ANALISA PENGONTROLAN MOTOR DC SEBAGAI PENGGERAK KENDARAAN LISTRIK

Hamzah Eteruddin[1)] , Edi Santoni[2)], David Setiawan[3)]
[1,2,3)]Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning
Corresponding Author: hamzah@unilak.ac.id;

Diterima : Oktober 2022	*Revisi: Oktober 2022*	*Disetujui: Oktober 2022*	*Terbit: Oktober 2022*

ABSTRAK

Masalah global adalah kelangkaannya bahan bakar fosil, disamping itu bahan bakar fosil juga tidak ramah lingkungan. Kendaraan listrik dirancang sebagai jawaban untuk mulai beralih pada penggunaan energi yang terbaharukan dan ramah lingkungan. Motor listrik sebagai penggerak utama pada kendaraan listrik perlu dikendalikan agar dapat efisien dalam beroperasi sesuai keperluan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis efisiensi *Permanent Magnet Direct Current* Motor (*PMDC*) yang digunakan pada saat diberi pengontrolan dan tanpa pengontrolan pada sepeda listrik beserta pengontrolan berbeban dan tidak berbeban. Metode penelitian. Awal penelitian dimulai dengan persiapan pengontrolan, pembuatan rangkaian pengontrolan pada multisim serta pengujian pengontrolan pada motor saat berbeban dan tidak berbeban. Cara pengontrolan kecepatan Motor *PMDC* disepeda listrik adalah dengan metode rangkaian *DC Chopper* menggunakan *MOSFET CS48N75A* atau sejenisnya dengan sistem penguatan diawal Mulai dari *Output Throttle* yang dikuatkan oleh *LM339* kemudian dikirim ke *Driver MOSFET* sebagai *Switch MOSFET* untuk pengatur besaran tegangan *Input* pada Motor *PMDC. Hasil penelitian : Throttle* 100% Tegangan pada *Output Driver MOSFET* adalah 11,58 V, *Output MOSFET* adalah 0,205 V, dan *Input* Motor adalah 24,94 V. Komsumsi Daya Motor *PMDC* saat menggunakan *controller* adalah 44,4 Watt dan saat tanpa menggunakan *controller* adalah 42,72 Watt. Efisiensi Motor *PMDC* saat menggunakan *controller* adalah 92,29 % dan saat tanpa menggunakan *controller* adalah 92,58 %. Menggunakan baterai litium yang kontruksinya lebih ringan, kecil. Serta mudah dalam mengatur besar tegangan, arus, dan kapasitansi yang kita butuhkan. Dan juga apabila ada kerusakan bisa diganti satuan.

Kata Kunci: *Pengontrolan, Motor PMDC, Controller, Sepeda Listrik Hybrid, PWM, DC Chopper.*

I PENDAHULUAN

Kelangkaan bahan bakar fosil saat ini makin dirasakan secara global. Sebagai sumber energi yang banyak digunakan pada kendaraan transportasi, bahan bakar fosil memiliki berat satuan yang tinggi dibandingkan dengan sumber energi lainnya (Hanun & Sutjahjo, 2018). Saat ini kebutuhan energi menjadi masalah utama di dunia akibat krisis energi yang melanda semua negara. Seluruh bangsa sedang memikirkan cara untuk menghemat energi dan mencoba mencari solusi untuk masalah ini (Riva et al., 2021). Energi merupakan

komponen penting dalam kehidupan. Penerapan paling sederhana dari penggunaan energi yang sering kita alami setiap hari adalah penggunaan energi fosil sebagai sumber tenaga penggerak mesin. Sepeda listrik dapat menjadi alternatif untuk mengatasi kekurangan sepeda pada umumnya. Pengertian sepeda listrik adalah sepeda yang telah dimodifikasi dengan motor listrik dan sumber penggeraknya adalah baterai (Hutagaol, Setiawan, & Eteruddin, 2022).

Sumber tenaga utama untuk menggerakkan motor listrik pada sepeda listrik adalah baterai. Baterai dapat diisi ulang menggunakan sumber listrik rumah tangga (PLN) dan penggunaan *Regeneratif Brake* (Hanifan, 2017). Penggunaan motor listrik *Direct Current (DC)* sebagai penggerak sepeda listrik akan membutuhkan pengontrolan (Hadiyansyah, Atmam, & Setiawan, 2019). Hal ini diperlukan agar dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Selain dari pada itu agar dapat lebih efisiensi dalam penggunaannya.

