

Simulasi Kinerja Brushless DC Motor Untuk Aplikasi Pengendali Sikap Satelit Menggunakan Matlab Simulink

Muh. Sulaiman Nur Ubay*

Robertus Heru Triharjanto*

Email : sulaiman_itb@yahoo.com, rtriharjanto@yahoo.com

Abstrak

Salah satu jenis sistem pengendalian sikap satelit adalah menggunakan reaction wheel yang komponen utamanya adalah motor servo dan roda inersia. Dalam hal ini brushless DC (BLDC) Motor dapat diandalkan karena tidak memiliki brush sehingga tidak perlu perawatan. Karena titik acuan untuk satelit itu harus tepat, teknologi motor brushless ini harus dapat digunakan untuk kondisi kontrol loop tertutup yang real-time. Ketika dioperasikan dalam kondisi biasa, usia teknis (life time) motor BLDC dapat mencapai lebih dari 10.000 jam. Sementara dalam lingkungan satelit, variasi suhu operasi mungkin akan besar. Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan software MATLAB/SIMULINK ini didapatkan torsi yang berfluktuasi sekitar 4%, yang terjadi akibat proses switching transistor, namun motor BLDC dapat di uji coba untuk aplikasi reaction wheel pada satelit mikro.

Kata kunci: pengendalian sikap satelit, motor brushless, torsi, reaction wheel.

Abstract

Satellite attitude control system may used a cost effective, sealed servo motor as main component of its reaction wheel. In this application, a BLDC motor is recommended since it does not have any brushes to wear out (and to be replaced). Since the point of reference for the satellite was on board, the brushless motor technology used in reaction wheel has to provide real-time, closed loop control. When operated in rated conditions, the life expectancy of a BLDC motor is over 10,000 hours. Meanwhile, in satellite the motor may have to function in large temperature variations environment. Based on these MATLAB/SIMULINK simulation obtained torque fluctuated around 4%, which occurs due to the switching transistor, but BLDC motors can be tested for reaction wheel in micro satellite.

Keywords: satellite attitude control, brushless motor, torque, reaction wheel.

1. PENDAHULUAN

Salah satu jenis sistem pengendalian sikap satelit secara aktif adalah dengan menggunakan reaction wheel sebagai aktuator, dimana komponen utamanya adalah motor servo dan roda inersia. Beberapa pilihan untuk menentukan jenis motor yang akan digunakan untuk berbagai macam aplikasi bergantung pada implementasi motor itu sendiri dan juga beberapa faktor penunjang lainnya. Adapun jenis motor yang akan digunakan perlu mempertimbangkan biaya, jumlah daya dan usia teknis (*life time*) dari motor tersebut. Untuk aplikasi yang membutuhkan usia teknis (*life time*) yang tidak terlalu lama, dapat memilih jenis motor dengan harga yang murah dengan berbagai kekurangan. Namun apabila membutuhkan motor dengan usia teknis (*life time*) yang lama, motor BLDC dapat di pertimbangkan, dengan berbagai macam keunggulan lainnya.

Motor brushless DC (BLDC) merupakan pilihan yang ideal untuk berbagai macam aplikasi yang memerlukan kehandalan yang tinggi, efisiensi yang tinggi dan rasio *power to volume* yang tinggi[3]. Motor BLDC adalah jenis motor dengan performa yang tinggi yang mampu memberikan jumlah torsi yang besar dengan rentang kecepatan yang tinggi. Motor BLDC merupakan turunan dari motor DC yang paling umum digunakan yaitu motor DC *brush*. Perbedaan utama antara motor BLDC dengan motor DC *brush* yaitu pada penggunaan *brush*. Motor BLDC tidak memiliki *brush* dan elektronik *commutated*.

