

ARM STM32F4 Microcontroller Implementation for Control and Modeling of BLDC Motor Implementasi Mikrokontroler ARM STM32F4 untuk Kontrol dan Pemodelan Motor BLDC

Izza Anshory^{1*}, Arief Wisaksono², Indah Sulistiyowati³

^{1*,2,3} Department of Electrical Engineering, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Abstract. Brushless Direct Current (BLDC) motor as an electric vehicle driving motor, its speed control is directly proportional to the voltage applied to its terminals. Therefore the applied average voltage or the average current flowing through the motor will change depending on the duty cycle of the ON and OFF time of the pulses, so the motor speed will change. The purpose of this research is to apply the ARM STM32F4 microcontroller to control the speed of the BLDC motor and obtain the transfer function equation of the BLDC motor. The method used in this study is an ARM STM32F4 microcontroller generating a duty cycle through Pulse Width Modulation (PWM) control which causes changes in the ON and OFF switches of the three-phase inverter. The variable change data is then modeled mathematically in the form of a transfer function using the System Identification Toolbox (SIT) application in Matlab programming. The results of calculations and tests show that the ARM STM32F4 microcontroller functions well in regulating the rotational speed of the BLDC motor. **Keywords:** Microcontroller ARM STM32F4, BLDC Motor, PWM

Abstrak. Motor Brushless Direct Current (BLDC) sebagai motor penggerak kendaraan listrik, kontrol kecepatannya berbanding lurus dengan tegangan yang diterapkan pada terminalnya. Oleh karena itu tegangan rata-rata yang diberikan atau arus rata-rata yang mengalir melalui motor akan berubah tergantung pada duty cycle waktu ON dan OFF dari pulsa, sehingga kecepatan motor akan berubah. Tujuan penelitian ini adalah menerapkan mikrokontroler ARM STM32F4 untuk kontrol kecepatan motor BLDC dan mendapatkan persamaan fungsi alih motor BLDC. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mikrokontroler ARM STM32F4 membangkitkan duty cycle melalui kontrol Pulse Width Modulation (PWM) yang menyebabkan perubahan saklar ON dan OFF inverter tiga fasa. Data perubahan variabel tersebut kemudian dimodelkan secara matematika dalam bentuk fungsi transfer dengan menggunakan aplikasi System Identification Toolbox (SIT) pada pemrograman Matlab. Hasil perhitungan dan pengujian menunjukkan bahwa mikrokontroler ARM STM32F4 berfungsi dengan baik dalam mengatur kecepatan putaran motor BLDC.

Kata kunci: Mikrokontroler ARM STM32F4, BLDC Motor, PWM

1 Pendahuluan

Selama lebih dari seratus tahun, mobil dan kendaraan transportasi lainnya menggunakan suatu teknologi mesin pembakaran internal dan tergantung pada pasokan bahan bakar minyak bumi. Kepedulian lingkungan yang semakin meningkat serta pertimbangan strategis dan ekonomis telah mendorong pencarian kendaraan transportasi yang lebih efisien, serta ramah lingkungan. Hal ini menyebabkan perkembangan kendaraan listrik semakin hari semakin meningkat[1].

Saat ini, sedang dikembangkan kendaraan transportasi dengan penggerak energi yang mudah didistribusikan dan dari berbagai sumber, seperti tenaga listrik, dan tidak melupakan ketersediaannya yang mudah di perkotaan. Keuntungan lain menggunakan kendaraan motor listrik adalah pengurangan polusi suara. Proliferasi energi terbarukan untuk pembangkit listrik membantu pengembangan transportasi dengan penggerak motor listrik. Karena kemajuan teknologi baterai relatif lambat, dibandingkan dengan bidang elektronika daya, kendala jarak dekat yang terkait dengan kendaraan listrik yang masih tetap ada. Dengan keterbatasan teknologi ini, maka kendaraan listrik menjadi kendaraan alternatif yang layak untuk mobil transportasi saat ini[1],[2].

Motor BLDC sebagai salah satu jenis motor listrik, sangat populer di berbagai aplikasi dibandingkan dengan motor DC. Motor BLDC menggunakan komutator listrik daripada komutator mekanis, sehingga lebih andal daripada motor DC. Pada motor BLDC, magnet rotor menghasilkan fluks magnet rotor, sehingga motor BLDC mencapai efisiensi yang lebih tinggi. Ini menjadi mungkin karena kinerjanya yang unggul dalam hal efisiensi tinggi, respons cepat, bobot, kontrol presisi dan akurat, keandalan tinggi, pengoperasian bebas perawatan, konstruksi tanpa sikat,

dan ukuran yang diperkecil, Torsi yang dikirimkan ke ukuran motor lebih tinggi sehingga berguna dalam aplikasi di mana ruang & berat sangat penting, perlindungan beban berlebih & di bawah termal disediakan[3],[4].

