

RANCANG BANGUN CONTROLLER BLDC BERBASIS MIKROKONTROLER STM32 BLUE PILL PADA KENDARAAN LISTRIK URBAN AGNIJAYA WEIMANA

Mas Nyoman Ngadeg A. C.¹, I Nyoman Satya Kumara², I Putu Elba Duta Nugraha²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Sel, Kabupaten Badung, Bali 80361

ngadegadindra@gmail.com, satya.kumara@unud.ac.id, elba.nugraha@unud.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan jumlah konsumsi bahan bakar minyak menyebabkan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil. Salah satu solusi energi alternatif yang dapat dimanfaatkan adalah energi listrik. Upaya penanggulangan krisis energi tersebut salah satu dapat diwujudkan dalam sebuah kreativitas dalam kontes mobil hemat energi (KMHE). Tim Weimana Universitas Udayana ikut berpartisipasi dalam kategori urban *concept* penggerak motor listrik dengan nama Kendaraan Agnijaya. Salah satu aspek penting agar mampu bersaing dan menjuarai kompetisi tersebut yaitu Motor *Controller*. Dalam paper ini dipaparkan hasil penelitian suatu rancangan *Controller* Motor *Brushless* DC berbasis mikrokontroler STM32 *Blue Pill* dan digunakan untuk memutar motor BLDC pada Kendaraan Listrik Urban Agnijaya Weimana. Spesifikasi hasil rancangan *Controller* BLDC yang dibuat memiliki *power dissipation inverter* berdaya 1980 Watt terhubung dengan motor BLDC *sensored* 800 Watt. *Controller* Motor *Brushless* DC berbasis mikrokontroler STM32 *Blue Pill* berhasil dirancang dan dibuat dan menghasilkan bentuk gelombang *output sinusoidal* yang mengandung *switching noise* saat terhubung motor BLDC tanpa beban. Unjuk kerja untuk menggerakkan Kendaraan Listrik Urban Agnijaya Weimana mampu diterapkan *duty-cycle* PWM hingga 100% dengan capaian arus rata-rata 24,775 Ampere, penurunan rata-rata tegangan hingga 48,485 V_{DC}, rata-rata rating daya hingga 1200,5 Watt dan kecepatan Motor BLDC hingga 419,5 RPM.

Kata kunci : Kendaraan Listrik, Motor BLDC, *Controller Brushless* DC.

ABSTRACT

The increase in the consumption of fuel oil causes the depletion of fossil fuel reserves. One alternative energy solution that can be utilized is electrical energy. One of the efforts to overcome the energy crisis can be realized in a creativity in the energy efficient car contest (KMHE). The Weimana Team of Udayana University participated in the urban concept category of electric motor drive under the name Agnijaya Vehicle. One important aspect in order to be able to compete and win the competition is the Motor Controller. In this paper, the results of the research are presented on a design of a Brushless DC Motor Controller based on the STM32 Blue Pill microcontroller and used to rotate the BLDC motor on the Agnijaya Weimana Urban Electric Vehicle. The specifications of the BLDC controller design are made to have a power dissipation inverter with a power of 1980 Watt connected to an 800 Watt sensed BLDC motor. The STM32 Blue Pill microcontroller-based Brushless DC Motor Controller has been successfully designed and manufactured and produces a sinusoidal output waveform containing switching noise when connected to a no-load BLDC motor. The performance to drive Agnijaya Weimana's Urban Electric Vehicle is capable of implementing a PWM duty cycle of up to 100% with an average current achievement of 24,775 Ampere, an average voltage drop of up to 48,485 V_{DC}, an average power rating of up to 1200,5 Watt and a BLDC motor speed up to 419,5 RPM.

Key Words : Electric Vehicle, BLDC Motor, *Brushless* DC Controller

1. PENDAHULUAN

Konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia pada kuartal III 2021 naik 3,19% menjadi 48,56 juta kiloliter dibandingkan dengan periode yang sama tahun sebelumnya [1]. Berdasarkan data Kementerian ESDM tersebut peningkatan jumlah konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) menyebabkan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil di Indonesia serta semakin seriusnya permasalahan kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh bahan bakar fosil. Hal ini mendorong berbagai pihak untuk mencari solusi alternatif pengganti bahan bakar konvensional. Salah satu energi alternatif yang dimanfaatkan adalah energi listrik karena memiliki potensi yang besar untuk menggantikan energi dari fosil di masa mendatang.

Tim Weimana Universitas Udayana sebagai salah satu penggiat teknologi otomotif khususnya kendaraan listrik terus berupaya agar dapat berkontribusi aktif dalam pengembangan dan perancangan kendaraan berbasis energi listrik, yang efisien, aman, serta ramah lingkungan. Tim Weimana Universitas Udayana ini merupakan sebuah tim riset kendaraan yang menggunakan energi listrik baterai yang dibentuk untuk mengikuti perlombaan kontes mobil hemat energi atau disebut dengan KMHE. Perlombaan tersebut merupakan perlombaan kendaraan hemat energi yang diadakan oleh Pusat Prestasi Nasional dan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia yang bekerja sama dengan tuan rumah perguruan tinggi. Sejak tahun 2018, Tim Weimana berpartisipasi dalam kategori urban *concept* dengan memperlombakan rancangan kendaraan bertenaga listrik baterai dengan penggerak motor listrik *sensored brushless DC* dengan nama Kendaraan Agnijaya. Salah satu aspek penting untuk menunjang agar mampu bersaing dan menjuarai kompetisi tersebut yaitu motor *controller*.

Motor *controller* merupakan salah satu hal penting dalam mempengaruhi konsumsi energi baterai sebuah kendaraan. Motor *controller* ini didesain guna memperoleh putaran motor listrik yang efisien. Pada perlombaan kontes mobil hemat energi para tim peserta diharuskan membuat sendiri motor *controller* tersebut. Dari hal tersebut rancangan motor *controller* dari masing-masing tim sangat

mempengaruhi hasil akhir konsumsi energi baterai dari kendaraan tersebut. Tim Weimana pada penggerak motor listriknya menggunakan motor *Brushless DC* maka motor *controller* adalah *controller* BLDC, yang mana pembuatan *controller* BLDC diperlukan konsep kerja pengontrolan yang kompleks guna membantu mencapai putaran motor *Brushless DC* yang efisien.

Tujuan penelitian ini adalah merancang *Controller* Motor *Brushless DC* berbasis mikrokontroler STM32 *Blue Pill* dengan dilakukan pengujian untuk mengetahui bentuk tampilan gelombang *output Controller Brushless DC* dan mengetahui perbandingan nilai arus *Controller*, tegangan *Controller*, *rating* daya *Controller* dan RPM motor terhadap persentase *duty-cycle* PWM. Pengujian *Controller* BLDC dilakukan dengan menghubungkan Motor BLDC saat kondisi Motor BLDC tanpa beban dan Motor BLDC digunakan menggerakkan Kendaraan Listrik Urban Agnijaya Weimana.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Controller BLDC

Controller BLDC merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk mengontrol motor *Brushless DC 3 phase* baik yang menggunakan sensor posisi maupun tanpa sensor. *Controller* BLDC menggunakan sistem *inverter* tiga *phase*, yang mana *inverter* ini dapat mengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC tiga *phase* yang terkontrol. Pengaturan tegangan *output inverter 3 phase* menggunakan metode *six-step comutation* karena metode ini cukup sederhana dan mudah untuk diimplementasikan [2].