Motor BLDC menggunakan kontroler elektronik yang memiliki sensor posisi yang dapat berguna untuk ketepatan (*precisely*) dan menentukan waktu sinyal yang tepat. Beberapa jenis motor menggunakan sensor efek hall untuk menentukan posisi relatif rotor ke medan kumparan. Motor BLDC menggunakan kontroler elektronik yang berfungsi untuk mengatur serta mengontrol tegangan dan arus ke medan kumparan. Modul elektronik atau kontroler menggunakan perangkat diskrit dan

* Peneliti Pusat Teknologi Satelit, LAPAN

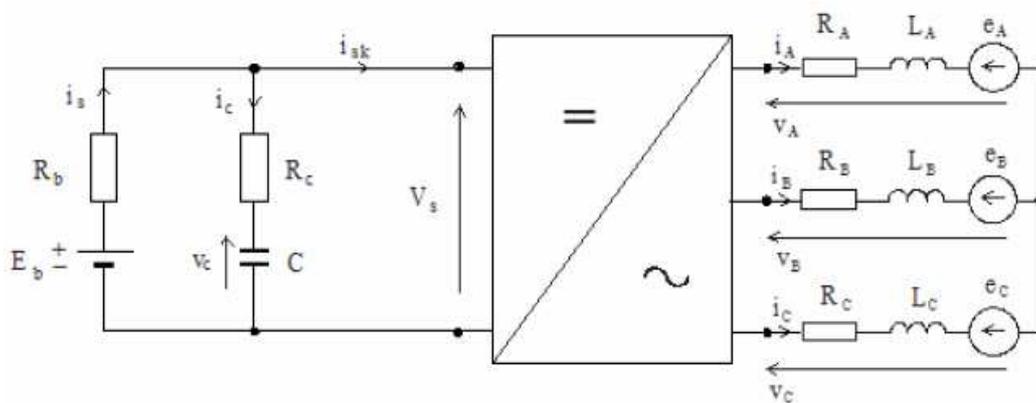
amplifier untuk membangun dan memberikan tegangan atau arus yang diinginkan. Keuntungan dari motor brushless diantaranya, kehandalan tinggi, usia teknis yang lebih lama, penghilangan bunga api dari komutator, mengurangi gesekan, dan presisi dari tegangan atau arus pada medan kumparan[5].

Komutasi merupakan suatu tindakan mengubah fasa arus motor pada waktu yang tepat untuk menghasilkan rotasi torsi. Pada motor DC *brush*, komponen komutator digunakan untuk menggerakkan motor, sedangkan pada motor BLDC, kekuatan arus listrik magnet permanen yang menyebabkan motor bergerak sehingga tidak ada komponen komutator yang diperlukan.

Pada penulisan makalah ini, akan di bahas mengenai simulasi dari operasi motor dengan menggunakan software MATLAB/SIMULINK, dengan analisa kinerja terhadap motor BLDC untuk aplikasi reaction wheel pada satelit mikro. Adapun tujuan dari analisa ini adalah untuk melihat karakteristiknya saat transient dan steady state.

2. METODOLOGI

Diasumsikan bahwa motor BLDC terhubung ke output dari inverter, sementara input terminal inverter yang terhubung ke sumber tegangan adalah konstan, asumsi lainnya adalah tidak adanya daya yang hilang di inverter, semua elemen motor adalah linier dan 3 fasa yang saling terhubung.



Gambar 2.1. Model BLDC

Persamaan modelnya adalah :

$$E_b - i_s.R_b - i_c.R_c = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$V_s = V_c + i_c.R_c \dots\dots\dots(2)$$

$$i_s = i_{sk} + i_c \dots\dots\dots(3)$$

Penerapan hukum Kirchhoff untuk 3 fasa :

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_A & 0 & 0 \\ 0 & R_B & 0 \\ 0 & 0 & R_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \frac{d}{d(t)} \begin{bmatrix} L_A & L_{AB} & L_{AC} \\ L_{BA} & L_B & L_{BC} \\ L_{CA} & L_{CB} & L_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_A \\ e_B \\ e_C \end{bmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana back-EMF untuk bentuk gelombang e_a , e_b , dan e_c merupakan fungsi kecepatan sudut dari poros rotor.

Model matematis untuk motor BLDC dapat di representasikan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} \\ M_{ba} & L_b & M_{bc} \\ M_{ca} & M_{cb} & L_c \end{bmatrix} \frac{d}{d(t)} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 \\ 0 & 0 & R_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

Asumsi sistem 3-fasa pada keadaan yang seimbang dan induktansi konstan untuk permukaan magnet permanen, maka :

$$L_a = L_b = L_c = L$$

$$M_{ab} = M_{ac} = M_{ba} = M_{bc} = M_{ca} = M_{cb} = M$$

$$R_a = R_b = R_c = R$$

Berdasarkan persamaan (5) maka didapat :

$$\begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \frac{d}{d(t)} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots(6)$$

