

Skema Pengendali Motor BLDC Tanpa Sensor Posisi Rotor dengan Metode Deteksi Back EMF Berbasis Mikrokontroler Arduino

Tri Wahono, Tole Sutikno

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan
Kampus 3, Jln. Prof.Dr. Supomo, Janturan, Yogyakarta 55164
e-mail: triwahono060@gmail.com

Abstract

Brushless DC Motor (BLDC) is one of synchronous motors which are increasingly applied in many applications due to effective, free-maintenance and high power to weight ratio. However, the operation of a BLDC motor requires rotor position sensor. This research has developed arduino microcontroller-based BLDC motor control scheme without rotor position sensor by using back EMF method. The backEMF signal in motor terminal is compared to the virtual ground to detect the rotor position. The proposed control scheme was verified in simulation using Proteus software and in experimental hardware on a lab scale. The research shown that the proposed scheme has been successfully developed based on arduino microcontroller and work properly.

Keywords: BLDC motor controller; BLDC sensorless; Back EMF; arduino nano

Abstrak

Motor Brushless DC (BLDC) adalah salah satu jenis motor sinkron yang semakin banyak digunakan di banyak aplikasi karena efisien, bebas perawatan dan rasio daya terhadap bobot yang baik. Namun pada pengoperasiannya motor BLDC memerlukan sensor posisi rotor. Penelitian ini membangun skema pengendali motor BLDC tanpa sensor posisi rotor dengan menggunakan metode back EMF berbasis mikrokontroler arduino. Deteksi posisi dilakukan dengan cara mendeteksi sinyal back EMF yang terdapat pada terminal daya motor, dan dibandingkan dengan virtual ground. Skema pengendali yang diusulkan telah diverifikasi secara simulasi dengan perangkat lunak Proteus dan secara eksperimen perangkat keras pada skala laboratorium, dan bekerja dengan baik.

Kata Kunci: pengendali motor BLDC; BLDC sensorless; back EMF; arduino nano

1. Pendahuluan

Motor *Brushless* DC (BLDC) semakin banyak dipakai pada aplikasi rumah tangga hingga industri karena efisiensinya yang tinggi, bentuknya yang kompak, tidak menimbulkan polusi suara (*silent operation*) dan tidak memerlukan perawatan yang tinggi. Sebagai contoh, pompa minyak pada mobil yang menggunakan motor dc hanya bisa beroperasi maksimum 6.000 jam tetapi jika menggunakan motor BLDC siklus operasinya bisa ditingkatkan hingga 15.000 jam atau hampir tiga kali lipat. Sayangnya pengendalian variasi kecepatan motor BLDC mempunyai kompleksitas yang tinggi dan biayanya yang tinggi, karena pada umumnya menggunakan sensor posisi rotor dengan *hall effect*, *resolver* atau *absolute sensor position* [1].

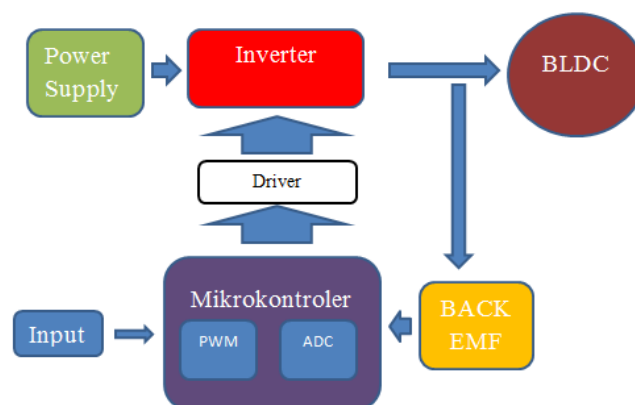
Sistem kendali motor BLDC dengan *sensor* posisi akan meningkatkan biaya dan ukuran motor karena kebutuhan untuk meletakkan sensor di dekat motor. Jika menggunakan sensor *hall effect*, sensor ini sangat peka terhadap temperatur dan mempunyai keterbatasan hanya bisa beroperasi pada suhu dibawah 75 derajat Celcius. Ini juga akan mereduksi reliabilitas karena penempatan komponen dan pengkabelan. Bahkan di beberapa aplikasi tidak mungkin untuk meletakkan sensor posisi pada motor BLDC. Karenanya pengendali motor BLDC tanpa sensor (*sensorless*) menjadi solusi untuk kondisi tersebut [2]. Secara umum ada dua tipe teknik kendali tanpa sensor yang dapat ditemukan pada literatur. Pada tipe pertama menggunakan *back EMF* untuk mendeteksi posisi rotor, dan pada tipe kedua menggunakan metode estimasi