Konverter daya pada sistem penggerak motor BLDC terdiri dari dua bagian, yaitu penyearah dan inverter jembatan penuh 3 fasa. Skema kontrol untuk penggerak motor ini biasanya berupa gelombang PWM yang menggerakkan inverter. Teknik switching yang sesuai diperlukan untuk menghasilkan Pulsa untuk menggerakkan rangkaian perangkat daya. Untuk menghasilkan output yang diinginkan, teknik switching PWM akan digunakan untuk menghasilkan pulsa untuk perangkat daya melalui mikrokontroler. Pulsa harus ditentukan dan disinkronkan dengan tepat untuk setiap switching dan urutan fase dengan maksud untuk menghindari gangguan, delay atau fenomena shoot-through selama proses switching. Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam merancang konverter untuk penggerak motor BLDC untuk memenuhi persyaratan meliputi teknik penyambungan yang sesuai dan pengontrolan sudut penyalan untuk putaran motor BLDC serta besaran dan frekuensi tegangan keluaran yang dapat dikontrol[5],[6].

Ketertarikan penggunaan mikrokontroler ARM STM32F4 dalam penelitian ini sebagai kontroler berawal dari kemampuan mikrokontroler untuk menghasilkan desain sinyal kontrol yang tepat dan fleksibel. Pentingnya desain sinyal kontrol yang tepat dengan switching yang kuat adalah untuk mengurangi harmonisa dan rugi-rugi daya dari tegangan keluaran inverter. Hal ini penting untuk mendesain sinyal kontrol yang tepat dengan switching yang kuat adalah untuk mengurangi harmonisa dan rugi-rugi daya dari tegangan keluaran inverter. Potensi Mikrokontroler untuk menjalankan fungsi matematis dan logika memungkinkannya untuk meniru rangkaian logika dan elektronika. Hasil simulasi dan eksperimen memverifikasi operasi penggerak yang dikembangkan secara efektif[7].

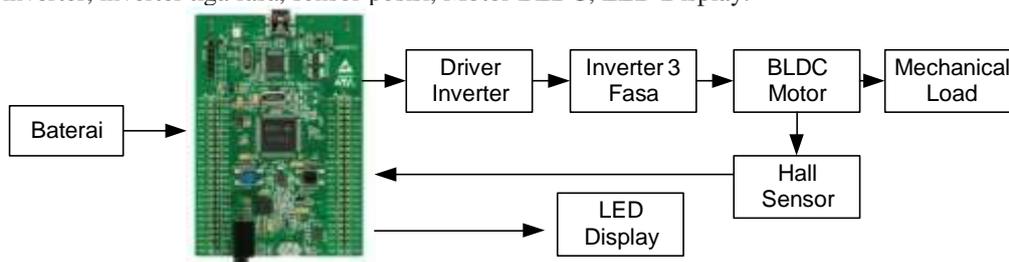
Dalam proses perancangan rangkaian kontrol penggerak motor BLDC, maka diperlukan mendesain model motor BLDC. Banyak peneliti menunjukkan minat untuk pemodelan dan simulasi motor BLDC karena kebaruannya. Pemodelan motor BLDC dilakukan dalam fungsi transfer, persamaan transfer dan model ruang keadaan untuk memverifikasi kinerja sebagai aktuator. Desain proses teknologi modern sangat penting untuk kontrol yang sukses. Desainnya harus dikembangkan sedemikian rupa, sehingga sejumlah besar derajat kebebasan ada untuk tujuan pengendalian. Sistem kendali harus memiliki kemampuan untuk mengoperasikan seluruh teknologi atau unit proses sesuai dengan teknologi yang dibutuhkan. Prosesnya harus baik dan sistem kontrol harus memiliki informasi yang tepat untuk proses, melalui pengukuran yang tepat. Penggunaan komputer dalam kontrol proses memungkinkan untuk memilih struktur teknologi yang optimal berdasarkan indikator yang dirumuskan terlebih dahulu melalui pemodelan matematik motor BLDC[8],[9].

