

RANCANG BANGUN *SWERVE WHEEL* UNTUK *AUTONOMOUS MOBILE ROBOT*

*Gabriel Julio Armando Siagian¹, M. Munadi², Joga Dharma Setiawan²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: gabrieljulioarmando07@gmail.com

Abstrak

Swerve wheel merupakan salah satu inovasi dalam teknologi roda yang memungkinkan pergerakan robot mobile dengan fleksibilitas dan manuverabilitas tinggi. Setiap *swerve wheel* dapat bergerak secara independen dalam hal kecepatan dan arah, memberikan kemampuan bagi robot untuk bergerak dengan cara yang tidak mungkin dicapai oleh sistem roda konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem *swerve wheel* pada robot mobile yang ditujukan untuk aplikasi pergudangan, khususnya *Automated Guided Vehicles* (AGV), guna meningkatkan kemampuan navigasi dan mobilitas di lingkungan gudang. Pengujian dilakukan dalam berbagai skenario di lingkungan darat yang menyerupai kondisi gudang sebenarnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot mobile yang dilengkapi dengan *swerve wheel* memiliki kemampuan manuver yang jauh lebih baik dibandingkan dengan robot yang menggunakan sistem roda tradisional. Robot mampu melakukan pergerakan kompleks seperti berbelok dengan radius yang sangat kecil, bergerak secara diagonal, dan berputar di tempat dengan efisiensi tinggi. Kemampuan ini memungkinkan robot untuk beroperasi dengan efektif di lorong-lorong sempit dan area dengan banyak rintangan. Dengan *swerve wheel*, robot dapat dengan mudah mengubah arah tanpa kehilangan stabilitas atau kecepatan, sehingga cocok untuk aplikasi pergudangan yang membutuhkan ketepatan tinggi dalam navigasi dan penanganan barang. Penelitian ini membuka peluang baru dalam pengembangan robot mobile yang lebih cerdas, adaptif, dan efisien, memberikan kontribusi signifikan terhadap kemajuan teknologi robotika di sektor pergudangan.

Kata kunci: manuverabilitas; robot mobile; *swerve wheel*

Abstract

Swerve wheel technology is an innovation that enables mobile robots to achieve high flexibility and maneuverability. Each swerve wheel can move independently in terms of speed and direction, allowing the robot to perform movements that are impossible with conventional wheel systems. This study aims to develop and test a swerve wheel system for mobile robots designed for warehouse applications, particularly Automated Guided Vehicles (AGVs), to enhance navigation capabilities and mobility in warehouse environments. The proposed system consists of wheel modules, each equipped with a drive motor and sensors for position and orientation control. Testing was conducted in various land-based scenarios simulating real warehouse conditions. The test results show that mobile robots equipped with swerve wheels have significantly better maneuverability compared to robots using traditional wheel systems. The robot can perform complex movements such as turning with a very small radius, moving diagonally, and spinning in place with high efficiency. This capability allows the robot to operate effectively in narrow aisles and areas with many obstacles. Additionally, the implementation of swerve wheels also demonstrated improvements in energy efficiency and system response time, thanks to more precise and adaptive control. With swerve wheels, the robot can easily change direction without losing stability or speed, making it suitable for warehouse applications that require high accuracy in navigation and material handling. This research opens new opportunities for developing more intelligent, adaptive, and efficient mobile robots, contributing significantly to advancements in robotics technology in the warehousing sector.

Keywords: maneuverability; mobile robot; *swerve wheel*

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi dalam bidang robotika telah mendorong pengembangan berbagai sistem penggerak untuk robot mobile, salah satunya adalah *swerve wheel*. *Swerve wheel* merupakan sistem penggerak yang memungkinkan setiap roda pada robot dapat berputar secara independen baik pada sumbu vertikal maupun horizontal. Hal ini memberikan fleksibilitas dan kemampuan manuver yang tinggi, memungkinkan robot untuk bergerak ke segala arah tanpa perlu mengubah orientasi tubuhnya. Dalam konteks industri, *swerve wheel* sangat cocok digunakan pada robot *autonomous mobile* yang beroperasi di lingkungan yang dinamis seperti gudang, pabrik, dan pusat distribusi. [1]