berdasarkan parameter motor, tegangan dan arus. Pada tipe yang kedua karena kompleksitas komputasinya, umumnya memerlukan digital signal processor (DSP) dan memerlukan biaya yang relatif lebih tinggi dari tipe pertama. Karenanya skema kendali tanpa sensor dengan *back EMF* lebih umum digunakan [2]. Motor BLDC adalah motor sinkron, hal ini medan magnet yang dihasilkan stator dan medan magnet yang dihasilkan rotor berputar pada frekuensi yang sama [3][4]. Putaran pada rotor disebabkan oleh medan magnet pada stator yang pada setiap saat hanya aktif dua fasa yaitu dua fasa yang ter *supply* pada saat komutasi sementara yang lainnya kondisi *off*. Pengontrolan motor BLDC secara mudah dikontrol dengan metode *six step* komutasi serta menggunakan sensor posisi sebagai pengontrolnya [4]. Skema yang digunakan untuk mengontrol BLDC tanpa sensor yaitu menggunakan *Convensional Back EMF* dengan membaca keadaan *floating* pada motor yang terdeteksi selama PWM keadaan *off*. Pembacaan *back EMF* tersebut dikomparasi menggunakan op-Amp dengan menghubungkan titik *Virtual Neutral* yang dikomparasi dengan ground [5]

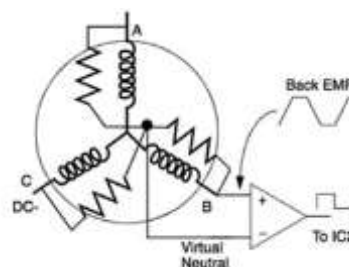
Pada penelitian ini dibangun skema pengendalian motor BLDC tanpa sensor dengan menggunakan *back EMF* sebagai sensor posisi rotor, sehingga informasi posisi rotor tepat tanpa ada gangguan di sekitar motor, lebih sederhana dalam instalasi pengkabelan dan menghemat daya motor. Algoritma pembacaan deteksi sinyal *back EMF* dan teknik komutasinya dikerjakan dengan menggunakan mikrokontroler arduino nano.

2. Metode Penelitian

Konfigurasi dari kontrol kecepatan motor BLDC tanpa sensor menggunakan metode *six-step commutation*, menggunakan sensor *back EMF* sebagai deteksi posisi rotor, sehingga BLDC tanpa sensor dapat dikendalikan.



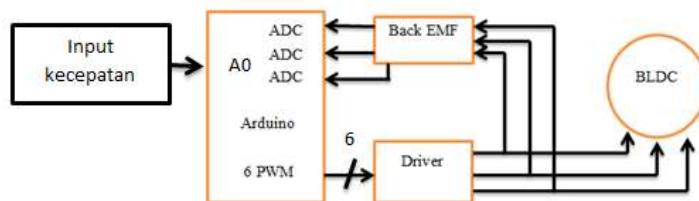
Gambar 1. Diagram sistem kontrol BLDC tanpa sensor



Gambar 2. Rangkaian komparator sederhana dengan menerapkan titik *virtual neutral* [2].

