

ESC Fullbridge 3 Fasa Motor BLDC Berdaya Besar Menggunakan Kontroler Arduino

Budi Pramono Jati¹ dan Jenny Putri Hapsari²

^{1,2}Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Kaligawe Km 4 Semarang, Semarang 50112
e-mail: budipramono@unissula.ac.id

Abstrak—Dalam teknologi elektronika daya banyak peralatan menggunakan motor brushless DC (BLDC) yang memerlukan *Electronic Speed Control* (ESC), alat ini digunakan untuk mengatur daya pada motor BLDC. Saat ini team mobil listrik untuk lomba belum memiliki ESC motor BLDC buatan sendiri. Penelitian ini bertujuan untuk membuat ESC motor bldc berdaya besar untuk mengatur kecepatan motor bldc mobil listrik dengan komponen elektronika yang ada dan mudah didapatkan dipasaran, umumnya ESC motor BLDC yang ada dipasaran adalah ESC berdaya kecil yang menggunakan kontroler IC 555. Metode pengaturan tegangan-arus ESC menggunakan teknik sinyal PWM, menggunakan teknik switching full bridge 3 fasa menggunakan 6 buah (3 pasang) mosfet berdaya besar, pulsa tegangan PWM dikontrol dengan mikrokontroler arduino nano dengan driver mosfet supaya arus gate mosfet dapat terpenuhi, kemudian keluaran ESC dihubungkan ke motor BLDC. ESC yang dibuat mempunyai spesifikasi fullbridge 3 fasa, tegangan input maksimum mosfet 200V, arus maksimum mosfet paralel 520A, duty cycle bervariasi 10 -100% diatur melalui potensio, pada saat berhenti output PWM dapat dimatikan melalui sebuah saklar. Hasil pengetesan hardware dengan bantuan software pengetesan ESC dapat berfungsi dengan baik, motor BLDC dapat berputar hingga 51.6 Krpm, ditemukan bahwa kualitas driver mosfet sangat berpengaruh pada proses switching.

Kata kunci: ESC, arduino nano, PWM, mosfet full H bridge 3 fasa, motor bldc

Abstract—In power electronics technology, many equipment use BLDC motors that require *Electronic Speed Control* (ESC), this tool is used to regulate the power of the BLDC motor. Currently, the electric car team for the race does not yet have a homemade BLDC motor ESC. This study aims to make a large power BLDC motor ESC to regulate the speed of an electric car BLDC motor with electronic components that are available and easily available on the market, generally the BLDC motor ESC on the market is a small power ESC that uses a 555 controller IC. ESC voltage-current regulation method using the PWM signal technique, using a 3-phase full bridge switching technique using 6 (3 pairs) large power mosfet, the PWM voltage pulse is controlled by an arduino nano microcontroller with a mosfet driver so that the mosfet gate current can be fulfilled, then the ESC output is connected to the bldc motor. The ESC that is made has a 3-phase fullbridge specification, the maximum input voltage of the mosfet is 200V, the maximum current of the parallel mosfet is 520A, the duty cycle varies from 10 -100% is regulated through a potention, when it stops the PWM output can be turned off via a switch. The results of hardware testing with the help of ESC testing software can work well, bldc motor can rotate up to 51.6 Krpm, it was found that the quality of the mosfet driver is very influential on the switching process.

Keywords: ESC, arduino nano, PWM, mosfet full H bridge 3 fasa, motor bldc

I. PENDAHULUAN

Teknologi elektronika daya berkembang dengan cepat dan pesat dari generasi transistor analog sampai generasi digital mosfet switching, yang tidak lepas dari perkembangan teknologi komponen elektronika *switching* daya besar seperti mosfet dan IGBT. Alat elektronika daya *switching* ini digunakan dalam pengaturan tegangan dan daya, biasanya digunakan untuk mengatur kecepatan motor BLDC.

Motor brushless DC (BLDC) banyak digunakan di kendaraan listrik sebagai penggerak. BLDC banyak digunakan karena memiliki kelebihan antara lain torka yang

tinggi dan kemudahan dalam mengatur kecepatan. Cara mengatur kecepatan motor BLDC dilakukan dengan kendali *Pulse Width Modulation* (PWM) [1][2][3]. Pengendalian *duty cycle* dapat dikontrol dengan Arduino [4][5][6][7][8]. Pengendalian *duty cycle* akan mempengaruhi tegangan yang ada di motor BLDC, sehingga jika tegangan meningkat maka arus akan meningkat serta akan membuat nilai torka meningkat. Pengendalian kecepatan motor juga dapat dilakukan dengan menggunakan Fuzzy Logic [9][10].

