

Rancang Bangun Robot Mobile Empat Roda Tipe Omni Wheel dengan Lengan Robotik Berbasis Mikrokontroler

Kaharuddin¹, Irman², Parawansa³

Prodi Teknik Mesin, Politeknik Maritim AMI/Makassar¹

Prodi Teknik Mesin, Politeknik Maritim AMI/Makassar²

Prodi Teknik Mesin, Politeknik Maritim AMI/Makassar³

Contak person/email:

irmanmattengga14@gmail.com

kaharuddin39@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe robot Omni Wheel yang mampu bergerak ke segala arah tanpa perlu melakukan manuver berputar. Sistem pergerakan robot ini memanfaatkan roda Omni, yaitu roda yang dilengkapi dengan roda-roda kecil tambahan yang dipasang secara tegak lurus terhadap sumbu roda utama, sehingga memungkinkan pergerakan bebas dalam arah X maupun Y pada permukaan bidang datar. Untuk mempertahankan jalur pergerakan, robot dilengkapi dengan sensor cahaya sebagai pendeteksi lintasan. Pergerakan robot dikendalikan oleh mikrokontroler ATmega 8535, dan penggerak utamanya adalah empat motor DC yang dikendalikan berdasarkan arah gerak: dua motor untuk arah X dan dua motor untuk arah Y. Selain itu, robot ini juga dilengkapi dengan lengan robotik yang dipasang di bagian atas untuk mengangkat objek pada akhir lintasan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa robot dapat mengikuti jalur yang telah ditentukan dan menjalankan fungsi pengambilan objek secara efektif, sehingga sistem dapat diterapkan untuk berbagai aplikasi otomasi dan robotika cerdas.

Kata kunci: Omni Wheel, sensor cahaya, ATmega 8535, motor DC, sistem kendali, robot lengan.

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi di bidang robotika mengalami kemajuan pesat dan menjadi fokus perhatian dalam berbagai sektor, mulai dari industri, militer, kesehatan, hingga eksplorasi luar angkasa. Ilmu robotika umumnya berkembang melalui pendekatan praktis yang kemudian dikombinasikan dengan teori berdasarkan pengamatan terhadap perilaku makhluk hidup atau sistem bergerak lainnya [1]. Salah satu alasan utama pengembangan robot adalah untuk menggantikan tugas-tugas manusia di lingkungan berbahaya, seperti area radiasi, penjinakan bahan peledak, atau eksplorasi ruang angkasa. Berbagai jenis robot telah dikembangkan, termasuk robot manipulator, humanoid, robot berkaki, robot bawah air, serta robot mobile [2]. Robot mobile atau mobile robot adalah perangkat bergerak yang dapat secara otomatis melakukan tugas tertentu, seperti navigasi menuju titik tujuan dalam lingkungan yang tidak selalu terstruktur atau dapat diprediksi. Keunggulan utama dari robot mobile terletak pada fleksibilitas dan mobilitasnya. Dalam konteks kehidupan modern dan industri masa depan, mobile robot diharapkan mampu bekerja secara mandiri dalam lingkungan yang dinamis dan kompleks. Untuk mendukung hal tersebut, sistem navigasi yang baik dan fleksibel menjadi hal krusial. Namun, robot beroda konvensional (wheeled mobile robot, WMR) masih memiliki keterbatasan manuver karena tidak dapat bergerak ke samping tanpa melakukan rotasi awal. Keterbatasan ini mendorong pengembangan teknologi roda khusus, salah satunya adalah omni wheel, yaitu roda yang memungkinkan pergerakan bebas ke segala arah tanpa perlu rotasi terlebih dahulu [3][4]. Omni wheel memiliki struktur unik berupa roda utama yang dilengkapi dengan roda-roda kecil di sekelilingnya yang terpasang dengan sumbu tegak lurus terhadap sumbu roda utama. Struktur ini memungkinkan robot bergerak secara lateral maupun diagonal secara langsung. Keunggulan ini menjadikan omni wheel sangat cocok diterapkan pada robot yang beroperasi di ruang sempit atau padat, seperti pabrik, gudang, kantor, dan rumah sakit[5]. Dengan kemampuan manuver yang tinggi, robot omni wheel menjadi solusi bagi tantangan mobilitas dalam lingkungan dengan banyak hambatan statis maupun dinamis. Dalam sistem ini, roda digerakkan oleh aktuator yang menerima sinyal dari pengendali (mikrokontroler). Aktuator tersebut berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, dengan contoh konkret berupa motor listrik,

aktuator pneumatik, dan hidrolik. Desain dan integrasi antara sistem kendali dan aktuator menjadi kunci dalam mencapai kinerja optimal robot omni wheel [6]