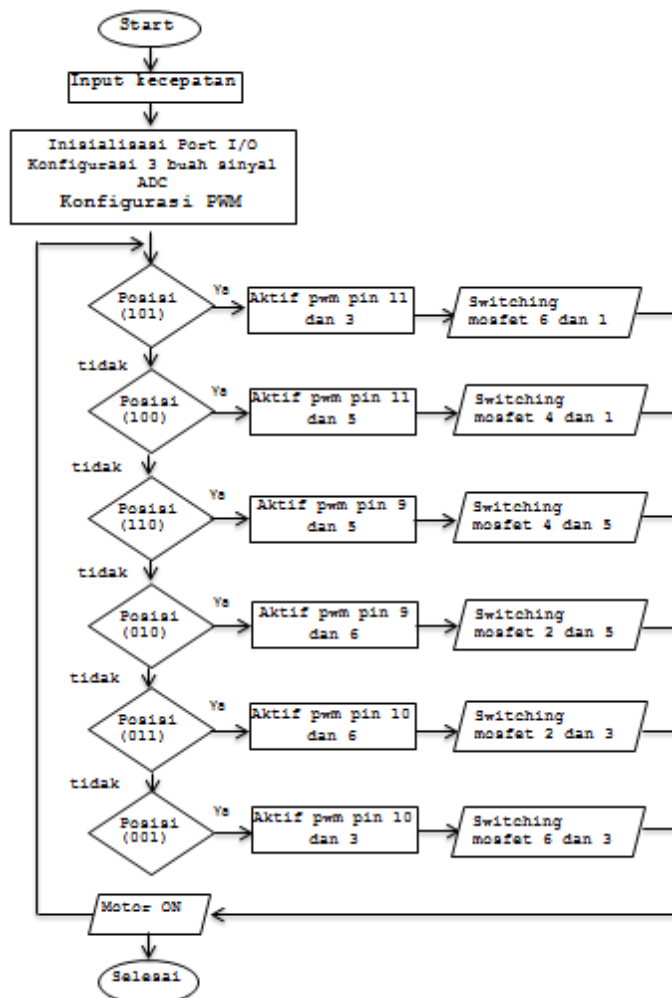
Untuk pengendalian motor BLDC tanpa sensor dengan menentukan titik *virtual* menggunakan tiga jaringan resistor yang dihubungkan secara paralel dengan gulungan motor,

pembacaan *back EMF* kemudian dibandingkan dengan titik *virtual neutral* dengan menggunakan rangkaian komparator.



Gambar 3. Diagram blok *Back EMF*

Cara kerja sistem ini dengan mengatur nilai PWM, nilai PWM tersebut akan di baca oleh ADC kemudian di proses oleh arduino. Untuk menentukan urutan pensaklaran pada mosfet, sensor *back EMF* harus terdeteksi terlebih dahulu, setelah sensor *back EMF* mempunyai informasi posisi rotor, selanjutnya akan mensaklar ke enam mosfet secara bergantian yang akan menghasilkan tegangan AC, sehingga dapat menjalankan motor BLDC tanpa sensor, adapun diagram alir kendali motor BLDC disajikan pada Gambar 4.



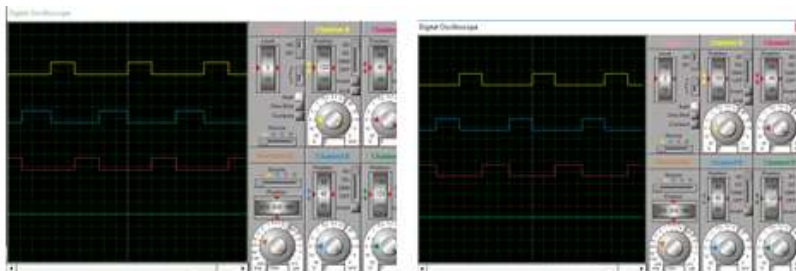
Gambar 4. Diagram alir kendali motor BLDC tanpa sensor

3. Hasil Dan Pembahasan

Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan dua tahap yaitu tahap simulasi dan tahap eksperimen.