Metode six-step merupakan metode umum yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor BLDC pada proses pensaklaran. Riak torsi yang cukup besar pada

kecepatan rendah merupakan kekurangan metode six-step tersebut. Penelitian sebelumnya pengaturan kecepatan motor BLDC dengan cara mengatur fluks pada kumparan motor BLDC. Kendali Proportional Integral (PI) digunakan, sehingga nilai fluks yang dihasilkan akan sama dengan nilai setpoint yang sudah ditentukan. Sinyal input pada six-step inverter didapat dari nilai fluks yang sudah dikonversikan menjadi nilai PWM.[11]

Penggunaan motor tidak lepas dari kemajuan teknologi. Motor BLDC merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan karena kelebihan yang dimilikinya. Motor BLDC mempunyai efisiensi tinggi dan waktu operasi lama, hal ini disebabkan karena motor BLDC menggunakan komutasi elektrik. Desain pengaturan kecepatan motor BLDC dengan Programmable Array Logic sudah ada dengan menggunakan metode six step commutation. Desain tersebut menghasilkan sinyal tegangan tiga fasa yang berbentuk trapezoid untuk memutar motor dan dihasilkan kecepatan maksimum sebesar 116,8 rpm. Nilai arus akan meningkat dan tegangan akan menurun saat dilakukan pengujian dengan beban kecil. [12]

Sistem robot bio-mimetik, di antara banyak sistem rekayasa lainnya, membutuhkan motor yang memiliki torsi tinggi, sedikit atau tanpa riak torsi, ukuran kompak, dan kontrol posisi yang presisi. Seringkali sulit untuk memasukkan motor dengan desain yang sesuai dengan semua persyaratan ini. Beberapa perusahaan baru-baru ini merilis motor DC brushless pancake kompak yang memiliki karakteristik yang sangat baik. Namun, kontrol presisi bebas riak dari motor brushless memerlukan pengukuran posisi presisi. Mungkin sulit untuk memasang enkoder langsung ke poros motor ini, dan untuk kontrol posisi presisi, konfigurasi tanpa sensor mungkin tidak sesuai. Sensor efek Hall analog digunakan sebagai metode baru untuk mengukur medan magnet magnet rotor untuk membuat pengukuran posisi absolut dari siklus listrik, yang dapat digunakan secara efisien untuk membuat skema kontrol motor sederhana secara komputasi. Sensor efek Hall ini dipasang langsung ke motor dan sangat kompak, memiliki bandwidth tinggi, berbiaya sangat rendah, dan memiliki presisi tinggi, memberikan pengukuran posisi dengan peningkatan ukuran motor yang tidak signifikan.[13]

Dalam teknik ESC BLDC tegangan input diatur dikeluarkan dibentuk ke dalam lebar pulsa tegangan dengan cara sinyal PWM pada fasa a, fasa b, fasa c dengan mosfet full bridge switching 3 fasa, PWM akan mengatur *duty cycle* sehingga besarnya tegangan output dapat diatur dengan cara mengatur lebar sempitnya gelombang kotak switching, besar kecilnya frekuensi.

Berdasarkan kegunaan dan kebutuhan akan alat pengatur kecepatan motor BLDC khususnya yang berdaya besar misalnya untuk mesin penggerak mobil listrik dan untuk kebutuhan dalam elektronika daya dalam industri maka pembuatan ESC motor BLDC berdaya besar sangat cocok untuk dijadikan bahan analisa dan penelitian.

Penelitian ini akan mendesain dan membuat ESC motor BLDC berdaya besar dengan kemampuan mosfet maksimum 200V 520A. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi motor BLDC. Tujuan penelitian ini adalah membuat ESC motor BLDC berdaya besar untuk mengatur kecepatan motor dengan switching full H bridge

mosfet berdaya besar yang dikontrol dengan mikrokontroler arduino nano dengan komponen elektronika yang ada dan mudah didapatkan dipasaran, mengingat selama ini ESC yang ada dipasaran menggunakan kontroler IC 555 dan berdaya kecil. Penelitian ini menggunakan komponen elektronika yang mudah didapatkan dan ada dijual secara umum, menghitung mendesain dan membuat perangkat keras dan perangkat lunak mikrokontroler dengan arduino nano, perangkat keras system mikrokontroler arduino nano, perangkat keras driver mosfet dan *totem pole*, perangkat keras *full H hybrid* 3 fasa dengan mosfet berdaya besar, merangkai kedalam kemasan boks.

