

Desain permodelan dan simulasi *Field Oriented Control* (FOC) menggunakan motor BLDC : Aplikasi pada *Drive Train - Swerve Drive*

Arif Anwar Rosyidin¹, Agus Pracoyo², Indrazno Siradjuddin³, Dinda Ayu Permatasari⁴, Gillang Al Azhar⁵, Mas Nurul Achmadiyah⁶

e-mail: arifanwar0243@gmail.com, agus.pracoyo@polinema.ac.id, indrazno.siradjuddin@polinema.ac.id, dinda.ayu@polinema.ac.id, gillang.al.azhar@polinema.ac.id, masnurul@polinema.ac.id

^{1,2,3,4,5,6}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 7 Agustus 2023

Direvisi 10 September 2023

Diterbitkan 30 September 2023

Kata kunci:

Swerve drive

Independen *steering*

Independen *driving*

holonomic

ABSTRAK

Motor brushless DC (BLDC) mulai populer digunakan pada kendaraan listrik dibandingkan motor induksi. Hal ini dikarenakan beberapa keunggulan motor BLDC seperti efisiensi daya yang lebih tinggi, dimensi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan motor lain yang memiliki daya yang sama. Beberapa metode telah diterapkan pada motor BLDC diantaranya adalah trapezoidal commutation dan field oriented control (FOC). Dari kedua metode tersebut, FOC lebih unggul dalam meminimalisir ripple torsi dan dalam hal efisiensi daya terutama pada saat motor pada kecepatan rendah, tetapi FOC memerlukan sensor yang lebih banyak dan algoritma yang lebih rumit. Dengan memperhatikan hal tersebut maka penelitian ini akan berfokus pada permodelan dan simulasi motor BLDC menggunakan metode Field Oriented Control (FOC). Aplikasi dari penelitian ini adalah pada swerve drive. aplikasi penelitian ini adalah pada Swerve drive. Swerve drive, juga dikenal sebagai holonomic drive atau swerve and steer drive, adalah jenis sistem penggerak roda yang digunakan dalam robot atau kendaraan untuk memberikan kemampuan manuver tingkat tinggi. Sistem ini memungkinkan kendaraan untuk bergerak dalam berbagai arah dengan mudah dan presisi, termasuk berbelok dalam tempat dengan radius yang sangat kecil. Metode ini sering digunakan dalam robotika, terutama dalam konteks perlombaan robot dan aplikasi yang membutuhkan manuver yang canggih. Swerve drive terdiri dari 2 motor yang masing-masing fungsinya adalah untuk steering dan driving untuk pergerakannya sehingga dibutuhkan sebuah controller agar perputaran motor sesuai dengan set point yang telah ditentukan. Hasil dari metode ini adalah, error berkurang sebesar 2% dan pada steering mengurangi error sebesar 0,7%. Selain itu kontroler juga dapat memperbaiki respon dari driving dan steering sehingga dapat memperbaiki performa dari alat penelitian ini..

ABSTRACT

Brushless DC (BLDC) motors are becoming more popular in electric vehicles compared to induction motors. This is due to several advantages of BLDC motors such as higher power efficiency, smaller dimensions when compared to other motors of the same power. Several methods have been applied to BLDC motors, including trapezoidal commutation and field oriented control (FOC). Of the two methods, FOC is superior in minimizing torque ripple and in terms of power efficiency, especially when the motor is at low speed, but FOC requires more sensors and a more complicated algorithm. By paying attention to this, this research will focus on modeling and simulating BLDC motors using the Field Oriented Control (FOC) method. The application of this research is on shift drives. The application of this research is on Swerve Drive. Swerve drive, also known as holonomic drive or swerve and steer drive, is a type of wheel drive system used in robots or vehicles to provide a high degree of maneuverability. This system allows the vehicle to move in various directions easily and precisely, including turning within a very

Keywords:

Swerve drive

Independent steering

Independent driving

Holonomic



small radius. It is frequently used in robotics, especially in the context of robot racing and applications requiring sophisticated maneuvers. The shift drive consists of 2 motors, each of which functions as steering and driving for movement, so a controller is needed so that the motor rotation is in accordance with a predetermined set point. The results of this method are that the error is reduced by 2% and the steering reduces the error by 0.7%. Apart from that, the controller can also improve the response of driving and steering so that it can improve the performance of this research tool.

