

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI DRIVER MOTOR TIGA FASA UNTUK PENGENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC BERBASIS PWM PADA MOBIL LISTRIK

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THREE PHASE MOTOR DRIVER FOR SPEED CONTROL BLDC MOTOR BASED PWM ON ELECTRIC CAR

Rangga Jaya Andika¹, Angga Rusdinar, S.T., M.T.,PhD.², Agung Surya Wibowo, S.T., M.T.,³

^{1,3}Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

²Prodi S1 Desain Komunikasi Visual, Fakultas Industri Kreatif, Universitas Telkom

³Prodi D3 Manajemen Pemasaran, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

¹rangga.andika48@gmail.com, ²angga22002@yahoo.com, ³auw@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Seiring bertambah majunya teknologi di bidang otomotif khususnya pada bidang mobil listrik. Penggunaan mobil listrik lebih efisien dan optimal dibandingkan dengan mobil dengan bahan bakar minyak dan penelitiannya terus berkembang hingga saat ini. Untuk meningkatkan efisiensi dan mengoptimalkan fungsi dari mobil listrik, dibutuhkan suatu sistem yang dapat mengendalikan motor listrik sebagai penggerak dari mobil listrik tersebut. Motor listrik yang digunakan adalah motor Brushless Direct Current (BLDC). Motor BLDC banyak digunakan pada bidang industri dibandingkan dengan motor jenis lain, karena motor BLDC memiliki banyak keunggulan. Tetapi terdapat juga suatu kelemahan dari motor BLDC yaitu kesulitan dalam mengatur kecepatan.

Dengan adanya kondisi ini penulis tertarik untuk membuat sebuah inovasi untuk menanggulangi masalah tersebut, dengan cara membuat driver motor tiga fasa sebagai pengendalian motor BLDC pada mobil listrik untuk mengatur putaran motor BLDC sehingga kecepatan dapat divariasikan. Driver motor tiga fasa ini terdiri dari mikrokontroler Arduino Uno dan rangkaian inverter tiga fasa yang menggunakan mosfet IRF3205. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan sebagai penyulutan mosfet pada rangkaian inverter tiga fasa, yang hasilnya Parameter keberhasilan dari penelitian ini adalah mampu mengetahui komutasi dari motor BLDC yang lalu dikendalikan oleh inverter tiga fasa melalui mikrokontroler Arduino Uno untuk mengendalikan kecepatan pada motor BLDC dengan frekuensi tertentu.

Kata kunci : Brushless Direct Current (BLDC), driver motor tiga fasa, inverter tiga fasa, Arduino Uno, mosfet IRF3205

Abstract

Technology advances in the field of automotive particularly electric cars result in more efficient and optimum use of resources than gasoline-powered engine and the research continues to grow now. To improve the efficiency and optimization of the function, a system to control the electric motor operating as a driver of the electric car is required. Electric motors used were Brushless Direct Current (BLDC) motors. It is extensively used in many industries compared to other types of motors for its various advantages. However, it has an imperfection in speed control.

Accordingly, the authors were interested to produce an innovation to overcome the problem by designing three-phase motor driver as speed control for BLDC motor on electric car to set the motor rotation so that speed can be varied. This three-phase motor driver was consisted of Arduino Uno microcontroller and a three-phase inverter circuit using IRF3205 mosfet. The Arduino Uno microcontroller was used as a mosfet ignition on the three-phase inverter circuit.

The success parameter of this research can be seen by knowing the commutation of BLDC motor controlled by three-phase inverter through Arduino Uno microcontroller to control the speed of BLDC motor with certain frequency.