Pemodelan motor BLDC yang diusulkan dilakukan melalui simulink MATLAB. MATLAB adalah alat yang efisien untuk memodelkan suatu sistem kelistrikan dan diperlukan untuk merancang kontrol kecepatan motor BLDC dan untuk mengetahui kinerja yang diinginkan dalam sistem secara keseluruhan.

2. Metode

2.1. Blok Diagram

Diagram blok untuk sistem implementasi mikrokontroler ARM STM32F4 untuk kontrol dan pemodelan motor BLDC ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem tersebut terdiri atas baterai, mikrokontroler ARM STM32F4, driver inverter, inverter tiga fasa, sensor posisi, Motor BLDC, LED Display.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Implementasi mikrokontroler ARM STM32F4 untuk kontrol dan pemodelan motor BLDC.

Motor BDLC mendeteksi posisi rotor menggunakan sensor Hall. Tiga sensor diperlukan untuk informasi posisi, dengan tiga sensor, enam kemungkinan urutan pergantian dapat diperoleh. Untuk setiap 60 derajat rotasi listrik, salah satu sensor Hall mengubah keadaan. Oleh karena itu, dibutuhkan enam langkah untuk menyelesaikan satu siklus listrik. Rotor motor BLDC dapat memiliki sejumlah kutub. Durasi suplai dua fasa dibatasi oleh sudut pergantian dua fasa.

Keuntungan utama dari strategi PWM Kontroler digital dapat digunakan untuk menyediakan pulsa pengapian yang sesuai ke inverter berdasarkan informasi sensor posisi. Mikrokontroler dapat digunakan karena menawarkan fleksibilitas desain yang tidak dapat dilakukan oleh komponen kontrol bawaan.

Kontrol motor BLDC terdiri dari pembangkitan arus DC dengan hanya memvariasikan tegangan pada motor, seseorang dapat mengontrol kecepatan motor. Saat menggunakan output PWM untuk mengontrol enam sakelar jembatan tiga fase, variasi tegangan motor dapat dicapai dengan mudah dengan mengubah siklus kerja sinyal PWM. dalam fase motorik. Kontrol ini dibagi menjadi dua operasi independen: sinkronisasi fluks stator dan rotor dan kontrol nilai arus. Kedua operasi direalisasikan melalui inverter tiga fasa. Sinkronisasi fluks berasal dari informasi posisi yang berasal dari sensor, atau dari teknik tanpa sensor. Dari posisinya, pengontrol menentukan pasangan transistor yang sesuai yang harus digerakkan. Pengaturan arus ke referensi 60 derajat tetap dapat diwujudkan dalam Mode Modulasi Lebar Pulsa (PWM). Tegangan suplai dipotong pada frekuensi tetap dengan siklus kerja tergantung pada kesalahan arus. Oleh karena itu baik arus maupun laju perubahan arus dapat dikontrol.

2.2. Pemodelan dan Kontrol Kecepatan Motor BLDC

Pemodelan matematika motor BLDC dilakukan melalui tahapan pengukuran variabel kecepatan putar motor BLDC dan nilai pulse width modulation (PWM). Hasil pengukuran tersebut kemudian dicari persamaan fungsi transfernya melalui aplikasi pemrograman MATLAB. Hasil persamaan fungsi transfer digunakan untuk mengetahui indikator kinerja dalam bentuk peningkatan response transient. Persamaan keadaan secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (1) \quad y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad (2)$$

Dari persamaan (1) dan (2) dapat dijelaskan bahwa vektor $\dot{x}(t)$ adalah turunan waktu dari vektor $x(t)$. Sedangkan prosedur pada pemrograman MATLAB untuk membuat persamaan fungsi alir (transfer function) sebuah sistem kontrol adalah :

$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{\text{num}}{\text{den}} = \frac{b(1)s^n + b(2)s^{n-1} + \dots + b(n)}{a(1)s^n + a(2)s^{n-1} + \dots + a(n)} \quad (3)$$

Hasil persamaan fungsi transfer tersebut kemudian dianalisis menggunakan pemrograman MATLAB untuk sistem open loop dan sistem close loop.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian untuk Implementasi mikrokontroler ARM STM32F4 untuk kontrol dan pemodelan motor BLDC, yaitu tahap pertama berfungsinya hardware mikrokontroler ARM STM32F4 untuk menghasilkan nilai Pulse Width Modulation (PWM) dan pengaruhnya terhadap kecepatan putar motor. Hasil implementasi tersebut untuk mendapatkan data input PWM dan data output yaitu RPM. Tahap kedua yaitu data input dan output tersebut dimodelkan secara matematika melalui System Identification Toolbox (SIT). Tahap ketiga adalah melakukan optimisasi pada sistem persamaan matematika dalam bentuk persamaan fungsi laplace.

