

# Simulasi Karakteristik Motor BLDC UAV

Erwani Merry Sartika<sup>1</sup>, Muliady<sup>1</sup> and Alfian<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universitas Kristen Maranatha  
erwanimerry@gmail.com

**Abstrak**— Pada paper ini menjelaskan karakteristik motor BLDC UAV dari model. Simulasi dibuat mewakili model dari motor BLDC UAV yang kemudian digunakan untuk melihat karakteristik dari motor. Identifikasi hasil model motor BLDC UAV digunakan untuk membandingkan dengan model hasil karakteristik motor BLDC UAV. Hasil data pengamatan menunjukkan khususnya untuk model arus armature masih cukup besar terdapat perbedaan cukup besar dibandingkan model kecepatan rotor. Diperlukan identifikasi dengan metode yang berbeda agar dihasilkan model yang lebih tepat.

**Kata Kunci:** BLDC, UAV, simulasi, identifikasi

**Abstract**—In this paper explain the characteristics of the BLDC UAV motor of the model. Simulation is made representing the model of the BLDC UAV motor which is then used to see the characteristics of the motor. Identification of the results of the BLDC UAV motor model is used to compare the characteristics of the BLDC UAV motor model. The results of observational data indicate that especially for the armature current model is still quite large there are quite large differences compared to the rotor speed model. Identification with different methods is needed to produce a more appropriate model.

**Key Word**— BLDC, UAV, simulation, identification

## I. INTRODUCTION

MOTOR Brushless DC (BLDC) adalah motor DC tanpa sikat (brush) merupakan motor magnet permanen tiga fase yang membutuhkan sumber tegangan dc, menggunakan bahan semikonduktor untuk mengubah arah putarannya dalam menggerakkan motor. Namun untuk mengontrol kecepatan motor Brushless DC cukup sulit terutama bila diterapkan pada kendaraan listrik yang bekerja pada sistem beban dinamis[1].

Motor BLDC digunakan dalam industri seperti peralatan industri HVAC, medis, peralatan militer, kendaraan listrik, hard disk drive, dan lain-lain. Motor BLDC memiliki efisiensi tinggi dan memiliki torsi awal yang tinggi [1]. Model motor BLDC menunjukkan karakteristik dari motor BLDC seperti bentuk gelombang air-gap-flux-density terhadap posisi rotor, arus rectangular pada tiap fasa terhadap torsi motor BLDC[2].

Pada paper ini akan dipelajari karakteristik motor BLDC UAV dan mengidentifikasi model persamaan dari motor tersebut. Model yang diperoleh dianalisa untuk mengetahui karakteristik dari motor BLDC UAV sehingga

selanjutnya dapat digunakan untuk mengontrol motor BLDC. Hasil identifikasi akan dibandingkan secara simulasi dengan model asli dari motor BLDC untuk mengetahui keberhasilan dari identifikasi dan untuk menentukan metode identifikasi lain yang dapat digunakan untuk memperbaiki hasil model yang diperoleh.

## II. MOTOR BLDC

Motor BLDC terdiri dari rotor (bagian yang bergerak) yang terbuat dari permanen magnet dan stator (bagian yang tidak bergerak) yang terbuat dari kumparan 3 fasa. Motor BLDC tidak memiliki sikat sehingga untuk menentukan waktu komutasi agar torsi dan kecepatannya konstan, diperlukan 3 buah sensor Hall dan encoder. Sensor *Hall* merupakan sensor untuk mendeteksi medan magnet yang akan menghasilkan tegangan yang proporsional. Sedangkan encoder membaca kode komutasi pada disk code dengan menggunakan sensor optik [3].