Keywords: Brushless Direct Current (BLDC), three-phase motor driver, three-phase inverter, Arduino Uno, mosfet IRF3205

1. Pendahuluan [10 pts/Bold]

Mobil listrik adalah mobil yang bergerak menggunakan motor listrik, dan sumber utamanya berasal dari energi listrik yang disimpan dalam baterai atau tempat penyimpanan energi lainnya. Tidak seperti mobil dengan Bahan Bakar Fosil yang ada pada saat ini, penggunaan mobil listrik sangatlah efektif karena tidak menimbulkan polusi

udara dan 100 persen bebas emisi. Hal ini membuat mobil listrik tidak banyak memberikan dampak pada perubahan iklim. Perkembangan teknologi yang terus berkembang membuat banyak peneliti terus meneliti dalam bidang mobil listrik dengan cara meningkatkan performa, efisiensi, optimasi dan lainnya untuk menciptakan mobil listrik yang lebih baik. Dengan berkembangnya teknologi mobil listrik kebutuhan akan Brushless DC motor (BLDC Motor) semakin meningkat namun terdapat suatu kelemahan pada motor Brushless DC motor yaitu sulitnya dalam mengatur kecepatan. Karena pada dasarnya pengaturan kecepatan motor BLDC dilakukan dengan mengubah jumlah kutub motor atau mengubah frekuensi suplai motor. Pengaturan kecepatan motor BLDC dapat dilakukan dengan mengubah frekuensi suplai motor yang lebih mudah dan tidak terbatas, sedangkan dengan mengubah jumlah kutub akan sangat sulit karena dilakukan dengan merubah konstruksi fisik motor tersebut.

Oleh sebab itu, penulis akan merancang sebuah driver motor tiga fasa dengan menggunakan rangkaian inverter yang dapat merubah masukan listrik DC menjadi listrik AC tiga fasa untuk mengatur kecepatan motor BLDC dengan menggunakan mosfet dan dikendalikan oleh mikrokontroller untuk digunakan sebagai penyulut mosfet pada driver motor. Manfaatnya kita dapat mengetahui sistem kerja dan komutasi pada motor BLDC, serta dapat mengendalikan inverter tiga fasa.

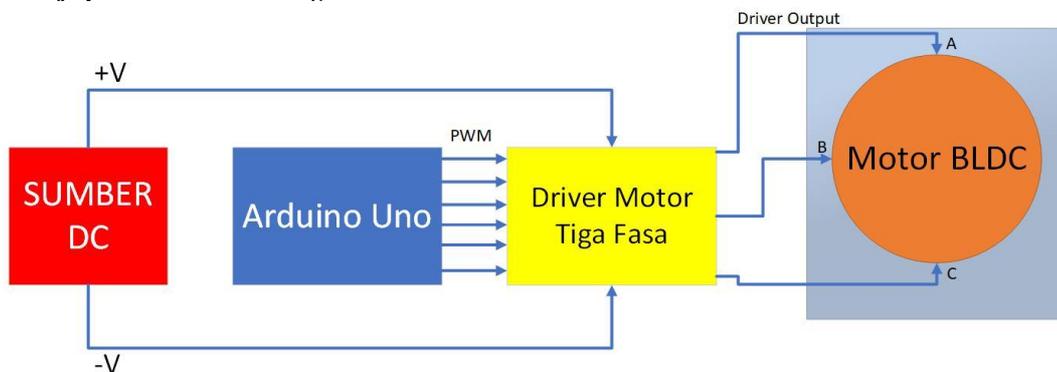
2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Brushless DC Motor (BLDC)

BLDC motor merupakan motor listrik synchronous AC 3 fasa. BLDC motor dapat disebut juga BLAC motor namun terdapat perbedaan antara BLDC motor dan BLAC motor yaitu jika BLDC memiliki Back-EMF berbentuk trapezoid sedangkan BLAC memiliki Back-EMF sinusoidal. Walaupun terdapat perbedaan keduanya sama-sama dapat dikontrol dengan metode six-step maupun metode PWM sinusoidal.

Motor BLDC mempunyai dua bagian yang penting, yakni rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak dan sebuah elektro magnet (magnet yang dihasilkan dari arus listrik) sedangkan stator merupakan bagian yang tidak bergerak dan terbuat dari kumparan 3 fasa. Walaupun merupakan motor listrik synchronous AC 3 fasa, tetapi motor ini tetap disebut BLDC karena pada implementasinya BLDC menggunakan sumber arus listrik searah atau DC (Direct Current) sebagai energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan arus listrik bolak balik atau AC (Alternating Current) dengan menggunakan inverter 3 fasa. Tujuan pemberi tegangan AC 3 fasa pada stator BLDC untuk menciptakan medan magnet pada stator agar dapat menarik magnet yang terdapat pada rotor.