Penelitian mengenai robot omni-wheel terbaru menunjukkan berbagai inovasi mekanik dan kontrol. Misalnya adaptasi konfigurasi roda untuk membuat desain lebih ringkas dan mengurangi kesalahan pelacakan lintasan dengan metode LQR. Kontrol dinamis menggunakan sliding-mode atau LQR juga terbukti efektif dalam pengaturan lintasan yang presisi [7]

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekatronika, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika. Kegiatan penelitian mencakup perancangan, perakitan, simulasi, hingga pengujian sistem robot mobile empat roda tipe omni wheel. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

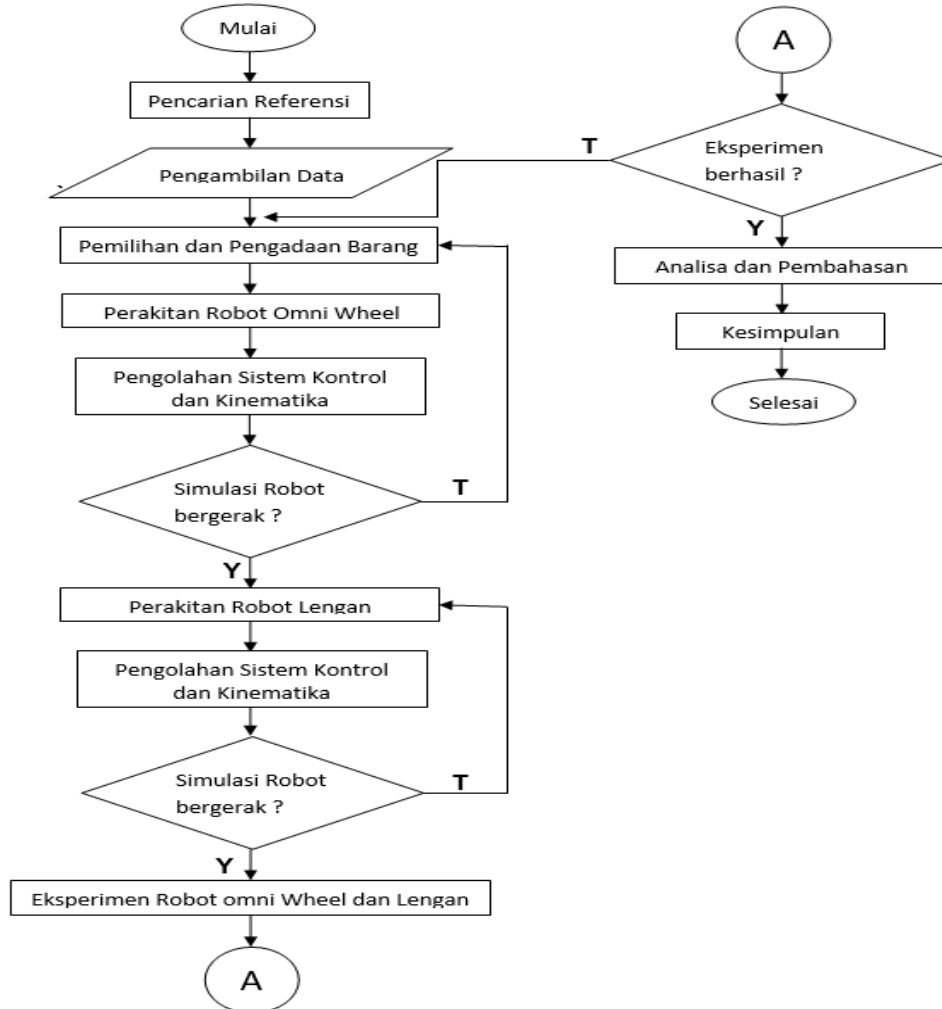
- a. Komputer dan printer
- b. Mikrokontroler ATmega 8535
- c. Motor DC
- d. Roda Omni (Plastik)
- e. Akrilik
- f. Baterai
- g. Komponen mekanis lainnya (Bearing, mur dan baut sebagai elemen pendukung mekanikal)
- h. Peralatan fabrikasi dan perakitan