Swerve wheel memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem penggerak tradisional seperti *differential drive* atau *mecanum wheel*. Keunggulan tersebut antara lain adalah kemampuan untuk bergerak secara *omnidirectional*, kemampuan untuk melakukan manuver di ruang sempit, dan efisiensi energi yang lebih baik karena setiap roda dapat diatur sudut dan kecepatannya secara optimal. Selain itu, *swerve wheel* juga mampu memberikan respons yang cepat terhadap perubahan lingkungan, yang sangat penting untuk aplikasi *autonomous mobile robot* yang membutuhkan presisi tinggi dalam navigasi

dan manipulasi objek. [2]

Penggunaan swerve wheel pada robot *mobile autonomous* diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan fleksibilitas dalam penanganan tugas-tugas logistik di gudang. Dengan kemampuan manuver yang tinggi, robot dapat bergerak lebih cepat dan akurat dalam mengambil dan menempatkan barang di lokasi yang ditentukan. Hal ini dapat mengurangi waktu siklus operasional dan meningkatkan throughput secara keseluruhan.[3]

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem *swerve wheel* yang dapat diimplementasikan pada robot *mobile autonomous*. [4]Rancangan sistem ini meliputi desain mekanik *swerve wheel*, pemilihan aktuator dan sensor, serta pengembangan algoritma kontrol untuk mengatur pergerakan roda secara optimal. Pada tahap awal, dilakukan perancangan desain mekanis dan elektrik *swerve wheel*. Selanjutnya, dilakukan proses manufaktur dan *assembly* komponen – komponen dari *swerve wheel*.

Secara umum, *swerve wheel* dilengkapi dengan dua buah motor aktuator. Motor pertama digunakan untuk mengontrol sudut *swerve wheel*, memungkinkan roda berputar pada sumbu vertikal sehingga arah gerak robot dapat diubah tanpa harus mengubah orientasi tubuh robot. Motor kedua bertugas mengontrol kecepatan putaran roda pada sumbu horizontal, yang mengatur kecepatan gerak robot. Dengan kombinasi dari kedua motor ini, robot dapat bergerak ke segala arah dengan kecepatan dan akurasi yang tinggi. [5]

Untuk memastikan bahwa sistem *swerve wheel* berfungsi dengan baik, diperlukan feedback yang akurat mengenai posisi dan kecepatan roda.[6] Oleh karena itu, setiap *swerve wheel* dilengkapi dengan dua buah *encoder*. *Encoder* pertama digunakan untuk mengukur sudut rotasi dari *swerve wheel*, memberikan *feedback real-time* kepada controller mengenai orientasi roda. *Encoder* kedua digunakan untuk mengukur kecepatan putaran roda, sehingga controller dapat menyesuaikan kecepatan motor untuk mencapai kecepatan yang diinginkan dengan presisi tinggi. Sistem feedback ini sangat penting untuk menjaga stabilitas dan akurasi gerak robot, serta untuk melakukan koreksi jika terdapat penyimpangan dari setpoint yang telah ditentukan. [7]

Untuk mengontrol *swerve wheel*, umumnya diperlukan dua buah input utama yaitu input kecepatan dan input sudut *swerve wheel*. [8] Input kecepatan digunakan untuk menentukan seberapa cepat roda berputar pada sumbu horizontal, yang secara langsung mempengaruhi kecepatan gerak robot. Sedangkan input sudut digunakan untuk menentukan orientasi roda pada sumbu vertikal, yang mengarahkan robot ke arah yang diinginkan tanpa perlu mengubah orientasi keseluruhan dari tubuh robot. Kombinasi dari kedua input ini memungkinkan *swerve wheel* untuk mengontrol pergerakan robot secara presisi dan fleksibel. [9]