2.2 Sistem Kerja pada Driver Motor Tiga Fasa



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

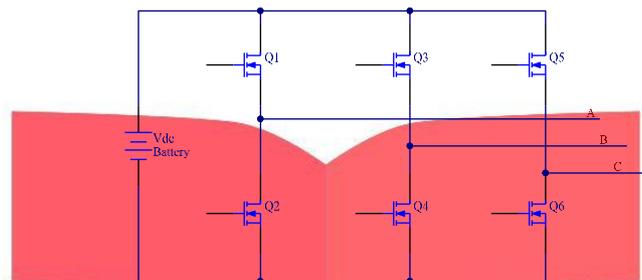
Secara umum sistem dibagi ke dalam beberapa bagian seperti yang tertampil di gambar di atas, antara lain sumber DC, mikrokontroller Arduino Uno, driver motor tiga fasa, dan sensor hall yang terpasang pada motor BLDC. Sistem ini merupakan sistem pengatur Brushless DC motor. Sumber berupa baterai 12 Vdc yang akan memberikan tegangan ke rangkaian sistem minimum yang menggunakan mikrokontroller Arduino Uno dan rangkaian driver motor tiga fasa. Driver motor tiga fasa yang keluarannya dapat mengatur kecepatan motor BLDC terdapat enam transistor yang dipasang berpasangan dua-dua. Transistor yang digunakan adalah transistor tipe mosfet IRF3205. Transistor IRF3205 merupakan transistor tipe-N channel pada transistor FET (Field Effect Transistor), transistor ini dapat bekerja hingga 110 Ampere dan 55 Volt. Transistor IRF3205 digunakan sebagai gate driver atau menggerakkan saklar. Saklar yang digunakan dalam rangkaian full-bridge adalah mosfet IRF3205. Dilihat di gambar III.2 mosfet tersebut dipasang baik sisi atas maupun bawah. Dalam pengendalian mosfet di sisi bawah lebih mudah dilakukan karena tegangan gate memiliki referensi ground. Sedangkan untuk sisi atas referensi tegangan gate adalah pin source pada mosfet yang tidak terhubung dengan ground.

Agar sistem dapat mengendalikan motor BLDC, Arduino Uno harus diberikan algoritma pengendalian motor BLDC. Algoritma untuk pengendalian motor BLDC harus seperti sinyal dari sensor hall yang bentuk grafiknya trapezoid dilihat di gambar III.3. Sinyal sensor hall tersebut harus dibagi menjadi 6 kombinasi keluaran untuk menghasilkan 6 sinyal PWM yang akan menjadi sinyal input pada rangkaian inverter tiga fasa. Sinyal PWM ini nantinya dapat mengendalikan tiga keluaran yang terdapat pada driver motor tiga fasa dan masuk ke dalam motor

BLDC. Pada diagram blok di atas terdapat sensor hall yang berfungsi untuk mendeteksi putaran pada motor BLDC. Sensor hall membutuhkan pengkondisi sinyal yang dilakukan secara pull-up. Proses pull-up ini dapat dilakukan dengan cara menghubungkan keluaran sensor dengan menambahkan resistor 2200 Ω dan 3300 Ω . Setelah melalui proses ini Arduino dapat membaca sensor tersebut.

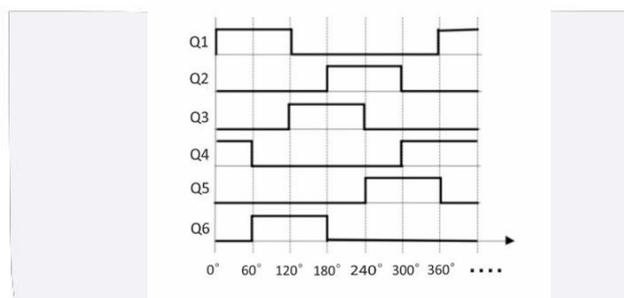
2.2 Inverter Tiga Fasa

Pada gambar di bawah ini dirancang rangkaian inverter tiga fasa. Rangkaian inverter tiga fasa merupakan peralatan daya. Daya yang dikonversi berasal dari bentuk DC menjadi ke bentuk AC. Metode yang digunakan untuk mengkonversi tegangan tersebut adalah metode six step. Sebelum masuk ke rangkaian inverter tiga fasa disulut terlebih dahulu melalui port 3, 5, 6, 9, 10, 11 pada arduino uno. Lalu pulsa penyulutan yang menyediakan kondisi antara high dan low.



