

# Pengendalian Motor DC Tanpa Sikat Sederhana dengan DSC 16-bit pada Aplikasi EDF

Fikra Titan Syifa<sup>1</sup>, Eka Firmansyah<sup>2</sup>, Priyatmadi<sup>3</sup>

**Abstract**—Basically, commutation process in a brushless DC motor needs rotor position information. However, to reduce production cost, in some specific applications such as fan or pump, the position sensors are not installed. It is possible to extract the rotor position through observing back emf signal available on the motor terminals. In this paper, implementation of a simple sensorless commutation controller algorithm for a BLDC motor is presented. The algorithm is implemented in a 16-bit digital signal processor (DSC). Experiment has shown that it produces correct timing signal to control BLDC motor from 1280 rpm up to over 3000 rpm.

**Intisari**—Pada dasarnya, komutasi pada motor DC tanpa sikat memerlukan informasi posisi rotor. Namun, untuk menekan harga, pada aplikasi tertentu seperti kipas atau pompa, keberadaan sensor posisi dihilangkan. Deteksi posisi dilakukan dengan cara mendeteksi sinyal *back emf* yang terdapat pada terminal daya motor. Paper ini akan menyampaikan algoritme sederhana untuk mengendalikan komutasi rotor pada motor DC tanpa sikat tanpa sensor. Algoritme tersebut diimplementasikan dalam sebuah *digital signal controller* (DSC) 16-bit. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kecepatan komutasi rotor terendah yang berhasil dideteksi adalah 1280 rpm dan kecepatan komutasi rotor tertinggi yang berhasil dicapai berada di atas 3000 rpm.

**Kata Kunci**—*digital signal controller*, sinyal *back emf*, motor DC tanpa sikat tanpa sensor, sinyal ADC.

## I. PENDAHULUAN

Motor *brushless direct current*, atau lebih dikenal dengan nama motor BLDC adalah jenis motor sinkron yang semakin banyak digunakan akhir-akhir ini karena efisien, bebas perawatan, dan rasio daya terhadap bobot yang baik. Sebagai motor sinkron, catu daya yang diberikan harus selaras dengan putaran rotor. Oleh karena itu informasi tentang posisi rotor saat ini sangat penting untuk diketahui [1].

Umumnya informasi posisi rotor dapat diperoleh dari *resolver*, *rotary encoder*, atau *hall-effect sensor*. Namun, sensor tersebut menambah harga sistem. Terdapat sebuah cara untuk mengetahui posisi rotor dengan cara membaca tegangan *back electromotive force* (BEMF) pada terminal motor. Namun, cara ini hanya sesuai untuk aplikasi tertentu seperti

*fan* atau pompa karena tegangan BEMF memiliki nilai proporsional terhadap kecepatan putar motor. Ini berarti pada putaran rendah, informasi BEMF tidak dapat dibaca.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa untuk aplikasi seperti kendaraan listrik, yang memiliki rentang operasi dari putaran motor rendah hingga tinggi, keberadaan sensor posisi sangat penting [2]. Namun untuk aplikasi dengan wilayah operasi putaran menengah hingga tinggi, penggunaan sinyal BEMF sebagai referensi posisi rotor sangat dimungkinkan. Operasi seperti ini sangat sesuai untuk aplikasi dirgantara seperti pesawat tanpa awak [3]. Untuk operasi ini, diharapkan karakter operasi motor akan sangat mirip dengan karakter operasi fan yang bekerja pada rentang kecepatan putar medium hingga tinggi. Selain untuk menggerakkan propeler, dalam aplikasi dirgantara, motor BLDC juga dapat digunakan untuk memutar *electric duct fan* (EDF).

Aplikasi EDF dan penggerak propeler sangat sesuai untuk menggerakkan *unmanned aerial vehicle* (UAV) dan *electric airplane* yang mulai bermunculan akhir-akhir ini [3,4]. Dalam dua aplikasi tersebut, selain kehandalan algoritme *sensorless* diperlukan kemampuan integrasi dengan unit pengendali dan komunikasi yang umumnya berbasis sistem digital. Dengan demikian, secara alamiah terdapat kesesuaian karena algoritme kendali motor BLDC, baik yang memerlukan sensor maupun yang tidak, umumnya diimplementasikan pula dengan sistem digital [2].