3.1 Tahap Simulasi Dengan Proteus.

Pengujian simulasi dengan proteus dilakukan dengan merangkai komponen yang digunakan untuk inverter maupun rangkaian *back EMF*. Pada simulasi ini menggunakan *library* arduino uno sebagai mikrokontroler. Pengujian dengan menggunakan simulasi ini dimaksudkan untuk mengecek apakah rangkaian dan program sudah berjalan dengan baik atau belum, hasil simulasi pada proteus di sajikan pada Gambar 5 .



Gambar 5. Tampilan PWM pada pin arduino 3, 5, 6, 9, 10, 11

3.2 Pengujian Pembangkit PWM

Pembangkit PWM pada penelitian ini dengan membaca nilai ADC dari potensiometer, ADC dari potensiometer tersebut di baca oleh mikrokontroler arduino nano yang berupa nilai 10 bit, kemudian untuk mendapatkan nilai PWM maka dalam pemrogramannya harus mengubah dari 10 bit ke 8 bit dengan nilai 0-1024 ke nilai 0-255, Gambar 6 merupakan pembangkit PWM untuk pembacaan nilai ADC. Di dalam arduino nano terdapat 6 pin PWM diantaranya yaitu pin 3,5,6,9,10,11, ke enam pin tersebut dapat diatur *output*nya dengan merubah nilai PWM.



Gambar 6. Rangkaian pembangkit PWM

Output dari ke enam pin PWM tersebut berupa nilai tegangan yang dapat diatur antara 0 sampai 255, adapun nilai tegangan keluaranya dapat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kondisi nilai PWM terhadap tegangan

No.	Nilai PWM	Volt
1	0	0
2	50	0,34
3	100	0,68
4	150	1,02
5	200	1,37
6	255	1,72

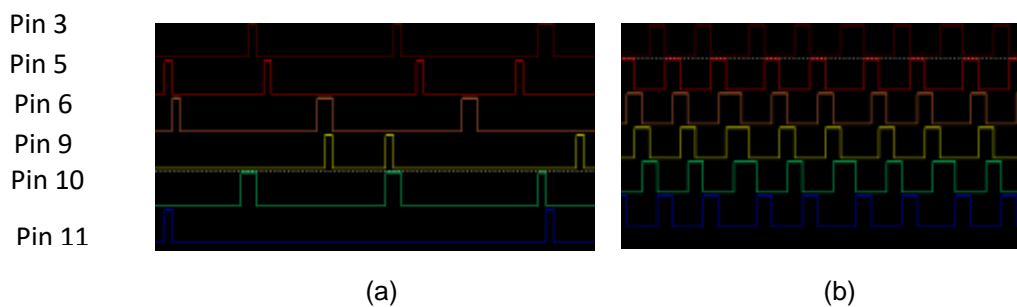
Pada Tabel 1 bahwa semakin besar nilai PWM maka semakin besar pula tegangan yang dikeluarkan, sehingga keluarannya tersebut dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Untuk mengetahui perbandingan antar PWM dengan tegangan disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan PWM dengan tegangan *output* dari arduino

3.3 Pengujian dengan Nilai PWM 50 dan PWM 255

Pengujian dengan memasukkan nilai PWM 50 dan nilai PWM 255 disajikan pada Gambar 8.

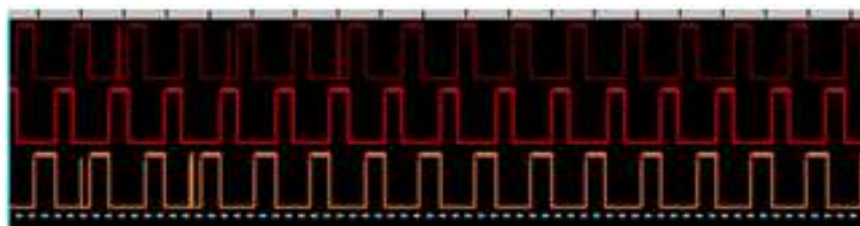


Gambar 8. Sinyal keluaran dari masing-masing pin PWM (a) Tampilan Nilai PWM 50 dan (b) Nilai PWM 255

Duty cycle yang dihasilkan oleh PWM 50 masih kecil sehingga belum mampu untuk mengaktifkan mosfet, sedangkan untuk PWM 255 terlihat bahwa setiap pin *output* sudah menunjukkan beda fasa dan *duty cycle* lebih lebar dari pada PWM 50 sehingga untuk PWM 255 sudah mampu untuk mengaktifkan mosfet.