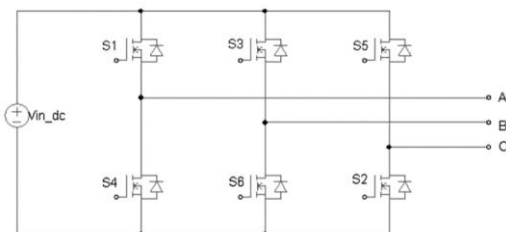
2.2 STM32 Blue Pill

Mikrokontroler STM32 *Blue pill* ini perangkat *development board* yang menggunakan IC mikrokontroler STM32F103C8T6 dari fabrikasi *ST-Microelectronics* dengan tipe *core Arm Cortex-M3* dan memiliki maksimal *clock speed 72 Mhz*. STM32F103C8T6 merupakan mikrokontroler baik digunakan pada penelitian rancang bangun *Controller* BLDC karena mikrokontroler ini didesain dengan konsumsi daya yang rendah dengan *performance* yang tinggi dan sistem canggih terhadap *response* interupsi [3].

2.3 Inverter Tiga Phase

Inverter Tiga *phase* merupakan blok sistem rangkaian yang terdapat pada

controller BLDC yang berfungsi mengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC tiga *phase* yang terkontrol. Di dalam *inverter* terdapat rangkaian *full-bridge* transistor MOSFET yang mana dalam perangkat *controller* BLDC ini, pada rangkaian *inverternya* menggunakan 3 rangkaian *half-bridge* yang masing-masing *half-bridge* memakai enam transistor *mosfet*, sehingga jumlah keseluruhan yaitu 18 *mosfet* transistor. Keluaran dari *inverter* akan diteruskan ke beban berupa motor BLDC 3 *phase*. Untuk operasi motor BLDC 3 *phase*, perubahan kecepatan motor BLDC dapat dilakukan dengan cara memvariasikan frekuensi keluaran dari *inverter*. Nilai keluaran *inverter* yang berupa tegangan AC dipengaruhi oleh besar tegangan variasi *duty-cycle* PWM yang diberikan pada *input* kaki *gate* pada transistor MOSFET. Pada Gambar 1 ditunjukkan gambaran umum ilustrasi rangkaian *inverter* tiga *phase*.



Gambar 1. *Inverter* Tiga *Phase* [2].

2.4 MOSFET IRF3808

IRF3808 merupakan salah satu komponen transistor yang digunakan pada *controller* BLDC yang berfungsi sebagai penyambung atau pemutus arus pada rangkaian *inverter*. MOSFET IRF3808 ini sangat baik digunakan pada penelitian rancang bangun *controller* BLDC ini karena memiliki perubahan waktu *switching* yang cepat dan memiliki *Power Dissipation* sebesar 330 Watt [4].

2.5 MOSFET Driver IR2108S

MOSFET *driver* IR2108S merupakan salah satu komponen yang digunakan pada *controller* BLDC yang berfungsi sebagai pengubah keluaran sinyal PWM dari mikrokontroler yang besar tegangannya 3,3 V_{DC} menjadi tegangan 13 V_{DC} sesuai tegangan V_{CC} yang digunakan pada IC MOSFET *driver* [5].

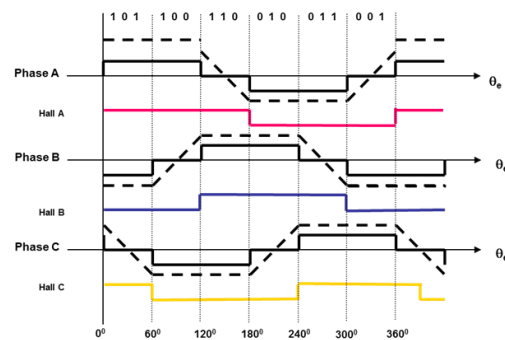
2.6 AMS1117

AMS1117 merupakan salah satu komponen yang digunakan pada *controller*

BLDC yang berfungsi sebagai penurun tegangan dari tegangan $+13 V_{DC}$ menjadi tegangan $+5 V_{DC}$ atau $+3.3 V_{DC}$. Komponen AMS1117 ini merupakan IC regulator tegangan yang prinsipnya seperti DC to DC *converter* namun sudah terintegrasi dalam bentuk komponen yang kecil. Akan tetapi IC regulator AMS1117 ini memiliki kekurangan yaitu hanya dapat dicatu *input* tegangan sebesar $+15 V_{DC}$ [6].

2.7 Komutasi Trapezoidal

Komutasi *Trapezoidal* merupakan bentuk gelombang yang dihasilkan dari rangkaian *inverter* tiga *phase* dengan mengimplementasikan *six-step comutation*. Bentuk gelombang trapezoidal dihasilkan oleh *back-EMF* dari motor BLDC ketika saluran *phase* mengalami waktu mati atau pada sektor tersebut tidak diberikan *switching* PWM. Pada Gambar 2 ditunjukkan bahwa garis putus-putus merupakan bentuk gelombang *trapezoidal* yang dihasilkan pada keluaran setiap *phase inverter* dan garis tanpa putus-putus merupakan *switching* MOSFET *inverter* tiga *phase*.



Gambar 2. Komutasi *Trapezoidal* [7].

2.8 PWM

PWM (*Pulse Width Modulation*) merupakan sebuah istilah untuk menggambarkan jenis sinyal digital dengan menggambarkan jenis sinyal digital dengan memanipulasi besaran nilai persentase *duty-cycle* (waktu sinyal digital menyala) selama interval periode waktu yang tetap [8]. Pengaplikasian PWM pada *controller* BLDC ini digunakan sebagai kontrol kecepatan atau torsi. Konsep kerja pengaplikasian PWM pada *controller* BLDC yaitu ketika frekuensi PWM ditetapkan 20 kHz dan persentase *duty-cycle* PWM dinaikkan dari 0% sampai 100% maka menghasilkan tegangan rata-rata *output inverter* tiga *phase* yang meningkat. Meningkatnya tegangan rata-rata pada *output inverter* tiga *phase controller* BLDC yang terhubung dengan motor BLDC mengakibatkan beban

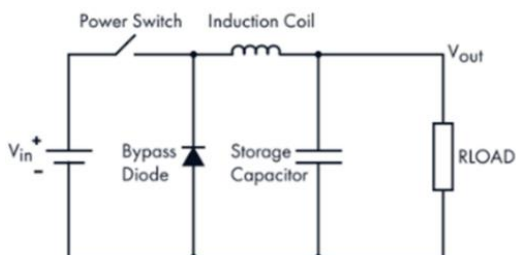
arus *output inverter* semakin tinggi sehingga torsi motor BLDC ikut meningkat. Peningkatan torsi motor BLDC mengakibatkan interval waktu pergantian sektor komutasi *inverter* tiga *phase* semakin cepat membuat putaran motor BLDC ikut meningkat. Sederhananya peningkatan nilai *duty-cycle* PWM yang diterapkan pada *controller* BLDC mengakibatkan frekuensi *output phase inverter* tiga *phase* dan RPM motor BLDC meningkat.