Dalam penelitian ini akan dibahas tentang implementasi sistem kendali motor BLDC tanpa sensor pada sebuah DSC 16-bit. Selain itu, secara singkat, akan dilihat kemampuannya untuk dihubungkan dengan sistem komunikasi berbasis Wi-Fi guna menilai kemungkinan integrasinya dalam sebuah sistem UAV sederhana.

## II. PERANGKAT KERAS SISTEM

Untuk mengimplementasikan sistem pengendali motor BLDC tanpa sikat, dipergunakan sebuah DSC 16-bit berjenis dsPIC30F4011. Pengendali ini dipilih selain karena memiliki kecepatan operasi yang tinggi dan dilengkapi dengan fungsi *digital signal processing* (DSP) dasar, juga karena IC ini telah dilengkapi dengan periferil penghasil sinyal PWM yang khusus diperuntukkan untuk mengendalikan motor. Di dalam periferil ini, dapat dibangkitkan enam sinyal PWM secara simultan yang sesuai dengan *inverter* tiga fase yang digunakan untuk memutar motor BLDC lengkap dengan pengaturan *dead-time* dan berbagai peranti keamanan lain [5].

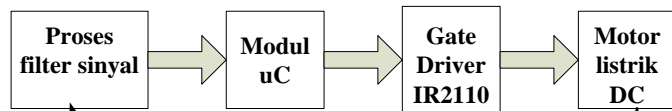
Selain itu, DSC tersebut juga dilengkapi dengan modul *analogue to digital* untuk mengambil data BEMF yang diperlukan untuk mendukung algoritme kendali motor BLDC tanpa sensor.

<sup>1</sup>Mahasiswa Pasca Sarjana Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 Indonesia (fikratitansyifa@gmail.com)

<sup>2, 3</sup> Pengajar, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 Indonesia

Terdapat suatu metode konvensional dalam pengendalian motor listrik tanpa sikat tanpa sensor. Metode ini dinamakan sistem kendali *Digital PWM* (DPWM), yang merupakan sebuah metode yang sesuai untuk mengendalikan rotasi motor listrik tanpa sikat tanpa sensor dengan memanfaatkan sebuah sensor yang dapat mendeteksi arus fasa yang melalui sensor tersebut [6]. Modulasi sinyal PWM secara komplementer dimiliki oleh modul pengendali mikrokontroler dimana terdapat sakelar berupa mosfet sebagai targetnya untuk saling melengkapi. Di masa kini, prosesor telah memiliki kapabilitas untuk mendeteksi arus yang mengalir pada rangkaian kumparan (*winding*) pada stator di motor listrik [7].

Terdapat dua tipe motor DC yang digunakan di sektor industri. Tipe yang pertama yaitu motor DC konvensional dimana flux medan magnetik dihasilkan oleh fasa arus pada kumparan statornya. Sedangkan tipe yang kedua adalah motor DC tanpa sikat (*brushless*) yang menggunakan magnet permanen pada rotornya untuk menginduksi kutub pada bidang area kumparan elektromagnetik pada statornya [8]. Metode konvensional untuk komputasi rotasi rotor dapat menggunakan *PID controller*.



Gbr. 1 Diagram blok modul pengendali.

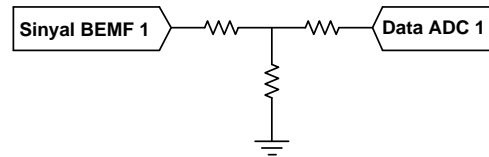
Sistem yang akan digunakan untuk mengimplementasikan sistem kendali motor BLDC tanpa sensor diperlihatkan oleh Gbr. 1. Dalam gambar tersebut diperlihatkan bahwa keluaran PWM dari mikrokontroler (Modul uC) akan diumpungkan pada *gate driver* yang dalam penelitian ini diimplementasikan dengan IR2110 pada mode bootstrap.