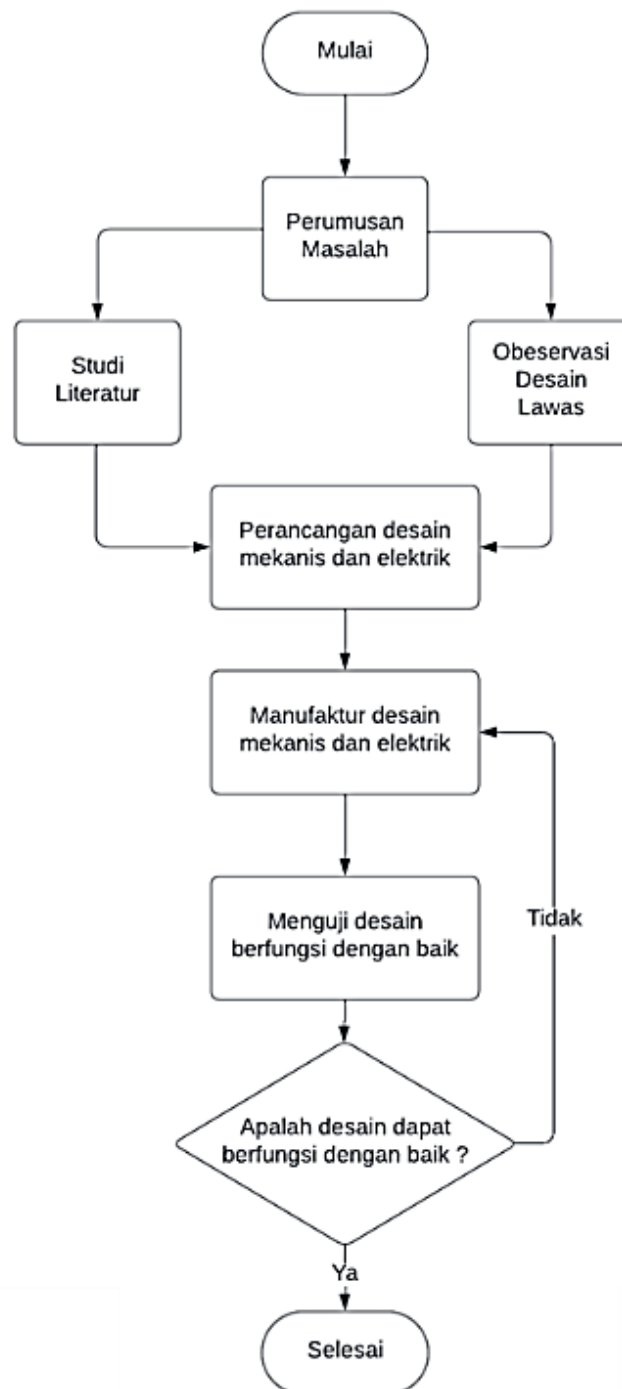
Pada implementasinya, mengendalikan beberapa *swerve wheel* yang terpasang pada satu *chassis* robot membutuhkan perhitungan yang lebih kompleks. Untuk mengatasi hal ini, digunakan metode *inverse kinematics*. *Inverse kinematics* merupakan metode matematis yang digunakan untuk menentukan sudut dan kecepatan setiap roda berdasarkan gerakan yang diinginkan dari seluruh *chassis* robot. *Inverse kinematics*, dapat dihitung parameter-parameter yang dibutuhkan untuk mencapai pergerakan robot yang sesuai dengan input dari pengguna, baik itu untuk bergerak lurus, berbelok, atau bahkan bergerak secara diagonal. [2] Pada sistem *swerve wheel*, *inverse kinematics* berfungsi untuk menghitung sudut dan kecepatan masing-masing roda sehingga pergerakan keseluruhan robot sesuai dengan yang diinginkan. Proses ini melibatkan beberapa langkah, dimulai dari menentukan vektor kecepatan dan arah gerak yang diinginkan, kemudian menghitung kontribusi masing-masing roda untuk mencapai gerakan tersebut. Misalnya, untuk bergerak ke depan dengan kecepatan tertentu, semua roda harus diarahkan sejajar dengan sumbu longitudinal robot dan berputar dengan kecepatan yang sama. Namun, untuk berbelok atau bergerak secara diagonal, setiap roda harus memiliki sudut dan kecepatan yang berbeda yang dihitung melalui *inverse kinematics*. [7]

Dengan perkembangan teknologi yang pesat dan meningkatnya kebutuhan akan sistem robotik yang cerdas dan efisien, penggunaan *swerve wheel* pada *autonomous mobile* robot memiliki potensi yang besar untuk menjadi solusi utama dalam berbagai aplikasi industri. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi pengembangan lebih lanjut dan implementasi *swerve wheel* yang lebih luas di masa depan.[10]

2. Material dan Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir

Pada penelitian ini terdapat diagram alir yang ditujukan untuk menggambarkan proses perancangan dan pemecahan masalah dari awal sampai akhir berdasarkan seluruh rangkaian proyek Tugas Akhir, diagram alir pemecahan masalah dapat dilihat pada Gambar 1.