II. STUDI PUSTAKA

Tinjauan pustaka dari publikasi yang telah terbit sebelumnya berjudul “Pengendalian motor BLDC menggunakan Jaringan Saraf Tiruan”. Pada penelitian ini adalah motor BLDC yang menggunakan magnet permanen Samarium Cobalt (Sm-Co) dan Nd-Fe-B yang ekonomis. Dasar dari motor ini adalah motor sinkron tiga fase yang memiliki komutator elektronik yang terhubung sinkron dengan posisi rotor. Keunggulan motor BLDC ini adalah kepadatan energi tinggi, ekonomis, ukuran menengah, dinamis, rugi-rugi kecil, rasio torsi yang baik, sehingga motor ini paling cocok digunakan pada dunia industri. [14]

Penelitian yang telah dilakukan tahun 2017, dengan judul “Speed Control of A Brushless DC Motor Using Neural Network Based MRAC”. Penelitian ini menyajikan rancang bangun dan analisis performansi model berbasis Jaringan Syaraf Tiruan referensi pengontrol adaptif untuk kontrol kecepatan motor DC Brushless. Model referensi sistem adaptif adalah pengontrol yang kompeten, yang mengemulasi perilaku model referensi secara efisien. Penelitian ini mengusulkan dan mengimplementasikan MRAC dengan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) untuk memecahkan masalah non-linier dan variasi parameter yang disebabkan oleh ekskursi beban dan suhu lingkungan yang bervariasi. Kinerja kontroler berbasis MRAC untuk sistem penggerak motor BLDC dibandingkan dengan kontroler PID menggunakan MATLAB/ SIMULINK.[15]

Penelitian yang berjudul “Pengaturan Kecepatan Pada Motor *Brushless* DC (BLDC) Menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*)”. Prinsip kerja motor BLDC menggunakan prinsip kerja gaya magnet antar kutub-kutub magnet. Motor BLDC terdiri dari rotor dan stator. Rotor terbuat dari magnet permanet sehingga kutubnya tetap. *Stator* terbuat dari kumparan, sehingga kutub akan berubah tergantung polaritas arus kumparan stator. [1]

Penelitian yang berjudul “Desain Kontrol Kecepatan Motor *Brushless* DC Berbasis *Power Factor Correction* (PFC) Menggunakan *Single Ended Primary Inductance Converter* (SEPIC)”. Fungsi dari inverter adalah mengubah sinyal listrik searah menjadi sinyal listrik bolak-balik. VSI topologi menggunakan inverter sebagai pengatur bentuk tegangan output, sedangkan CSI topologi mengatur bentuk sinyal arus. Pada umumnya, semua sistem jaringan menggunakan sinyal listrik bolak-balik, sehingga dibutuhkan inverter untuk mengubah sinyal listrik searah ke sinyal listrik bolak-balik.[16]

Penelitian yang berjudul “Pengendalian motor BLDC menggunakan Jaringan Saraf Tiruan”. Motor BLDC

menggunakan inverter tiga fase untuk mendapatkan daya listrik, dimana fase A terhubung dengan DC +, fase B terhubung dengan DC -, dan fase C tidak terhubung pada interval pertama. Pada interval pertama ini, ada dua saklar yang aktif yaitu A_H dan B_L. Saklar A-H dan C_L akan aktif pada interval kedua. Pada interval ketiga, saklar B_H dan C_L yang aktif, dan begitu seterusnya sampai interval keenam. Dasar untuk pengontrolan vektor menggunakan konsep pensaklaran tersebut, elemen sistem pengendalian didapatkan dengan menambahkan modulator PWM sebagai pengontrol arus dan kecepatan. [14]

Artikel ilmiah berjudul “Desain dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor BLDC Melalui Pengaturan *Fluks*”. Penelitian ini menggunakan PWM untuk mengatur *six-step inverter* 3 fase. Hasilnya berupa sinyal kotak dengan komutasi 120°. Arti dari komutasi 120° adalah saklar akan on selama 120° dan off selama 240°. [11]

Aplikasi report yang berjudul “*Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits*”. Salah satu sirkuit penggerak yang paling populer dan hemat biaya untuk menggerakkan MOSFET adalah bipolar, non-pembalikan driver totem pole. Seperti semua driver eksternal, sirkuit ini menangani lonjakan arus dan kehilangan daya yang membuat kondisi operasi untuk pengontrol PWM lebih menguntungkan. Dengan cara transien arus tinggi dari penggerak gerbang dilokalisasi di area loop yang sangat kecil, mengurangi nilai induktansi parasit. Meskipun driver dibangun dari komponen diskrit, membutuhkan kapasitor *bypass* sendiri yang ditempatkan di kolektor transistor npn atas dan transistor pnp bawah. Idealnya ada resistor atau induktor *smoothing* antara kapasitor *bypass driver* dan kapasitor *bypass* dari pengontrol PWM untuk meningkatkan kekebalan kebisingan. [17]