3.4 Pengujian Pembacaan Nilai Back EMF

Pengendalian motor BLDC dengan metode *back EMF* menggunakan titik *virtual neutral* dengan menggunakan resistor yang dirangkai secara paralel. Untuk mendapatkan nilai tertentu yaitu dengan menggunakan rangkaian komparator yang membandingkan nilai tegangan yang masuk dengan *virtual ground*. Sehingga keluaran dari op-amp tersebut mempunyai kondisi *high* dan *low*, adapun sinyal pembacaan *back EMF* disajikan pada Gambar 9.

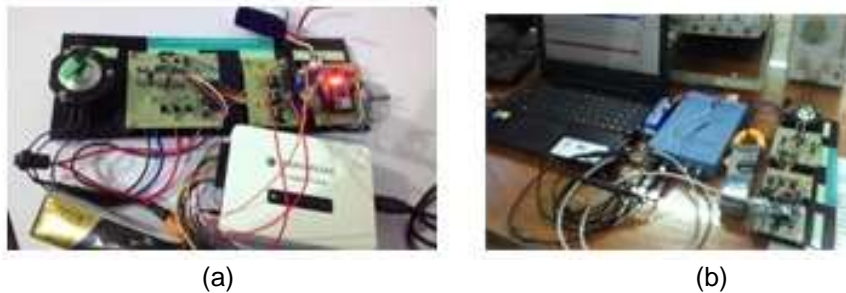


Gambar 9. Kondisi pembacaan *back EMF*

Pada penelitian ini perancangan inverter dengan menggunakan kendali *back EMF* yaitu ketika gelombang puncak dibaca nilai biner 1 sedangkan ketika tidak ada gelombang dibaca 0, hasil dari pembacaan *back EMF* tersebut sudah terbaca dan menghasilkan ketiga sinyal tersebut berbeda fasa.

3.5 Pengujian Sistem Secara Terpadu

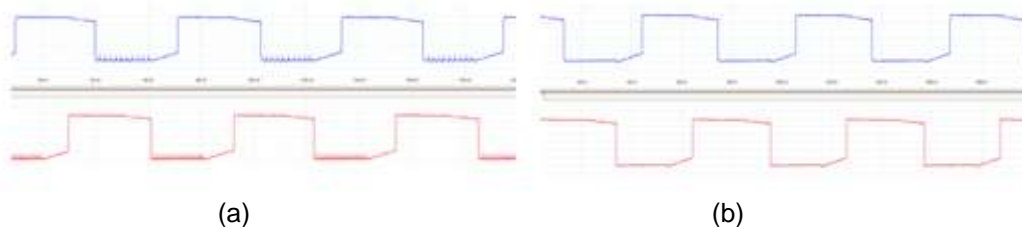
Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu semua subsistem dipadukan menjadi satu. Arduino nano, rangkaian *back EMF*, rangkaian inverter, motor BLDC dan catu daya. Rangkaian sistem terpadu disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengujian secara terpadu (a) Pengujian dengan menggunakan ZeroPlus (b) pengujian dengan menggunakan Picoscope