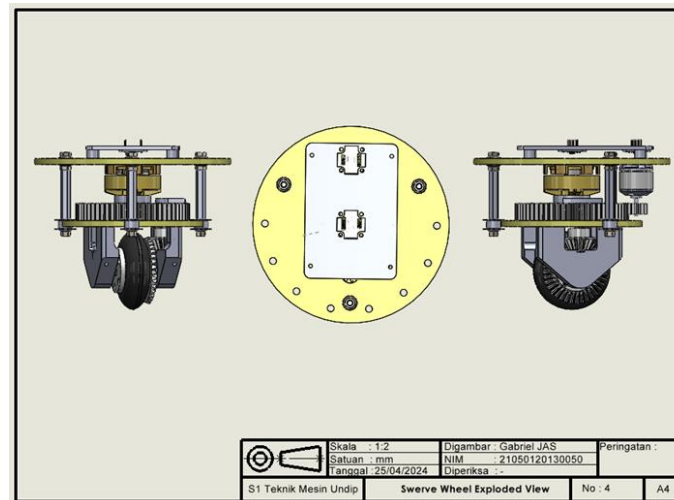


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Berdasarkan diagram alir, rancang bangun *swerve wheel* dimulai dengan mempelajari literatur, observasi desain yang sudah ada. Setelah proses desain mekanik *swerve wheel* dan elektrik selesai dilakukan, proses manufaktur dan assembly dapat dimulai berdasarkan desain yang sudah dibuat. Pengujian *swerve wheel* dilakukan dengan cara memeriksa apakah mekanisme penggerak pada *swerve wheel* dapat bergerak dengan leluasa.

2.2 Desain mekanisme *swerve wheel*

Mekanisme *swerve wheel* di desain menggunakan software solidworks 2020. Berdasarkan studi literatur, obeservasi model serupa dan beberapa pertimbangan desain, didapatkan desain mekanisme *swerve wheel* seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme *swerve wheel*

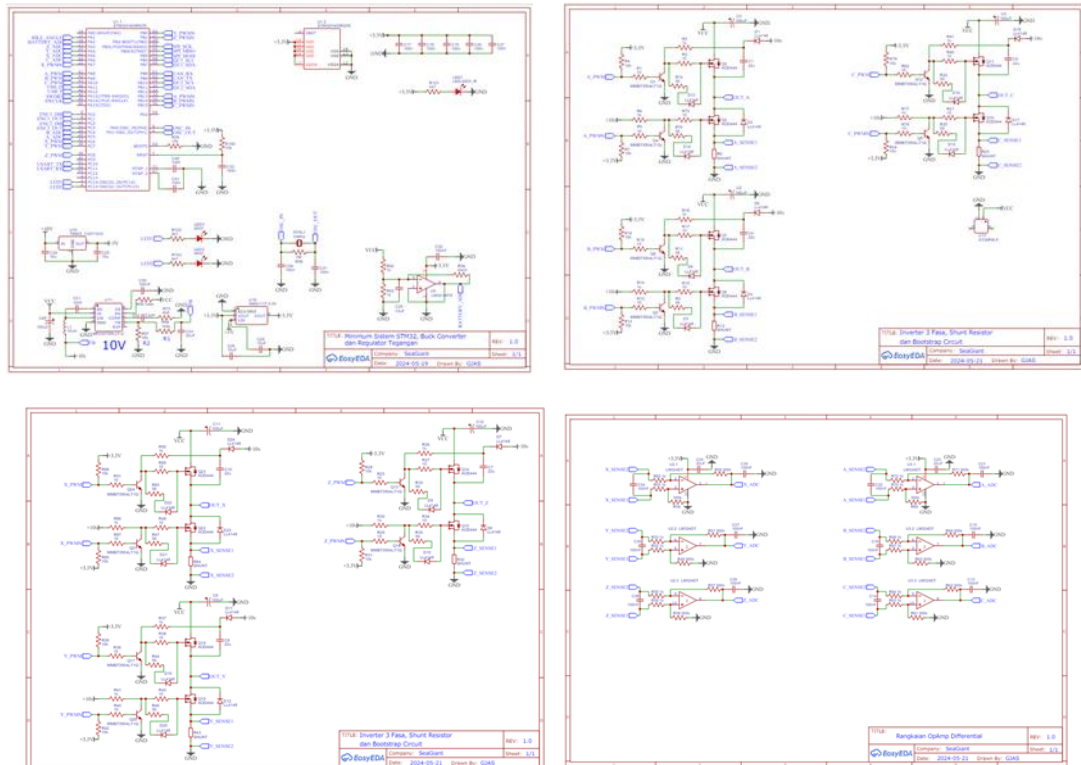
2.3 Pemilihan Material

Pemilihan material dilakukan untuk mendapatkan material terbaik yang akan digunakan dalam proses manufaktur. Pemilihan material dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan yaitu, kesesuaian, mudah didapatkan, harganya terjangkau dan mudah untuk diproses / dimanufaktur. Berikut merupakan hasil pemilihan material untuk proses manufaktur *swerve wheel* beserta alasannya :