Data Sheet yang berjudul “IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF”. IR2110 adalah driver MOSFET dan IGBT yang memiliki tegangan tinggi dan daya kecepatan tinggi dengan output referensi sisi tinggi dan rendah yang bersifat independen. Teknologi HVIC dan *latch* imun CMOS yang dipatenkan memungkinkan konstruksi monolitik yang kokoh. Input logika kompatibel dengan output CMOS atau LSTTL sekitar hingga logika 3.3V. Driver output menampilkan tahap buffer arus pulsa tinggi yang dirancang untuk konduksi silang driver minimum. Penundaan propagasi disesuaikan untuk menyederhanakan penggunaan dalam aplikasi frekuensi tinggi. IC ini berguna untuk menggerakkan MOSFET tipe-N atau IGBT hingga 500 sampai 600 volt dalam konfigurasi sisi tinggi. [18]

Penelitian yang dilaksanakan tahun 2018 dengan judul “Perancangan Dan Implementasi Driver Motor 3 Fasa Untuk Pengendalian Kecepatan Motor BLDC Berbasis PWM Pada Mobil Listrik”. Peralatan daya yang digunakan adalah rangkaian inverter tiga fase, dimana daya akan dikonversi dari DC ke AC. Metode *six step* digunakan untuk mengkonversi tegangan dengan cara rangkaian inverter mendapatkan input dari port output arduino uno, dimana input berupa pulsa kondisi *high* dan *low*. Gelombang trapezoid menggunakan 3 buah algoritma *six step* dengan interval sudut 60der. Saklar MOSFET Q1 dan Q4 akan secara bergantian aktif, begitu juga untuk saklar Q3 dan Q5 serta Q2 dan Q6. [19]

Publikasi yang berjudul “*Position Estimation and Control of Compact BLDC Motors Based on Analog Linear Hall Effect Sensors*”. Metode paling sederhana untuk menggerakkan motor BLDC adalah pergantian 'trapesium' atau 'blok', secara umum terdiri dari beberapa langkah, dimulai dengan mengukur rotor posisi melalui (resolusi tinggi atau rendah) sensor *Hall*, *optic* atau *encoder* magnetik, atau *back-EMF* (bEMF) yang dihasilkan oleh setiap kumparan. Ketika sensor *Hall* resolusi rendah digunakan di aplikasi umum, kode yang bergantung pada posisi rotor hadir dalam data sensor *Hall* (biasanya sensor *Hall* output disaring menjadi sinyal biner - di sini disebut seperti sirkuit sensor *Hall* digital atau DHS).[13]

Aplikasi report yang berjudul “*Key MOSFET parameters for Motor Control applications*”. Skema kontrol motor BLDC terdiri dari mikrokontroler, driver gerbang dan MOSFET. Mikrokontroler menangani antarmuka dengan ECU lain biasanya melalui bus CAN/LIN serta menyediakan sinyal switching ke sirkuit pra-driver yang pada gilirannya akan memberikan output arus tinggi untuk menggerakkan MOSFET. Dua hal penting dalam desain motor BLDC yang efisien adalah: 1) mendeteksi posisi rotor secara akurat dan 2) memberi energi pada kumparan stator dalam urutan yang benar pada waktu yang tepat. Posisi rotor terus dipantau dengan bantuan sensor efek *Hall* (atau dalam kasus topologi tanpa sensor, melalui penggunaan algoritma kontrol) dan kumparan *stator* diberi energi dengan menghidupkan dan mematikan MOSFET dalam *switching full bridge*. MOSFET saluran-N memiliki kira-kira setengah resistansi-on, RDS(on), dibandingkan dengan perangkat MOSFET saluran-P. Pemilihan MOSFET yang tepat untuk desain kontrol motor BLDC yang diberikan akan menentukan efisiensi rangkaian penggerak dan keandalan jangka panjang dari BLDC. [20]

III. METODE

Tahapan penelitian tentang pembuatan alat ESC motor BLDC berdaya besar untuk mengatur kecepatan motor dengan *switching full H bridge* 3 fasa mosfet berdaya besar yang dikontrol dengan Arduino nano terlihat pada Gambar 1.

A. Menentukan Tegangan Kerja

Sebelum membuat ESC motor DC berdaya besar untuk mengatur kecepatan motor bldc dengan *switching full H bridge* mosfet 3 fasa berdaya besar yang dikontrol dengan mikrokontroler arduino nano kita harus menentukan tegangan DC kerja maksimum sesuai dengan spesifikasi mosfet sampai dengan 200 Vdc dan kemampuan arusnya adalah maksimum 520A, hal ini disesuaikan dengan spesifikasi mosfet yang digunakan yaitu maksimum 200V 520A (4 x 130A). Tegangan kerja ESC yang dibuat dapat digunakan untuk motor DC 12V hingga 48VDC maksimumnya adalah 175VDC.