Penulis Korespondensi:

Mas Nurul Achmadiah, S.ST., M.T,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Soekarno Hatta No.9, Malang, Indonesia, Kode Pos. 65141
Email: masnurul@polinema.ac.id
Nomor HP/WA aktif: +62 812-178-070-60

1. PENDAHULUAN

Motor BLDC (brushless DC) adalah motor listrik yang menggunakan komutasi elektronik untuk menggerakkan rotornya. Tidak seperti motor DC tradisional yang menggunakan brush untuk mengalirkan arus listrik ke rotor, motor BLDC menggunakan sakelar elektronik untuk mengontrol arus yang mengalir ke belitan stator. Motor BLDC biasanya digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan efisiensi, presisi, dan keandalan tinggi, seperti kendaraan listrik, otomasi industri, dan ruang angkasa. Motor BLDC ini didesain dalam berbagai ukuran mulai dari yang kecil hingga penggerak untuk industri besar. Motor BLDC ini dapat dikontrol menggunakan berbagai metode, seperti sensorless control, sensor-based control, open-loop control, closed-loop control, field-oriented control (FOC), vector control, dan direct torque control (DTC). salah satu metode yang paling mudah untuk mengontrol kecepatan, torsi dan sudut adalah FOC. Dimana metode ini bekerja mengendalikan kecepatan dan torsi motor brushless DC (BLDC) dengan mengatur arus pada belitan stator. FOC sangat akurat dan efisien dan sering digunakan dalam aplikasi industri dan aplikasi dengan kinerja tinggi. Motor BLDC digunakan dalam penelitian ini karena keunggulannya dibandingkan motor lain karena torsi tinggi, kecepatan tinggi, dan ukurannya yang kecil[8]. BLDC melibatkan proses yang kompleks seperti pemodelan, pemilihan pengontrol, simulasi, dan parameterisasi. Di dalam sebuah pergerakan robot tentu saja tidak lepas dari performa dari aktuatornya, untuk mengontrol aktuatornya agar berputar sesuai dengan set point sehingga membuat robot dapat menuju titik yang telah ditentukan dengan tepat dan akurat, maka berbagai solusi kontrol canggih telah diusulkan untuk desain pengontrol kecepatan motor BLDC. Kontroler PID atau kontroler FOC dapat digunakan sebagai unit kontrol untuk mengontrol kecepatan motor BLDC[1].

Penelitian pada bidang robotika khususnya *mobile robot* atau *wheeled mobile robot* mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari waktu ke waktu. Ada berbagai alasannya yaitu antara lain meluasnya penggunaan robot di berbagai bidang untuk memudahkan pekerjaan dan mengurangi risiko kecelakaan yang melukai orang. Oleh karena itu, penelitian di bidang robotika menjadi daya tarik tersendiri bagi para peneliti. Kemajuan terbaru dalam robot beroda telah membuka banyak aplikasi potensial di dunia industri, medis, Rumah sakit, dan gudang[2]. Berdasarkan pergerakannya robot dibagi menjadi 2 yaitu *holonomic* dan *non-holonomic* [3]. *Wheeled Mobile Robot* (WMR) yang konvensional, tidak dapat berjalan ke samping tanpa manuver awal yang menjadi batasan dalam pergerakannya. Meskipun ada kemajuan dalam kemampuan manuver WMR, mereka masih tidak bisa menandingi *holonomic* robot. Misalnya, ada beberapa motor yang dipasang secara statis posisi di sisi kiri dan kanan robot dalam diferensial desain. Robot ini disebut *non-holonomic* hal ini dikarenakan robot tidak bisa bergerak ke segala arah yang memungkinkan. Sebaliknya, robot yang menggunakan konfigurasi omni-directional disebut robot *holonomic* karena mampu bergerak di semua arah pada setiap titik waktu[4].