Peranti *gate driver* selanjutnya akan mengendalikan enam buah MOSFET jenis IRF1404 yang tersusun dalam pola inverter 3-fase seperti diperlihatkan pada Gbr. 4. Keluaran inverter inilah yang terhubung dengan motor BLDC 18 volt 5 ampere seperti diperlihatkan pada Gbr. 2 dan spesifikasinya seperti diperlihatkan pada Tabel I.



Gbr. 2 Target motor yang digunakan.

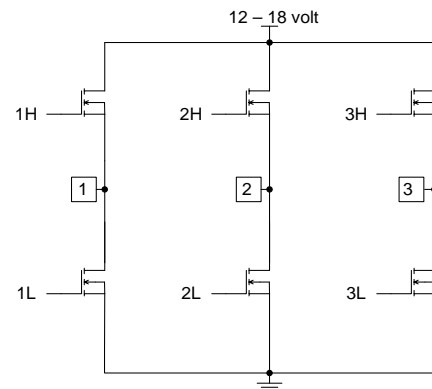
Untuk melakukan sinkronisasi antara posisi rotor dengan sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler, BEMF yang dihasilkan oleh rotor dibaca melalui rangkaian *voltage divider* pada Gbr. 3. Selain berfungsi sebagai pembagi tegangan, rangkaian ini juga berfungsi untuk memfilter sinyal switching dan *anti aliasing*.



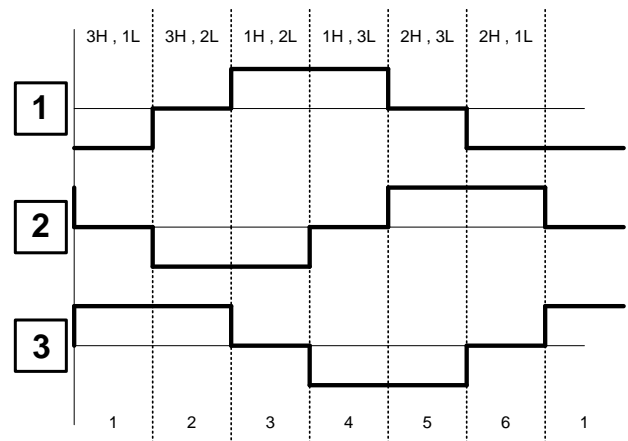
Gbr. 3 Proses filter sinyal *back emf*.

TABEL I  
SPESIFIKASI MOTOR DC

Spesifikasi	Nilai
Model	RCX07-027
Daya maksimal	911W
Arus maksimal	50.3A
Bobot	156g
Jumlah kutub (stator)	12
Jumlah magnet (rotor)	14



Gbr. 4 Penempatan enam mosfet IRF1404.

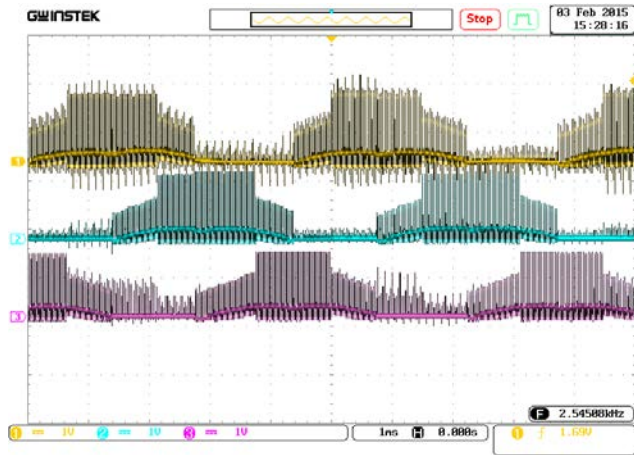


Gbr. 5 Aktivasi modulasi enam sinyal PWM.