Pada sensor *Hall*, waktu komutasi ditentukan dengan cara mendeteksi medan magnet rotor menggunakan 3 buah sensor hall untuk mendapatkan 6 waktu kombinasi yang berbeda. Pada *encoder*, waktu komutasi ditentukan dengan menghitung jumlah pole (kutub). *Encoder* banyak digunakan pada motor BLDC karena encoder dapat menentukan waktu komutasi lebih presisi dibandingkan sensor hall. Kode komutasi pada *encoder* telah ditetapkan secara *fixed* berdasarkan banyak pole motor dan tidak dapat digunakan untuk motor dengan jumlah pole berbeda. Bila kode komutasi encoder tidak sesuai dengan pole motor, akan terjadi kesalahan dalam penentuan waktu perubahan komutasi. Sedangkan pada sensor Hall peletakkan sensor tidak perlu terlalu presisi dengan rotor selain itu untuk motor dengan pole yang berbeda cukup dengan menggeser letak dari sensor hall. Namun apabila letak sensor hall tidak tepat satu dengan lainnya, kesalahan dalam penentuan waktu perubahan komutasi dapat terjadi, bahkan ada kemungkinan tidak didapatkannya 6 kombinasi yang berbeda[4].

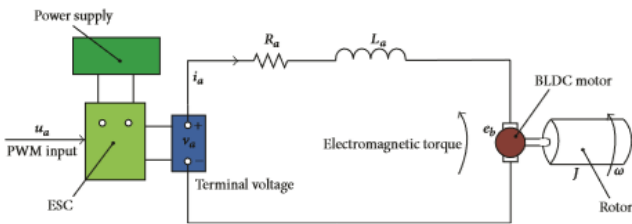
## III. MODEL BRUSHLESS DC MOTOR NONLINEAR

Model komprehensif yang diintegrasikan oleh model BLDC dynamics dan electronic speed controller (ESC) ditunjukkan pada Gambar 1. Dinamika BLDC disajikan pertama kali. Model motor BLDG terdiri dari dua bagian.

Erwani Merry Sartika dari Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha, Bandung, Indonesia (corresponding author provide phone 022-2012186; email erwanimerry@gmail.com)

Muliady dari Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha, Bandung, Indonesia (corresponding author provide phone 022-2012186; email mld\_ang@yahoo.com)

Salah satunya adalah bagian listrik yang menghitung torsi elektromagnetik dan arus motor. Yang lain adalah bagian mekanik yang BLDC Motor dan Inverter Equivalent Circuit menghasilkan revolusi rotor [5].



Gambar 1. Ekuivalen Konfigurasi Sistem Motor BLDC

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + e_b = v_a,$$

$$e_b = K_e \omega, \dots\dots\dots(1)$$

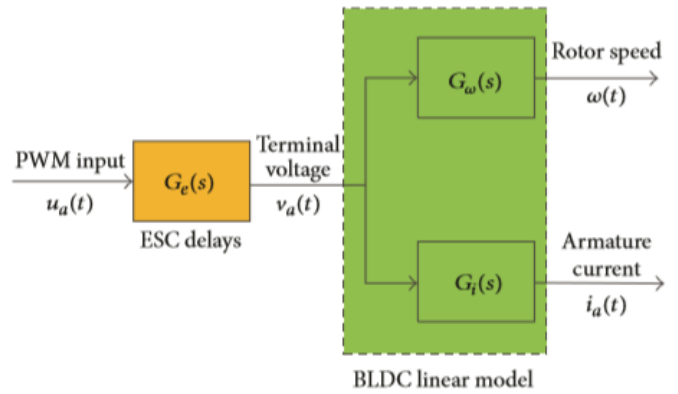
Dengan asumsi variasi induktansi induktansi stator dengan posisi rotor dan induktansi timbal balik antara belitan stator dapat diabaikan, dinamika listrik motor BLDC ditunjukkan pada Persamaan (1).  $v_a$  adalah tegangan terminal motor,  $i_a$  adalah arus jangkar motor,  $L_a$  adalah induktansi jangkar,  $R_a$  adalah armature resistance,  $e_b$  adalah motorback-EMF dan  $K_e$  adalah konstanta back-EMF dalam satuan V / (rad / s). Ketika tidak ada torsi yang diterapkan secara eksternal dan nya mempertimbangkan beban inersia konstan, diperoleh persamaan mekanik seperti pada Persamaan (2).  $T$  adalah torsi motor elektromagnetik,  $J$  adalah inersia beban motor dan  $K_f$  adalah koefisien redaman [5].