1. Main Plate dan Top Plate menggunakan plat fiber resin :
 - Plat fiber resin dipilih karena kekakuan yang tinggi dan tahan korosi, yang penting untuk menjaga kestabilan dan struktur keseluruhan robot. Dengan ketebalan 5mm, plat ini memberikan kekuatan yang cukup untuk menopang beban dari komponen lainnya dan menjaga kestabilan robot.
2. Komponen gear menggunakan filament PLA+ :
 - Filament PLA+ dipilih karena kekakuan yang baik dan kemudahan cetak 3D dan memiliki kekuatan yang cukup untuk mentransfer gaya dari motor dan memiliki harga yang terjangkau.
3. Spacer, bearing, dan baut menggunakan material logam :
 - Material logam dipilih karena kekuatan dan durabilitas yang tinggi, serta presisi yang baik. Komponen-komponen logam menawarkan kekuatan yang diperlukan untuk menahan beban atau tekanan besar selama operasi robot, serta kinerja yang stabil untuk bearing dan baut.
4. Drive Motor, BM4108 370kV
 - Motor BM4108 370kV dipilih karena kV (kecepatan putar per volt) yang moderat, memungkinkan untuk mencapai kecepatan dan torsi yang diperlukan untuk menggerakkan roda dengan efisien.
5. Steering Motor A2212 1000kV
 - Motor A2212 1000kV dipilih karena kV yang tinggi, yang memungkinkan untuk mencapai pergerakan putar yang responsif dan cepat pada roda *swerve wheel*.
6. Roda Polyurethane Wheel karet 64mm :
 - Roda Polyurethane dengan kekerasan 85A dipilih karena kekuatan dan daya tahan yang baik, serta kemampuan untuk menahan lintasan tanah yang beragam dengan baik.

2.4 Desain kontroler elektrik

Desain kontroler elektrik untuk *swerve wheel* dibuat menggunakan aplikasi EASYEDA. Proses pemilihan komponen elektrik dilakukan berdasarkan kebutuhan fitur pada sistem. Kebutuhan sistem diantaranya adalah 2 buah inverter untuk masing – masing motor, 2 buah encoder absolute untuk masing – masing motor dan sebuah protokol komunikasi untuk mengirim dan menerima data. Berdasarkan pertimbangan tersebut, didapatkan skema elektronik seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Skema elektrik kontroler *swerve wheel*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Assembly Hasil Manufaktur Mekanik

Berikut merupakan langkah – langkah assembly untuk hasil manufaktur komponen – komponen mekanis yang telah melalui proses produksi.

1. Roda

Untuk merakit bagian roda, bevel gear besar dan *wheel spacer* saling dihubungkan dengan baut jenis M3 dengan panjang 25mm dengan memasang baut melalui lubang *wheel holder*, lubang roda dan lubang pada bevel gear setelah kelima lubang disesuaikan posisinya agar saling bertemu satu sama lain secara kosentris. Setelah itu, *spacer* jenis Hex M4 berukuran 40mm ditambahkan ketengah lubang hexagonal sebagai shaft roda.



Gambar 4. Hasil perakitan bagian roda

2. Main plate

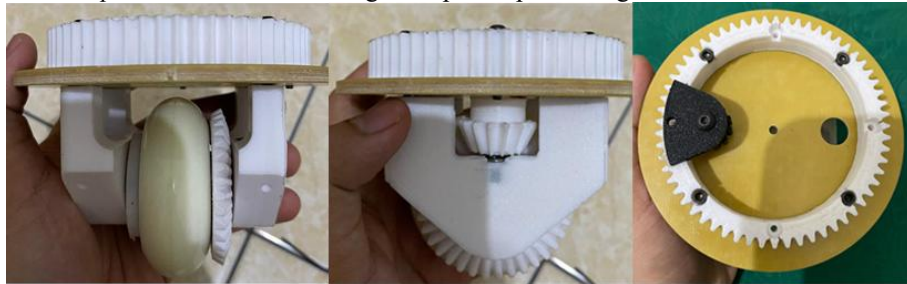
Untuk merakit bagian *main plate*, spur gear besar dan salah satu *wheel holder* dipasang menggunakan baut jenis M3 dengan panjang 30mm sesuai dengan lubang – lubang yang berada pada *main plate*.



