



## **Robot *Self-Balancing* Berbasis LEGO Mindstorm EV3 Untuk Pembelajaran Robotika**

**Adrian Kenny<sup>1</sup>, Christiand<sup>2\*</sup>, Riccy Kurniawan<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

E-mail: [christiand@atmajaya.ac.id](mailto:christiand@atmajaya.ac.id)

### **ABSTRAK**

Pembelajaran robotika perlu dilaksanakan secara efektif untuk mengembangkan pemahaman konseptual dan keterampilan teknis dari peserta didik. Salah satu pendekatan yang relevan adalah melalui pengembangan robot *self-balancing* sebagai salah satu contoh bentuk robot yang dapat memberikan pembelajaran terkait aspek perancangan mekanik, kendali sistem, dan pemrograman sensorik. Keberhasilan pendekatan yang digunakan sangat bergantung pada pemilihan sarana maupun metode yang tepat. LEGO Mindstorm EV3 merupakan salah satu sarana yang ideal untuk kemudahan perakitan, fleksibilitas desain, serta integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak dalam pengembangan robot. Pengembangan robot *self-balancing* berbasis LEGO Mindstorm EV3 memberikan kesempatan pembelajaran algoritma kendali robot berbasis sensor giroskop, ultrasonik, dan motor servo. Kerja penelitian ini memaparkan proses perancangan dan implementasi robot *self-balancing* berbasis LEGO Mindstorm EV3 sebagai sarana inovatif untuk pembelajaran robotika yang mendukung penguasaan konsep dan keterampilan teknik secara terpadu.

#### **Kata kunci :**

Robot *Self-balancing*, LEGO Mindstorm EV3, Pembelajaran, Robotika

### **ABSTRACT**

*Robotics education must be implemented effectively to develop students' conceptual understanding and technical competencies. One relevant approach involves the development of self-balancing robots as an exemplary platform that facilitates learning in mechanical design, control systems, and sensor programming. The success of this approach critically depends on the appropriate selection of both tools and methodologies. The LEGO Mindstorms EV3 platform is an ideal tool due to its assembly convenience, design flexibility, and seamless hardware-software integration for robotic development. Implementing a LEGO Mindstorms EV3-based self-balancing robot provides valuable learning opportunities in robotic control algorithms utilizing gyroscopic sensors, ultrasonic sensors, and servo motors. This research work presents the design and implementation process of a LEGO Mindstorms EV3-based self-balancing robot as an innovative educational tool for robotics. The platform supports integrated mastery of theoretical concepts and technical skills, fostering comprehensive engineering and control systems learning.*

#### **Keywords :**

*Self-balancing robot, LEGO Mindstorm EV3, Learning, Robotics.*

## **1. PENDAHULUAN**

Robotika telah menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari kemajuan teknologi dunia modern. Robotika telah memberikan kontribusi positif pada berbagai sektor seperti industri, kesehatan, dan pendidikan. Untuk menghadapi tantangan masa depan, pendidikan robotika sangat diperlukan agar

dapat selalu seiring dengan perkembangan teknologi. Pembelajaran robotika yang efektif harus mempertimbangkan metode dan pendekatan yang sesuai, sehingga siswa dapat mencapai tujuan pembelajaran secara optimal. Pemilihan contoh robot yang tepat dalam skala pembelajaran juga berperan penting dalam meningkatkan efektivitas

proses belajar. Aristawati dkk. menekankan bahwa integrasi robotika dalam pembelajaran STEM dapat meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa dalam memahami konsep sains dan teknologi [1]. Sementara itu, studi oleh Asri menunjukkan bahwa pelatihan robotika berbasis STEM dapat meningkatkan kemampuan siswa dalam mengontrol variabel dan memahami konsep fisika secara lebih mendalam [2]. Dengan demikian, integrasi robotika dalam pendidikan tidak hanya mempersiapkan siswa menghadapi era teknologi, tetapi juga meningkatkan kualitas pembelajaran secara keseluruhan.