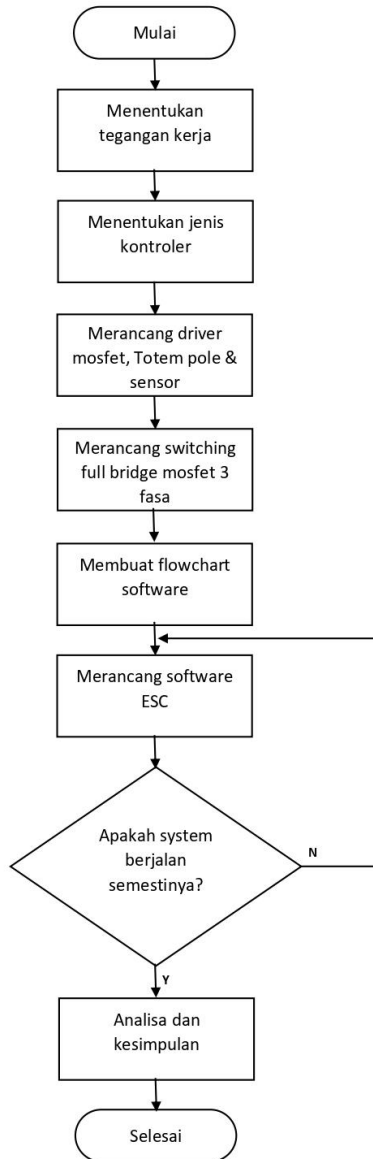
B. Menentukan Jenis Kontroler

Pemilihan kontroler yang perlu diperhatikan adalah jumlah pin yang digunakan untuk mengontrol dan sensor

yang ada. Arduino nano merupakan kontroler yang tepat secara pin, sensor, fisik.

C. Merancang driver Mosfet, Totem pole dan Sensor

Penelitian ini menggunakan *switching full H bridge* mosfet 3 fasa (H1, L1, H2, L2, H3, L3) tiap-tiapnya dengan 4 buah mosfet yang bekerja parallel, sehingga total arus gate yang dibutuhkan adalah 4A. *Driver* mosfet menggunakan totem pole transistor TIP 41 dan TIP 42 yang mampu menyediakan arus sampai dengan 4A. IC IR2110 cocok digunakan sebagai driver *switching full bridge* karena dapat mengontrol gerbang high dan low.

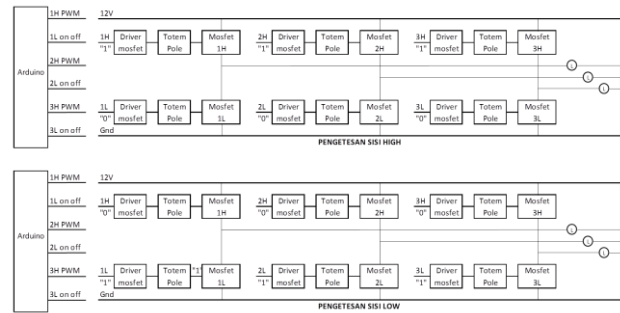


Gambar 1. Flowchart penelitian

D. Merancang Switching Full Bridge Mosfet 3 Fasa

Penelitian ini menggunakan motor BLDC, sehingga ECS yang dibuat harus bisa membuat motor 3 fasa berputar, maka tipe *switching* mosfet yang cocok adalah tipe *full bridge* 3 fasa. Sebanyak 4 buah mosfet 200VDC 130A dirangkai parallel digunakan agar *switching* dapat memberikan daya yang besar. Dengan pemasangan mosfet

secara parallel, akan dihasilkan 520A, blok diagram pengujiannya terlihat di Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Pengujian

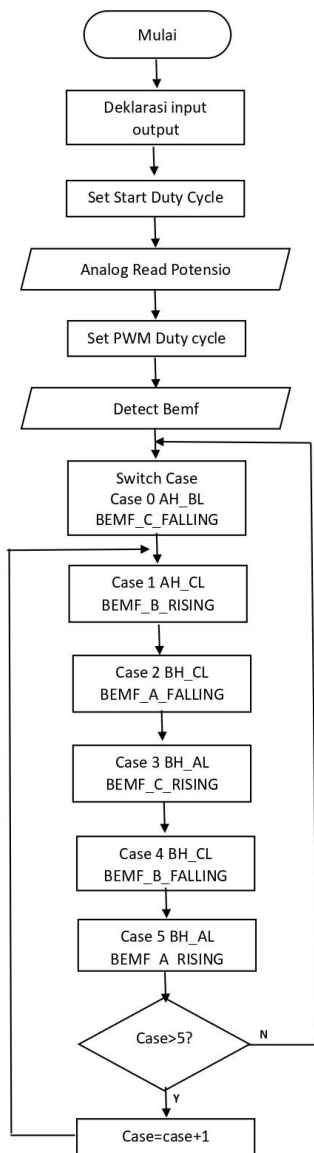
E. Merancang software ESC

Perancangan software ini berdasarkan sesuai *flowchart* yang telah dibuat sebelumnya. *Flowchart* bertujuan untuk mempermudah jalannya program. Program dibuat berupa *listing sketch* Bahasa pemrograman pada Arduino nano kemudian *listing* tersebut diupload ke Arduino nano. *Flowchart* jalannya program terlihat pada Gambar 3.