Torsi elektromagnetiknya dinyatakan sebagai :

$$T_{em} = J \frac{d\omega_r}{d(t)} + B\omega_r + T_L \dots\dots\dots(7)$$

Torsi elektromagnetik untuk motor BLDC 3 fasa bergantung pada arus, kecepatan dan gelombang back-EMF, sehingga torsi elektromagnetiknya adalah :

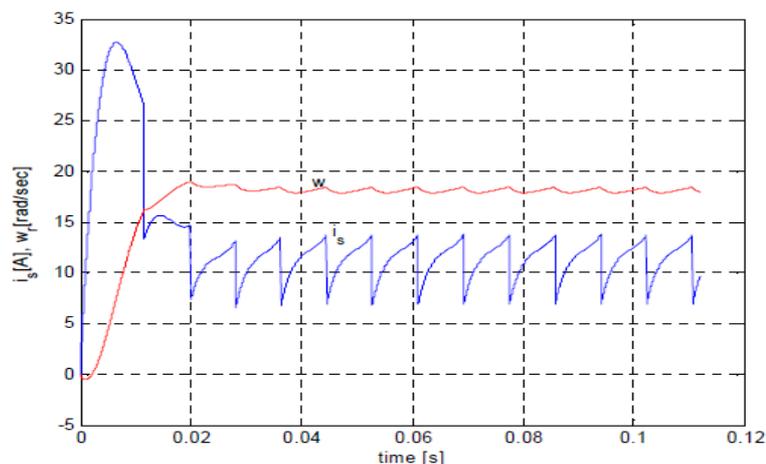
$$T_{em} = \frac{1}{\omega_m} (e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c) \dots\dots\dots(8)$$

3. HASIL DAN ANALISA

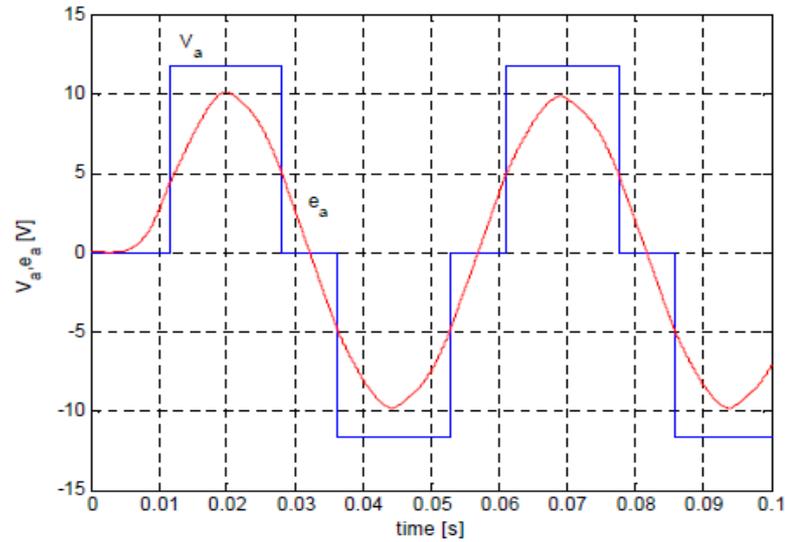
Simulasi dari operasi motor dilakukan dengan menggunakan software MATLAB/SIMULINK. Pengembangan blok diagram untuk drive system menggunakan model matematis, yang terdiri dari 3 bagian : catu daya, inverter, kumparan motor dan sistem mekanik, dan generator pulsa.

Hasil simulasi ditampilkan gambar 3.1, 3.2, 3.3 dan 3.4. Gambar 3.1 menampilkan kecepatan putar (ω) dan input arus. Fluktuasi yang terjadi pada kurva kecepatan dikarenakan oleh proses komutasi pada elektronik (switching pada transistor).