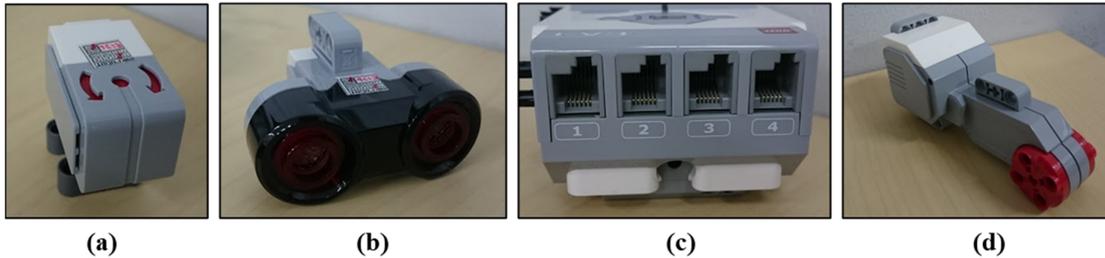
Pembelajaran robotika yang efektif sebaiknya dimulai dari aplikasi dan pengembangan robot yang dapat langsung dipraktikkan oleh peserta didik. Pendekatan praktis ini membantu siswa memahami konsep-konsep teknis seperti kendali, desain mekanik, dan pemodelan sistem secara nyata. Salah satu contoh robot yang tepat sebagai media pembelajaran adalah robot *self-balancing*. Robot jenis ini menuntut pemahaman peserta didik terhadap sensor, algoritma kendali, serta bisa dikaitkan ke aspek dinamika sistem seperti *inverted pendulum*. Penelitian oleh Fathoni dkk. menunjukkan penerapan kontrol logika fuzzy untuk *two-wheeled self-balancing* robot yang dapat dijadikan contoh untuk pembelajaran robotika terkait aspek kendali non-linear [3]. Selain itu, studi oleh Pratama dan Hernawan tentang implementasi PID *controller* pada robot *self-balancing* membuktikan bahwa proyek berbasis robot semacam ini sangat efektif untuk mengajarkan konsep kendali dasar [4]. Dengan demikian, robot *self-balancing* dapat menjadi platform ideal untuk mengintegrasikan berbagai aspek pembelajaran robotika secara terpadu.

Robot *self-balancing* merupakan salah satu tipe robot yang unik dan menarik, karena kemampuannya menjaga keseimbangan secara otomatis menggunakan sensor dan aktuator. Robot ini banyak diterapkan dalam berbagai bidang, mulai dari kendaraan pribadi seperti Segway hingga robot layanan yang bergerak di lingkungan manusia. Salah satu contoh nyata adalah penelitian oleh Grasser dkk. yang mengembangkan "JOE,"

sebuah robot beroda dua yang dapat menjaga keseimbangannya sendiri dan bergerak secara dinamis di berbagai medan [5]. Studi ini menjadi landasan bagi banyak pengembangan kendaraan pribadi berbasis *balancing control*. Contoh lain berasal dari penelitian oleh Abdelgawad dkk yang mengembangkan robot *self-balancing* dua roda menggunakan Arduino dan LabVIEW [6]. Penelitian ini membandingkan strategi kontrol berbasis model dan data untuk robot *self-balancing* dua roda, dengan pendekatan untuk praktek pembelajaran. Studi ini menunjukkan bahwa robot *self-balancing* dapat digunakan sebagai platform edukatif yang efektif untuk mempelajari berbagai teknik kontrol. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa *self-balancing* robot tidak hanya menjadi solusi alternatif, tetapi juga memperluas potensi penggunaan robot dalam kehidupan sehari-hari. Dengan perkembangan teknologi sensor, kendali adaptif, dan kecerdasan buatan, robot *self-balancing* akan terus menjadi bagian penting dalam berbagai aplikasi, baik di sektor industri, transportasi, maupun layanan sosial.