Motor DC pada kendaraan listrik perlu dikendalikan agar kecepatannya sesuai keperluan dan energi yang digunakan dapat efisien. Penelitan ini menganalisis efisiensi Permanent Magnet Direct Current Motor (PMDC) yang digunakan pada saat diberi pengontrolan dan tanpa pengontrolan pada sepeda listrik beserta pengontrolan berbeban dan tidak berbeban.

II STUDI PUSTAKA

2.1 Motor *Direct Current* (*DC*)

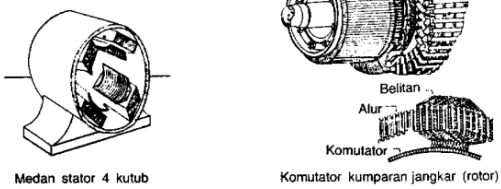
Suatu mesin listrik baik generator atau motor akan berfungsi bila memiliki:

a. Kumparan medan, untuk menghasilkan medan magnet.
b. Kumparan jangkar, untuk mengimbaskan gaya gerak listrik pada konduktor-konduktor yang terletak pada alur-alur jangkar dan
c. Celah udara, yang memungkinkan berputarnya jangkar dalam medan *magnet*.

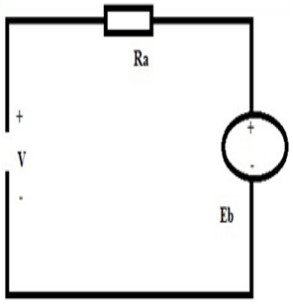
Pada mesin arus searah, kumparan medan yang berbentuk kutup sepatu merupakan stator atau bagian yang tidak berputar, dan kumparan jangkar merupakan rotor atau bagian yang berputar lihat pada Gambar 1, bila kumparan jangkar berputar dalam medan magnet, akan dibangkitkan tegangan gaya gerak listrik (ggl) yang berubah-ubah arah setiap setengah putaran, sehingga merupakan arus bolak-balik:

$$e = E_{maks}\ Sin\ \omega t \qquad (1)$$

Untuk memperoleh tegangan searah diperlukan alat penyearah yang disebut komutator dan sikat (Zuhal, 2000).



Gambar 1. Mesin Arus Searah (Zuhal, 2000)



Gambar 2. Rangkaian Ekivalen *PMDC* Motor (Chapman, 2012)

2.2 *Permanent Magnet Direct Current* Motor (*PMDC*)

Motor arus searah magnet permanen (*PMDC*) adalah motor arus searah yang kutubnya tersusun dari magnet permanen. Motor *DC magnet* permanen menawarkan banyak keunggulan dibandingkan dengan Beberapa aplikasi menggunakan motor *DC shunt*. Motor ini tidak memerlukan sirkuit medan eksternal, sehingga tidak ada rugi tembaga di sirkuit medan yang terhubung ke *shunt* motor *DC*. Tidak diperlukan gulungan medan, sehingga kontruksi bisa lebih kecil dari motor *DC shunt* yang sebanding. Motor *PMDC* sekitar 10 Hp, dan dalam beberapa tahun terakhir beberapa mesin telah dibuat hingga 100 Hp. Motor *PMDC* umumnya lebih murah, lebih kecil, lebih sederhana, dan Efisiensi lebih tinggi daripada motor *DC* dengan tipe yang sama. Ini menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk banyak aplikasi motor *DC*. *Armature* motor *PMDC* pada dasarnya sama dengan a*rmature* motor *DC* lainnya. Hanya saja motor *PMDC* tidak memiliki kumparan medan jadi ini akan mengurangi ukuran motor serta biayanya (Chapman, 2012). Untuk rangkaian ekivalen motor *PMDC* dapat dilihat pada Gambar 2.