3.1. Pengukuran Variabel Kecepatan Putar Motor BLDC

Setelah diintegrasikan seluruh komponen mikrokontroler, driver inverter, inverter 3 fasa, dan motor BLDC, kemudian dilakukan pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



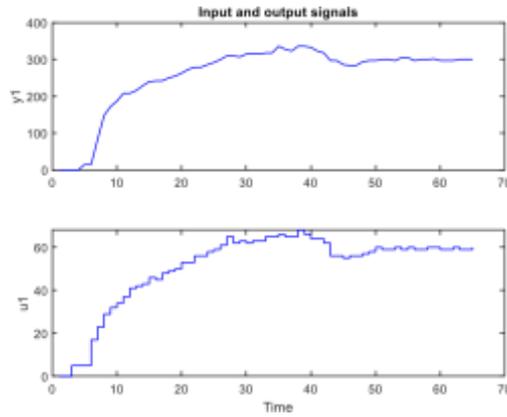
Gambar 2. Integrasi dan Pengujian Sistem Kontrol Motor BLDC

Proses pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh pembangkita pulse width modulation (PWM) terhadap kecepatan putar motor BLDC, dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Table 1. Data Pengukuran Kontrol Kecepatan Motor BLDC

No.	Nilai PWM	Nilai RPM	No.	Nilai PWM	Nilai RPM	No.	Nilai PWM	Nilai RPM
1.	0	0	21.	53	273	41.	64	323
2.	0	0	22.	56	279	42.	62	318
3.	5	0	23.	56	279	43.	56	297
4.	5	0	24.	58	286	44.	56	297
5.	5	15	25.	59	292	45.	55	286
6.	17	15	26.	61	300	46.	56	284
7.	23	83	27.	65	310	47.	56	284
8.	29	148	28.	62	310	48.	57	294
9.	32	172	29.	63	307	49.	58	297
10.	34	187	30.	62	315	50.	60	297
11.	37	208	31.	63	315	51.	59	300
12.	41	208	32.	63	315	52.	59	300
13.	42	216	33.	65	318	53.	60	297
14.	43	229	34.	65	318	54.	59	305
15.	46	240	35.	66	336	55.	60	305
16.	45	242	36.	65	328	56.	59	297
17.	48	242	37.	65	323	57.	59	300
18.	49	250	38.	68	336	58.	60	300
19.	50	255	39.	66	336	59.	60	302
20.	53	263	40.	64	333	60.	59	297

Pada Tabel 1, menunjukkan hasil pengukuran kecepatan putar motor setelah dibangkitkan dengan menggunakan Pulse Width Modulation (PWM). Hasil simulasi data input dan data output ditunjukkan pada Gambar 3.



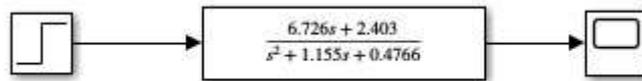
Gambar 3. Grafik data input dan data output kontrol motor BLDC

3.2. Pemodelan Matematika Motor BLDC

Hasil dari pengujian dan simulasi menggunakan program System Identification Toolbox (SIT), didapatkan persamaan matematika dalam bentuk persamaan fungsi laplace seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3).

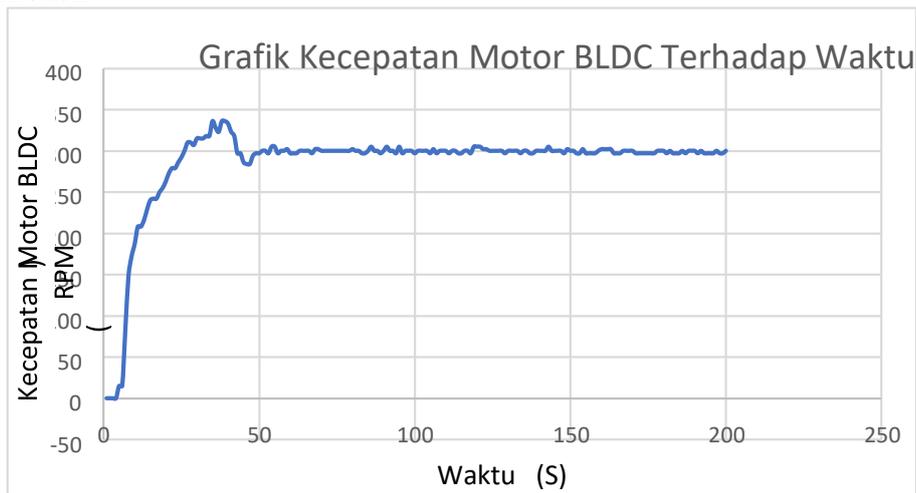
$$G(s) = \frac{6.726s + 2.403}{s^2 + 1.155s + 0.4766} \tag{3}$$