Adapun proses penelitian yang dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Perancangan Sistem Mekanis
Mendesain struktur fisik robot mobile omni wheel menggunakan perangkat lunak CAD dan mempertimbangkan distribusi beban serta kinematika roda omni.
2. Persiapan Komponen
Menyusun dan menyiapkan seluruh komponen elektronik, mekanik, dan perangkat pendukung yang dibutuhkan dalam perakitan.
3. Analisis Kinematika dan Dinamika
Melakukan perhitungan matematis untuk mendapatkan model kinematika dan dinamika gerak robot, khususnya transformasi gerakan dari masing-masing motor ke arah gerak translasi X dan Y.
4. Simulasi Program Kendali
Mengembangkan dan menguji simulasi sistem kendali menggunakan software mikrokontroler, untuk memastikan respons motor terhadap sinyal arah gerak.
5. Perakitan dan Pengujian Prototipe
Merakit seluruh sistem secara manual, mulai dari rangka mekanik, pemasangan roda, instalasi sistem kelistrikan, hingga uji coba lintasan. Prototipe juga dilengkapi dengan lengan robot di bagian atas untuk mengangkat objek.

DIAGRAM ALIR

Alur penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir sebagaimana Gambar 1. Diagram ini menunjukkan urutan tahapan mulai dari perancangan hingga evaluasi prototipe.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Sistem Kendali Robot

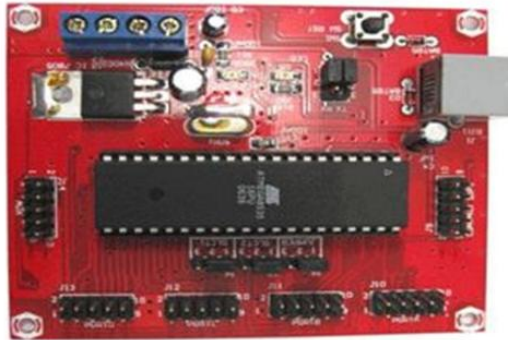
Robot omni wheel ini dikendalikan secara otomatis melalui sistem auto-navigasi yang terdiri dari mikrokontroler ATmega 8535 dan sensor garis. Sistem ini memungkinkan robot untuk mengikuti jalur yang telah ditentukan pada permukaan bidang datar.

3.2. Mikrokontroler ATmega 8535

Mikrokontroler ATmega 8535 merupakan bagian dari bagian AVR dengan fitur lengkap yang mendukung pengendalian sistem tertanam. Beberapa fitur utamanya antara lain:

1. 32 pin I/O (Port A–D)
2. ADC internal 8 kanal
3. Tiga Timer/Counter
4. PWM untuk pengaturan kecepatan motor
5. Memori Flash 8 KB dan EEPROM 512 byte

6. Komparator analog, USART, dan antarmuka SPI
7. CPU 8-bit berbasis arsitektur RISC hingga 16 MHz



Gambar. 3.1. ATmega 8535

Sumber: Foto, Scan

Salah satu keunggulan utama ATmega 8535 adalah kemampuannya menghasilkan sinyal PWM (Pulse Width Modulation), yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC dengan mengubah duty cycle. Proses ini efisien, baik dari sisi pemrograman maupun perancangan rangkaian elektronik.

3.3. Konstruksi Memori ATmega 8535

Mikrokontroler ATmega 8535 memiliki tiga jenis memori yang bekerja secara independen:

1. Memori Program

Memiliki kapasitas 8 KB (alamat 0000h–0FFFh) dengan lebar data 16 bit. Terdiri atas dua bagian utama, program bootloader dan program aplikasi.