Banyak tipe dari drive omnidirectional salah satunya adalah *Swerve drive* [5]. Sistem swerve adalah sebuah konsep sederhana dalam modul penggerak yang dikendalikan secara independen. Di dalam 1 Modul *Swerve drive* terdiri 2 motor, satu gearbox, 2 encoder, dan roda. Dimana satu dari kedua motor digunakan sebagai *steering* dan satu lagi untuk *driving*[6]. Mekanisme *Swerve drive* secara konvensional membutuhkan delapan motor untuk

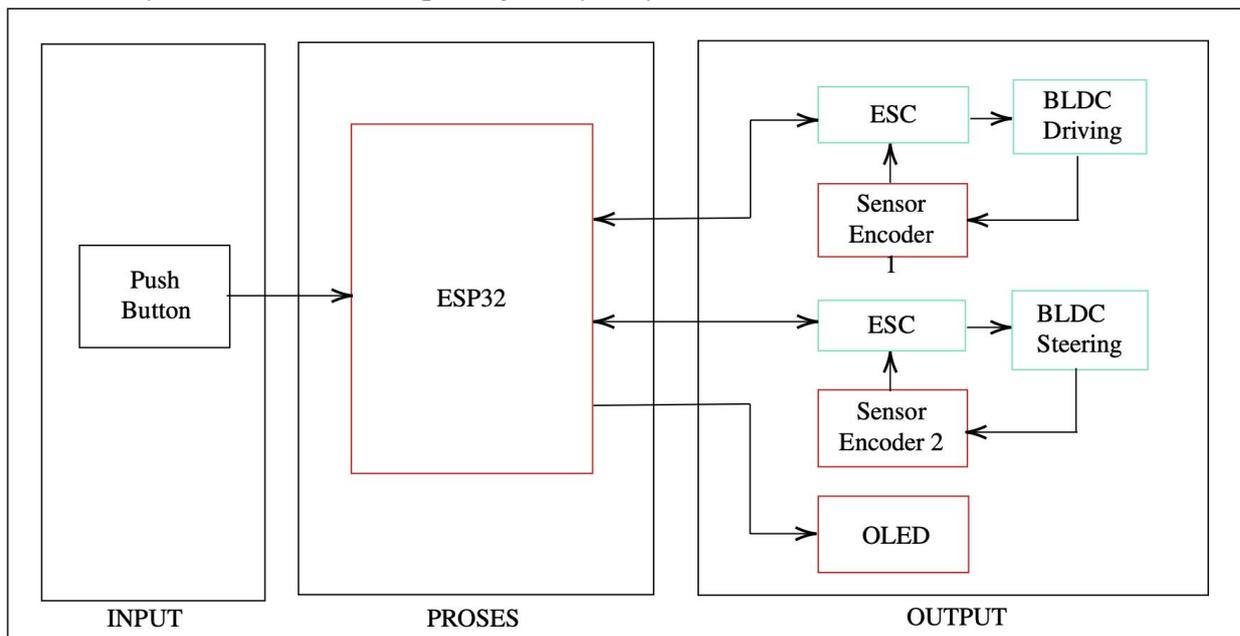


penggerak independen dalam robot roda empat [7]. Agar wheeled mobile robot dapat bergerak ke segala arah tanpa mengubah arah hadap maka dapat menggunakan mode holonomic dengan sistem drive omnidirectional drive. Tapi pada mekanisme tersebut memiliki beberapa kekurangan yaitu selip yang mengakibatkan kecepatan dari robot akan berkurang. Hal itu akan mempengaruhi performa manuver dari robot tersebut. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan sebuah mekanisme roda dengan sistem independent driving dan independent steering atau sering disebut dengan Swerve Drive

Pembahasan pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian antara lain sebagai berikut : bab 2 berisi tentang metode penelitian yang terdiri dari teori motor BLDC dan control *FOC*, Bab 3 berisikan tentang hasil dan pembahasan dari penggunaan kontrol *FOC* untuk mengatur kecepatan dan posisi motor BLDC, dan bab 4 berisikan tentang kesimpulan yang dapat disimpulkan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

2. METODE PENELITIAN

Gambar 1 merupakan Gambar blok diagram system pada penelitian ini.