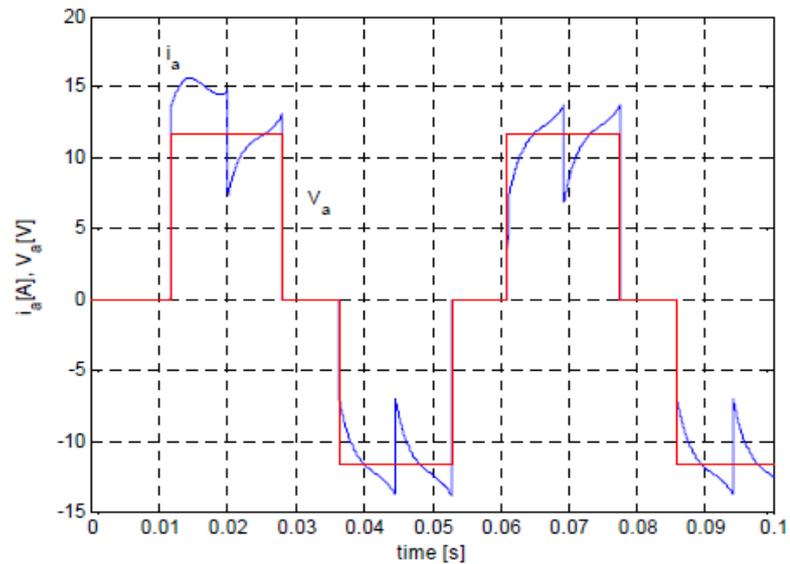
Gambar 3.2 menampilkan kurva back-EMF dan tegangan armature (V_a), sementara gambar 3.3 menampilkan kurva arus armature (i_a) dan tegangan armature (V_a). Bentuk dari back-EMF (yang terinduksi) adalah sinusoid karena magnet pada rotor yang berbentuk kotak. Back-EMF dan tegangan yang diberikan berada dalam fasa yang sama menunjukkan bahwa kumparan dialiri listrik saat nilai absolut dari EMF maksimum. Kurva arus armature juga secara prinsip merupakan gelombang persegi, namun terdapat fluktuasi karena komutasi dari fasa arus.



Gambar 3.1. Kurva kecepatan putar (ω) dan arus input (i_s)

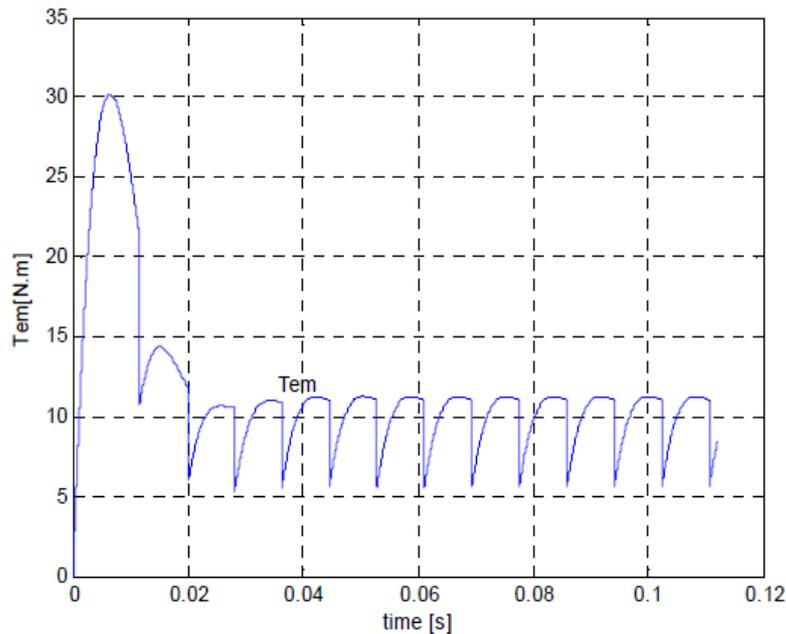


Gambar 3.2. Kurva EMF (e_a) dan tegangan armature (V_a)



Gambar 3.3. Kurva arus armature (I_a) dan tegangan armature (V_a)

Kurva torsi dari motor 3-fasa ditampilkan di gambar 5, dimana bentuk dari kurva tersebut yang menentukan kinerja motor. Fluktuasi pada kurva dikarenakan oleh proses switching dari transistor. Motor ini merupakan motor torus dengan magnet kotak, sehingga torsi cogging seharusnya menjadi nol. Berdasarkan grafik ini, didapatkan torsi berfluktuasi yaitu sekitar 4% yang di akibatkan oleh adanya proses switching dari transistor.