3.5.1 Pengujian Tanpa Beban dengan PWM 100 dan PWM 255 Fase U dan V

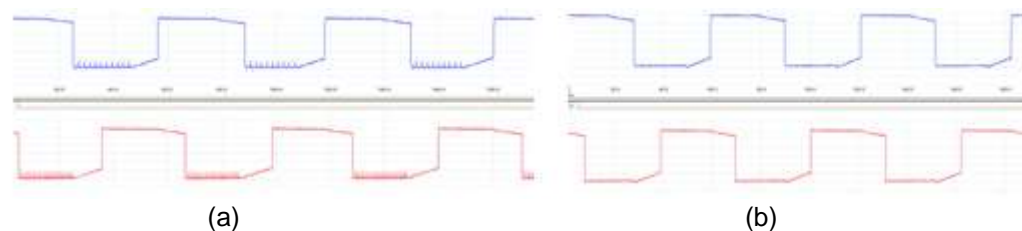
Pengujian dilakukan dengan mengatur nilai PWM 100 dan PWM 255 dengan menggunakan potensiometer, adapun *output* dari pengujian tersebut disajikan pada Gambar 11. Perbedaan dari masukan PWM 100 dengan 255 yaitu pada *riplenya*, *riple* pada PWM 100 terlihat lebih banyak dengan *riple* pada PWM 255.



Gambar 11. Sinyal *output* inverter tanpa beban pada terminal daya (a) Fase U dan V dengan PWM 100, (b) Fase U dan V dengan PWM 255

3.5.2 Pengujian Tanpa Beban dengan PWM 100 dan PWM 255 fase U dan W

Pengujian dilakukan dengan mengatur nilai PWM 100 dan PWM 255 dengan menggunakan potensiometer, adapun *output* dari pengujian tersebut disajikan pada Gambar 12.

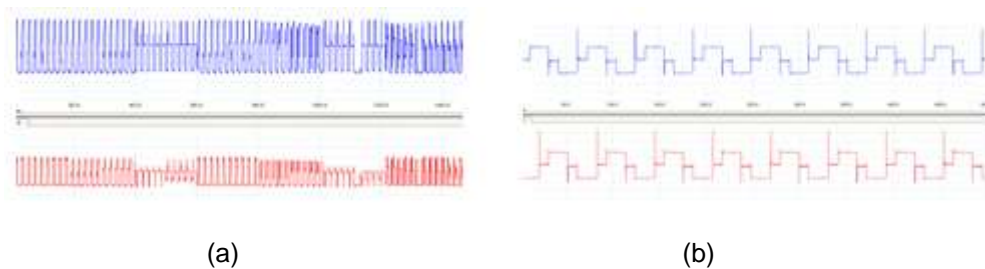


Gambar 12. Sinyal *output* inverter tanpa beban pada terminal daya (a) Fase U dan W dengan PWM 100, (b) Fase U dan W dengan PWM 255

Perbedaan dari masukan PWM 100 dengan 255 yaitu pada *ripple* nya, *ripple* pada PWM 100 terlihat lebih banyak dari pada PWM 255.

3.5.3 Pengujian dengan Beban Motor untuk PWM 100 dan 255 pada Phasa U dan V

Pengujian dilakukan dengan mengatur nilai PWM 100 dan PWM 255 dengan menggunakan potensiometer, adapun *output* dari pengujian tersebut disajikan pada Gambar 13.

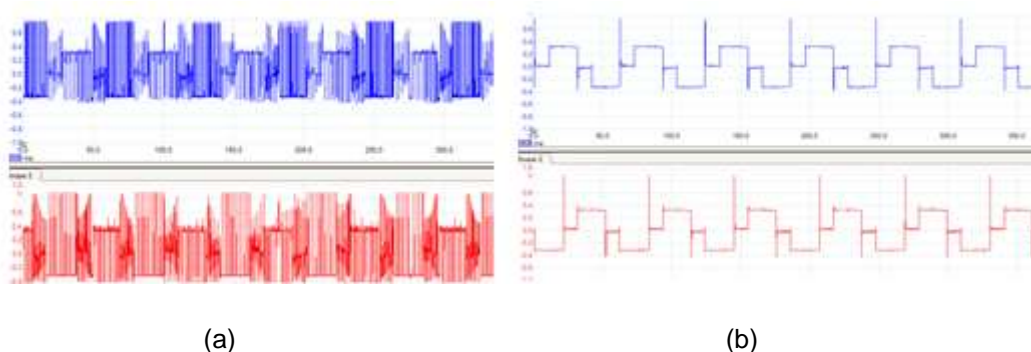


Gambar 13. Sinyal *output* inverter dengan beban yang dikeluarkan pada terminal daya, (a) Output sinyal inverter dengan PWM 100 (b) Output sinyal inverter dengan PWM 255