2.9 Hall Sensor

Hall sensor merupakan komponen jenis transduser yang dapat mengubah informasi magnetik menjadi sinyal listrik. *Hall* sensor sering digunakan untuk mendeteksi kedekatan, deteksi posisi, deteksi kecepatan dan deteksi perubahan arah. *Hall* sensor bekerja pada tegangan suplai 5 V_{DC} dengan prinsip kerja digital *Hall* sensor adalah ketika permukaan sensor terkena kutub selatan medan magnet maka *output* akan LOW dan *output* akan HIGH jika sebaliknya. Prinsip kerja linier *Hall* sensor adalah ketika permukaan sensor terkena kutub selatan medan magnet maka nilai *output Hall* sensor menghasilkan tegangan meningkat sampai 4,2 V_{DC} dan tegangan *output* akan menurun sampai 0,8 V_{DC} jika terkena kutub utara medan magnet.

2.10 DC to DC Converter

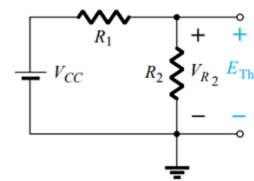
DC to DC converter merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi mengubah tegangan searah dari level tegangan tertentu ke level tegangan lainnya [9]. Pada *Controller Brushless DC* ini menggunakan rangkaian *switching DC to DC converter* karena *output* tegangan yang lebih stabil dan *efisiensi* yang lebih tinggi dari linier *converter*. *DC to DC converter* pada *Controller Brushless DC* ini berfungsi untuk menurunkan tegangan baterai nominal 48 V_{DC} menjadi 13 V_{DC}. Pada Gambar 3 ditunjukkan rangkaian *switching DC to DC converter*.



Gambar 3. DC to DC Converter [9].

2.11 Pembagi Tegangan

Pembagi tegangan merupakan salah satu konfigurasi sirkuit elektronik yang terdiri dari komponen resistor yang berguna untuk membagi tegangan masukan sesuai rasio dari nilai resistor [10]. Rangkaian pembagi tegangan pada *controller* BLDC ini berfungsi sebagai pembagi nilai tegangan dari *throttle* sebesar +5 V_{DC} menjadi tegangan +3.3 V_{DC}. Konfigurasi rangkaian pembagi tegangan dapat dilihat pada Gambar 4 dengan nilai resistansi R1 sebesar 16,9 kOhm dan nilai R2 sebesar 33 kOhm. Pemilihan nilai resistansi yang besar agar meminimalisir rugi arus yang ditimbulkan dan sesuai sebagai nilai tegangan masuk *pin* ADC pada mikrokontroler STM32 *Blue Pill*.



Gambar 4. Rangkaian Pembagi Tegangan [11].

Sumber tegangan V_{CC} dikembalikan ke jaringan dan tegangan *Thevenin* rangkaian terbuka pada Gambar 4 ditentukan dengan menerapkan aturan pembagi tegangan yang ditunjukkan pada persamaan (1) [11].

$$E_{Th} = V_{R_2} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

2.12 Daya Listrik

Daya listrik adalah jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah sirkuit/rangkaian. Sumber energi seperti tegangan listrik akan menghasilkan daya listrik sedangkan beban yang terhubung dengannya akan menyerap daya listrik tersebut. Dengan kata lain, daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Persamaan (2) adalah cara untuk menghitung daya listrik [12].

$$P = V \times I \quad (2)$$

- P = Daya Listrik (Watt).
- V = Tegangan Listrik (Volt).
- I = Arus Listrik (Ampere).

2.13 RPM

RPM (*Revolutions Per Minute*) merupakan satuan kecepatan perputaran terhadap sebuah sumbu dalam satu menit.

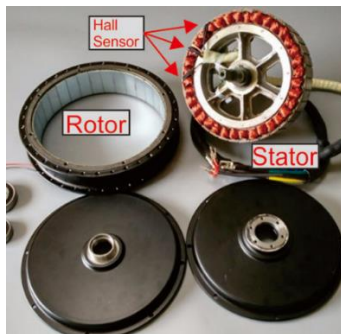
Pada motor *Brushless* DC kecepatan putaran dihasilkan dari nilai frekuensi dan jumlah kutub. RPM biasa juga dituliskan dengan huruf N_s , dan besar RPM ini ditentukan oleh seberapa besar frekuensi listrik yang digunakan dengan sudut *phase* (120°) kemudian dibagi dengan jumlah kutub gulungan (*Pole*). Persamaan (3) adalah cara untuk menghitung RPM motor listrik [13].

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (3)$$

N_s = Jumlah putaran per menit(RPM)
 f = Frekuensi (Hz)
 P = Jumlah kutub gulungan(*Pole*)

2.14 Motor *Brushless* DC

Motor *Brushless* DC merupakan salah satu jenis motor yang digunakan dalam penelitian rancang bangun *controller* motor *Brushless* DC berbasis mikrokontroler STM32 *Blue pill* pada Kendaraan Listrik Urban Agnijaya Weimana, yang berfungsi sebagai beban dari *controller* BLDC. Motor jenis *Brushless* DC dipilih karena banyak di pasaran dan sekitar 87% kendaraan listrik di Indonesia menggunakan motor BLDC [14]. Motor *Brushless* DC yang digunakan dalam penelitian rancang bangun *controller* motor *Brushless* DC berbasis mikrokontroler STM32 *Blue pill* pada Kendaraan Listrik Urban Agnijaya Weimana memiliki daya sebesar 800 Watt. Pada Gambar 5 ditunjukkan tampilan motor BLDC yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 5. Motor BLDC QSMOTOR.

2.15 Weimana Udayana

Weimana Udayana merupakan nama tim sekaligus salah satu unit kegiatan mahasiswa di Universitas Udayana. Weimana Udayana juga dapat disebut sebuah tim riset kendaraan yang menggunakan energi listrik baterai. Terbentuknya tim Weimana Udayana ini didasari untuk mengikuti perlombaan kontes mobil hemat energi atau disebut dengan

KMHE. Pada Gambar 6 ditunjukkan tampilan dari kendaraan listrik Agnijaya Weimana dengan dimensi panjang 2320 mm, lebar 1243 mm, tinggi 1694 mm dan berat 120 kg.



Gambar 6. Agnijaya Weimana.