2.3 Pengaturan Kecepatan

Pengaturan kecepatan memegang peranan penting dalam motor arus searah, karena motor arus searah mempunyai karakteristik kopel-kecepatan yang menguntungkan dibandingkan dengan motor lainnya. Telah diketahui bahwa untuk motor arus searah dapat diturunkan rumus sebagai berikut (Zuhal, 2000):

$$\mathrm{E_a} = \mathrm{Cn}\Phi, \mathrm{E_a} = V_t - I_a R_a \quad (2)$$

$$n = \frac{V_t - I_a R_a}{C\Phi} \quad (3)$$

Dari persamaan diatas, dapat dilihat bahwa kecepatan (n) dapat diatur dengan mengubah-ubah besaran Φ, R_a, dan V_t.

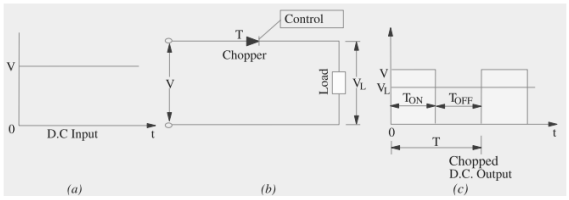
Tetapi karena motor yang digunakan adalah motor dengan magnet permanen maka nilai *fluks magnet* akan konstan. Oleh karena hal tersebut pengontrolan kecepatan motor *DC magnet* permanen dengan mengubah tegangan atau tahanan jangkar.

2.4 *Thyristor Choppers*

Thyristor dapat dihidupkan dan dimatikan dengan sangat cepat, sehingga digunakan untuk mematikan catu daya *DC* dengan frekuensi normal untuk menghasilkan tegangan *DC* tingkat rendah dari catu daya tegangan tinggi. Sederhananya, dapat menghasilkan tegangan *DC* rendah dan tinggi. Nilai rata-rata tegangan keluaran diberikan oleh rumus berikut:

$$V_{dc} = V_L = V\frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}} = V\frac{T_{ON}}{T} \quad (4)$$

Rangkaian ekivalen pengontrolan Motor *PMDC* seperti Gambar 3 (Theraja, 2005).

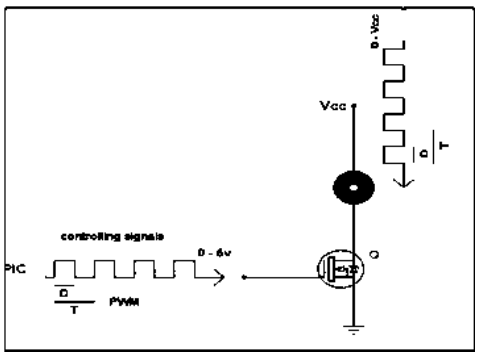


Gambar 3**.** Rangkaian Pengontrolan *Thyristor* (Theraja, 2005)

2.5 Prinsip Teori Kontrol Kecepatan Sederhana *PMDC* Motor Menggunakan Teknik *PWM*

Tegangan rata-rata yang diterima oleh motor pada Gambar 4, dibawah ini selama setiap siklus kerja D adalah $V_{av} = D \times Vcc$ di mana Vcc adalah tegangan suplai dari baterai yang diberikan yang diterapkan di seluruh *armature* motor. Pertama, kita dapat menulis program perakitan untuk menghasilkan *PWM* (*Pulse Width Modulation*) dengan frekuensi 1 kHz atau nilai lain yang lebih besar dengan *duty cycle* 50% kemudian kita menghubungkan sinyal ini ke *driver* motor (Tarnini, 2014).

Alasan utama menggunakan *PWM* adalah untuk menghindari pembuangan panas yang berlebihan pada *amplifier* daya *linier*. Masalah pembuangan panas sering menghasilkan *heatsink* yang besar dan terkadang memaksa bagian pendinginan. *Amplifier PWM* sangat mengurangi masalah ini karena efisiensi konversi daya yang jauh lebih tinggi. Selain itu, sinyal *input* ke *driver PWM* dapat langsung diturunkan dari sistem digital apa pun tanpa memerlukan konverter D/A digital ke analog. Kita dapat memvariasikan tegangan melintasi motor dengan memvariasikan tugas D dari *PWM* yang diberikan (Tarnini, 2014).