Model matematika motor BLDC didapatkan dari hasil persamaan fungsi alih seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3). Dari persamaan fungsi alih tersebut, kemudian dilihat respon transient grafik pada sistem open loop, dengan membuat model di simulink seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model Simulink Kontrol Kecepatan Motor BLDC Sistem Open Loop

Hasil simulasi sistem kontrol kecepatan motor BLDC ditunjukkan seperti pada Gambar 5. Pada Gambar tersebut menunjukkan terjadi overshoot pada awal starting dan kemudian berikutnya terjadi penyesuaian kestabilan, walaupun belum stabil.



Gambar 5. Grafik Kontrol Kecepatan Motor BLDC pada Sistem Open Loop

4. Kesimpulan

Kegiatan penelitian tentang Implementasi mikrokontroler ARM STM32F4 untuk kontrol dan pemodelan motor BLDC telah didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Penggunaan mikrokontroler ARM STM32F4 untuk membangkitkan duty cycle telah berhasil dengan baik, hal ini ditunjukkan dengan adanya perubahan kecepatan motor BLDC sesuai dengan perubahan yang terjadi pada nilai duty cycle.
2. Nilai data hasil pengukuran untuk kontrol kecepatan motor BLDC telah berhasil untuk disimulasikan dan dianalisis sehingga mendapatkan persamaan fungsi alih sebagai model matematika motor BLDC.
3. Hasil simulasi menunjukkan pada awal starting motor BLDC, terjadi overshoot yang cukup besar, dan kemudian mulai terdapat kestabilan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, khususnya DRPM yang telah memberikan dukungan pembiayaan untuk Penelitian Internal

Referensi

- [1] R. Yanamshetti and J. Nishat Ansari, "Microcontroller Controlled BLDC Drive for Electric Vehicle," *Int. J. Eng. Res. Technoogy*, vol. 26, no. 3, pp. 215–218, 2012.
- [2] K. T. Chau, *Electric Vehicle Machines and Drives: Design, Analysis and Application*, First. Singapore: John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, 2015.
- [3] P. C. K. Luk and C. K. Lee, "Efficient modelling for a brushless DC motor drive," *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, vol. 1, no. October 1994, pp. 188–191, 1994.
- [4] S. A. K. Mozaffari Niapour, G. Shokri Garjan, M. Shafiei, M. R. Feyzi, S. Danyali, and M. Bahrami Kouhshahi, "Review of Permanent-Magnet brushless DC motor basic drives based on analysis and simulation study," *Int. Rev. Electr. Eng.*, vol. 9, no. 5, pp. 930–957, 2014.
- [5] S. Baldha and K. Tarpara, "Design and Implementation of Motor Driver Based on 32Bit Arm Cortex Processor Shrdha Baldha Kuldip Tarpara Engineering," vol. 1, no. 2277, pp. 5–7, 2015.
- [6] M. Ridwan, M. N. Yuniarto, and Soediby, "Electrical equivalent circuit based modeling and analysis of brushless direct current (BLDC) motor," *Proceeding - 2016 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. ISITIA 2016 Recent Trends Intell. Comput. Technol. Sustain. Energy*, pp. 471–478, 2017.
- [7] P. Busono, A. Iswahyudi, M. A. A. Rahman, and A. Fitrianto, "Design of Embedded Microcontroller for Controlling and Monitoring Blood Pump," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 72, pp. 217–224, 2015.
- [8] I. Anshory, D. Hadidjaja, and I. Sulistiyowati, "Measurement, Modeling, and Optimization Speed Control of BLDC Motor Using Fuzzy-PSO Based Algorithm," *J. Electr. Technol. UMY*, vol. 5, no. 1, pp. 17–25, 2021.
- [9] B. Alsayid, W. A. Salah, and Y. Alawneh, "Modelling of sensed speed control of BLDC motor using MATLAB / SIMULINK," vol. 9, no. 5, pp. 3333–3343, 2019.