Gambar 3.4. Kurva torsi dari motor 3 fasa

4. KESIMPULAN

Analisa kinerja dilakukan terhadap motor DC brushless untuk aplikasi reaction wheel pada satelit mikro. Analisa dilakukan untuk melihat karakteristiknya saat transient dan steady state, hasilnya menunjukkan torsi yang berfluktuasi yaitu sekitar 4% (gambar 5), hal ini terjadi dikarenakan oleh adanya proses switching dari transistor.

Berdasarkan hasil simulasi ini, maka motor DC brushless dapat di uji coba untuk aplikasi reaction wheel pada satelit mikro. Adapun untuk hasil yang lebih baik, perlu ditingkatkan ataupun dikembangkan lagi kompleksitas parameter simulasi ataupun analisisnya dengan menggunakan persamaan yang ada.

Motor BLDC ini dapat digunakan untuk pengendalian satelit, dimana memiliki kelebihan dalam hal mengejar setpoint yang diinginkan sehingga satelit dapat berada pada orbit yang ditentukan. Adapun untuk mengurangi adanya overshoot, hal ini dapat di optimisasi dengan teknik pengontrolan PID ataupun teknik kendali lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bak T. *Onboard Attitude Determination for a Small Satellite*. Proceedings of 3rd ESA International Conference on Spacecraft Guidance, Navigation and Control Systems. ESTEC, Noordwijk. Netherlands. 1996.
2. Cappellari JO. *Mathematical Theory of the Goddard Trajectory Determination System*. GSFC NASA, Greenbelt. Maryland. 1976.
3. Hanselman DC. *Brushless Permanent Magnet Motor Design*. McGraw-Hill. New York. 1994.
4. Hughes P. *Spacecraft Attitude Dynamics*. Wiley. New York. 1994.
5. Mayditia Hasan, Triharjanto RH. *Uji Kualifikasi Terbang Reaction Wheel*. Publikasi ilmiah LAPAN 2010 ISBN : 978-979-1458-35-1.
6. Pillay P, Krishnan R. *Modeling, Simulation, and Analysis of Permanent Magnet Motor Drives Part II The Brushless DC Motor Drive*. IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 25, no. 2, pp. 274–279. 1989.
7. Wertz, JR and Larson, Wiley J. *Space Mission Analysis and Design*. Kluwer Academic Publisher. USA. 1999.
8. Wisniewski R, Blanke M. *Attitude Control for Magnetic Actuated Satellite*. Proceedings of Control of Nonlinear Systems Theory and Applications. EURACO Workshop. Algarve. Portugal. 1996.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA UMUM

Nama Lengkap : Robertus Heru Triharjanto
Tempat & Tgl. Lahir : Bandung, 22 Oktober 1971
Jenis Kelamin : Laki - Laki
Instansi Pekerjaan : LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional)
NIP. / NIM. : 19711022 199101 1 001
Pangkat / Gol. Ruang : Pembina/ IV A
Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti madya
Agama : Katolik
Status Perkawinan : Menikah

DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMAN 3 Bandung Tahun: 1990
STRATA 1 (S.1) : North Carolina State Univ. Tahun: 1995
STRATA 2 (S.2) : Texas A&M Univ. Tahun: 1997

ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Jln. Cagak Satelit KM. 04 Rancabungur, Bogor 16310
Telp. : 0251 8621667
Email: rtriharjanto@yahoo.com

DATA UMUM

Nama Lengkap : Muhammad Sulaiman Nur Ubay
Tempat & Tgl. Lahir : Serang, 26 Januari 1986
Jenis Kelamin : Laki - Laki
Instansi Pekerjaan : LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional)
NIP. / NIM. : 19860126 201012 1 001
Pangkat / Gol. Ruang : Penata Muda/ III A
Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti
Agama : Islam
Status Perkawinan : Menikah

DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMAN 1 Serang Tahun: 2004
STRATA 1 (S.1) : ITB Tahun: 2008

ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Jln. Cagak Satelit KM. 04 Rancabungur, Bogor 16310
Telp. : 0251 8621667
Email: sulaiman_itb@yahoo.com

HASIL DISKUSI DALAM PELAKSANAAN SEMINAR

Pertanyaan :

1. Seberapa efektif penggunaan brush untuk satelit ? Jimmi

Jawaban :

1. Sangat efektif karena dapat mengejar setpoint yang diinginkan, sehingga satelit dapat berada pada orbitnya.