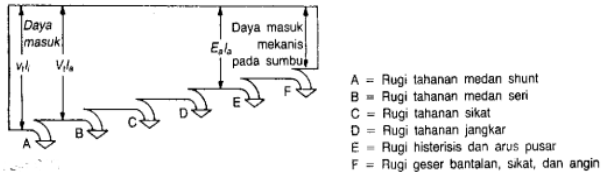


Gambar 4. Kontrol Kecepatan Motor Menggunakan Teknik *PWM* (Tarnini, 2014)

2.6 Rugi dan Efisiensi dalam Mesin *DC*

Rugi yang terjadi dalam mesin arus searah adalah:

1. Rugi besi, yang terdiri atas rugi histerisis dan rugi "arus eddy"
2. Rugi listrik yang dikenal sebagai rugi tembaga (I^2R).
3. Rugi mekanik yang terdiri atas rugi geser pada sikat, rugi geser pada sumbu, dan rugi angin.
4. Aliran daya untuk mesin arus searah yang terlihat pada Gambar 5, disini digambarkan aliran daya untuk motor, sedangkan untuk generator aliran daya adalah sebaliknya (Zuhal, 2000).



Gambar 5. Aliran Daya Mesin Arus Searah (Chapman, 2012)

Rugi tembaga pada jangkar diberikan rumus seperti dibawah ini: (Chapman, 2012)

$$P_A = I_A^2 \times R_A \quad (5)$$

$$V \times I_a = E_a I_a + I^2 R_a \quad (6)$$

Generator *DC* mengambil energi mekanik dan menghasilkan energi listrik saat arus searah. Motor menyerap energi listrik dan menghasilkan energi mekanik. Dalam kedua kasus ini konsumsi daya total mesin ditampilkan dengan cara yang berguna namun hasil keluarannya akan mengalami kerugian selama proses konversi. Efisiensi mesin *DC* didefinisikan oleh persamaan berikut: (Chapman, 2012)

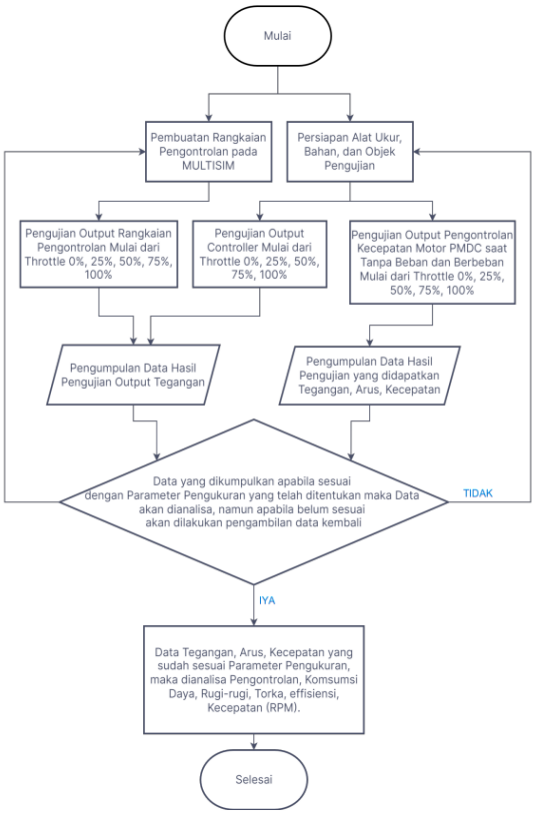
$$\eta = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\% \quad (7)$$

III METODE PENELITIAN

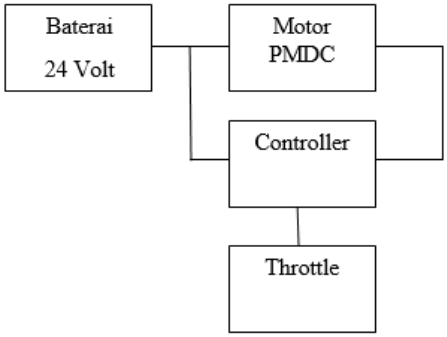
Pada diagram alir akan dapat dilihat tahap-tahap dalam melakukan metode penelitian yang akan dilakukan. Pada Gambar 6, dibawah ini merupakan tahapan metode penelitian yang akan dilakukan seperti:

1. Mulai adalah tahapan dalam memulai tahan penelitian yang akan dilakukan.
2. Pembuatan Rangkaian pada Multisim adalah proses membuat simulasi Pengontrolan Kecepatan dari *Controller*.
3. Persiapan Peralatan yang akan digunakan Seperti Motor PMDC, Alat Ukur, Lokasi dan lainnya.
4. Pengujian adalah proses penelitian pada alat yang dilakukan baik pada saat berbeban maupun tanpa beban.
5. Hasil pengujian adalah data yang terkumpul saat setelah dilakukan pengujian baik saat berbeban maupun tanpa beban.

6. Hasil data yang didapat pada hasil pengujian apabila sudah lengkap atau sudah dilakukan dengan parameter yang telah ditentukan maka selanjutnya Data yang terkumpul tadi akan dilanjutkan ke proses Analisa data. Namun apabila data yang didapatkan tadi masih belum lengkap atau belum sesuai dengan parameter yang telah ditentukan maka akan dilakukan pengujian ulang kembali.
7. Data yang telah dikumpulkan tadi akan dianalisa Kembali melalui rumus dan teori-teori perhitungan apakah data yang didapatkan sesuai dan selesai.



Gambar 6. Diagram Alir (Hasil Penelitian)



Gambar 7. Block Diagram Pengontrolan Kecepatan Motor *PMDC* (Hasil Penelitian)

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil data yang didapatkan saat pengujian dikumpulkan dan disajikan dalam bentuk Tabel, Gambar, dan Diagram Garis. Sebelum masuk dalam menganalisa hasil data pengujian dilapangan ada proses pengontrolan yang dieksekusi oleh *Controller* dalam hal ini lebih tepatnya adalah *IC LM339*. Setelah dilakukan pengujian tahap demi tahap didapatkan beberapa keadaan yang dapat mempengaruhi dari nilai penelitian yang didapatkan mulai dari *Throttle* yang mengatur besaran tegangan *Output* pada *IC LM339*.

4.2. Hasil Pengujian Pengontrolan Kecepatan Motor *PMDC*

Tahapan awal dilakukan pengujian nilai *Output* pada komponen-komponen pengontrol kecepatan motor *PMDC* yang digunakan. Pengujian dilakukan dengan cara

pengukuran langsung menggunakan multitester yang dimana parameternya ditentukan oleh *Throttle* mulai dari 0%, 25%, 50%, 75%, 100%.

Tabel 1. Hasil Pengujian tegangan *Output* pada *Throttle*

Pengujian Tegangan *Output Throttle*					
Throttle	0%	25%	50%	75%	100%
Input	4,9 V	4,9 V	4,9 V	4,9 V	4,9 V
Output	0,8 V	1,6 V	2,3 V	3,1 V	4 V

Tabel 2. Hasil pengujian tegangan *Output* pada *LM339*

Pengujian Tegangan *Output LM* 339					
Throttle	0%	25%	50%	75 %	100 %
Input	0,8 V	1,6 V	2,3 V	3,1 V	4 V
Output	70,4 mV	1,950V	5,121V	9,72 V	12,13V

Tabel 3. Hasil Pengujian Tegangan *Output* Pada *Driver MOSFET*

Pengujian Tegangan *Output Driver MOSFET*					
Throttle	0%	25%	50%	75 %	100 %
Input	70,4 mV	1,950 V	5,121 V	9,72 V	12,13 V
Output	0,4mV	2,104V	5,242V	9,46V	11,58V

Tabel 4. Hasil Pengujian Tegangan *Output* Pada *MOSFET*

Pengujian Tegangan *Output MOSFET*					
Throttle	0%	25%	50%	75%	100 %
Input	0,4 mV	2,104V	5,242V	9,46 V	11,58 V
Output	25,92V	21,65V	14,65V	4,230V	20,5 mV