Sebagai upaya memperkaya media pembelajaran robotika, penelitian ini mengembangkan *self-balancing* robot menggunakan LEGO Mindstorm EV3. Platform LEGO dipilih karena kemudahan dalam kendali dan pemrograman, menjadikannya alat yang intuitif untuk pembelajaran. LEGO telah lama dikenal sebagai mainan edukatif yang efektif dalam menstimulasi kreativitas dan logika anak-anak maupun remaja. Melalui pengembangan robot ini, diharapkan dapat tercipta alternatif metode pembelajaran robotika yang lebih aplikatif dan menarik. Studi oleh Zhang dkk. menunjukkan bahwa penggunaan LEGO Mindstorm EV3 dalam pembelajaran sistem kontrol meningkatkan pemahaman dan pengalaman belajar siswa [8]. Selain itu, penelitian oleh Stoychev dkk. menunjukkan bahwa penggunaan LEGO Mindstorm EV3 dalam pendidikan mekatronika dapat meningkatkan keterampilan praktis dan pemahaman konsep teknis siswa [9].

Pemaparan pada artikel ini disusun secara sistematis menjadi lima bagian.



Gambar 1. Komponen LEGO MINDSTORM EV3.

Pendahuluan menjelaskan latar belakang serta tujuan dilakukannya kerja penelitian ini. Selanjutnya, bagian kedua membahas tentang komponen LEGO Mindstorm EV3. Bagian ketiga membahas metodologi dalam mewujudkan robot *self-balancing*. Bagian keempat menyajikan hasil percobaan beserta analisis. Bagian kelima menutup artikel dengan simpulan terhadap kerja penelitian yang sudah dilakukan.

## 2. KOMPONEN LEGO MINDSTORM EV3

### 2.1 Sensor Giroskop

Sensor giroskop, yang ditunjukkan pada Gambar 1.a, berfungsi untuk menentukan orientasi robot relatif terhadap sumbu gerak. Dengan akurasi sebesar  $\pm 3^\circ$ , sensor ini mampu mendeteksi tingkat kemiringan hingga 440 %/detik. Ketika robot mengalami kemiringan, sensor akan mengirimkan sinyal untuk mengoreksi posisinya agar kembali tegak lurus. Dengan kemampuannya tersebut, sensor giroskop berperan penting dalam menjaga keseimbangan robot.

### 2.2 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik berfungsi untuk mengukur jarak objek yang berada di hadapannya dan menghasilkan data numerik dalam satuan sentimeter. Bentuk sensor ini ditampilkan pada Gambar 1.b. Sensor ultrasonik mampu mengukur jarak dari 3 hingga 250 cm dengan tingkat akurasi  $\pm 1$  cm. Dengan kemampuan tersebut, sensor ini memungkinkan pengukuran jarak objek di

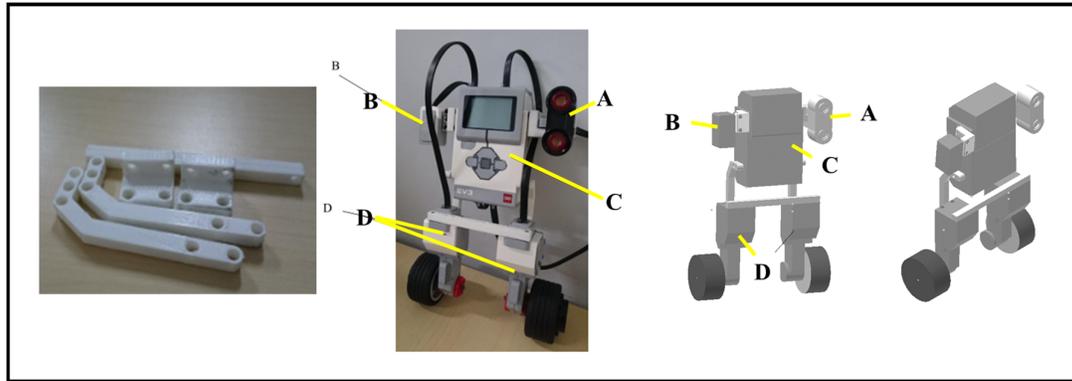
depannya secara akurat, sehingga robot dapat diprogram untuk menghindari atau berhenti saat mendeteksi objek pada jarak tertentu.