### III. ALGORITME KENDALI TANPA SENSOR

Pada pola PWM trapesoid yang umum untuk menggerakkan motor BLDC seperti tampak pada Gbr. 5, dalam satu waktu, akan terdapat sebuah fase terhubung dengan terminal positif *battery*, sebuah terminal terhubung dengan terminal negatif *battery*, dan sebuah terminal tidak

terhubung ke manapun. Secara riil, sinyal yang diperoleh dari ketiga terminal motor yang melambangkan tiga kondisi tersebut diperlihatkan pada Gbr. 6. Informasi penting tentang posisi rotor terdapat pada tegangan BEMF yang diperoleh dari terminal motor yang sedang tidak terhubung ke manapun.



Gbr. 6 Sinyal *back emf* dan modulasi PWM pada port 1H, 2H, dan 3H.

Fase yang tegangan BEMF-nya menyentuh nilai nol menentukan pola *switching inverter* berikutnya mengikuti pola yang ditunjukkan pada Tabel II [9]. Dengan mengimplementasikan Tabel II tersebut dalam program yang sesuai, motor BLDC dapat dikendalikan. Secara lebih lengkap, algoritme digital diperlihatkan dalam *flowchart* pada Gbr. 8.

TABEL II  
SINKRONISASI DATA BACK EMF DAN MODULASI FASE ARUS PWM

Data	Sinyal <i>back emf</i>			Output PWM (+)			Output PWM (-)		
	1	2	3	1H	2H	3H	1L	2L	3L
1	0	1	1	×	×	√	√	×	×
2	0	1	1	×	×	√	×	√	×
3	1	0	1	√	×	×	×	√	×
4	1	0	1	√	×	×	×	×	√
5	1	1	0	×	√	×	×	×	√
6	1	1	0	×	√	×	√	×	×

Keterangan:  
 × : nonaktif (+) : kutub positif  
 √ : aktif (-) : kutub negatif

Dalam paper ini, pengendali motor dihubungkan dengan sebuah *remote control* berbasis Wi-Fi dan peranti android sederhana untuk mensimulasikan kondisi pengendalian jarak jauh yang umum terjadi pada UAV seperti pada Gbr. 7.

#### IV. PEMBAHASAN

Berdasarkan data yang berhasil didapatkan maka sinyal *back emf* beroperasi hanya pada saat rotor berputar. Oleh karena itu, pada saat awal permulaan nilai tegangan sinyal *back emf* bernilai nol, sehingga pada saat itu juga arus fase PWM motor tidak akan diaktifkan. Dengan memanfaatkan

data-data sinyal *back emf* dapat dilakukan unjuk kerja algoritme sederhana untuk mengamati komutasi putaran rotor motor DC tanpa sikat tanpa sensor dengan menghasilkan modulasi *duty cycle* sinyal PWM sebagai permulaannya.



Gbr. 7 Perancangan sistem secara lengkap.

Persamaan (1) merupakan perhitungan untuk mengatur sinyal periode satu gelombang. Melalui persamaan tersebut dapat diketahui respon sistem modul pengendali motor DC tanpa sikat tanpa sensor. Nilai  $F_{cy}$  pada penelitian ini adalah 5 MHz yang berasal dari nilai  $F_{osc}$  frekuensi osilator yaitu 20 MHz. Sedangkan nilai  $F_{PWM}$  adalah 31 KHz yang ditentukan berdasarkan hasil pengujian.

$$F_{osc} = 20MHz$$

$$F_{cy} = \frac{F_{osc}}{4}$$

$$F_{PWM} = 31KHz$$

Setelah menentukan nilai  $F_{cy}$  dan  $F_{PWM}$  di atas maka akan dihasilkan nilai  $PTPER$  yang sesuai untuk menghasilkan modulasi periode satu gelombang kotak atau PWM.