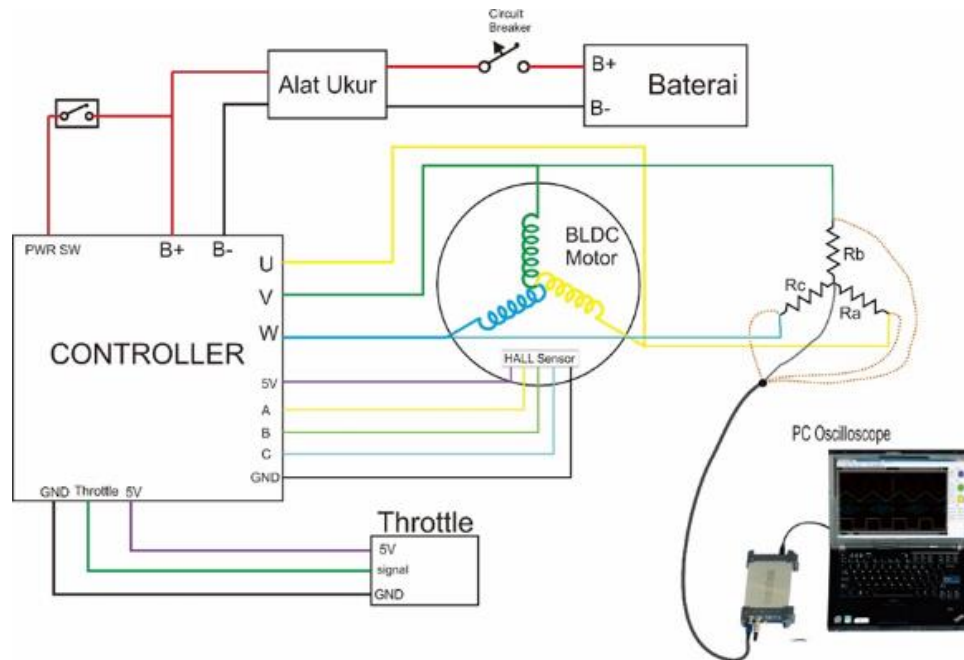
3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Universitas Udayana, Kampus Sudirman - Bali. Penelitian ini mulai dilaksanakan pada bulan Januari sampai bulan Mei 2022. Analisis penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu:

1. Pengumpulan *datasheet* dan spesifikasi komponen yang berhubungan dengan rancang bangun *controller* Motor *Brushless* DC berbasis mikrokontroler STM32 *Blue Pill*.
2. Perencanaan komponen elektronika menggunakan mikrokontroler STM32 *Blue pill*, MOSFET IRF3808, IC MOSFET DRIVER tipe IR2108STR, resistor, diode, kapasitor keramik, kapasitor elektrolit, transistor PNP dan NPN, induktor, LED.
3. Perancangan *schematic* rangkaian *controller* *Brushless* DC.
4. Perancangan layout rangkaian PCB *controller* *Brushless* DC.
5. Perakitan komponen elektronika pada papan PCB yang sudah dibuat.
6. Pengukuran tegangan rancangan *controller* *Brushless* DC pada batas normal disetiap blok rangkaian *layout* PCB.
7. Pengujian *input hall sensor* pada motor BLDC *sensored*.
8. Pengujian komutasi *trapezoidal* dengan *Pulse Width Modulation* sebagai pengatur torsi/kecepatan.
9. Dilakukan pengukuran arus masuk *controller*, tegangan masuk *controller*, daya masuk *controller*, dan *rpm* motor terhadap persentase *duty-cycle* PWM.

Gambaran umum pengujian sistem *controller* motor *brushless* DC berbasis mikrokontroler STM32 *Blue Pill* pada Kendaraan Listrik Urban Agnijaya Weimana ditunjukkan pada Gambar 7. Tahapan pengujian *controller* BLDC dilakukan dengan mengukur bentuk gelombang *inverter* tiga *phase* dengan cara menghubungkan kabel tiga *phase* motor BLDC secara paralel terhadap rangkaian *star dummy* resistor dan menggunakan PC *oscilloscope* untuk menampilkan bentuk

gelombang setiap *phase output inverter*. Selain itu dilakukan pengukuran arus masuk *controller*, tegangan masuk *controller*, *rating* daya masuk *controller*, dan RPM motor terhadap nilai *duty-cycle* PWM pada kondisi *controller* BLDC dihubungkan dengan motor BLDC tanpa beban dan diuji dengan *controller* BLDC dihubungkan dengan motor BLDC dengan beban (digunakan langsung untuk menggerakkan Kendaraan Listrik Urban Agnijaya Weimana).

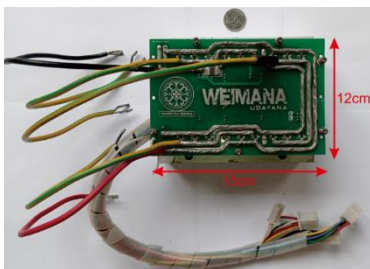


Gambar 7. Diagram Sistem Pengujian *Controller* BLDC

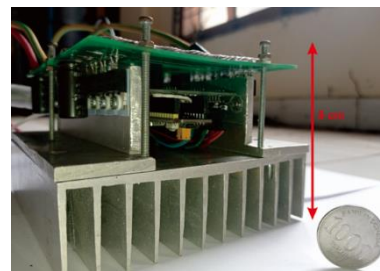
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Rancangan *Controller* BLDC

Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10 ditunjukkan perangkat *Controller* BLDC Berbasis Mikrokontroler STM32 *Blue Pill* yang telah dirancang. *Controller* BLDC tersebut memiliki dimensi panjang 15 cm, lebar 12 cm, tinggi 8cm dan dengan berat 1143 gram.