$$J \frac{d\omega}{dt} + K_f \omega = T, \dots\dots\dots(2)$$

Motor BLDC untuk UAV digerakkan oleh ESC (pengontrol kecepatan elektronik). ESC menerima input modulasi pulsewidth (PWM) dari beberapa unit kontrol radio digital, dan memberi daya tegangan terminal yang diterapkan untuk BLDC. Untuk menghindari arus besar yang disebabkan oleh peningkatan kecepatan motor yang tajam, unit linear tertanam di sebagian besar ESC. Oleh karena itu, pemetaan dinamis linier dari input PWM ke tegangan terminal yang diterapkan diusulkan, yang dapat direpresentasikan seperti pada Persamaan (3).  $u(s)$  adalah input PWM,  $K_d$  adalah gain dari PWM ke tegangan yang diterapkan dan ditentukan oleh parameter ESC dan pasokan daya,  $\tau$  adalah konstanta waktu dari model ESC[5].

$$G_e = \frac{v(s)}{u(s)} = \frac{K_d}{\tau s + 1}, \dots\dots\dots(3)$$

Frekuensi Parameter dari motor DCDC yang disediakan untuk bagian sebelumnya adalah  $K_t, K_e, K_f, R_a, L_a, J,$  dan  $T$ . Perhatikan bahwa tujuh parameter terletak pada suku linear dari model motor BLDC. Semua parameter ini diasumsikan sebagai invarian-waktu. Parameter-parameter ini secara linier dapat diidentifikasi dengan kecepatan tinggi ketika motor BLDC dianggap sebagai sistem yang sama. Diagram blok untuk dinamika linier motor digambarkan pada Gambar 2[5].



Gambar 2. Diagram Blok dinamika linier motor

Fungsi transfer  $\omega(s)/u_a(s)=G_\omega(s)$ ,  $i_a(s)/u_a(s)=G_i(s)$  dan  $u_a(s)/v_a(s)=G_e(s)$  ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$G_\omega(s) = \frac{K_t/L_a J}{s^2 + (K_f/J + R_a/L_a)s + R_a K_f/L_a J + K_e K_t/L_a J},$$

$$G_i(s) = \frac{(1/L_a)s + K_f/L_a J}{s^2 + (K_f/J + R_a/L_a)s + R_a K_f/L_a J + K_e K_t/L_a J},$$

$$G_e(s) = \frac{0.02187}{\tau s + 1}, \dots\dots\dots(4)$$

$G_e(s)$  mewakili dinamika ESC, dan nilai gain 0,02187 dilengkapi oleh kurva throttle dari pabrikan ESC ketika catu daya diatur dalam output 26 V. Sedangkan untuk mengidentifikasi parameter-parameter, walaupun teknik time-domain masih dapat diadopsi, sangat disarankan dalam hal ini untuk meninggalkan domain waktu dan memilih domain frekuensi. Tabel 1 digunakan untuk mendapatkan modelnya[5].

TABEL1. NILAI PARAMETER YANG DIGUNAKAN PADA MOTOR BLDC

System parameters	Symbol	Value	Unit
Rotor inertia	$J$	0.00061	kg·m <sup>2</sup>
Voltage constant	$K_e$	0.0637	V/(rad/s)
Torque constant	$K_t$	0.2663	Nm/A
Armature resistance	$R_a$	0.6187	$\Omega$
Armature inductance	$L_a$	2.62	mH
Friction coefficient	$K_f$	0.00291	N/(rad/s)
Time constant of the ESC model	$\tau$	0.0781	s

Pembangkit sinyal sweep otomatis dirancang seperti ditunjukkan pada Persamaan (5).  $u_0$  adalah nilai trim dari input yang menentukan nilai trim dari kecepatan rotor dan arus jangkar,  $u$  sweep adalah nilai dinamis input,  $A$  adalah sapuan magnitudo,  $\theta(t)$  adalah fase sinyal,  $[\omega_{min}, \omega_{max}]$  adalah rentang sinyal sweep, dan  $T_{rec}$  adalah panjang data sweep.