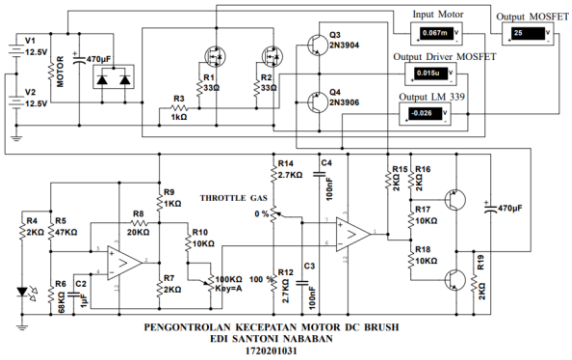
Tabel 5. Hasil Pengujian Tegangan *Output* Pada Motor *PMDC*

Pengujian Tegangan *Input* dan Kecepatan *Output* pada Motor *PMDC*					
Throttle	0%	25%	50%	75%	100%
Input	0 V	4,403V	11,12V	20,52V	24,94V
Kecepatan	0 RPM	50,9 RPM	141 RPM	195,2 RPM	381,3 RPM

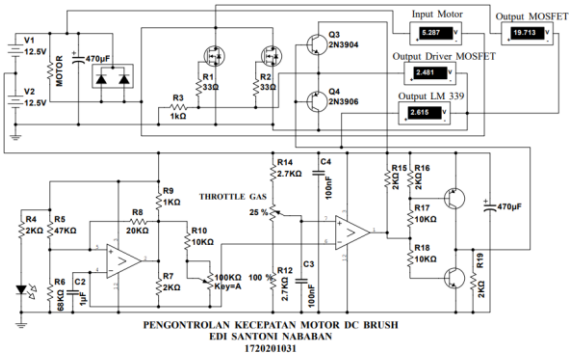
4.3 Hasil Pengontrolan Kecepatan Motor pada *Software MULTISIM*

Setelah dilakukan pengujian pengontrolan tegangan pada *Controller*, maka selanjutnya dilakukan pengujian rangkaian *Controller* pada *Software MULTISIM*. Untuk melihat proses atau cara kerja *Controller* dalam melakukan pengontrolan tegangan *Output* pada *Controller*. Dengan *Throttle* mulai dari 0%, 25%, 50%, 75%, 100%. Dan setelah dilakukan pengujian hasil pengontrolan tegangan *Output* rangkaian *Controller* pada *MULTISIM* didapatkan hasil yang sesuai dengan hasil *Output Controller* aslinya. Pada Gambar 8, dibawah ini merupakan hasil pengujian dengan Bukaan *Throttle* 0% didapatkan tegangan keluaran adalah 0,067 Volt.

Pada Gambar 9, dibawah ini merupakan hasil pengujian dengan Bukaan *Throttle* 25% didapatkan tegangan keluaran adalah 5,287 Volt.



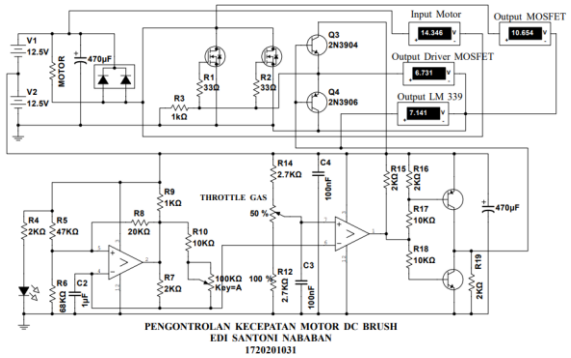
Gambar 8. Hasil *Output Throttle* 0%
(Hasil Penelitian)



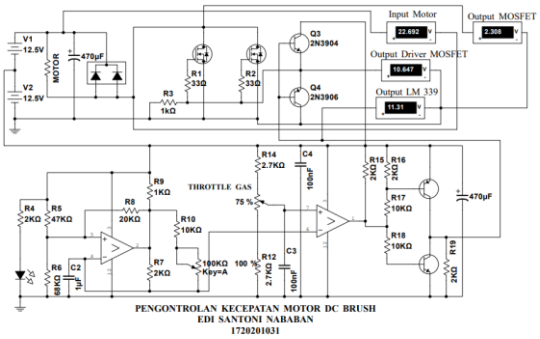
Gambar 9. Hasil *Output Throttle* 25%
(Hasil Penelitian)

Pada Gambar 10, dibawah ini merupakan hasil pengujian dengan Bukaan *Throttle* 50% didapatkan tegangan keluaran adalah 14,346 Volt.