Gambar 8. Rancangan Perangkat Keras *Controller* BLDC Tampak Atas



Gambar 9. Rancangan perangkat keras *Controller* BLDC tampak samping

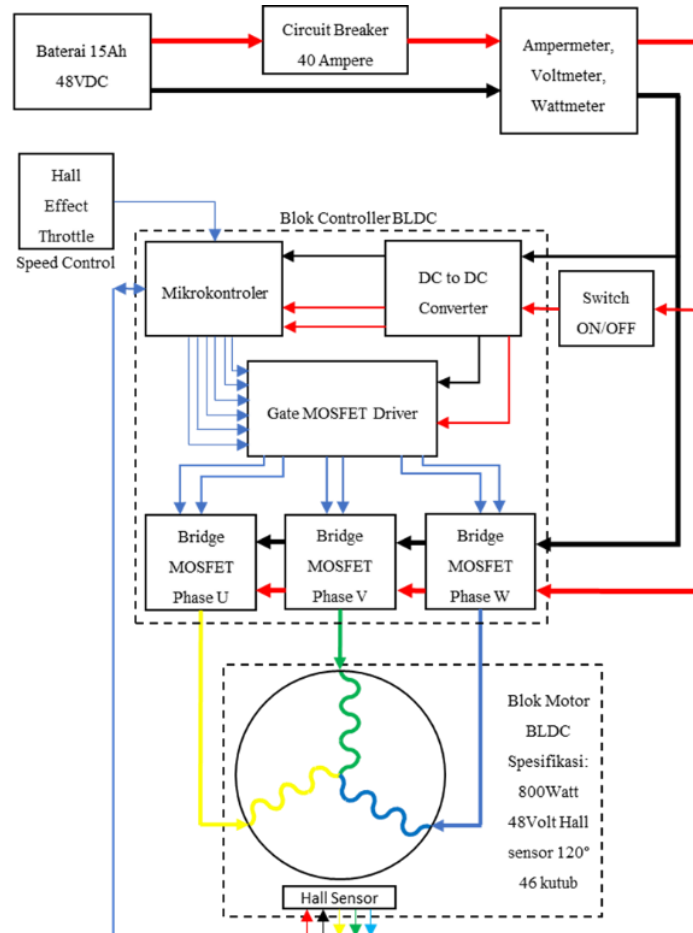


Gambar 10. Rancangan Perangkat Keras *Controller* BLDC Tampak Bawah

4.2 Diagram Sistem Kelistrikan

Gambar 11 merupakan diagram dari sistem kelistrikan pada Kendaraan Listrik Urban Agnijaya Weimana yang terdiri dari perangkat alat ukur multimeter, *Controller* BLDC dan motor BLDC. Prinsip kerja dari sistem kelistrikan berikut adalah dimulai sistem disuplai daya baterai dengan kapasitas 15 Ah 48 V_{DC} terhubung dengan *circuit breaker* 40 A_{DC}. Fungsi *circuit breaker* adalah sebagai pengaman baterai jika terjadi short circuit. Kemudian *circuit breaker* terhubung dengan multimeter agar dapat mengukur nilai arus, tegangan dan *rating* daya *controller*. *Output* multimeter terhubung ke rangkaian blok *Controller* BLDC dan terdapat blok *switch* ON/OFF

yang berfungsi sebagai pengatur hidup matinya perangkat *Controller* BLDC. Dalam blok *Controller* BLDC terdapat rangkaian DC to DC *converter*, mikrokontroler, MOSFET *driver* dan *inverter* tiga *phase*. DC to DC *converter* menurunkan tegangan nominal 48 V_{DC} menjadi tegangan 13 V_{DC} untuk menyuplai blok rangkaian MOSFET *driver* selain itu terdapat tegangan 5 V_{DC} dan 3.3 V_{DC} untuk menyuplai rangkaian mikrokontroler. Sinyal masukan *Controller* BLDC adalah *speed control* dan umpan balik sinyal Hall sensor motor BLDC. *Output* sinyal mikrokontroler terhubung ke MOSFET *driver* sehingga kemudian *output* sinyal MOSFET *driver* diteruskan ke blok rangkaian *inverter* tiga *phase*.



Gambar 11. Diagram Sistem Kelistrikan *Controller* BLDC Pada Kendaraan Listrik Urban Agnijaya Weimana

4.3 Pengujian Tegangan Perangkat *Controller* BLDC

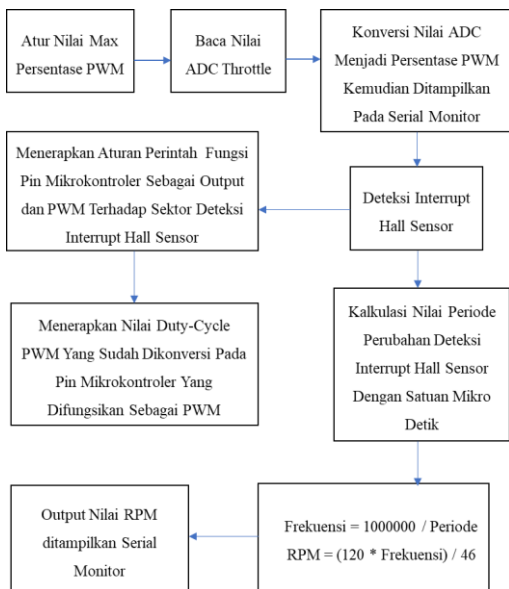
Pengujian Tegangan pada perangkat *Controller Brushless* DC yang telah dirancang dilakukan untuk memastikan rangkaian yang sudah dirakit dapat bekerja dengan nilai tegangan pada batas normal

yang sudah direncanakan. Voltmeter yang digunakan pengukuran yaitu ZOTEK ZT102 yang memiliki akurasi pengukuran DC $\pm (0,5\%+3)$ [15]. Pengukuran tegangan pada rangkaian DC to DC *Converter* bernilai 13,16 V_{DC}. Pengukuran *output* dari IC regulator AMS1117-5.0 menggunakan multimeter

digital bernilai 5,056 V_{DC}. pengukuran *output* dari IC regulator AMS1117-3.3 menggunakan multimeter digital bernilai 3,315 V_{DC}. Dengan besaran nilai tersebut bahwa rancangan rangkaian DC to DC Converter berhasil bekerja pada tegangan yang aman untuk pengoperasian *Controller* BLDC.

4.4 Implementasi Perangkat Lunak *Controller* BLDC

Implementasi Perangkat Lunak *Controller* Motor *Brushless* DC berbasis Mikrokontroler STM32 *Blue Pill* pada Kendaraan Listrik Urban Agnijaya Weimana yaitu menggunakan *software* Arduino IDE. Arduino IDE ini merupakan aplikasi untuk menulis dan mengeksekusi kode yang akan diterapkan pada mikrokontroler STM32 *Blue Pill* sehingga perintah yang diterapkan dapat bekerja sesuai urutan baris kode yang telah dieksekusi. Pada Gambar 12 ditunjukkan skematik alur pengoperasian dari eksekusi program yang telah diterapkan pada perangkat *Controller Brushless* DC yang telah dirancang.



Gambar 12. Skematik Kode Program *Controller Brushless* DC

4.5 Pengujian Pembacaan *Hall* Sensor

Gambar 13 menunjukkan hasil pengujian pembacaan *input* digital *interrupt* pada serial monitor aplikasi Arduino IDE dan terlihat juga perubahan hasil pembacaan ketika motor diputar secara perlahan nilai *logic Hall* sensor *channel* A,B dan C yaitu 1,1,0 menjadi 1,0,0 kemudian 1,0,1 dan seterusnya hingga kembali ke nilai 1,1,0.

Hasil serial monitor ini menunjukkan pengujian *source code* pembacaan *input* digital *interrupt* dan umpan balik respons dari *Hall* sensor Motor *Brushless* DC telah bekerja sesuai yang direncanakan.