$$u(t) = u_0 + u_{sweep}(t) = u_0 + A \sin(\theta(t)),$$

$$\theta(t) = [\omega_{min} - 0.0187(\omega_{max} - \omega_{min})]t$$

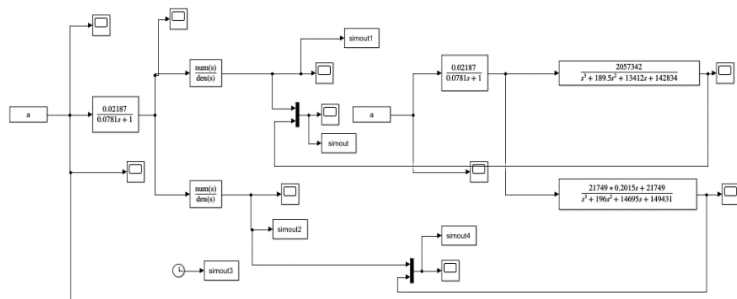
$$+ 0.00467T_{rec}(\omega_{max} - \omega_{min})(e^{(4t/T_{rec})} - 1), \dots\dots\dots(5)$$

IV. PERANCANGAN SIMULASI MOTOR BLDC

Melalui teori penunjuang, maka pada perancangan akan dilakukan simulasi terlebih dahulu dari model yang sudah ada. Melalui simulasi dapat diambil data input dan outputnya untuk dua keadaan yaitu kecepatan rotor terhadap tegangan terminal

dan arus armature/jangkar terhadap tegangan terminal. Metode identifikasi yang digunakan merupakan metode off-line. Identifikasi metode bergantung pada data eksperimen untuk mengendalikan input PWM, dan kecepatan rotor yang sesuai serta respons arus jangkar. Domain frekuensi loop terbuka metode yang digunakan untuk mengidentifikasi parameter dalam jangka waktu linear. Kemudian metode pendekatan kuadrat terkecil diterapkan untuk mengidentifikasi parameter-parameter istilah nonlinear ini. Metode identifikasi domain frekuensi menentukan sebagian besar parameter, oleh karena itu, metode ini dijelaskan secara singkat terlebih dahulu. Oleh karena itu, parameter-parameter ini secara linier dapat diidentifikasi dengan kecepatan tinggi pada motor BLDC.

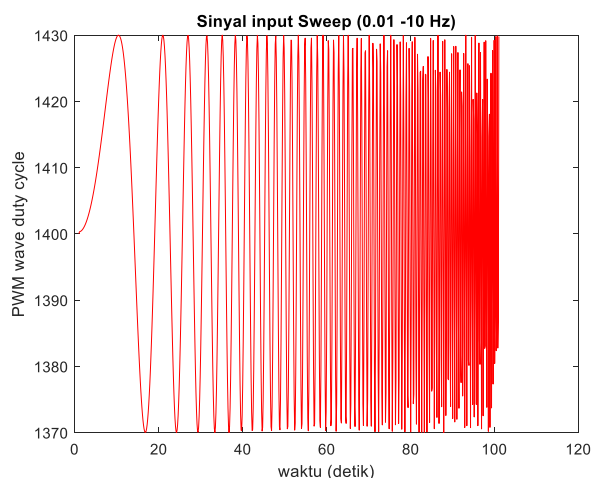
Gambar 3 adalah simulasi dari model yang dipilih[5] berdasarkan nilai parameter dan hasil identifikasi dari model motor BLDC UAV. Pada simulasi terdapat sinyal  $a$  yang di-generate dari persamaan model dari Persamaan (5). Melalui kombinasi Simulink dan MatLab command perancangan simulasi dapat dilakukan dan dibandingkan dengan data sebenarnya [5].