2. Memori Data

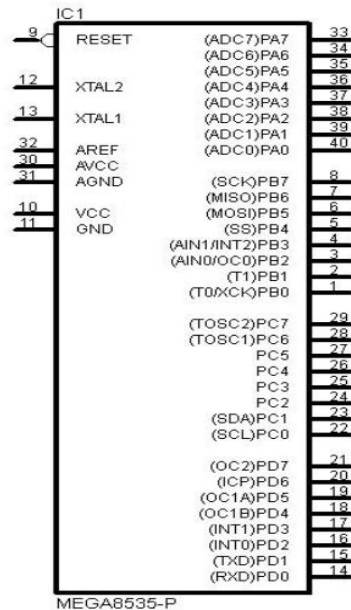
Total kapasitas 608 byte, terbagi menjadi:

- a. 32 byte register serba guna
- b. 64 byte register I/O (dapat diakses via instruksi RAM atau I/O)
- c. 512 byte SRAM sebagai memori kerja utama

3. Memori EEPROM

Kapasitas 512 byte, digunakan untuk penyimpanan data non-volatile. Akses dilakukan melalui register khusus (EEAR, EEDR, EECR) dan memerlukan waktu eksekusi lebih lama dibandingkan SRAM.

3.4. Pin-pin pada Mikrokontroler ATmega 8535



Gambar 3.2. Konfigurasi pin ATmega 8535 (Data Sheet AVR)

Konfigurasi *pin* ATmega 8535 dengan kemasan 40 pin DIP (*Dual Inline Package*) dapat dilihat pada gambar. Dari gambar di atas dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing *pin* ATmega 8535 sebagai berikut:

1. VCC merupakan *pin* yang berfungsi sebagai masukan catu daya.
2. GND merukan *pin* *Ground*.
3. Port A (PortA0...PortA7) merupakan *pin input/output* dua arah dan *pin* masukan ADC.
4. Port B (PortB0...PortB7) merupakan *pin input/output* dua arah dan dan *pin* fungsi khusus, seperti dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Fungsi Khusus Port B

Pin	Fungsi Khusus
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)
PB6	MISO (SPI Bus Master Input/ Slave Output)
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output/ Slave Input)
PB4	SS (SPI Slave Select Input)
PB3	AIN1 (Analog Comparator Negative Input) OC0 (Timer/Counter0 Output Compare Match Output)
PB2	AIN0 (Analog Comparator Positive Input) INT2 (External Interrupt 2 Input)
PB1	T1 (Timer/ Counter1 External Counter Input)
PB0	T0 T1 (Timer/Counter External Counter Input) XCK (USART External Clock Input/Output)

5. Port C (PortC0...PortC7) merupakan *pin input/output* dua arah dan *pin* fungsi khusus, seperti dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Fungsi Khusus Port C

Pin	Fungsi khusus
PC7	TOSC2 (Timer Oscillator Pin2)
PC6	TOSC1 (Timer Oscillator Pin1)
PC5	Input/Output

PC4	Input/Output
PC3	Input/Output
PC2	Input/Output
PC1	SDA (Two-wire Serial Buas Data Input/Output Line)
PC0	SCL (Two-wire Serial Buas Clock Line)

6. Port D (PortD0...PortD7) merupakan *pin input/output* dua arah dan *pin* fungsi khusus, seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini.

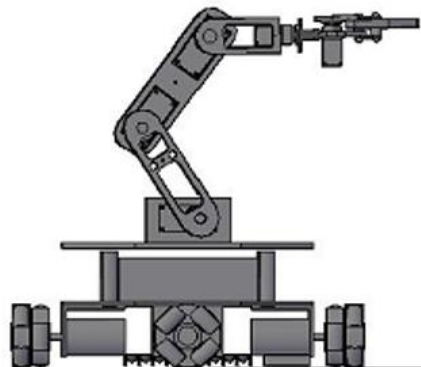
Tabel 3. Fungsi Khusus Port D

Pin	Fungsi khusus
PD7	OC2 (Timer/Counter Output Compare Match Output)
PD6	ICP (Timer/Counter1 Input Capture Pin)
PD5	OC1A (Timer/Counter1 Output Compare A Match Output)
PD4	OC1B (Timer/Counter1 Output Compare B Match Output)
PD3	INT1 (External Interrupt 1 Input)
PD2	INT0 (External Interrupt 0 Input)
PD1	TXD (USART Output Pin)
PD0	RXD (USART Input Pin)

7. RESET merupakan *pin* yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler.
8. XTAL1 dan XTAL2 merupakan *pin* masukan *clock* eksternal.
9. AVCC merupakan *pin* masukan tegangan untuk ADC.
10. AREFF merupakan *pin* masukan tegangan referensi ADC.