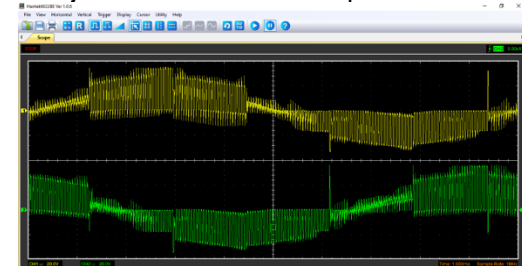
```

    COM6
    HALL_SENSOR_A :1 HALL_SENSOR_B :1 HALL_SENSOR_C :0
    HALL_SENSOR_A :1 HALL_SENSOR_B :0 HALL_SENSOR_C :0
    HALL_SENSOR_A :1 HALL_SENSOR_B :0 HALL_SENSOR_C :1
    HALL_SENSOR_A :0 HALL_SENSOR_B :0 HALL_SENSOR_C :1
    HALL_SENSOR_A :0 HALL_SENSOR_B :1 HALL_SENSOR_C :1
    HALL_SENSOR_A :0 HALL_SENSOR_B :1 HALL_SENSOR_C :0
    HALL_SENSOR_A :1 HALL_SENSOR_B :1 HALL_SENSOR_C :0
    HALL_SENSOR_A :1 HALL_SENSOR_B :0 HALL_SENSOR_C :1
    HALL_SENSOR_A :1 HALL_SENSOR_B :0 HALL_SENSOR_C :1
    HALL_SENSOR_A :0 HALL_SENSOR_B :0 HALL_SENSOR_C :1
    HALL_SENSOR_A :0 HALL_SENSOR_B :1 HALL_SENSOR_C :1
    HALL_SENSOR_A :0 HALL_SENSOR_B :1 HALL_SENSOR_C :0
    HALL_SENSOR_A :1 HALL_SENSOR_B :1 HALL_SENSOR_C :0
    HALL_SENSOR_A :1 HALL_SENSOR_B :0 HALL_SENSOR_C :0
    HALL_SENSOR_A :1 HALL_SENSOR_B :0 HALL_SENSOR_C :1
  
```

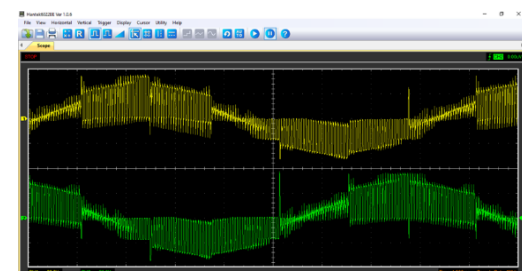
Gambar 13. Hasil Pembacaan *Hall* Sensor

4.6 Pengujian Output Phase Inverter *Controller* BLDC

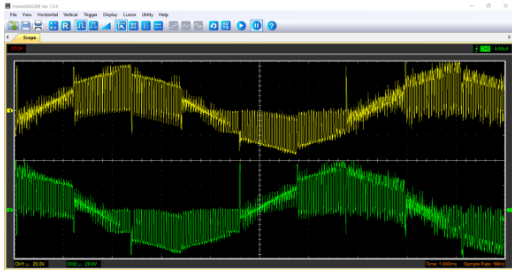
Dengan menghubungkan *probe oscilloscope* pada rangkaian *star dummy* resistor yang terhubung paralel dengan setiap kabel *phase Controller Brushless* DC dan Motor *Brushless* DC. Kemudian dilakukan pengukuran gelombang *output phase* U dan V dengan menerapkan *duty-cycle* PWM 30%, 40%, 50%, 80%, 100%. Hasil gelombang *output phase* U dan V *Controller Brushless* DC yang terhubung dengan Motor *Brushless* DC tanpa beban ditunjukkan Gambar 14 sampai Gambar 18.



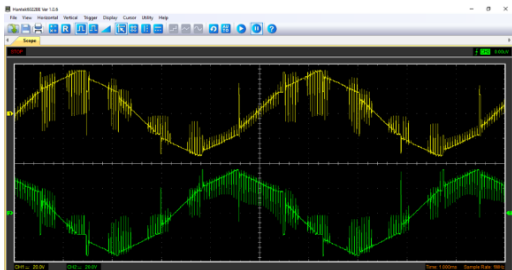
Gambar 14. Gelombang *Output Phase* U dan *Phase* V dengan *duty-cycle* PWM 30%



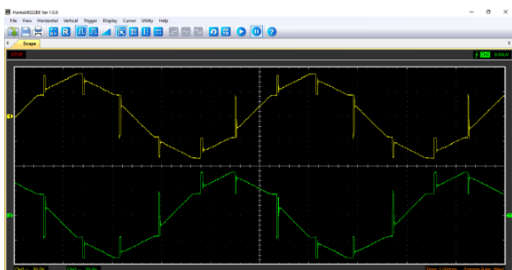
Gambar 15. Gelombang *Output Phase* U dan *Phase* V dengan *duty-cycle* PWM 40%



Gambar 16. Gelombang Output Phase U dan Phase V dengan duty-cycle PWM 50%



Gambar 17. Gelombang Output Phase U dan Phase V dengan duty-cycle PWM 80%



Gambar 18. Gelombang Output Phase U dan Phase V dengan duty-cycle PWM 100%

Dari hasil pengukuran *output phase Controller Brushless DC* menggunakan PC digital *oscilloscope* yang terhubung Motor *Brushless DC* tanpa beban dapat dianalisis bahwa *Controller Brushless DC* berbasis *STM32 Blue Pill* yang telah dirancang dengan menerapkan komutasi *trapezoidal* menghasilkan bentuk gelombang *output sinusoidal* yang mengandung *switching noise*. Hal ini disebabkan oleh *back-EMF* dari motor BLDC dan dari proses *switching* transistor MOSFET dengan penerapan variasi *duty-cycle PWM*.

4.7 Pengujian *Controller Brushless DC* Terhubung Motor Tanpa Beban

Pengujian *Controller Brushless DC* terhubung motor tanpa beban meliputi pengukuran arus masuk *Controller*, tegangan *supply Controller*, *rating* daya masuk *Controller* dan RPM Motor terhadap persentase *duty-cycle PWM* 30%, 40%, 50%, 80% dan 100%. Pengujian dilakukan

dengan cara menghubungkan *Controller Brushless DC* pada Motor BLDC tanpa beban. Waktu pengukuran dilakukan selama satu menit dengan pengujian dilakukan dua kali. Dari Tabel 1 dan Tabel 2 ditunjukkan unjuk kerja *Controller Brushless DC* terhubung motor BLDC tanpa beban.