Hasil pengujian untuk mendapatkan satu periode sinyal PWM diketahui berdasarkan (1).

$$PTPER = \frac{\left(\frac{F_{cy}}{F_{PWM}}\right)}{2} - 1 \quad (1)$$

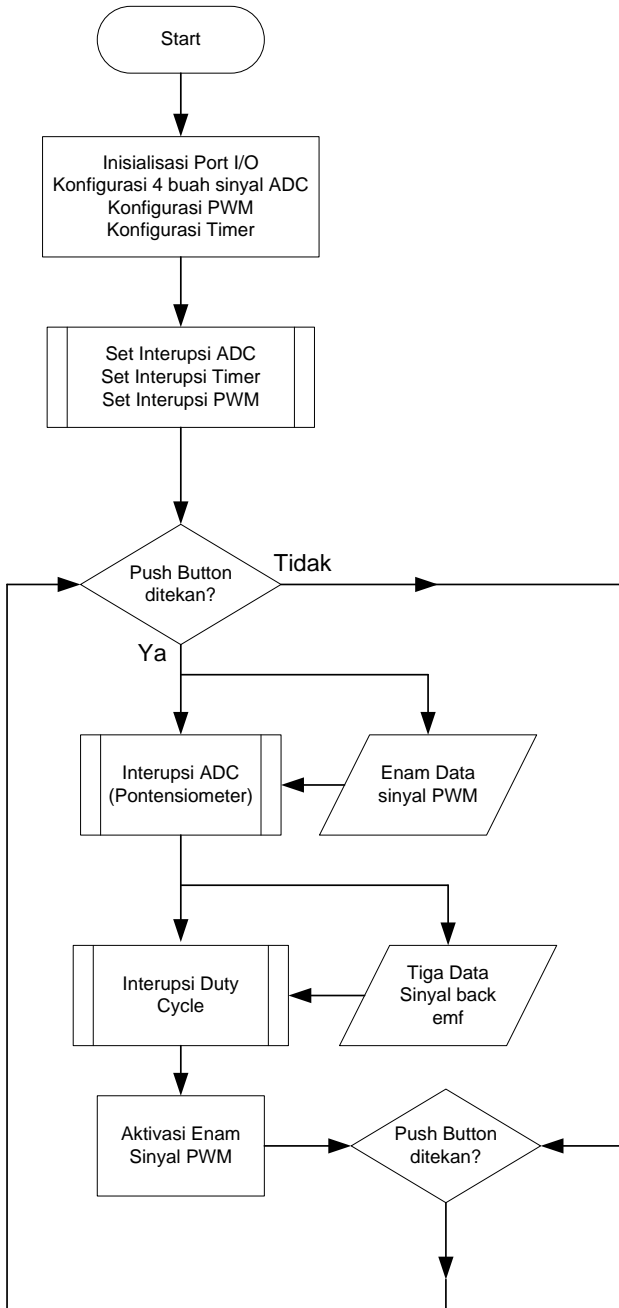
Sehingga nilai  $PTPER$  adalah sebagai berikut.

$$PTPER = \frac{\left(\frac{5000000}{31000}\right)}{2} - 1$$

$$PTPER = 77$$

Setelah mendapatkan nilai PTPER maka pengujian tahap berikutnya adalah menentukan nilai *duty cycle*.

putaran rotor dengan satuan rpm (*revolution per minute*) seperti tampak pada Gbr. 9.