F. Pengujian system

Pengujian system dilakukan setelah hardware dan software telah selesai. Pengujian dilakukan beberapa tahap, yaitu:

1. Tegangan input catudaya disesuaikan dengan tegangan kerja motor BLDC antara 9V-48V DC.
2. Pengujian mosfet 1H 2H 3H dengan beban lampu dengan cara memberi tegangan +12V atau pwm pada kaki gate mosfet.
3. Pengujian mosfet 1L 2L 3L dengan beban lampu dengan cara memberi tegangan +12V pada kaki gate mosfet.
4. Pengujian output rangkaian totem pole dengan cara memberi input tegangan +12V atau dihubungkan ke ground pada input.
5. Pengujian output rangkaian driver mosfet IR2110 dengan cara memberi input tegangan +5V atau dihubungkan ke ground pada input.
6. Setelah mosfet, totem pole, driver mosfet dirangkai, dilakukan test output mosfet dengan beban lampu dengan cara memberi tegangan +12V atau pwm pada input driver mosfet 1H 2H 3H 1L 2L 3L.
7. Setelah arduino dihubungkan dengan driver mosfet, *totem pole* dan mosfet, dilakukan pengujian dengan *software* test pulsa PWM.
8. Setelah semua bagian system dapat bekerja dengan baik maka dilakukan pengujian menggunakan *software* ESC dengan beban motor BLDC, bila *software* ESC belum bekerja dengan baik maka dilakukan penyempurnaan pada softwarentya.
9. Pada saat posisi potensio meter diputar maka kecepatan putar motor BLDC akan merubah
10. Pada saat saklar shutdown diaktifkan maka motor BLDC tidak akan berputar karena pin kontrol SD pada driver mosfet diaktifkan.



Gambar 3. Flowchart jalannya program

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

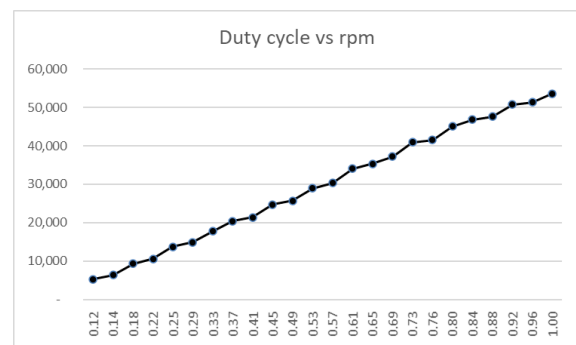
Hasil pengujian system setelah mengikuti beberapa tahapan adalah:

1. Tegangan input: 12V – 80V DC
2. Pengujian sisi *high*, saat kaki gate 1H, 2H, 3H diberi tegangan 12V maka mosfet akan “on” dan lampu akan menyala. Saat input *totem pole* 1H, 2H, 3H diberi tegangan 12V maka mosfet akan “on” dan lampu akan menyala. Saat *input driver* mosfet 1H, 2H, 3H diberi tegangan 12V maka mosfet akan “on” dan lampu akan menyala. Rangkaian *driver* mosfet, *totem pole*, mosfet sisi *high* dapat bekerja dengan baik.
3. Pengujian sisi *low*, saat kaki *gate* 1L, 2L, 3L diberi tegangan 12V maka mosfet akan “on” dan lampu akan menyala. Saat *input totem pole* 1L, 2L, 3L diberi tegangan 12V maka mosfet akan “on” dan lampu akan menyala. Saat *input driver* mosfet 1L, 2L, 3L diberi tegangan 12V maka mosfet akan “on” dan lampu akan menyala. Rangkaian *driver* mosfet, *totem pole*, mosfet sisi *low* dapat bekerja dengan baik.