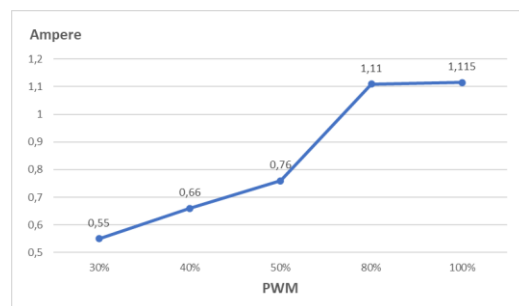
Tabel 1. Hasil Pengujian Pertama *Controller Brushless DC* Terhubung Motor BLDC Tanpa Beban

| PWM | A | V | W | RPM |
|------|--------|---------|--------|-----|
| 30% | 0,55 A | 52,70 V | 28,9 W | 260 |
| 40% | 0,66 A | 52,63 V | 34,7 W | 320 |
| 50% | 0,76 A | 52,57 V | 39,9 W | 373 |
| 80% | 1,11 A | 52,46 V | 58,2 W | 532 |
| 100% | 1,11 A | 52,43 V | 58,1 W | 550 |

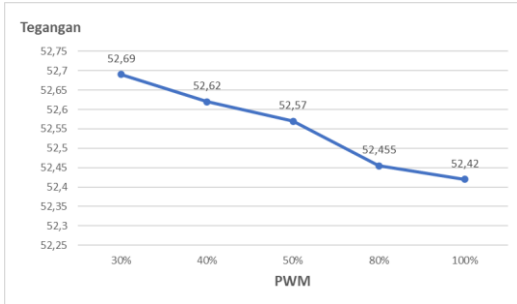
Tabel 2. Hasil Pengujian Kedua *Controller Brushless DC* Terhubung Motor BLDC Tanpa Beban

| PWM | A | V | W | RPM |
|------|--------|---------|--------|-----|
| 30% | 0,55 A | 52,68 V | 28,9 W | 266 |
| 40% | 0,66 A | 52,61 V | 34,7 W | 323 |
| 50% | 0,76 A | 52,57 V | 39,9 W | 375 |
| 80% | 1,11 A | 52,45 V | 58,2 W | 537 |
| 100% | 1,12 A | 52,41 V | 58,6 W | 550 |

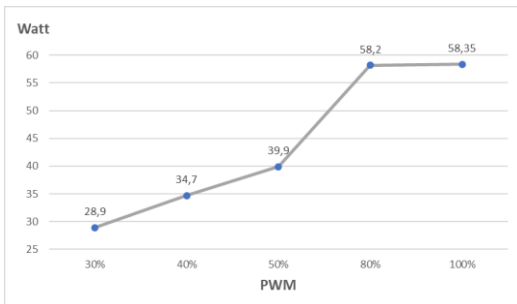
Dari Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dianalisis pengujian arus masuk ke *Controller Brushless DC* yang terhubung motor tanpa beban yaitu arus meningkat seiring peningkatan nilai persentase *duty-cycle PWM* yang diterapkan atau nilai *duty-cycle PWM* dapat diterapkan hingga 100% dengan capaian arus hingga 1,12 Ampere, penurunan tegangan hingga 52,41 V_{DC}, capaian *rating* daya hingga 58,6 Watt dan capaian nilai RPM hingga 550. Grafik rata-rata hasil pengujian arus masuk *controller*, tegangan masuk *controller*, *rating* daya *controller* dan RPM motor dengan kondisi terhubung motor BLDC tanpa beban dapat dilihat pada Gambar 19 sampai Gambar 22.



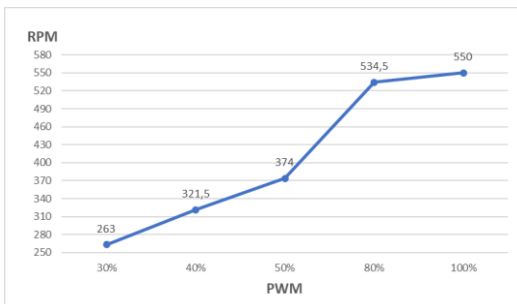
Gambar 19. Grafik Pengujian Arus Masuk *Controller BLDC* Terhubung Motor BLDC Tanpa Beban Terhadap Persentase *duty-cycle PWM*



Gambar 20. Grafik Pengujian Tegangan Masuk *Controller* BLDC Terhubung Motor BLDC Tanpa Beban Terhadap Persentase *duty-cycle* PWM



Gambar 21. Grafik Pengujian *rating* daya *Controller* BLDC Terhubung Motor BLDC Tanpa Beban Terhadap Persentase *duty-cycle* PWM



Gambar 22. Grafik Pengujian RPM Motor BLDC Tanpa Beban Terhubung *Controller* BLDC Terhadap Persentase *duty-cycle* PWM

4.8 Pengujian *Controller Brushless* DC Terhubung Motor BLDC Berbeban Pada Kendaraan Listrik Urban Aginjaya Weimana

Pengujian *Controller Brushless* DC terhubung motor BLDC berbeban pada Kendaraan Listrik Urban Aginjaya Weimana meliputi pengujian arus masuk *Controller*, tegangan *supply Controller*, *rating* daya masuk *Controller* dan RPM Motor terhadap persentase *duty-cycle* PWM 30%, 40%, 50%, 80% dan 100%. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan *Controller Brushless* DC dengan Motor BLDC

berbeban. Pengukuran parameter ketika menggerakkan Kendaraan Listrik Urban Aginjaya Weimana sejauh 80 meter dengan dilakukan dua kali pengujian. Dari Tabel 3 dan Tabel 4 ditunjukkan unjuk kerja *Controller Brushless* DC terhubung motor BLDC berbeban.

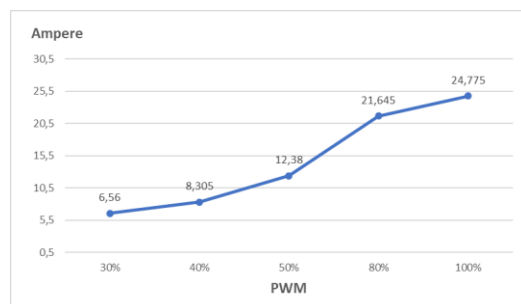
Tabel 3. Hasil Pengujian Pertama *Controller Brushless* DC Terhubung Motor BLDC Berbeban

| PWM | A | V | W | RPM |
|------|---------|---------|---------|-----|
| 30% | 6,92 A | 51,73 V | 357,9 W | 182 |
| 40% | 8,59 A | 51,38 V | 441,3 W | 237 |
| 50% | 12,59 A | 50,71 V | 638,4 W | 279 |
| 80% | 21,62 A | 49,30 V | 1065 W | 409 |
| 100% | 24,48 A | 48,73 V | 1192 W | 425 |

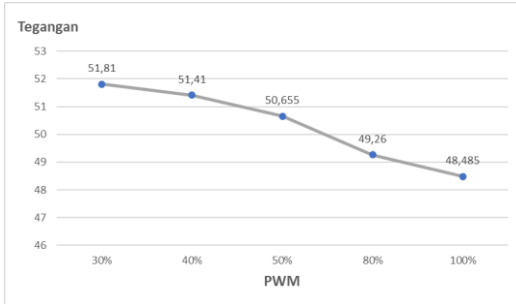
Tabel 4. Hasil Pengujian Kedua *Controller Brushless* DC Terhubung Motor BLDC Berbeban

| PWM | A | V | W | RPM |
|------|---------|---------|---------|-----|
| 30% | 6.20 A | 51,89 V | 321,7 W | 190 |
| 40% | 8.02 A | 51,44 V | 412,5 W | 247 |
| 50% | 12.17 A | 50,60 V | 615,8 W | 279 |
| 80% | 21.67 A | 49,22 V | 1066 W | 412 |
| 100% | 25.07 A | 48,24 V | 1209 W | 414 |

