hz, dan 230 (90%) menghasilkan frekuensi 364.96Hz.

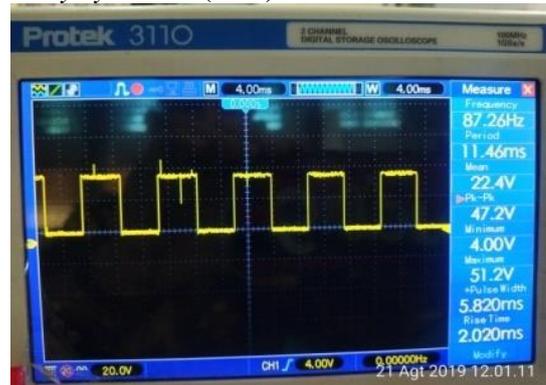
8. Pengukuran Gelombang Sensor Hall

Pengukuran sensor hall dilakukan pada kabel sensor yang terdapat pada MASTS dengan menggunakan *oscilloscope*.



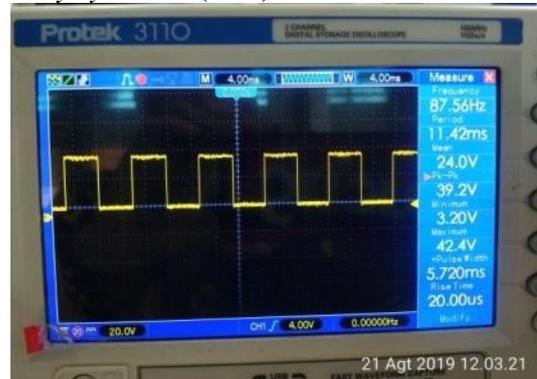
Gambar 17. Bentuk Gelombang Pada Hall A

Gambar 17 merupakan bentuk gelombang pada hall A setelah dilakukan pengukuran dengan nilai *duty cycle* 230 (90%).



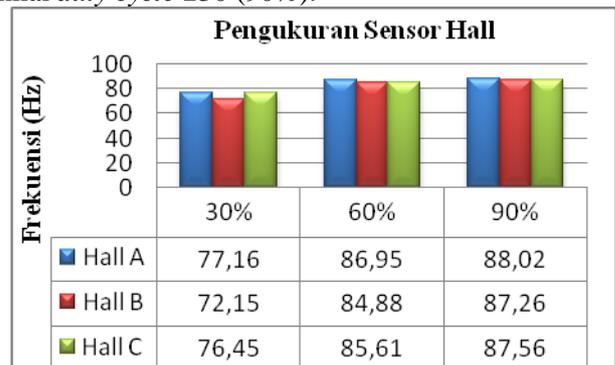
Gambar 18. Bentuk Gelombang Pada Hall B

Gambar 18 merupakan bentuk gelombang pada hall B setelah dilakukan pengukuran dengan nilai *duty cycle* 230 (90%).



Gambar 19. Bentuk Gelombang Pada Hall C

Gambar 19 merupakan bentuk gelombang pada hall C setelah dilakukan pengukuran dengan nilai *duty cycle* 230 (90%).



Gambar 20. Grafik Gelombang Pada Sensor Hall

Gambar 20 merupakan hasil pengukuran gelombang pada hall A, hall B, dan hall C. Proses pengukuran menggunakan *oscilloscope* dengan memvariasikan nilai *duty cycle* pada potensiometer dan mendapatkan hasil sebagai berikut : 77 (30%) menghasilkan frekuensi hall A 77.16Hz, hall B 72.15Hz, hall C 76.45Hz, pada 153 (60%) menghasilkan frekuensi hall A 86.95Hz, hall B 84.88Hz, hall C 85.61Hz, dan 230 (90%) menghasilkan frekuensi hall A 88.02Hz, hall B 87.26, dan hall C 87.56Hz.

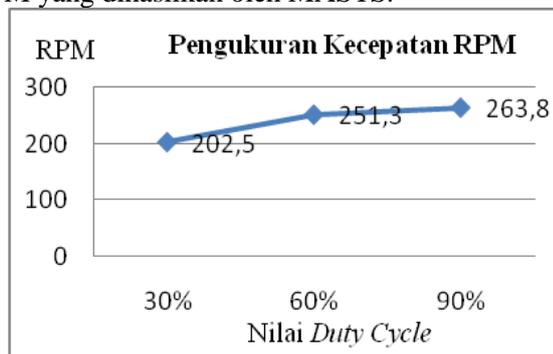
9. Pengukuran Kecepatan RPM

Pengukuran kecepatan RPM menggunakan alat bernama tahcometer. Ditunjukkan pada gambar 21.



Gambar 21. Proses Mengukur RPM

Proses pengukuran MASTS menggunakan tachometer laser, tachometer hanya perlu diarahkan pada poros MASTS dan setelah beberapa detik layar digital tachometer akan menampilkan kecepatan RPM yang dihasilkan oleh MASTS.