Gambar 2. Rangkaian Inverter Tiga Fasa

Setiap penyulutan memiliki duty cycle sebesar 50%. Untuk membentuk gelombang trapezoid atau gelombang square tiga fasa seperti gambar III.5 dapat menggunakan 3 buah algoritma six step yang setiap penyulutan memiliki interval waktu $T/6$ atau interval sudut 60° . Penyulutan Q1 dan Q4 akan tertutup dan terbuka secara bergantian. Begitu juga dengan Q3 dan Q5, serta Q2 dan Q6.



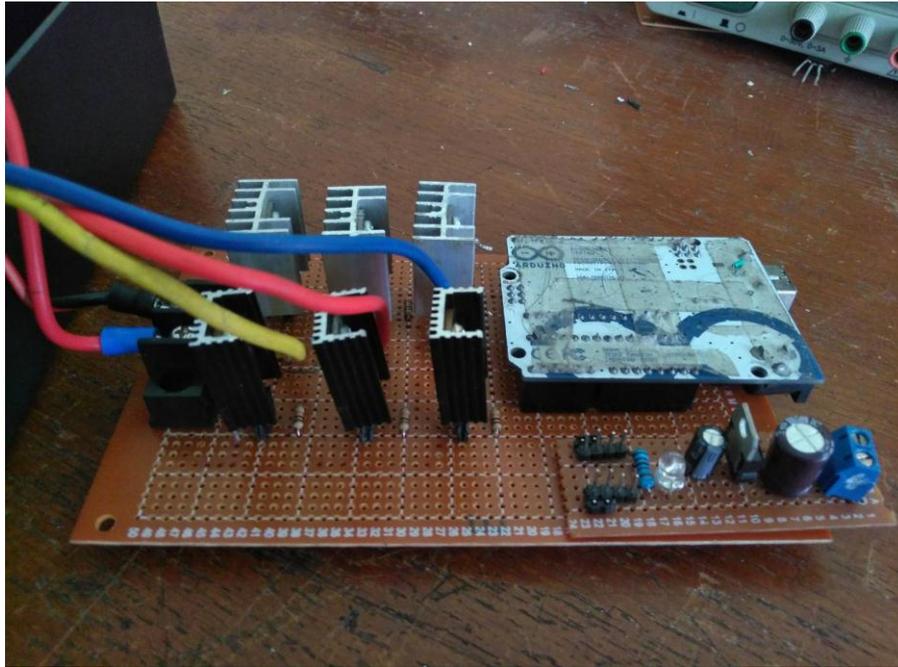
Gambar 3. Penyulutan untuk Algoritma Six Step

Dan didapat komutasi berdasarkan metode konduksi 60° dari gambar diatas seperti tabel dibawah ini

Tabel 1. Komutasi Berdasarkan Metode Konduksi 60°

Waktu (Step)	Hall Input			Fasa A		Fasa B		Fasa C	
	A	B	C	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
1	0	0	1	0	0	0	1	1	0
2	1	0	1	1	0	0	1	0	0
3	1	0	0	1	0	0	0	0	1
4	1	1	0	0	0	1	0	0	1
5	0	1	0	0	1	1	0	0	0
6	0	1	1	0	1	0	0	1	0

Pada perancangan ini digunakan mosfet N channel sebagai saklar. Mosfet mempunyai rugi-rugi daya akibat proses pensaklaran lebih kecil dibandingkan dengan jenis transistor yang lain..