Berdasarkan hasil sinyal *output* dari inverter tersebut dengan pengaturan kecepatan menggunakan potensiometer bahwa dengan mengatur PWM 100 gelombang yang dihasilkan banyak *ripple* sehingga motor BLDC belum berputar tetapi motor bergetar, sehingga RPM motor yang dihasilkan adalah 0 RPM. Pada pengaturan PWM 255 untuk implementasi motor BLDC tersebut hasil dari sinyal gelombang yang dihasilkan inverter sudah membentuk seperti gelombang sinus dan *ripple* yang dihasilkan sudah hilang, sehingga motor dapat berputar dengan kecepatan 157 RPM.

3.5.4 Pengujian dengan Beban Motor untuk PWM 200 dan 255 pada Phasa U dan W

Pengujian dilakukan dengan mengatur nilai PWM 150 dan 255 dengan menggunakan potensiometer, adapun *output* dari pengujian tersebut disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Sinyal inverter dengan beban yang dikeluarkan pada terminal daya, (a) Output sinyal inverter dengan PWM 150 (b) Output sinyal inverter dengan PWM 255

Berdasarkan hasil sinyal *output* dari inverter tersebut dengan pengaturan kecepatan menggunakan potensiometer bahwa dengan mengatur PWM 150 gelombang yang dihasilkan masih adanya *ripple* sehingga motor BLDC sudah mampu berputar dengan kecepatan rendah, sehingga RPM motor yang dihasilkan adalah 32 RPM. Pada pengaturan PWM 255 untuk implementasi motor BLDC tersebut hasil dari sinyal gelombang yang dihasilkan inverter sudah membentuk seperti gelombang sinus dan *ripple* yang dihasilkan sudah hilang, sehingga motor dapat berputar dengan kecepatan 157 RPM.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibangun sistem deteksi posisi rotor tanpa sensor untuk motor BLDC dengan menggunakan metode *back EMF*.
2. Algoritma pembacaan deteksinya dan urutan komutasi telah berhasil ditanam pada mikrokontroler arduino nano, dan dapat difungsikan untuk menyediakan urutan komutasi yang sesuai untuk mengatur pensaklaran transistor daya pada inverter tiga fasa untuk mengendalikan pengaturan kecepatan motor BLDC.
3. Motor BLDC tanpa sensor dapat berputar dengan range PWM antara 150-255 dan mampu berputar antara 32-157 RPM.

Referensi

- [1] R. Saranya, S. Saravana, R. Baskaran, A. V. Roc, K. Sathiyasekar, and S. A. E. College, "Sensorless Operation of Brushless DC Motor Drive using Back EMF Technique," vol. 5013, no. 3, pp. 255–257, 2014.
- [2] J. Shao, "Direct Back EMF Detection Method for Sensorless Brushless DC (BLDC) Motor Drives," *Journal*, vol. 00, no. c, pp. 33–38, 2003.
- [3] I. S. Darmawan, "pengembangan inverter 12 VDC ke 220VAC 50HZ Dengan Penguat Akhir H-Bridge Mosfet," Universitas Indonesia, 2012.
- [4] M. Dewangga, "Desain Sistem Kontrol kecepatan Motor BLDC Berbasis Programmable Array Logic Dengan Metode Six Step Commutation," Universitas Jember, 2015.
- [5] J. C. Gamazo-Real, E. Vázquez-Sánchez, and J. Gómez-Gil, "Position and speed control of brushless dc motors using sensorless techniques and application trends," *Sensors*, vol. 10, no. 7, pp. 6901–6947, 2010.