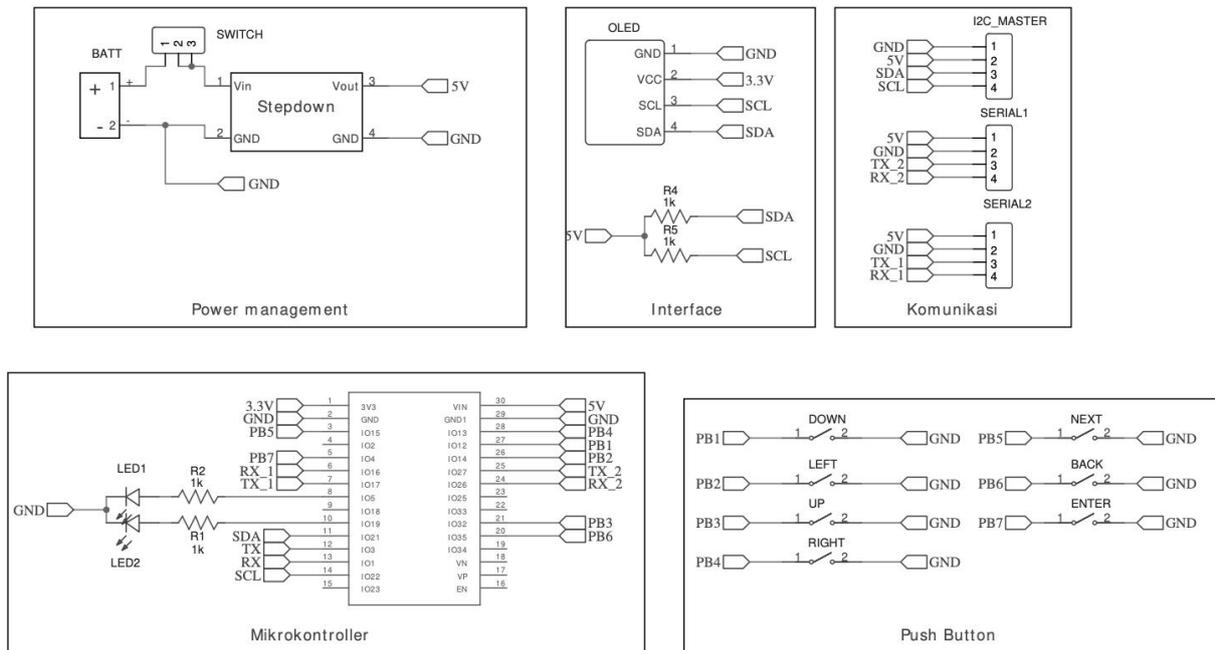


Gambar 1. Blok diagram system

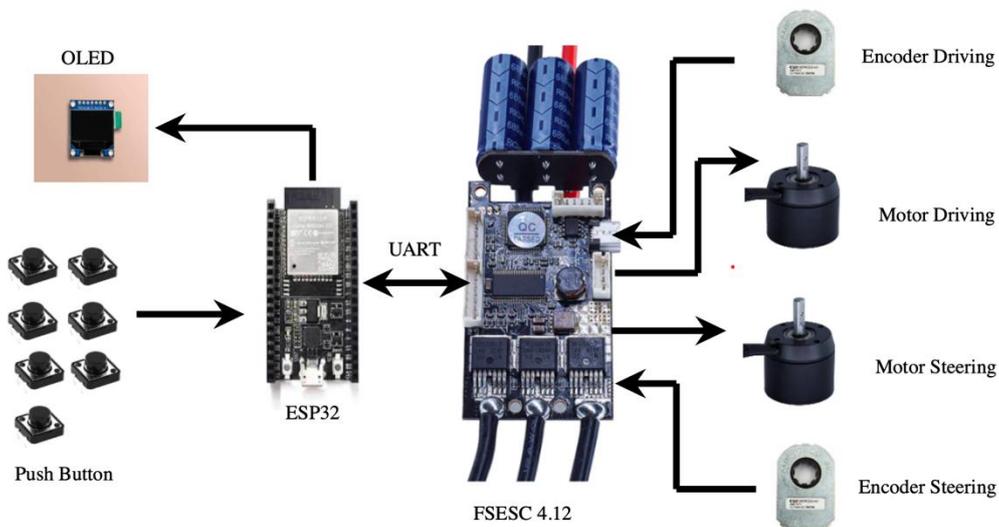
Penjelasan dari blok diagram diatas adalah sebagai berikut. Pada bagian input terdapat sebuah push button. Push button berfungsi sebagai navigator di interface. Push button terdiri dari 7 push button yaitu PB kiri, PB kanan, PB atas, PB bawah, PB enter, PB back, dan PB enter. Push button dirancang menggunakan aktif high, dimana salah satu pin push button dihubungkan ke ground dan satunya lagi ke GPIO mikrokontroller. Pada bagian proses terdapat sebuah mikrokontroller. mikrokontroller yang di- gunakan adalah ESP32. ESP 32 menggunakan supply tegangan sebesar 5V. Mikro- kontoller ini berfungsi untuk melakukan komputasi pada data kecepatan dan posisi yang dikirim oleh ESC yang akan menjadi input *FOC*. Selain itu ESP 32 berfungsi untuk memberikan perintah kepada ESC setelah melakukan komputasi *FOC*. Pada bagian output terdapat sebuah ESC, Motor BLDC, encoder, dan OLED. Mereka memiliki fungsi masing-masing yaitu ESC berguna sebagai driver motor BLDC. ESC akan saling berkomunikasi dengan mikrokontroller dengan menggunakan komunikasi UART. Motor BLDC berguna sebagai aktuator atau sebagai penggerak. Encoder berfungsi sebagai sensor kecepatan driving dan sudut steering. Hasil dari pengukuran sensor rotary encoder akan menjadi feedback pada ESC. OLED berguna sebagai interface yang isinya adalah informasi tentang ke- patan, tegangan baterai, dan sudut motor. Agar alat ini dapat bergerak dan bekerja dengan baik maka dibutuhkan sebuah rangkaian elektrik untuk menunjangnya. Gambar 2 merupakan rangkaian elektrik main board.



Pada main board ini terdapat beberapa bagian yaitu Power Management, Interface, dan mikrokontroller, push button. Pada power management terdapat konektor baterai yang terhubung dengan stepdown 5V 3A yang berguna sebagai sumber tegangan pada main board ini. Pada interface terdapat OLED 0,93 inch yang berfungsi sebagai media informasi pada alat ini. Pada mikrokontroller menggunakan ESP32 yang berfungsi untuk memberi perintah kepada 2 ESC dengan komunikasi UART serial. Desain tersebut terdapat pada Gambar 3.