3.5. Prinsip Kerja Omni Wheel

Saat tombol ON/OFF ditekan, sensor garis mengirimkan sinyal ke mikrokontroler ATmega 8535, yang kemudian mengaktifkan motor/roda 1 dan 3 untuk bergerak pada sumbu X. Arus dari ATmega 8535 dialirkan melalui driver motor untuk mengatur arah dan kecepatan putaran. Sementara itu, roda 2 dan 4 diam, namun roda kecil di sepanjang roda omni tetap berputar mengikuti gerak roda utama, sehingga mengurangi gesekan. Jika jalur membelok 90° ke kiri (sumbu Y), sensor memberi input untuk menghentikan motor 1 dan 3, lalu menggerakkan motor 2 dan 4, sehingga robot bergerak ke kiri tanpa rotasi. Sebaliknya, saat kembali ke arah sumbu X (belok kanan 90°), motor 2 dan 4 berhenti, dan motor 1 dan 3 bergerak. Di akhir lintasan, ATmega 8535 mengaktifkan lengan robot (manipulator) melalui motor servo. Tegangan dari baterai 12V diturunkan menjadi 5V oleh regulator, sesuai kebutuhan servo. Berikut gambar desain 3D Omni Wheel

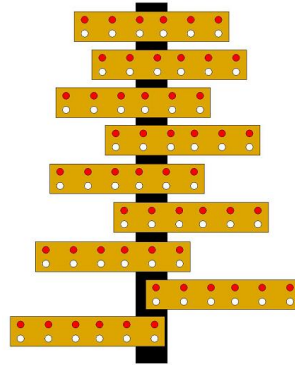


Gambar 3.3. Prinsip Kerja Omni Wheel

3.6. Sistem Kendali

Sistem kendali robot omni wheel menggunakan mikrokontroler ATmega 8535 sebagai pengatur utama pergerakan motor berdasarkan input dari sensor garis. Sensor mendeteksi perbedaan warna jalur

(hitam/putih) dengan mengubah nilai V_{out} , yang dibaca oleh mikrokontroler melalui komparator atau ADC internal. Nilai ini digunakan untuk menentukan arah dan kecepatan gerak robot. Berikut gambar desain 3D Sistem Kendali



Gambar 3.4. Sistem Kendali

Gambar 3.4. Sistem kendali terdapat 6 buah sensor (1-6 hitung dari kiri) garis yang mempunyai 8 keadaan terhadap garis. Pada keadaan pertama (keadaan stabil) yaitu sensor tengah (sensor 3 & 4) berada pada garis, disini driver mengatur kecepatan motor kiri dan kanan adalah sama sehingga robot berjalan lurus, keadaan selanjutnya yaitu sensor agak sedikit ke kanan (sensor 3 dapat garis), pada keadaan ini sensor memberikan input ke ATmega 8535 dan memerintahkan driver mengatur kecepatan motor kanan lebih cepat dari motor kiri agar robot dapat menggeser sedikit ke arah kiri, selanjutnya sensor agak bergeser ke kiri (sensor 4 dapat garis) driver mengatur kecepatan kedua motor melalui perintah ATmega 8535 agar robot bisa menggeser ke kanan, demikian untuk keadaan seterusnya driver mengatur kecepatan kedua motor melalui perintah ATmega 8535 agar robot bisa menstabilkan posisinya untuk tetap berada pada garis.

Pada sistem terdapat 6 sensor garis yang menghasilkan 8 kondisi pembacaan:

1. Kondisi stabil: Sensor tengah (3 & 4) mendeteksi garis → kecepatan motor kiri dan kanan sama → robot bergerak lurus.
2. Sensor 3 saja mendeteksi garis → ATmega 8535 memerintahkan motor kanan bergerak lebih cepat → robot bergeser ke kiri.
3. Sensor 4 saja mendeteksi garis → motor kiri lebih cepat → robot bergeser ke kanan.
4. Kondisi lainnya diatur agar robot tetap mengikuti dan menstabilkan posisi di atas jalur dengan menyesuaikan kecepatan tiap motor via driver motor.