### C. Antar-Muka I/O

Antar-muka I/O pada robot berfungsi untuk menghubungkan sensor dan motor, baik dalam menerima masukan dari sensor maupun mengontrol keluaran motor. Posisi *port* untuk input/output motor maupun sensor ditunjukkan pada Gambar 1.c. Dalam pemrograman LEGO Mindstorm EV3, *port A* dan *D* digunakan untuk motor, *port 2* digunakan untuk sensor giroskop, dan *port 3* digunakan untuk sensor ultrasonik, namun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem.

### 2.4 Motor Servo

Dalam perancangan robot *self-balancing* ini, digunakan sepasang motor servo bertipe *large motor* sebagai aktuator utamanya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.d. Kedua motor ini dikontrol melalui program Lego Mindstorm, yang mengirimkan sinyal untuk mengatur pergerakan motor sesuai kebutuhan keseimbangan robot. Setiap *large motor* mampu beroperasi dengan kecepatan rotasi maksimum sekitar 160 RPM hingga 170 RPM dan memiliki kemampuan menghasilkan torsi hingga 0.02 Nm. Spesifikasi tersebut memungkinkan motor memberikan daya dorong dan responsivitas yang cukup untuk mempertahankan kestabilan robot dalam berbagai kondisi gerak.



**Gambar 3.** Perancangan wujud robot

### 3. METODOLOGI

#### 3.1 Algoritma *Self-Balancing*

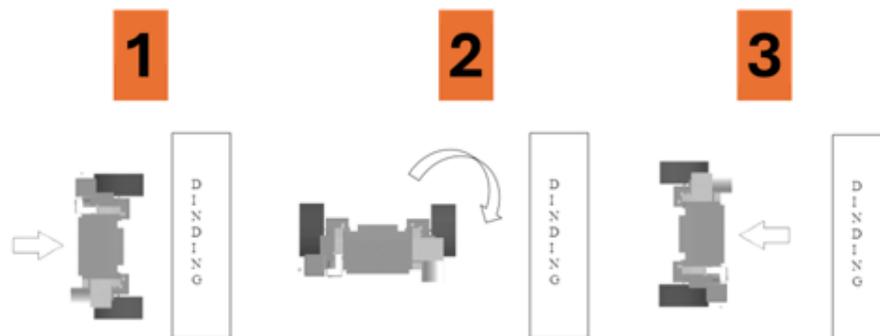
Robot mulai bergerak saat program dijalankan. Setelah program diaktifkan, robot langsung mengeksekusi serangkaian perintah yang tersusun dalam sebuah loop berisi beberapa subprogram. Pertama, robot diposisikan dalam keadaan berdiri tegak lurus terhadap bidang datar sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3. Penempatan ini bertujuan agar sensor giroskop membaca nilai  $0^\circ$  terhadap garis vertikal yang kemudian ditetapkan sebagai referensi posisi awal yang harus dijaga robot selama beroperasi.

Apabila posisi awal robot tidak dalam kondisi tegak, melainkan dalam posisi miring, maka program akan menganggap posisi miring tersebut sebagai posisi normal yang harus dipertahankan. Hal ini menyebabkan ketidakseimbangan yang pada akhirnya membuat robot tidak mampu menjaga stabilitasnya. Hal tersebut

selanjutnya memicu kesalahan dalam program, dan mengakibatkan robot jatuh.