Gambar 2. Desain skematik main board modul swerve drive

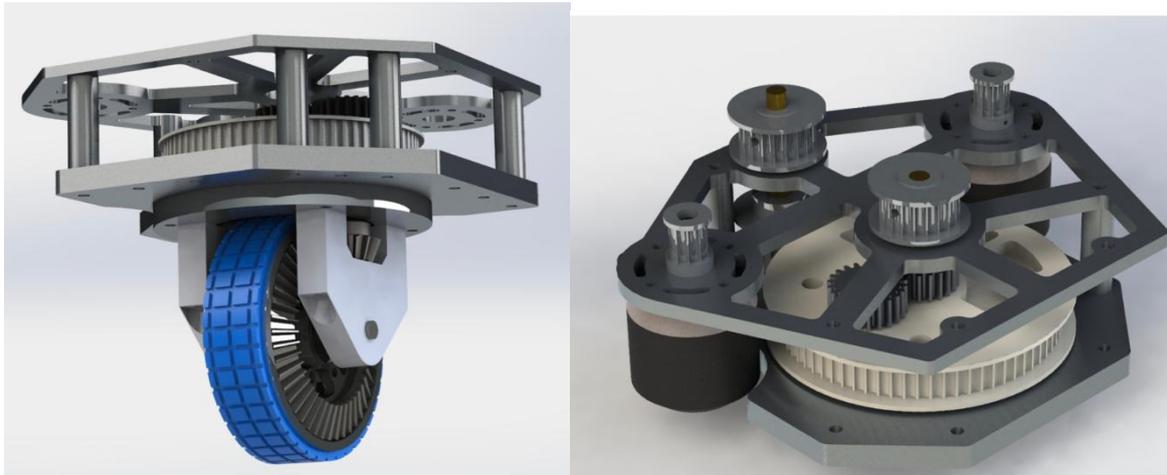


Gambar 3. Konfigurasi Elektronik

Perancangan mekanik merupakan salah satu hal yang penting dalam pembuatan suatu alat karena berpengaruh terhadap keberhasilan alat tersebut. Roda independent driving dan independent steering adalah roda yang mempunyai 2 hal yang penting yaitu bagian steering sebagai pengatur gerak rotasi dan bagian driving sebagai



pengatur gerak translasi. Gambar 4 merupakan perancangan mekanik pada system ini. Pada perancangan mekanik ini ada beberapa komponen yan perlu diperhatikan yaitu motor BLDC, rotary encoder, dan gear.



Gambar 4. Perancangan mekanik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pertama yang dilakukan adalah pengujian motor driving. Pada pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan nilai RPM mulai dari 50 sampai 500. Pengujian dilakukan dengan 2 metode yaitu menggunakan kontroller berupa FOC dan tidak menggunakan kontroller. Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan error pada saat menggunakan kontrol FOC dan error pada saat tidak menggunakan sebuah kontroller.

Tabel I: Hasil pengujian kecepatan *driving* tanpa menggunakan kontrol FOC

RPM	ERPM	Hasil	Error (%)
50	350	51,1	2,20
75	525	73,3	2,27
100	700	97,6	2,40
150	1050	145,5	3,00
325	2275	316,6	2,58
350	2450	341,5	2,43
400	2800	389,3	2,68
425	2975	414,1	2,56
450	3150	439	2,44
500	3500	487,2	2,56
Rata -Rata Error			2,54



Tabel II : Hasil pengujian kecepatan *driving* menggunakan kontrol FOC

RPM	ERPM	Hasil	Error (%)
50	350	50,1	0,20
75	525	74,4	0,80
100	700	100,6	0,60
150	1050	150,2	0,13
325	2275	324,4	0,18
350	2450	349	0,29
400	2800	397,9	0,53
425	2975	422	0,71
450	3150	446,2	0,84
500	3500	496,5	0,70
Rata-Rata Error			0,46

Berdasarkan Tabel I dan Tabel II nilai error cukup bervariasi namun saat menggunakan kontrol FOC variasi error terbilang sangat rendah dengan rata-rata error yaitu 0,46 % dengan nilai error tertinggi berada pada 450 RPM dengan error sebesar 0,84 % dan terendah pada 150 RPM dengan error sebesar 0,13 %. Sedangkan pada saat tanpa kontrol FOC terlihat bahwa rata-rata nilai error cukup besar dengan nilai 2,54 % dengan nilai error tertinggi pada 150 RPM dengan error sebesar 3 % dan error terendah pada 50 RPM dengan nilai error sebesar 2,20 % . Penggunaan kontrol FOC dapat mengurangi nilai yang cukup signifikan terbukti dari rata-rata error yang bernilai 2,54% turun menjadi 0,46 %.