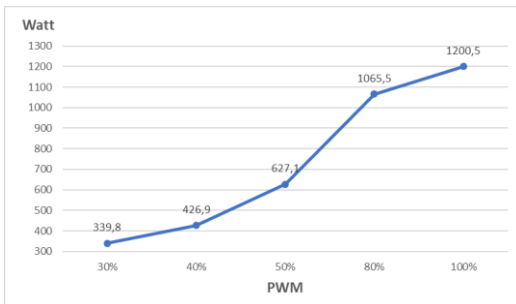
Dari Tabel 3 dan Tabel 4 dapat dianalisis pengujian arus masuk ke *Controller Brushless* DC yang terhubung motor berbeban yaitu arus yang meningkat seiring peningkatan nilai persentase PWM yang diterapkan atau nilai *duty-cycle* PWM dapat diterapkan hingga 100% dengan capaian arus hingga 25,07 Ampere, penurunan tegangan hingga 48,24 V_{dc}, capaian *rating* daya hingga 1209 Watt dan capaian nilai RPM hingga 425. Grafik rata – rata hasil pengujian arus masuk *controller*, tegangan masuk *controller*, *rating* daya *controller* dan RPM motor dengan kondisi terhubung motor BLDC berbeban dapat dilihat pada Gambar 23 sampai Gambar 26.



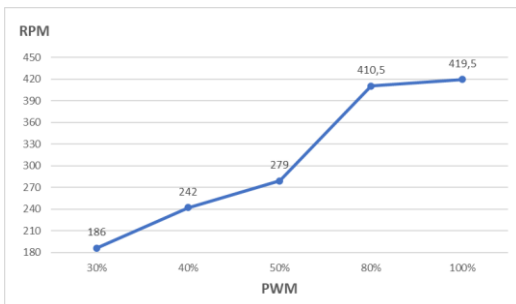
Gambar 23. Grafik Pengujian Arus Masuk *Controller* BLDC Terhubung Motor BLDC Berbeban Terhadap Persentase *duty-cycle* PWM.



Gambar 24. Grafik Pengujian Tegangan Masuk *Controller* BLDC Terhubung Motor BLDC *Berbaban* Terhadap Persentase *duty-cycle* PWM



Gambar 25. Grafik Pengujian *rating* daya *Controller* BLDC Terhubung Motor BLDC *Berbaban* Terhadap Persentase *duty-cycle* PWM



Gambar 26. Grafik Pengujian RPM Motor BLDC Tanpa *Beban* Terhubung *Controller* BLDC Terhadap Persentase *duty-cycle* PWM

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan *Controller* Motor *Brushless* DC Berbasis Mikrokontroler STM32 *Blue Pill* berhasil dibuat dan dapat memutar motor BLDC dengan penerapan *duty-cycle* PWM hingga 100%.
2. Bentuk gelombang yang dihasilkan dari *output phase inverter Controller* Motor *Brushless* DC Berbasis Mikrokontroler STM32 *Blue Pill* yang terhubung dengan Motor BLDC tanpa

beban menghasilkan bentuk gelombang *output sinusoidal* yang mengandung *switching noise*.

3. Unjuk kerja *Controller Brushless* DC Motor *Brushless* DC Berbasis Mikrokontroler STM32 *Blue Pill* yang telah dirancang berhasil digunakan untuk menggerakkan Kendaraan Listrik Urban Agnijaya Weimana dengan penerapan *duty-cycle* PWM hingga 100%, capaian arus rata-rata 24,775 Ampere, penurunan rata-rata tegangan hingga 48,485 V_{DC}, rata-rata *rating* daya hingga 1200,5 Watt dan kecepatan motor BLDC hingga 419,5 RPM.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setiawan, Verda Nano. 2021. "Konsumsi BBM Masyarakat dan Industri Meningkat Imbas Pelonggaran PPKM". <https://katadata.co.id/rezzaaji/berita/61776d156db13/konsumsi-bbm-masyarakat-dan-industri-meningkat-imbasm-pelonggaran-ppkm>. Diakses tanggal 26 Desember 2021.
- [2] Sutedjo, A.Q. Ony., Suhariningsih., Y. S. Diah. 2017. "Desain Dan Implementasi Six-Step Comutation Pada Sistem Kontrol Motor BLDC 1,5 kW". *Prosiding Sentrinov*. 3: 56-68. Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [3] STMicroelectronics. 2022. "STM32F1". <https://www.st.com/resource/en/data-sheet/stm32f103c8.pdf>. Diakses tanggal 19 Agustus 2022.
- [4] Infineon. 2022. "IRF3808". https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRF3808-DataSheet-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d462533600a4015355dff39e196a. Diakses tanggal 19 Agustus 2022.
- [5] Infineon. 2022. "IR2108". https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-ir2108-DS-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c7dc321676. Diakses tanggal 19 Agustus 2022.
- [6] Systems, Advanced Monolithic. 2007. "AMS". <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>. Diakses tanggal 19 Agustus 2022.
- [7] Newmars. 2018. "New Mars Forums". <http://newmars.com/forums/viewtopic>

- .php?id=7527&p=5. Diakses tanggal 26 Desember 2021.
- [8] SparkFun. 2018. "Pulse Width Modulation".
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/pulse-width-modulation/all>. Diakses tanggal 12 Agustus 2022.
- [9] Integra. 2022. "DC-to-DC Converters: Functions, Common Types and Design Principles, Applications, and Challenges".
<https://www.integrasources.com/blog/dc-dc-converters-functions-types-design-applications-challenges/>. Diakses tanggal 2 Juli 2022.
- [10] Pratama, Adi. 2021. "Rancang Bangun Data Logger Untuk Memonitor Unjuk Kerja Sepeda Listrik Berbasis Internet Of Things (IoT)" (*skripsi*). Bukit Jimbaran: PS. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.
- [11] Boylestad, Robert dan Nashelsky Louis. 1998. "Electronic Devices And Circuit Theory:Seventh Edition". USA: Prentice Hall.
- [12] Buyung, Surianto. 2018. "Analisa Perbandingan Daya Dan Torsi Pada Alat Pemotong Rumput Elektrik". *Journal Voering*. 3(1).
- [13] Evalina, Noorly., Azis, Abdul., Zulfikar. 2018. "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programable Logic Controller". *Journal of Electrical Technology*. 3(2): 73-80.
- [14] Adi, Surya., Kumara, Satya., Agung, Raka., 2021. "Status Perkembangan Sepeda Listrik dan Motor Listrik Di Indonesia". *Jurnal SPEKTRUM*. 8(4).
- [15] Zotek. 2016. ZT102 Digital Multimeter.
<http://www.szzotek.com/en/h-col-133.html>. Diakses tanggal 18 April 2022.