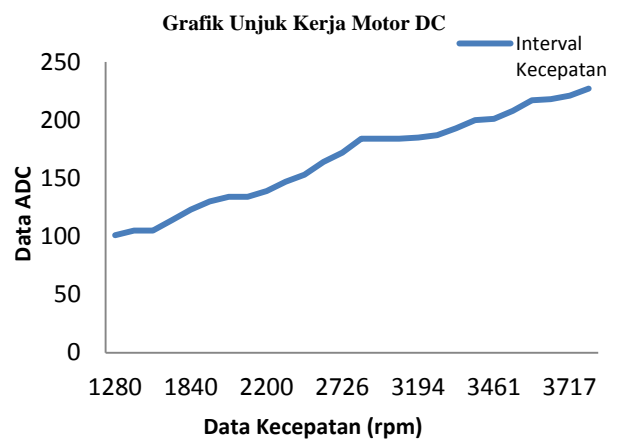


Gbr. 8 Skema flowchart sistem pengendali

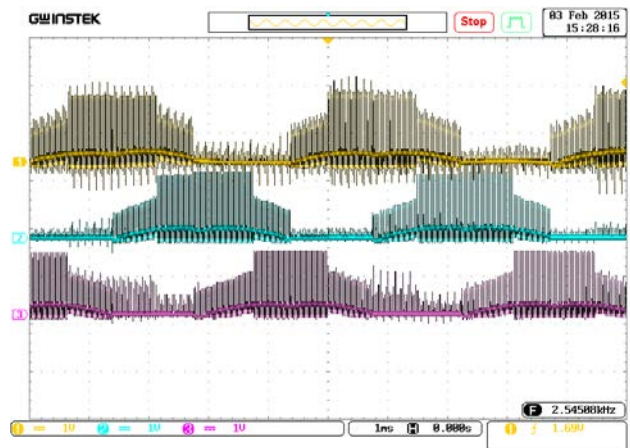
Hasil kinerja putaran rotor motor DC tanpa sikat tanpa sensor menggunakan mikrokontroler 16-bit DSC menunjukkan bahwa data ADC memiliki tingkat kedudukan yang berbeda-beda dengan kecepatan putaran terendah yaitu pada 1280 rpm, sedangkan kecepatan putaran rotor tertinggi berada pada 3805 rpm. Spesifikasi teknis motor DC tanpa sikat tanpa sensor yaitu 1100 kV (*konstanta volt*). Pada Tabel III dijelaskan secara detail unjuk kerja data ADC yang menunjukkan kinerja motor sebanding dengan kecepatan

TABEL III  
DATA PUTARAN ROTOR MOTOR

Data ADC (Pot) y	Kecepatan (rpm) x	Data ADC (Pot) y	Kecepatan (rpm) x
101	1280	184	2774
105	1312	184	2776
105	1411	184	2981
114	1659	185	3194
123	1840	187	3212
130	2039	193	3377
134	2056	200	3380
134	2088	201	3461
139	2200	208	3518
147	2406	217	3628
153	2524	218	3753
164	2650	221	3717
172	2726	227	3805



Gbr. 9 Unjuk kerja hasil putaran rotor motor DC.

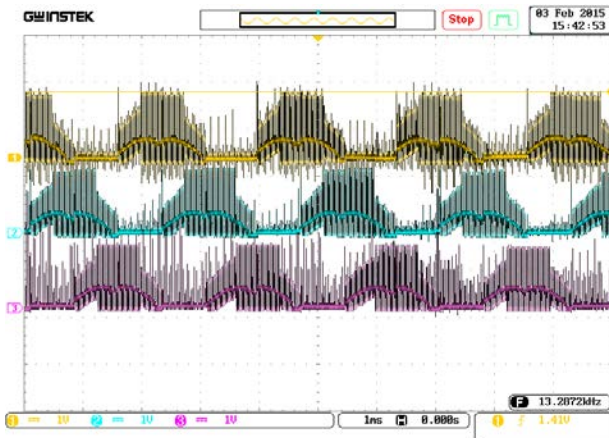


Gbr. 10 Modulasi sinyal PWM dan sinyal back emf.

Kurva intensitas interval kecepatan putaran rotor motor DC menghasilkan grafik dengan sumbu y merupakan data ADC (potensiometer) yang memiliki nilai data terendah sebesar 101

dan data ADC tertinggi sebesar 227. Sedangkan sumbu  $x$  merupakan unjuk kerja data kecepatan putaran rotor yang memiliki kecepatan putaran minimal sebesar 1280 rpm dan kecepatan putaran maksimal sebesar 3805 rpm seperti tampak pada Gbr. 9.