3.7. Kinematika Omni Wheels Robot

Omni Wheel robot merupakan salah satu contoh dari *mobile robot* yang memiliki struktur kinematik holonomik. *Mobile robot* didefinisikan bergerak dalam kawasan 2D. *Omni wheels robot* yang kami rancang hanya untuk pada medan rata, jadi bisa diasumsikan bergerak dalam kawasan sumbu XY saja. *Mobile robot* yang dimaksud disini ialah *mobile robot* berpenggerak 4 roda yang terpisah masing-masing 120° dengan sumbu roda berpusat di tengah robot yang dikemudikan terpisah (*Differentially Driven Mobile Robot, disingkat DDMR*). Untuk menghitung gerakan robot maka diperlukan pemetaan gerakan disepanjang sumbu global ke sumbu local robot, dimana pemetaan ini didapatkan dengan menggunakan *orthogonal rotation matrix*.

4. Kesimpulan

1. Robot omni wheel mampu melakukan pergerakan linier mengikuti jalur berbasis garis pada bidang datar. Pergeseran dari sumbu X ke sumbu Y dapat dilakukan secara langsung dengan sudut 90° tanpa perlu rotasi atau manuver awal, berkat penggunaan roda omni yang memiliki derajat kebebasan gerak lateral.

2. Sistem manipulator (lengan robotik) yang terintegrasi pada bagian atas platform bergerak secara artikulatif membentuk sudut antar *link*, berfungsi untuk melakukan pengangkatan dan penempatan objek pada titik akhir lintasan secara presisi.

3. Sistem pengendalian menggunakan loop tertutup (closed-loop control system), di mana mikrokontroler ATmega 8535 mengatur aktuator (motor DC dan servo), sedangkan sensor garis memberikan umpan balik (*feedback*) secara real-time untuk mempertahankan jalur pergerakan secara akurat dan responsif terhadap perubahan lintasan.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik dan lancar berkat dukungan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Laboratorium Mekatronika, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika atas fasilitas dan bimbingan yang diberikan selama proses perancangan dan pengujian.

Penulis juga menyampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada tim editor dan reviewer Jurnal Tematis atas kesempatan dan kepercayaan yang telah diberikan untuk mempublikasikan hasil penelitian ini. Saran dan masukan yang membangun dari pihak penerbit sangat berharga dalam meningkatkan kualitas karya ilmiah ini.

Akhir kata, semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang robotika dan sistem kendali.

Referensi

- [1] 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," *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.*, vol. 106, no. 3, 2022, doi: 10.1007/s10846-022-01745-7.
- [2] M. M. Massoud, A. Abdellatif, and M. R. A. Atia, "Different Path Planning Techniques for an Indoor Omni-Wheeled Mobile Robot: Experimental Implementation, Comparison and Optimization," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 24, 2022, doi: 10.3390/app122412951.
- [3] Rutvik Mehenge, Niket Satoskar, Anukool Shidhore, and N. Mohamed Arshath, "Kinematic and optimal design of a three-wheeled holonomic omnidirectional robot platform for mobile manipulation tasks," *Glob. J. Eng. Technol. Adv.*, vol. 17, no. 1, pp. 045–054, 2023, doi: 10.30574/gjeta.2023.17.1.0202.
- [4] L. T. Hoan, T. Dong, and V. V. Thong, "Adaptive Sliding Mode Control for Three-Wheel Omnidirectional Mobile Robot," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 71, no. 5, pp. 9–17, 2023, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V71I5P202.
- [5] M. Hijikata, R. Miyagusuku, and K. Ozaki, "Wheel Arrangement of Four Omni Wheel Mobile Robot for Compactness," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 12, 2022, doi: 10.3390/app12125798.
- [6] R. G. Nalaka Amarasiri, Alan A. Barhorst, "No Title Investigating Suitable Combinations of Dynamic Models and Control Techniques for Offline Reinforcement Learning Based Navigation: Application of Universal Omni-Wheeled Robots," *Dyn. Syst. Control*, 2024, [Online]. Available: https://www.asmedigitalcollection.asme.org/lettersdynamics/article-abstract/4/2/021007/1194489/Investigating-Suitable-Combinations-of-Dynamic?redirectedFrom=fulltext&utm_source=
- [7] S. G. L. Soo Ho Woo, Jae Hwan Choi, In Jun Hwang, "No Title Development of an Omnidirectional Mobile Robot with Dual Swivel Wheels and Simulation of its Driving Performance," *Journal of Inst. Control. Robot. Syst.*, vol. 29, no. 6, pp. 475–480, 2023, [Online]. Available: https://khu.elsevierpure.com/en/publications/development-of-an-omnidirectional-mobile-robot-with-dual-swivel-w?utm_source=