Gambar 22. Grafik Pengukuran Kecepatan RPM

Gambar 22 adalah hasil pengukuran kecepatan RPM menggunakan tachometer dengan memvariasikan nilai *duty cycle* pada potensiometer.

B. Pembahasan

Pembuatan alat didokumentasikan setelah alat dibuat berdasarkan perencanaan dan perancangan. Pada penggunaan inverter PWM untuk menggerakkan mesin arus searah tanpa sikat berbasis arduino terdapat dua bagian penting yakni inverter tiga fasa dan MASTS. Gambar 23 adalah Bentuk motor MASTS.



Gambar 23. Bentuk Fisik Alat Secara Keseluruhan

Jenis motor MASTS yang dipakai adalah U-Winfly 500 Watt Butterfly. Pada MASTS terdapat 8 buah kabel sebagai *input*. 3 kabel untuk fasa yaitu kabel biru untuk fasa A, kuning untuk fasa B, dan hijau fasa C, 5 kabel untuk sensor yang dimana 2 kabel untuk VCC dan GND, dan 3 kabel untuk hall sensor. MASTS sanggup bekerja sampai dengan tegangan 48 volt DC dan arus 15 amper.



Gambar 24. Inverter 3 Fasa

Gambar 24 adalah bentuk keseluruhan rangkaian inverter 3 fasa dilengkapi dengan arduino nano. Inverter mempunyai 3 *output* ke MASTS, 5 *input* sensor hall, dan 2 *input power supply* dengan tegangan 12 volt dan 30 volt.

Berdasarkan hasil pengujian terjadi perubahan frekuensi ketika nilai *duty cycle* divariasikan. Perubahan frekuensi ini terjadi karena adanya modulasi pada sinyal pulsa yang dihasilkan oleh arduino, dengan bertambahnya nilai *duty cycle* maka modulasi terjadi dan mengakibatkan bertambahnya lebar pulsa perioda pada gelombang yang dihasilkan, bertambahnya lebar pulsa perioda maka frekuensi yang dihasilkan ikut bertambah. Frekuensi yang bertambah membuat kecepatan MASTS meningkat, ini sesuai dengan menghitung kecepatan sinkron, jika ditentukan frekuensi dan jumlah kutub motor :

$$ns = \frac{120 \cdot f}{p} \tag{1}$$

Dari persamaan (1) dapat dijelaskan *ns* merupakan kecepatan sinkron dinyatakan dalam RPM, 120 didapat dari 1 putara (360) per 3 fasa, *f* adalah frekuensi yang dinyatakan dalam satuan Hz perdetik, *p* adalah banyak jumlah kutub (pole) pada rotor.

Meningkatnya nilai *duty cycle* maka frekuensi pada phase A, B, dan C ikut meningkat. Begitu pula dengan hall A, B, dan C juga mengalami peningkatan dan pada kecepatan RPM juga mengalami peningkatan. Ini berarti frekuensi mempengaruhi kecepatan pada MASTS, dengan berubah-ubah nya frekuensi kecepatan MASTS juga ikut berubah.

#### IV. KESIMPULAN

Kecepatan MASTS dapat dipengaruhi perubahan *duty cycle* PWM, dengan bertambahnya nilai *duty cycle* yang diberikan maka semakin cepat putaran MASTS, dan jika nilai *duty cycle* berkurang maka semakin lambat putaran MASTS.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yulianta, A. D., & Hadi, S. P. (2015). Pengendalian Kecepatan Motor Brushless DC (BLDC) menggunakan Metode Logika Fuzzy. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 8(1), 1-9.
- [2] Andika, R. J., Rusdinar, A., & Wibowo, A. S. (2018). Perancangan dan Implementasi Driver Motor Tiga Fasa untuk Pengendali Kecepatan Motor BLDC berbasis PWM pada Mobil Listrik. *eProceedings of Engineering*, 5(1).
- [3] Hartono, B. P., & Nurcahyo, E. (2017). Analisis Hemat Energi Pada Inverter Sebagai Pengatur Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa. *Elektrika: Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), 8-16.
- [4] Sutedjo, S., Qudsi, O. A., Suhariningsih, S., & Yanaratri, D. S. (2017, November). Desain dan Implementasi Six-Step Comutation pada Sistem Kontrol Motor BLDC 1, 5 KW. In *Prosiding Sentrinov (Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif)* (Vol. 3, No. 1, pp. TE56-TE68).
- [5] Raju, N. I., Islam, M. S., & Uddin, A. A. (2013). Sinusoidal PWM signal generation technique for three phase voltage source inverter with analog circuit & simulation of PWM inverter for standalone load & micro-grid system. *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(3), 647-658.