4. Setelah dihubungkan ke arduino, pada pengujian menggunakan *software* test untuk mengetahui proses switching pada frekuensi rendah dengan lampu, hasil pengujian lampu dapat menyala bergantian, tidak terjadi *overlap switching* pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi yang dapat menyebabkan *short circuit* pada frekuensi tinggi.
5. Saat potensio PWM dan potensio frekuensi diubah-ubah, power dan frekuensi yang masuk ke beban lampu dapat diubah-ubah.
6. Setelah *hardware* ditest dengan *software* pengujian dan dapat berfungsi dengan baik maka dilakukan pengujian sistem dengan menggunakan *software* sesungguhnya.
7. Hasil pengujian motor BLDC dapat bergerak dengan baik dan normal, dapat berputar pada rpm yang tinggi,
 - a. Minimum duty cycle pwm untuk menggerakkan awalan bldc adalah 14%,
 - b. Minimum duty cycle pwm bldc bergerak stabil adalah 12%,
 - c. Motor bldc dapat berputar maksimum hingga 53.6 Krpm,
 - d. Kabel menuju motor, kabel menuju PSU, mosfet tidak panas.

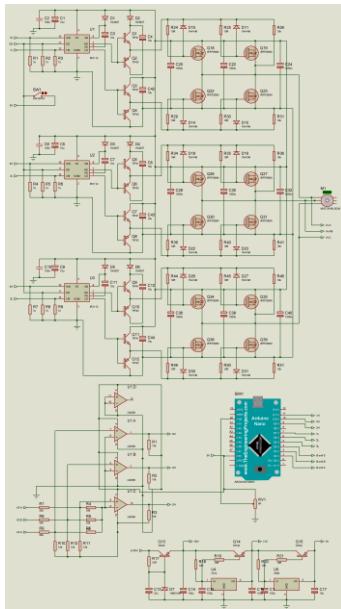
Gambar grafik pengukuran duty cycle vs rpm (Gambar 4). Alat yang dihasilkan (Gambar 5 dan 6) memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Tegangan input: 12-175 VDC (maksimum 200V DC)
2. Tegangan output: 0-Vcc (sesuai posisi *potensiometer* atau *duty cycle*)
3. Arus maksimum: 520A
4. Bentuk gelombang output: DC PWM
5. Tipe modulasi: PWM
6. Mikrokontroler: Arduino Nano
7. Tipe switching mosfet: *Full bridge* 3 fasa
8. Tipe mosfet: IRFP4668
9. Kemampuan mosfet: 200V 130A
10. Tipe sensor: *Back emf*
11. Driver: IR2110

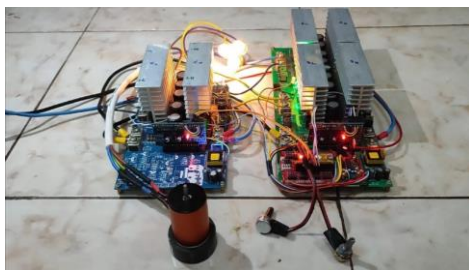


Gambar 4. Grafik Hasil Pengukuran Duty cycle vs rpm

Gambar 4 menunjukkan bahwa bertambahnya nilai duty cycle maka bertambah pula nilai kecepatan putar motor dalam rpm.



Gambar 5. Rangkaian Lengkap Full Bridge ESC Motor BLDC Daya Besar



Gambar 6. ESC Motor BLDC Daya Besar

V. KESIMPULAN

ESC motor BLDC berdaya besar dapat dibuat dengan mikrokontroler Arduino nano dan komponen pendukung lainnya. Dari hasil pengujian ESC yang dibuat dapat berfungsi semestinya, arduino nano dapat mengolah sinyal yang diberikan sensor *back emf*, dapat mengeluarkan sinyal PWM yang dapat menggerakkan dan mengatur kecepatan motor, *driver* mosfet dan penguat arus *totem pole* dapat mengontrol *gate* mosfet sisi 1LO 2LO 3LO dan sisi 1HO 2HO 3HO, saklar *shutdown* PWM dapat berfungsi, *potensiometer* dapat merubah besaran output PWM, *switching fullbridge* mosfet dapat bekerja normal tanpa timbul *overlap* pada proses *switching* yang dapat menimbulkan gagal *switching*, *software* pada arduino yang telah dibuat bisa mengeluarkan tegangan PWM dengan baik, minimum PWM awalan bldc adalah 14%, minimum PWM motor bergerak stabil adalah 12%, pada PWM maksimum motor bldc dapat berputar hingga 51.6 Krpm. Implementasi penggunaan sensor *back emf* dengan penguat Op Amp pada ESC BLDC full bridge 3 fasa dapat membantu menentukan posisi magnet rotor sangat berperan dalam proses *switching* mosfet.

REFERENSI

[1] D. Akbar and S. Riyadi, "Pengaturan Kecepatan Pada Motor Brushless Dc (Blcd) Menggunakan Pwm (Pulse Width

Modulation)," *Semin. Nas. Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi*, pp. 255–262, 2018, doi: 10.5614/sniko.2018.30.

[2] B. V. Prasanth, V. V. Swathi, N. Niranjan, N. Vamsi, M. V. Rani, and C. S. Ganesh, "Speed Control of BLDC Motor Using Arduino & PWM Technique," *Compliance Eng. J.*, vol. 12, no. 7, pp. 298–305, 2021.