Gambar 5. Hasil perakitan main plate pertama

Setelah itu perakitan *main plate* dapat dilanjutkan dengan memasang roda yang sudah dirakit dan *wheel holder* kedua. Roda diapit oleh kedua *wheel holder* yang memiliki *bearing*, sehingga roda dapat berputar bebas. Setelah

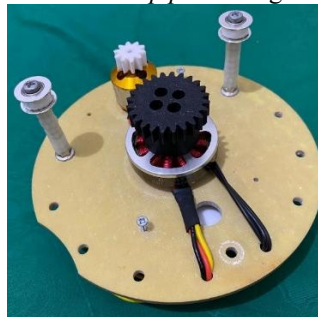
itu perakitan *main plate* dapat dilanjutkan dengan memasang *bevel gear* kecil dan *spur gear 12 teeth* sebagai *gear* pemutar roda. Bearing ditambahkan pada bagian lubang atas *wheel holder* paling dekat dengan *bevel gear* dan pada bagian atas *main plate* untuk memastikan *gear* dapat berputar dengan leluasa.



Gambar 6. Hasil perakitan main plate kedua

3. Top Plate

Perakitan *top plate* dilakukan dengan memasang kedua motor *brushless* dengan baut pada lubang yang sudah disediakan *top plate*. *Spur gear* kecil dipasang pada motor A2212 dengan memaksa *gear* untuk menghimpit *shaft* dan *Spur Gear* Besar dipasang pada motor BM5010 dengan baut M3 pada lubang yang sudah disediakan. Dua buah *combination spacer* ditambahkan dibawah *top plate* dengan *lock nut* M5.



Gambar 7. Hasil perakitan Top Plate

4. Total Assembly

Perakitan total dilakukan dengan menyesuaikan tepi *main plate* dengan bagian *flange combination spacer*. Bagian tepi *main plate* sedikit dimampatkan dengan tepi *flange* sampai keduanya bersentuhan. Setelah itu, *Combination spacer* ketiga dipasang pada *top plate* dengan cara sedikit mengangkat bagian *main plate* keatas agar bagian tepi *main plate* dapat bersentuhan dengan *flange combination spacer*.

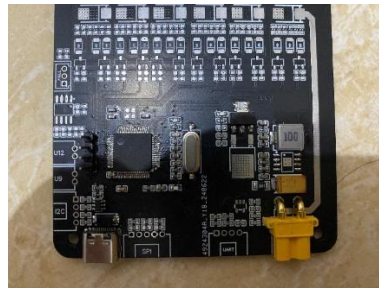


Gambar 8. Hasil perakitan total

3.2 Manufaktur kontroler *swerve wheel*

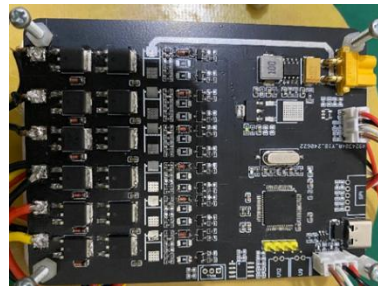
Berikut merupakan proses manufaktur kontroler *swerve wheel*

1. Proses penyolderan komponen – komponen kontroler dimulai dengan menyolder rangkaian *buck converter* dan sistem minimum dari STM32. Selanjutnya mikrokontroler di program untuk membuat led berkelap – kelip dengan interval satu detik. Hal ini bertujuan untuk menguji apakah mikrokontroler sudah bekerja dengan baik.