Gambar 4. Realisasi Rangkaian Inverter Tiga Fasa

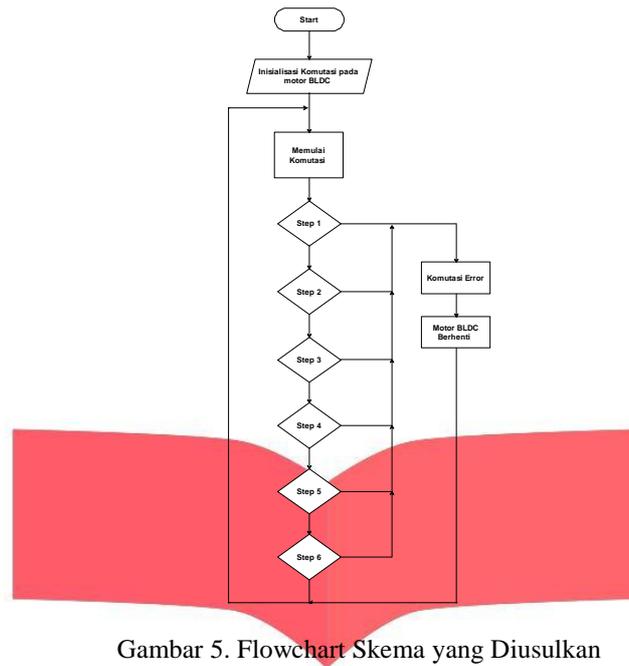
Mosfet yang digunakan pada tugas akhir ini ialah mosfet dengan tipe IRF3250. Mosfet tipe IRF3205 merupakan transistor tipe NPN yang mampu bekerja hingga 110A. Karena IRF3205 mempunyai arus maksimum hingga 110A maka beberapa mosfet dapat dikenakan sinyal PWM. Penggunaan PWM pada transistor dapat meningkatkan suatu transistor *stress* [19].

2.3 Algoritma Pengendalian

Perancangan perangkat lunak akan dibuat menggunakan bahasa pemrograman Arduino, yaitu bahasa C yang meliputi pembacaan ADC, pembuatan sinyal PWM, pembacaan sensor arus, algoritma mengurutkan fasa dan algoritma untuk mengaktifkan PWM. Berikut ini merupakan flowchart yang deprogram ke dalam Arduino UNO sebagai mikrokontroler untuk memperoleh pengendalian motor BLDC yang optimal.

Algoritma pengendali dan fungsi – fungsi dengan menggunakan interrupt. Implementasi dari perangkat lunak tersebut adalah sebagai berikut :

1. Inisialisasi PWM, dan port I/O untuk komutasi pada motor BLDC.
2. Untuk menentukan urutan fasa awal diharuskan memutar terlebih dahulu motor BLDC untuk mendapatkan urutan fasa awal yang sesuai dengan algoritma.
3. Setelah posisi rotor sesuai dengan urutan fasa yang ditetapkan, duty-cycle membaca keadaan dan melihat duty-cycle tersebut mengikuti urutan fasa atau tidak.
4. Jika duty-cycle sesuai dengan kombinasi urutan fasa yang ditetapkan sesuai maka motor BLDC akan berputar.
5. Apabila kombinasi tersebut salah maka seluruh proses akan berhenti atau motor BLDC akan berhenti.



Gambar 5. Flowchart Skema yang Diusulkan

3. Pembahasan

3.1. Pengujian Kecepatan dengan Frekuensi Tertentu pada Kondisi Tanpa Beban dan Dengan Beban berupa Baling-Baling

Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data sebanyak dua kali kondisi diberi beban yang berupa brushless dc motor. Pengujian ini menggunakan Power Supply DC GW-INSTEK GPC 30300 sebagai sumber utama kepada inverter tiga fasa. Lalu port 3, 5, 6, 9, 10, 11 dihubungkan langsung kepada driver L293D lalu driver akan mengirim sinyal kepada gate Mosfet. Data kecepatan diambil dari yang menggunakan beban dan tanpa beban dengan menggunakan tachometer dengan frekuensi yang berbeda-beda.