[3] R. Puri, A. Barbate, P. Meshram, P. Surjuse, H. Meshram, and S. Wankhede, "Speed Control of BLDC Motor," *Int. J. Adv. Res. Innov. Ideas Educ.*, vol. 7, no. 3, pp. 3119–3125, 2021.

[4] V. Srinu, P. satya sai Mounica, S. S. V. Devi, S. S. Kumar, and K. V. Teja, "A Novel Speed Control of Brushless DC Motor Using Arduino UNO R3 and BOT," *Asian J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 7, pp. 10–14, 2017.

[5] A. ATadmod, S. Pandkar, P. A. K. Talele, and P. S. G. Lambor, "Study of BLDC Motor Controller Using Arduino-Uno," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 12, pp. 22545–22550, 2017, doi: 10.15680/IJRSET.2017.0612057.

[6] V. Mach, S. Kovář, J. Valouch, and M. Adámek, "Brushless DC motor control on arduino platform," *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 94, no. 11, pp. 105–107, 2018, doi: 10.15199/48.2018.11.24.

[7] P. B S and J. Akhtar, "IOT Monitored Brushless DC Motor Speed Control Using Arduino," *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci.*, vol. 7, no. 7, pp. 356–359, 2020, doi: 10.22161/ijaers.77.39.

[8] J. Rewatkar, A. Irpate, R. Navghade, P. Kubde, and R. Burange, "Speed Control of Blcd Motor Using Arduino & PWM Technique," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 04, pp. 2842–2844, 2021, doi: 10.21090/ijaerd.e104071.

[9] I. W. Widhiada, M. Widiyarta, and K. P. A. Utama, "Performansi Sistem Pengendali Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Logika Fuzzy Logic," *J. METTEK*, vol. 6, no. 1, pp. 9–25, 2019.

[10] Y. A. Nasution and S. I. Haryudo, "Rancang Bangun Monitoring Motor Brushless DC Berbasis Internet of Things (IOT) dengan Kontrol Fuzzy Logic," *J. Tek. Elektro UNESA*, vol. 09, no. 02, pp. 355–363, 2020.

[11] O. A. Qudsi and S. D. Nugraha, "Desain dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor BLDC Melalui Pengaturan Fluks," *INOVTEK - Seri Elektro*, vol. 1, no. 1, p. 36, 2019, doi: 10.35314/ise.v1i1.1231.

[12] M. Dewangga, B. Sujanarko, and S. B. Utomo, "Desain Sistem Kontrol Kecepatan Motor BLDC Berbasis Programmable Array Logic dengan Metode Six Step Commutation," *Artik. Ilm. Has. Penelitian Mhs. Univ. Jember*, pp. 1–6, 2014.

[13] A. Simpkins and E. Todorov, "Position estimation and control of compact BLDC motors based on analog linear Hall effect sensors," *Proc. 2010 Am. Control Conf. ACC 2010*, pp. 1948–1955, 2010, doi: 10.1109/acc.2010.5531357.

[14] B. Sujanarko, "Pengendalian Motor BLDC Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan," *Simp. Nas. RAPI XI FT UMS*, no. 1, pp. 24–29, 2012.

[15] K. Kishor and S. Tiwari, "Speed Control of A Brushless DC Motor Using Neural Network Based MRAC," *Int. J. Ind. Electron. Electr. Eng.*, vol. 5, no. 9, pp. 2347–2350, 2017.

[16] N. R. Arsyah, H. Suryatmojo, and S. Anam, "Desain Kontrol Kecepatan Motor Brushless DC Berbasis Power Factor Correction (PFC) Menggunakan Single Ended Primary Inductance Converter (SEPIC)," *Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.

[17] L. Balogh, "Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits," *Texas Instrum. Inc.*, 2017, [Online]. Available: https://www.ti.com/lit/ml/slva618a/slva618a.pdf?ts=1611669659975&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fww%252Fen%252Fpower-training%252Flogin.shtml.

[18] I. Rectifier, "Datasheet Gate Driver Ir2110," *Www.Irf.Com*, vol. 2110, pp. 1–18, 2007, [Online]. Available: <https://www.infineon.com/cms/en/product/power/gate-driver-ics/ir2110/>.

[19] R. J. Andika, A. Rusdinar, and A. S. Wibowo, "Perancangan dan Implementasi Driver Motor Tiga Fasa untuk Pengendali Kecepatan Motor BLDC Berbasis PWM pada Mobil Listrik," *e-proceeding Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 48–54, 2018.

[20] S. Uppuluri, "AN1102 Key MOSFET parameters for Motor Control applications," *www.diodes.com*, 2016. www.diodes.com.