Salah satu subprogram bernama “*ReadGyro*” bertugas untuk membaca masukan dari sensor giroskop. Setelah pengolahan pada subprogram *ReadGyro*, nilai hasil perhitungan diteruskan ke subprogram lain yang bernama “*CombineSensorValues*”. Subprogram ini mengolah data yang diterima tersebut menjadi sinyal kontrol untuk kedua motor servo. Motor-motor ini akan bergerak berdasarkan sinyal tersebut untuk menjaga keseimbangan robot. Setelah mencapai kondisi seimbang, robot mulai bergerak maju secara perlahan. Pergerakan ini dikendalikan oleh subprogram “*move*”. Sub-program merupakan program yang sama dibuat dalam editor yang disediakan dalam lingkungan LEGO Mindstorm EV3.

Subprogram *move* akan terus aktif hingga sensor ultrasonik mendeteksi keberadaan objek di depan robot, sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Ketika



**Gambar 4.** Algoritma robot.

jarak objek terdeteksi kurang dari 30 cm, robot akan melakukan manuver berputar untuk menghindari.

Sebelum berbelok, robot terlebih dahulu mundur selama 2 detik untuk mengatur posisinya, kemudian berbelok ke kanan selama 2 detik, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4. Perubahan arah ini dilakukan dengan memodifikasi parameter *steering* pada subprogram *move*, dari yang awalnya bergerak lurus menjadi berbelok ke kanan.

Setelah berhasil menghindari rintangan, robot kembali bergerak maju. Mekanisme penghindaran ini akan terus berulang, di mana robot secara otomatis berbelok kembali apabila sensor ultrasonik mendeteksi keberadaan objek lain di jalur gerakannya.

### 3.2 Perancangan Wujud Robot

Gambar desain wujud robot dapat dilihat pada Gambar 3. Komponen tambahan yang tidak tersedia pada komponen standar LEGO dengan menggunakan 3D printer. Hal pertama yang harus dilakukan adalah membuat gambar teknik komponen dengan perangkat lunak CAD (*computer aided design*). Setelah gambar teknik sudah sesuai dengan dimensi yang dikehendaki, gambar tersebut di upload ke 3D printer untuk kemudian dicetak.

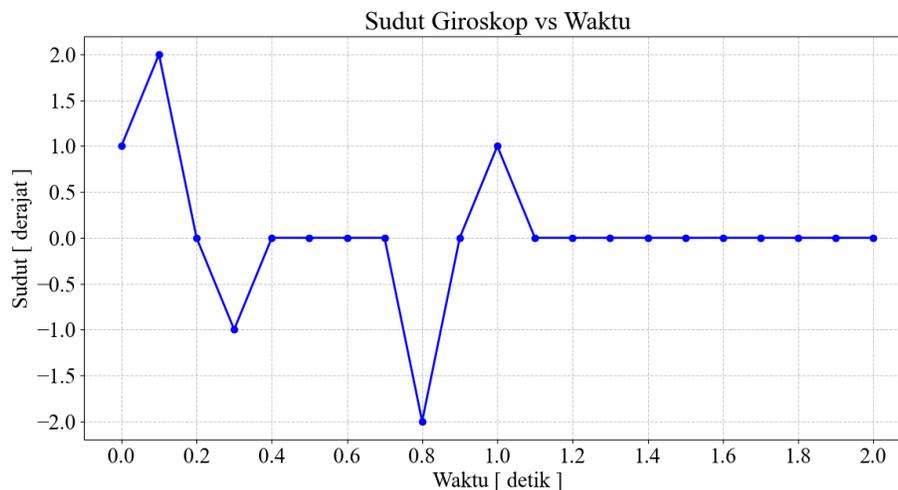
Material yang digunakan pada 3D printer adalah polimer yang disebut

polylactic acid (PLA). Polimer tersebut akan dipanaskan oleh 3D printer tersebut hingga suhu 215°C, kemudian 3D printer tersebut membentuk komponen secara bertahap sesuai dengan gambar teknik yang sudah di upload. Komponen robot *self-balancing* yang dibuat menggunakan 3D printer ditunjukkan pada Gambar 3.