Hasil pengujian frekuensi PWM pada inveter tiga fasa dengan dibebani brushless dc motor dan pengaturan duty cycle yang menghasilkan RPM tertentu serta daya motor dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Frekuensi pada Inverter Tiga Fasa Tanpa Beban, dengan Pengaturan *Duty Cycle*

Frekuensi (Hz)	V_{IN} (Vdc)	V_{AB} (Vac)	V_{AC} (Vac)	V_{BC} (Vac)
23,701	11,40	8,20	7,80	7,50
33,7154	11,40	8,00	7,40	7,30
40,3204	11,40	7,60	8,00	7,50
50,5490	11,40	6,90	7,50	7,00

Dari tabel 2 terlihat bahwa setiap perubahan frekuensi antara 23,701 Hz sampai 50,5490 tegangan output yang terukur tidak terjadi perubahan yang signifikan. Nilai V_{ab} maksimum ialah 8,20 Vac dan minimum 6,90 Vac, nilai tegangan V_{ac} maksimum berada pada 8,00 Vac dan minimum 7,40 Vac, sedangkan tegangan pada titik V_{bc} maksimum ialah 7,50 Vac dan terendah ialah 7,00 Vac.

Tabel 3. Pengujian 1 Frekuensi pada Inverter Tiga Fasa dengan Beban *Brushless DC Motor* yang Menghasilkan RPM Tertentu

Frekuensi (Hz)	V_{IN} (Vdc)	V_{AB} (Vac)	V_{AC} (Vac)	V_{BC} (Vac)	Kecepatan (RPM)
23.701	11.40	8,10	7,70	7,30	165
33,7154	11,40	7,90	7,30	7,30	240
40,3204	11,40	7,60	8,00	7,50	295
50,5490	11,40	6,80	7,50	7,00	380

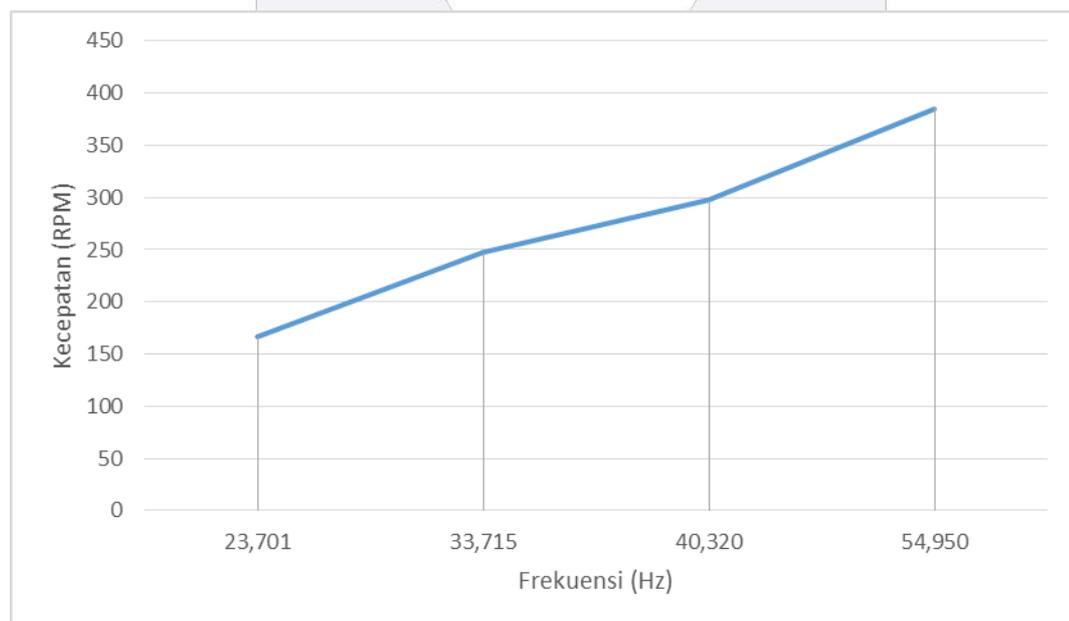
Tabel 4. Pengujian 2 Frekuensi pada Inverter Tiga Fasa dengan Beban *Brushless DC Motor* yang Menghasilkan RPM Tertentu