Pada pengujian Motor steering dilakukan dengan cara memberikan nilai posisi mulai dari 0 sampai 360. Pengujian dilakukan dengan 2 metode yaitu menggunakan controller berupa FOC dan tidak menggunakan controller. Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan error pada saat menggunakan kontrol FOC dan error pada saat tidak menggunakan sebuah controller. Tabel III merupakan kontrol posisi menggunakan kontrol FOC dan Tabel IV adalah kontrol posisi tanpa menggunakan kontrol FOC. Menggunakan kontrol FOC membuat nilai rata-rata error menurun menjadi sebesar 0,22%. Nilai error saat menggunakan kontrol FOC cukup bervariasi tetapi nilai error dibawah 1%. Berdasarkan Tabel III dan IV penggunaan kontrol FOC cukup memperbaiki performa karena cukup menurunkan nilai error dengan signifikan. Hal itu terbukti dengan penggunaan kontrol FOC menurunkan rata-rata error yang semula 0,91% menjadi 0,22%.

Tabel III : Hasil pengujian posisi *steering* menggunakan kontrol FOC

Posisi	Hasil	Error (%)
0	0	0,00
30	30	0,00
60	60	0,00
90	90	0,00
120	120	0,00
150	150	0,00
180	179	0,56
210	209	0,48
240	241	0,42
270	272	0,74
300	299	0,33
330	329	0,30



360	360	0,00
Rata -Rata Error		0,22

Tabel IV : Hasil pengujian posisi *steering* tanpa menggunakan kontrol FOC

0	0	0,00
30	30	0,00
60	63	5,00
90	93	3,33
120	120	0,00
150	149	0,67
180	180	0,00
210	210	0,00
240	240	0,00
270	271	0,37
300	299	0,33
330	335	1,52
360	358	0,56
Rata -Rata Error		0,91

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan perancangan pada penelitian ini, dapat ditarik sebuah kesimpulan sebagai berikut :

1. Swerve drive dapat bekerja dengan baik pada satu unit peralatan dengan rasio gear pada driving sebesar 1: 5,07 dibuktikan dengan kecepatan yang dapat berubah pada saat maju dan mundur.1.
2. Swerve drive dapat bekerja dengan baik pada satu unit peralatan dengan rasio gear pada steering 1: 4,522 dibuktikan dengan posisi yang dapat berubah pada saat kanan dan kiri.2.
3. Penggunaan kontrol FOC pada kontrol kecepatan dan posisi pada driving dan steering lebih baik dibandingkan dengan tanpa menggunakan kontrol FOC. Penggunaan kontrol FOC memang tidak dapat menurunkan semua nilai error tetapi dapat menurunkan nilai rata-rata error pada kontrol kecepatan driving dan kontrol posisi steering. Hal ini terbukti adanya penurunan rata-rata nilai error pada driving dari 2,54% menjadi 0,46% dan pada steering dari 0,91% menjadi 0,22%. Penurunan nilai error bisa menjadi acuan keakuratan kecepatan driving dan posisi steering. Semakin kecil nilai error maka sistem tersebut semakin akurat terhadap input yang diberikan atau yang diinginkan.3.
4. Kontrol FOC dapat memperbaiki respon pada sistem ini, terutama pada steering.4. Pada saat driving menggunakan kontrol FOC, nilai rise timenya sebesar 0,36 s, settling time sebesar 0,4 s, dan mencapai keadaan steady state atau keadaan tunak pada waktu 3,29 s sedangkan jika tanpa kontrol ilai overshoot pada saat tidak menggunakan kontrol FOC adalah 2,87%, nilai rise time sebesar 0,54 s yang artinya untuk mencapai nilai referensi dibutuhkan waktu sebesar 0,54 s, settling time sebesar 1 s yang artinya bahwa untuk mencapai keadaan dengan error steady state dengan nilai tertentu dibutuhkan waktu sebesar 1 s ,dan mencapai keadaan steady state pada waktu 8,43 s. Pada saat steering menggunakan kontrol FOC, nilai rise timenya sebesar 0,50 s, settling time sebesar 0,62s, dan mencapai keadaan stedy state pada waktu 0,80 s sedangkan pada saat tidak menggunakan kontrol FOC, Nilai overshoot pada saat tidak menggunakan kontrol FOC adalah 7,02%, nilai rise time sebesar 0,44 s yang artinya untuk mencapai nilai referensi dibutuhkan waktu sebesar 0,44 s, settling time sebesar 1,29s yang artinya bahwa untuk mencapai