Proses komutasi rotor membutuhkan modulasi sinyal PWM. Hasil pengujian modulasi sinyal PWM menggunakan modul mikrokontroler sehingga algoritme DSC dapat diimplementasikan. Output dari modulasi sinyal PWM dan sinyal *back emf* pada saat kondisi awal komutasi rotor memiliki kecepatan diatas 1000 rpm seperti tampak pada Gbr. 10. Sedangkan Gbr. 11 merupakan deskripsi sinyal PWM dan sinyal *back emf* pada saat mencapai putaran maksimum yaitu di atas 3000 rpm.



Gbr. 11 Modulasi sinyal PWM dan sinyal *back emf*.

Berdasarkan hasil kinerja komutasi rotor maka hasil pengujian kondisi ideal motor DC tanpa sikat tanpa sensor berada pada tegangan searah maksimal 18 volt dengan kecepatan terendah pada 1280 rpm dan kecepatan tertinggi di atas 3000 rpm (lebih tepatnya 3805). Algoritme yang sederhana memberikan kemudahan dalam menghasilkan modulasi data sinyal PWM dan mengolah sinyal analog *back emf* menjadi sinyal digital sehingga komutasi rotor motor DC tanpa sikat tanpa sensor dapat terlaksana dengan baik meskipun masih terdapat derau (*noise*) pada beban di output sinyal seperti tampak pada Gbr. 11, karena modul pengendali sudah tidak mampu mengolah data sinyal *back emf*.

## V. KESIMPULAN

Hasil unjuk kerja proses komutasi pada motor DC tanpa sikat tanpa sensor telah dilakukan. Modul mikrokontroler 16bit dsPIC30F4011 digunakan untuk menghasilkan enam fase arus PWM dan mendeteksi sinyal *back emf*. Sinyal *back emf* berhasil terdeteksi pada kecepatan terendah yaitu 1280 rpm. Sedangkan sinyal *back emf* kecepatan tertinggi yang berhasil dideteksi oleh modul pengendali yaitu pada 3805 rpm. Di luar ketentuan itu sinyal tidak dapat diolah. Pada pengaturan modulasi sinyal PWM dibutuhkan pewartuan yang kontinyu dan dilakukan secara bertahap untuk mengaktifkan inverter tiga fase yang tersusun atas enam buah mosfet IRF1404 yang diaktifkan secara bertahap.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan fasilitas dalam penyusunan paper ini.

## REFERENSI

- [1] Ward Brown, "AN857: Brushless DC Motor Control Made Easy", Microchip Technology, 2002.
- [2] Ping Wei, Dengliang Cheng, "DSP-Controlled Three-Phase Brushless DC Motor-Driven Power System for Electric Vehicle", 2010 Asia-Pacific Conference on Wearable Computing Systems, IEEE 978-0-7695-4003-0/102010.
- [3] Matthew De Garmo, and Gregory M. Nelson, "Prospective Unmanned Aerial Vehicle Operations in the Future National Airspace System", The MITRE Corporation, Center for Advanced Aviation System Development, McLean, Virginia 22102.2002.
- [4] Xiaoyan Huang, Chris Gerada, Andrew Goodman, Keith Bradley, He Zhang, and Youtong Fang, "A Brushless DC Motor Design for an Aircraft Electro-Hydraulic Actuation System", International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC), IEEE 978-1-4577-0061-3/11/2011.
- [5] Microchip, "dsPIC30F Family Reference Manual".
- [6] P.A Roslin and Prof. Mary George, "Brushless DC Motor Control Using Digital PWM Techniques", Proceeding of 2011 IEEE International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies (ICSCCN), 978-1-61284-653-8/11/2011.
- [7] S. Gao, "A Brushless DC Motor Controller with Current-loop Control", IEEE 978-1-4244-8165-1/11/2011.
- [8] R. Arulmozhiyal and R. Kandiban, "An Intelligent Speed Controller for Brushless DC Motor", IEEE 978-1-4577-2119-9/12/2011.
- [9] Miller T.J.E, *Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives*. Oxford: Monographs in Electrical and Electronic Engineering no.21, Oxford Science Publications.