Frekuensi (Hz)	V _{IN} (Vdc)	V _{AB} (Vac)	V _{AC} (Vac)	V _{BC} (Vac)	Kecepatan (RPM)
23.701	11,40	8,10	7,80	7,40	168
33,7154	11,40	7,80	7,50	7,40	255
40,3204	11,40	7,60	8,00	7,50	300
50,5490	11,40	6,90	7,50	7,20	390

Dari tabel 2 dan tabel 4 terlihat bahwa setiap perubahan frekuensi antara 23,701 Hz sampai 50,5490 tegangan output yang terukur tidak terjadi perubahan yang signifikan. Nilai V_{ab} maksimum ialah 8,10 Vac dan minimum 6,80 Vac, nilai tegangan V_{ac} maksimum berada pada 8,00 Vac dan minimum 7,30 Vac, sedangkan tegangan pada titik V_{bc} maksimum ialah 7,50 Vac dan terendah ialah 7,00 Vac.

Tabel 5. Kecepatan Rata-Rata (RPM) pada Inverter Tiga Fasa dengan Beban *Brushless DC Motor*

Frekuensi (Hz)	Kecepatan data 1 (RPM)	Kecepatan data 2 (RPM)	Kecepatan (RPM)
23.701	165	168	166,5
33,7154	240	255	247,5
40,3204	295	300	297,5
50,5490	380	390	385



Gambar 6. Grafik Kecepatan (RPM) terhadap Frekuensi (hz)

Dari tabel 5 dan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa perubahan frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan putaran motor. Dengan kecepatan tertinggi ialah 385 RPM dengan nilai frekuensi 50,5490 Hz dan terendah ialah 166,5 RPM dengan nilai frekuensi 23,701 Hz. Pada gambar 6 terlihat grafik kecepatan naik dengan frekuensi yang bertambah.

Rata – rata presentase nilai error tegangan keluaran yang di dapat dari *duty cycle* sebesar 50% dan frekuensi sebesar 50 Hz adalah sebagai berikut :

- a. Rata – rata nilai error fasa – fasa keluaran motor =

$$\frac{11,40 - 7,13}{11,40} \times 100\% = 37,45 \%$$

- b. Rata – rata nilai error fasa – fasa keluaran motor =

$$\frac{11,40 - 7,15}{11,40} \times 100\% = 37,28\%$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis sistem informasi estimasi kedatangan transportasi ini didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Motor BLDC dikendalikan menggunakan metode PWM six-step.
2. Dengan menggunakan metode PWM six-step tersebut mampu menghasilkan gelombang yang menyerupai sinyal kotak sebagai sinyal masukan ke motor.
3. Driver motor tiga fasa mampu meningkatkan kecepatan motor dengan rentang frekuensi 20 Hz – 60 Hz baik menggunakan beban berupa baling-baling maupun tanpa beban.
4. Inverter dapat memutar motor BLDC dengan baik dengan terdapat turunan tegangan rata-rata 3 Volt.
5. Inverter dapat melakukan metode switching pada Mosfet dengan arus kurang lebih 20 Ampere.

Daftar Pustaka:

- [1] W. Hart, Daniel. 2011. Power Electronics. New York. The McGraw-Hill Companies.
- [2] Suyadhi, Taufik D.S. (2014). Karakteristik Dasar MOSFET. <http://www.robotics-university.com/2014/10/karakteristik-dasar-mosfet.html>, (diakses 18 Februari 2017).
- [3] Widjanarko, Ikhwan (2015). Karakteristik Transistor. <http://www.slideshare.net/IkhwanWidjanarko/karakteristik-transistor-55419352>, (diakses tanggal 18 Februari 2016).
- [4] Kurniawan, Ekki dkk (2014). Diktat Kuliah Elektronika Daya untuk Jurusan Teknik Elektro Universitas Telkom Bandung.
- [5] Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky - Electronic Devices and Circuit Theory, ISBN 978-13-262226-4
- [6] Herman Dwi Surjono, Elektronika : Teori dan Penerapan ISBN : 978-602-98174-7-8
- [7] Richard Blocher, Dasar Elektronika ISBN : 979-731-494-4

Lampiran

-