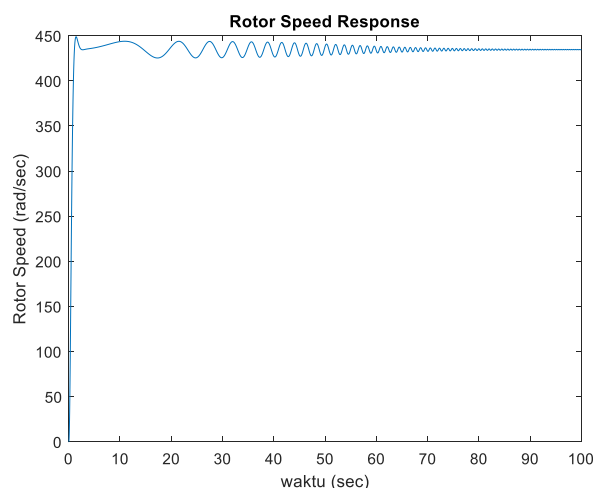
Gambar3. Simulasi pemodelan dan identifikasi motor BLDC UAV

## V. DATA PENGAMATAN

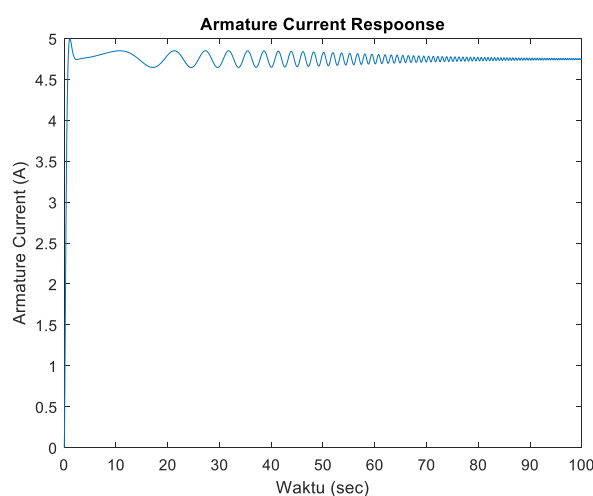
Simulasi yang dibuat dengan membangkitkan sinyal input ditunjukkan pada Gambar 3. Sinyal diperoleh dari Persamaan (5) dengan rentang frekuensi sinyal PWM 0.01 sampai dengan 10 Hz, dengan amplituda 30. Respon dari sinyal input sweep dengan menggunakan model yang diperoleh dari Persamaan (4) diperoleh kecepatan rotor dan arus armature yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 3. Sinyal Input Sweep dari 0.01 - 10 Hz



Gambar 4. Respon dari Kecepatan Rotor dengan input Sweep 0.01-10 Hz



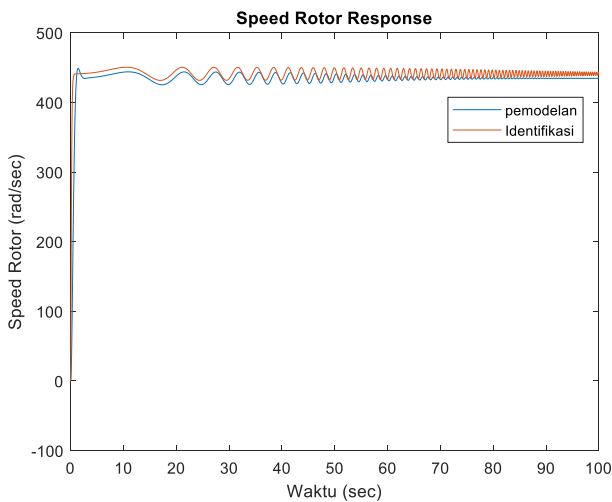
Gambar 5. Respon dari Arus Armature dengan input Sweep 0.01-10 Hz

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan kecepatan rotor masih beresilasi menuju nilai yang konvergen yaitu 435 rad/sec sedangkan arus armature/jangkar juga beresilasi menuju nilai konvergen yaitu 4,25 Ampere. Hasil pasangan input sinyal sweep dan output kecepatan rotor dan arus armature dapat digunakan untuk mengidentifikasi model lain menggunakan data simulasi sebelum selanjutnya dapat menggunakan data asli. Melalui paper Xiang and Changle hasil identifikasi diperoleh seperti ditunjukkan dengan Persamaan (6)[5].