keada- an dengan error steady state dengan nilai tertentu dibutuhkan waktu sebesar 0,89 s ,dan tidak mencapai steady state5.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. S. Devi, R. Dhanasekaran, and S. Muthulakshmi, "Improvement of speed control performance in BLDC motor using fuzzy PID controller," *Proceedings of 2016 International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies, ICACCCT 2016*, no. 978, pp. 380–384, 2017, doi: 10.1109/ICACCCT.2016.7831666.
- [2] A. Sofwan, H. R. Mulyana, H. Afrisal, and A. Goni, "Development of omni-wheeled mobile robot based-on inverse kinematics and odometry," *2019 6th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering, ICITACEE 2019*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ICITACEE.2019.8904418.
- [3] K. V. Vasireddy, M. Rose, Rakesh, and S. Suresh, *OMNI-DIRECTIONAL ROBOT USING SWERVE DRIVE*. 2021.
- [4] M. A. Al Mamun, M. T. Nasir, and A. Khayyat, "Embedded system for motion control of an omnidirectional mobile robot," *IEEE Access*, vol. 6, no. 8, pp. 6722–6739, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2794441.
- [5] J. Carothers, *Design of a triple singularity drive for mobile wheeled robots*. 2014.
- [6] B. Denoma, M. Kendall, and N. Poulos, "4-wheel Independent Steering ' Swerve D rive ' Table of Contents," 2022.
- [7] V. K. Pranav, K. S. Kumar, A. R. Nair, and G. Udupa, "Design and Manufacture of Octagonal Rover for Space Exploration," *2020 4th International Conference on Automation, Control and Robots, ICACR 2020*, pp. 48–52, 2020, doi: 10.1109/ICACR51161.2020.9265497.
- [8] A. Shyam and J. L. Febin Daya, "A comparative study on the speed response of BLDC motor using conventional PI controller, anti-windup PI controller and fuzzy controller," *2013 International Conference on Control Communication and Computing, ICC 2013*, no. Iccc, pp. 68–73, 2013, doi: 10.1109/ICC.2013.6731626.
- [9] K. S. K. Veni, N. S. Kumar, and J. Gnanavadeivel, "Low cost fuzzy logic based speed control of BLDC motor drives," *Proceedings of IEEE International Conference on Advances in Electrical Technology for Green Energy 2017, ICAETGT 2017*, vol. 2018-January, pp. 7–12, 2018, doi: 10.1109/ICAETGT.2017.8341453.
- [10] Y. Chandra Wibowo and S. Riyadi, "Analisa Pembebanan Pada Motor Brushless Dc (Bldc)," pp. 277–282, 2019, doi: 10.5614/sniko.2018.33.
- [11] K. Sreeram, "Design of Fuzzy Logic Controller for Speed Control of Sensorless BLDC Motor Drive," *2018 International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies, ICCPCCT 2018*, pp. 18–24, 2018, doi: 10.1109/ICCPCCT.2018.8574280.
- [12] S. VishnuC. and R. M. Francis, "Speed Control of BLDC Motor using a Tuned LQR Controller," 2015.
- [13] A. B. Sajid, A. Marryam, and M. Ali, "Modelling and Control of Brushless DC Motor," 2021.
- [14] M. S. E. Blessy and M. Murugan, "Modeling and controlling of BLDC motor based fuzzy logic," in *International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES2014)*, 2014, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICICES.2014.7034138.
- [15] A. Shyam and J. L. Febin Daya, "A comparative study on the speed response of BLDC motor using conventional PI controller, anti-windup PI controller and fuzzy controller," *2013 International Conference on Control Communication and Computing, ICC 2013*, no. Iccc, pp. 68–73, 2013, doi: 10.1109/ICC.2013.6731626.
- [16] E. Blessy and Murugan, "Modeling and Controlling of BLDC Motor Based Fuzzy Logic," *ICICES*, vol. 35, no. 2007, pp. 93–100, 2014.