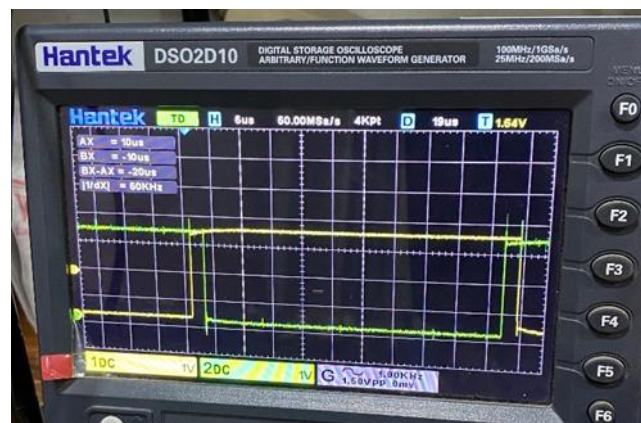


Gambar 9. Sistem minimum dan *buck converter*

2. Proses penyolderan dilanjutkan dengan menyolder ketiga fasa inverter sesuai dengan skematik kontroler elektrik. Masing – masing fasa inverter melalui pengujian cross conducting event untuk memastikan tidak adanya short circuit.



Gambar 10. Hasil *prototyping inverter 3 fasa*



Gambar 11. Pembacaan sinyal *complementary* pada *oscilloscope*

4. Kesimpulan

Penelitian ini memberikan kesimpulan atas masalah yang menjadi dasar penelitian ini, yaitu pengembangan dan implementasi sistem *swerve wheel* yang mampu meningkatkan kemampuan manuver dan efisiensi *autonomous mobile robot*. Dengan menggunakan dua motor aktuator dan dua *encoder* per roda, serta kontroler elektronik kustom untuk mengkoordinasikan sudut dan kecepatan setiap roda, sistem ini memungkinkan robot untuk bergerak dengan presisi tinggi dan fleksibilitas yang optimal. Kedepannya, sistem *swerve wheel* dapat dikembangkan lebih lanjut untuk integrasi dengan berbagai platform robotik guna mendukung transformasi industri menuju era otomatisasi yang lebih cerdas dan efisien.

5. Daftar Pustaka

- [1] D. Zellouma, Y. Bekakra, and H. Benbouhenni, "Field-oriented control based on parallel proportional–integral controllers of induction motor drive," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 4846–4860, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.egy.2023.04.008.
- [2] L. Tagliavini, G. Colucci, A. Botta, P. Cavallone, L. Baglieri, and G. Quaglia, "Wheeled Mobile Robots: State of the Art Overview and Kinematic Comparison Among Three Omnidirectional Locomotion Strategies," *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, vol. 106, no. 3, Nov. 2022, doi: 10.1007/s10846-022-01745-7.
- [3] T. T. Tun, L. Huang, R. E. Mohan, and S. G. H. Matthew, "Four-wheel steering and driving mechanism for a reconfigurable floor cleaning robot," *Autom Constr*, vol. 106, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.03.017.
- [4] A. K. Sivarathi, A. Shukla, and A. Gupta, "Kinematic modes of vision-based heterogeneous UAV-AGV system,"

- Array, vol. 17, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.array.2022.100269.
- [5] “The Chassis Design of the Swerveomni Directional Wheel,” *Academic Journal of Engineering and Technology Science*, vol. 4, no. 5, 2021, doi: 10.25236/ajets.2021.040505.
 - [6] M. Fazekas, P. Gáspár, and B. Németh, “Wheel Odometry Model Calibration with Input Compensation by Optimal Control,” in *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., 2022, pp. 392–398. doi: 10.1016/j.ifacol.2022.10.315.
 - [7] N. A. I. Ruslan, N. H. Amer, K. Hudha, Z. A. Kadir, S. A. F. M. Ishak, and S. M. F. S. Dardin, “Modelling and control strategies in path tracking control for autonomous tracked vehicles: A review of state of the art and challenges,” Feb. 01, 2023, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.jterra.2022.10.003.
 - [8] M. Diah Ika Putri, A. Ma’arif, and R. Dwi Puriyanto, “Pengendali Kecepatan Sudut Motor DC Menggunakan Kontrol PID dan Tuning Ziegler Nichols,” *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, vol. 23, no. 1, Apr. 2022, doi: 10.30595/techno.v23i1.10773.
 - [9] L. Jacobs, A. De Preter, J. Anthonis, J. Swevers, and G. Pipeleers, “ H_∞ controller synthesis for AGV trajectory tracking using a linearized kinematic model,” in *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., Sep. 2019, pp. 61–66. doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.650.
 - [10] M. Vranas and N. J. Mourtos, “Compact Shaft-Rotating Swerve Drive with Prong Structure for Highly-Maneuverable and Agile Robots,” *Athens Journal of Technology & Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 25–42, Feb. 2022, doi: 10.30958/ajte.9-1-2.