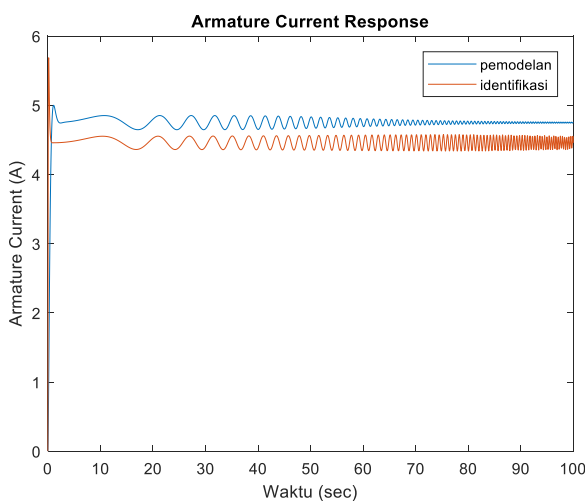
$$H_{\omega}(s) = \frac{2057342}{s^3 + 189.5s^2 + 13412s + 142834},$$

$$H_i(s) = \frac{21749(0.2015s + 1)}{s^3 + 196s^2 + 14695s + 149431} \dots(6)$$

Hasil simulasi menggunakan hasil identifikasi dapat ditunjukkan perbedaannya seperti ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Gambar 6 menunjukkan perbandingan hasil pemodelan dan Identifikasi pada respon kecepatan rotor. Sedangkan Gambar 7 menunjukkan perbandingan hasil pemodelan dan identifikasi pada respon arus armature/jangkar.



Gambar 6. Perbandingan Respon Kecepatan Rotor hasil model dan identifikasi



Gambar 7. Perbandingan Respon Arus Armature hasil model dan identifikasi

## REFERENCES

- [1] A. Dwivedi and A. N. Tiwari, "A Review : Speed Control of Brushless DC Motor A Review : Speed Control of Brushless DC Motor," *IJBSTR*, no. December, pp. 14–19, 2013.
- [2] S. Mondal, A. Nandi, I. Mallick, C. Ghosh, and A. Giri, "Performance Evaluation of Brushless DC Motor Drive for Three Different Types of MOSFET Based DC-DC Converters," in *2017 Devices for Integrated Circuit (DevIC)*, 2017, pp. 589–593.
- [3] M. Azzumar, "Pemodelan dan Simulasi Brushless DC Motor Kecil untuk Aplikasi Aktuator Sirip Roket," 2012.
- [4] R. Hazari and E. Jahan, "Design of a Brushless DC ( BLDC ) Motor Controller," in *International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT) 2014*, 2014, no. December.
- [5] C. Xiang, X. Wang, Y. Ma, and B. Xu, "Practical Modeling and Comprehensive System Identification of a BLDC Motor," vol. 2015, 2015.

Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan lebih besar pada perbandingan pada arus armature dibandingkan pada kecepatan rotor. Sehingga penelitian selanjutnya akan dicoba identifikasi ulang tetapi dari data hasil simulasi untuk mengetahui kemampuan metoda identifikasi yang sesuai untuk dapat memprediksi model dari parameter yang lebih tepat. Selain itu akan diujicoba langsung pada motor UAV yang akan digunakan sebagai motor BLDC yang akan diimplementasikan. Data akan diambil secara langsung untuk diidentifikasi agar dapat diperoleh persamaan modelnya sebelum mengontrol torsi dari motor BLDC tersebut.

## VI. SIMPULAN

Hasil studi dan simulasi identifikasi motor BLDC UAV melalui studi dan simulasi dapat diperoleh data pengamatan untuk mengetahui karakteristik dari motor BLDC UAV yaitu karakteristik arus armature dan kecepatan rotor terhadap sinyal input frekuensi 0.01-10 Hz. Data pengamatan menunjukkan adanya perbedaan lebih besar pada perbandingan pada arus armature dibandingkan pada kecepatan rotor antara data simulasi dan identifikasi