Pada Gambar 11, dibawah ini merupakan hasil pengujian dengan Bukaan *Throttle* 75% didapatkan tegangan keluaran adalah 22,692 Volt



Gambar 10. Hasil *Output Throttle* 50%
(Hasil Penelitian)

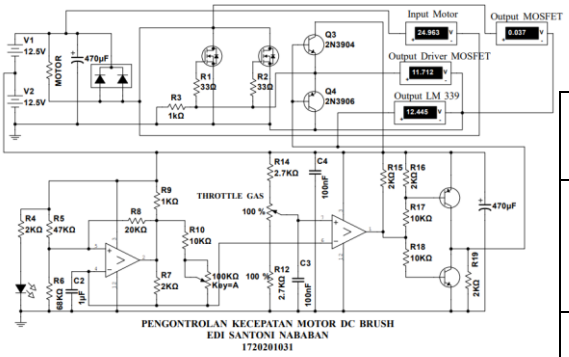


Gambar 11. Haasil *Output Throttle* 75%
(Hasil Penelitian)

Pada Gambar 12 merupakan hasil pengujian dengan Bukaan *Throttle* 100% didapatkan tegangan keluaran adalah 24,963 Volt. Hasil Pengontrolan Tegangan yang didapatkan dari hasil pengujian rangkaian *Controller* pada *Multisim* dapat dilihat seperti Tabel 6.

4.4 Pengujian Pengontrolan Kecepatan Motor *PMDC* Tanpa Beban

Setelah pengaturan tegangan *Output* pada *Controller* tercapai maka selanjutnya dilakukan pengujian pengontrolan kecepatan pada motor yang telah terpasang pada sepeda listrik dilakukan dengan Tanpa Beban dan parameter pengujian ditentukan dengan bukaan *Throttle* gas mulai dari 0%, 25%, 50%, 75%, 100%. Untuk pengujian motor tanpa beban sesuai dengan sifat *hall effect sensor* yang nilai keluarannya tegangannya linier berbanding lurus dengan kenaikan nilai tegangan, arus, dan kecepatan sepeda saat pengujian dapat dilihat pada Tabel 7, dibawah ini



Gambar 12. Hasil *Output Throttle* 100% (Hasil Penelitian)

Tabel 6. Hasil Pengaturan Tegangan *Output Controller* pada *MULTISIM*

Throttle Gas	0%	25%	50%	75%	100%
Input Motor (V)	0	5,287	14,34	22,692	24,9
Output MOSFET (V)	25	19,71	10,65	2,30	0,037
Output Driver (V)	15	2,48	6,73	10,64	11,712
Output LM339 (V)	0,026	2,615	7,141	11,31	12,445

Tabel 7. Hasil Pengujian Pengontrolan Kecepatan Tanpa Beban

Throttle Gas	0 %	25 %	50 %	75%	100 %
Tegangan Motor (V)	0	3,8	9,35	17,38	22,18
Arus Motor (A)	0	1,56	2,16	2,54	2,55
Kecepatan Motor (km/j)	0	6,5	18,2	35,5	45,7

Tabel 8. Hasil Pengujian Pengontrolan Kecepatan Berbeban

Throttle Gas	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
Tegangan Motor (V)	0	5,8	11,3	18,2	20,8
Arus Motor (A)	0	4,38	8,54	11,8	13,72
Kecepatan Motor (km/j)	0	5	9	17	20

4.5 Pengujian Pengontrolan Kecepatan Motor *PMDC* Berbeban 60 kg

Setelah dilakukan pengujian tanpa beban kemudian dilakukan juga pengujian berbeban yaitu beban yang diberikan adalah manusia dengan berat badan 60 kg. Pengujian juga dilakukan dijalan yang mendatar dan lurus, untuk parameter pengujian juga berdasarkan bukaan *Throttle* gas mulai dari 0%, 25%, 50%, 75%, 100%. Hasil dari data pengujian yang telah didapatkan sebelumnya dengan ketentuan parameter *Throttle* gas mulai dari 0%, 25%, 50%, 75%, 100%. Kemudian data pengujian yang diambil adalah saat keadaan setabil atau tidak dalam kondisi transien agar data yang didapatkan memiliki

akurasi yang tinggi dan ketepatan dalam hasil pengukuran yang dilakukan, untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 8.