## 4. EKSPERIMEN DAN ANALISIS

### 4.1 Data Girooskop

Pengujian sudut hasil bacaan dari sensor giroskop memiliki peran yang besar dalam memastikan akurasi dan reliabilitas sensor dalam mengukur sudut kemiringan robot secara tepat. Uji coba bacaan sensor giroskop dapat digunakan untuk menganalisis sejauh mana giroskop mampu merespons perubahan posisi secara konsisten dalam kondisi operasional yang sebenarnya. Selain itu, pengujian ini juga memberikan info pendahuluan mengenai kinerja giroskop di berbagai kondisi dinamis, seperti saat robot beroperasi atau menghadapi gangguan eksternal. Evaluasi terhadap data pengujian giroskop juga memungkinkan deteksi adanya potensi kesalahan atau gangguan pada sensor yang dapat memengaruhi kinerja sistem stabilisasi robot. Oleh karena itu, pengujian yang komprehensif dan akurat sangat diperlukan untuk menjamin fungsi sistem pengendalian robot yang optimal, serta memastikan kestabilan robot selama



Gambar 5. Data pengujian sensor giroskop.

beroperasi. Grafik pengujian data giroskop selama 2 detik dapat dilihat pada Gambar 5.

Dari hasil pengujian, terlihat bahwa sensor giroskop mampu menunjukkan nilai yang sesuai dengan sudut kemiringan aktual robot sehingga jika terdapat ketidaksesuaian antara giroskop dan aktual, hal tersebut tidak akan mempengaruhi pergerakan robot secara keseluruhan.

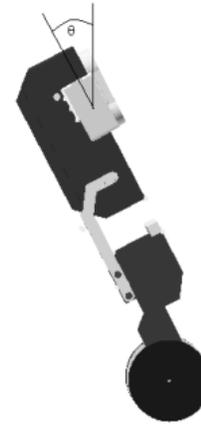
#### 4.2 Kemiringan Maksimum Robot

Program pada robot memiliki batas kemiringan maksimum yang dapat ditoleransi. Untuk mengetahui batas tersebut, dilakukan pengujian yang ditunjukkan oleh Gambar 6.

Pengujian dilakukan pada rentang kemiringan antara  $-15^\circ$  hingga  $15^\circ$  dengan interval  $5^\circ$ . Pada kemiringan  $5^\circ$ , robot dapat dengan mudah mengembalikan posisinya ke keadaan seimbang. Pada kemiringan  $10^\circ$ , robot masih bisa kembali ke posisi seimbang, meskipun tidak secepat pada kemiringan  $5^\circ$ . Namun, pada kemiringan  $15^\circ$ , robot tidak mampu menyeimbangkan posisinya. Hal ini menyebabkan error dan akhirnya menghentikan program sehingga robot jatuh. Pengujian serupa dilakukan pada sudut  $-5^\circ$  hingga  $-15^\circ$ , dengan hasil yang sama; pada sudut  $-15^\circ$ , robot tidak dapat mempertahankan keseimbangannya.

Berdasarkan data eksperimen yang diperoleh (Gambar 7), penyimpangan yang terjadi tergolong kecil dan hanya berada dalam batas toleransi spesifikasi sensor giroskop yang memiliki ketelitian  $\pm 3^\circ$ . Namun, penyimpangan ini juga bisa disebabkan oleh ketidakakuratan pengukuran

saat pengujian atau karena toleransi yang ada dalam program yang menentukan kemiringan maksimum yang dapat diterima oleh robot.