V KESIMPULAN

Cara pengontrolan kecepatan Motor *PMDC* disepeda listrik adalah dengan metode rangkaian *DC Chopper* menggunakan *MOSFET CS48N75A* atau sejenisnya dengan sistem penguatan diawal Mulai dari *Output Throttle* yang dikuatkan oleh *LM339* kemudian dikirim ke *Driver MOSFET* sebagai *Switch MOSFET* untuk pengatur besaran tegangan *Input* pada Motor *PMDC*.

Throttle 0% Tegangan pada *Output Driver MOSFET* adalah 0,4 mV, *Output MOSFET* adalah 25,92 V, dan *Input* Motor adalah 0 V. *Throttle* 25% Tegangan pada *Output Driver MOSFET* adalah 2,104 V, *Output MOSFET* adalah 21,65 V, dan *Input* Motor adalah 4,403 V. *Throttle* 50% Tegangan pada *Output Driver MOSFET* adalah 5,242 V, *Output MOSFET* adalah 14,65 V, dan *Input* Motor adalah 11,12 V. *Throttle* 75% Tegangan pada *Output Driver MOSFET* adalah 9,46 V, *Output MOSFET* adalah 4,230 V, dan *Input* Motor adalah 20,52 V. *Throttle* 100% Tegangan pada *Output Driver MOSFET* adalah 11,58 V, *Output MOSFET* adalah 0,205 V, dan *Input* Motor adalah 24,94 V.

Komsumsi Daya Motor *PMDC* saat menggunakan *controller* adalah 44,4 Watt dan saat tanpa menggunakan *controller* adalah 42,72 Watt. Daya Motor saat Tanpa Beban 50,559 Watt dengan *Throttle* 100% dan saat Berbeban 285,376 Watt dengan *Throttle* 100%.

Efisiensi Motor *PMDC* saat menggunakan *controller* adalah 92,29 % dan saat tanpa menggunakan *controller* adalah 92,58 %. Efisiensi tertinggi saat Tanpa Beban 88,50 % dengan *Throttle* 100% dan saat Berbeban 35,16 % dengan *Throttle* 75%.

DAFTAR PUSTAKA

Chapman, S. J. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (5th ed.). https://doi.org/10.1142/9789813270282_0001

Hadiyansyah, Atmam, & Setiawan, D. (2019). Studi Penggunaan Semikonverter AC-DC Untuk Mengatur Kecepatan Motor DC. *SainETIn*, *3*(2), 33–41. https://doi.org/10.31849/sainetin.v3i2.3036

Hanifan, A. R. (2017). Smart Electric Automobile (Smart-EA) dengan Triple Charging dan Regenerative Breaking. *Seminar Nasional Peranan Ipteks Menuju Industri Masa Depan (PIMIMD-4)*, 1–4. https://doi.org/10.21063/PIMIMD4.2017.1-4

Hanun, V., & Sutjahjo, D. H. (2018). Kmparasi Karakteristik Bioetanol Gel Dengan Pengental Karbopol Dan Carboxy Methyl Cellulose (CMC) Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, *7*(2), 14–20. Retrieved from https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-pendidikan-teknik-mesin/article/view/25556

Hutagaol, J. V., Setiawan, D., & Eteruddin, H. (2022). Perancangan Sistem Monitoring

Kendaraan Listrik. *Jurnal Teknik*, *16*(1), 96–102. https://doi.org/10.31849/teknik.v16i1.9640

Riva, A. D., Vestarchi, M.-E., Eteruddin, H., Nugraha, A., Hartono, R., Situngkir, D. M., … Yosnaldi. (2021). *Riau Regional Energy Outlook 2019*. Jakarta: Kalaka.

Tarnini, M. Y. (2014). Microcontroller based PMDC motor control for driving 0.5 kW Scooter. *16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC)*, 1204–1208. https://doi.org/10.1109/EPEPEMC.2014.6980675

Theraja, B. L. (2005). *AC & DC MACHINES* (Volume II). New Delhi: S.Chan & Company Ltd.

Zuhal. (2000). *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.