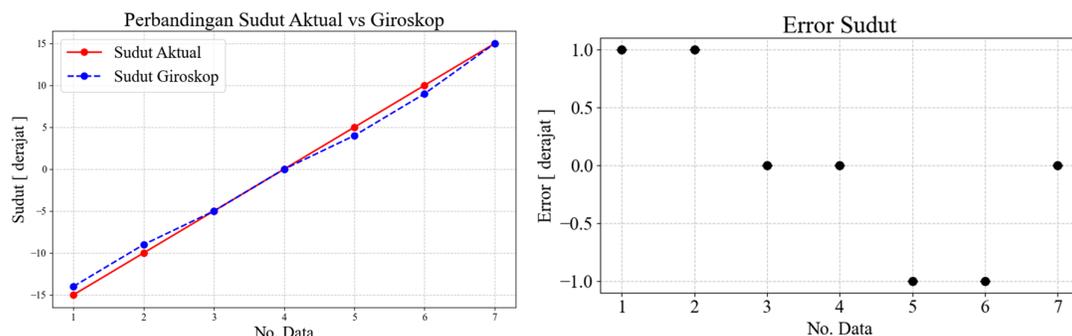


Gambar 6. Skema pengujian kemiringan.

### 5. KESIMPULAN

Robot *self-balancing* berbasis LEGO Mindstorm EV3 telah dikembangkan. Melalui kerja penelitian ini, konsep dasar kendali dan keseimbangan dapat dipelajari secara langsung dan aplikatif. Adapun yang dapat disimpulkan dari pekerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Robot self-balancing berbasis LEGO Mindstorm EV3 telah berhasil dikembangkan dan diuji coba.
- Robot mampu menjalankan algoritma kendali untuk menjaga kestabilan posisinya terhadap garis vertikal.
- Proses perancangan dan implementasi robot ini dapat dijadikan sarana pembelajaran robotika yang efektif.



Gambar 7. Data pengujian tingkat kemiringan robot.

- Pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk menambahkan fitur-fitur mutakhir agar robot semakin relevan untuk kebutuhan pembelajaran dan riset masa depan. Salah satu fitur yang penting adalah mampu dikendalikan jarak jauh sehingga peserta didik dan robot dapat berinteraksi.
- [9] M. Stoychev, S. Kartunov, P. Rachev, "Application of Robots LEGO Mindstorms Education EV3 in the Learning Process of Specialty Mechatronics," *International Journal of Advancements in Mechanical and Aeronautical Engineering*, 4(1), 2017.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. A. Aristawati, C. Budiyanto, "Penerapan robotika dalam pembelajaran STEM: Kajian pustaka," *Prosiding Seminar Nasional UNS Vocational Day*, Vol. 1, 2017.
- [2] Y. N. Asri, "Pembelajaran Berbasis Stem Melalui Pelatihan Robotika," *WaPFI (Wahana Pendidikan Fisika)*, Vol. 3, No. 2, 2018.
- [3] K. Fathoni, A. P. Pratama, N. A. Salim, V. N. Sulistyawan, "Implementasi Kendali Keseimbangan Gerak Two Wheels Self-Balancing Robot Menggunakan Fuzzy Logic," *Jurnal Teknik Elektro*, 13(2), 1–7, 2021.
- [4] A. Pratama, A. Hernawan, "Implementasi PID Controller pada *Self-Balancing Robot*," *Tugas Akhir, Universitas Teknologi Yogyakarta*, 2019.
- [5] F. Grasser, A. D'Arrigo, S. Colombi, A. C. Rufer, "JOE: A Mobile, Inverted Pendulum," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 49(1), 107–114, 2002.
- [6] A. Abdelgawad, T. Shohdy, A. Nada, "Model- and Data-Based Control of Self-Balancing Robots: Practical Educational Approach with LabVIEW and Arduino," *arXiv preprint, arXiv:2405.03561*, 2024.
- [7] A. Abdelgawad, T. Shohdy, A. Nada, "Model- and Data-Based Control of Self-Balancing Robots: Practical Educational Approach with LabVIEW and Arduino," *arXiv preprint, arXiv:2405.03561*, 2024.
- [8] M. Zhang, Y. Wan, "Improving learning experiences using LEGO Mindstorms EV3 robots in control systems course," *International Journal of Electrical Engineering & Education*, 60(4), 329-351, 2023.