
BALL BALANCING ROBOT BERBASIS MIKROKONTROLER

**Kevin Albert Wibowo^{1*}, Matius Damar Adi Pradhana², Oktavianus Davito Kristy³,
Richard⁴, Alexander Ariantono Nugroho⁵, Hizkia Urianto Koagouw⁶**

^{1,2,3,4,5,6} Program Studi Teknik Mekatronika, Politeknik ATMI Surakarta

Jl. Mojo No. 1 Karangasem, Laweyan, Surakarta 57145

*Email: kevin.20202028@student.atmi.ac.id

Abstrak

Ball Balancing Robot merupakan sebuah robot yang dirancang untuk dapat mempertahankan keseimbangan di atas permukaan bola. Pembuatan Ball Balancing Robot di Politeknik ATMI Surakarta bertujuan untuk menghadirkan media pembelajaran baru bagi mahasiswa Politeknik ATMI Surakarta. Robot ini dilengkapi dengan 3 buah roda bertipe omni wheel, 3 motor DC gearbox PG-45 yang telah dilengkapi dengan enkoder, sensor MPU-9250, serta sistem kendali PID (Proporsional-Integral-Derivatif) untuk merespon perubahan dalam sistem. Sensor MPU-9250 digunakan untuk mengukur sudut kemiringan robot, percepatan serta kecepatan sudut. Data ini kemudian diolah oleh mikrokontroler melalui algoritma untuk mendapatkan informasi yang akurat mengenai posisi dan orientasi robot terhadap bola. Sistem kendali PID dirancang melalui pendekatan kontrol berbasis umpan balik yang diambil melalui pembacaan dan pengolahan data enkoder motor. Kendali PID digunakan untuk memberikan respon yang cepat, akurat, dan stabil terhadap perubahan dalam sistem. Sinyal kendali dihasilkan untuk mengatur pergerakan motor. Berdasarkan dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa Ball Balancing Robot yang dibuat belum berhasil untuk mencapai tujuan utama, dimana robot ini dapat mempertahankan keseimbangan di atas permukaan bola, meskipun pergerakan motor yang dihasilkan dari robot ini sudah sesuai dengan yang diinginkan. Ketidak berhasilan ini disebabkan oleh kurangnya kecepatan dalam respon.

Kata kunci: Encoder, Kendali PID, Omni Wheel, Respon, Umpan Balik

1. PENDAHULUAN

Politeknik ATMI Surakarta sebagai salah satu institusi yang bergerak dalam bidang pendidikan di Indonesia, telah turut serta memperkenalkan dunia Teknik Mekatronika. Salah satu inovasi tersebut adalah dengan menghadirkan mata kuliah Robotika. Melalui mata kuliah ini, mahasiswa memiliki kesempatan untuk mengenal berbagai jenis robot serta prinsip kerjanya secara praktis. Sebagai contoh implementasi pembelajaran mobile robot maka dibuatlah Ball Balancing Robot.

Ball Balancing Robot merupakan jenis robot yang memiliki kemampuan untuk menjaga keseimbangan di atas sebuah medicine ball. Robot ini dioperasikan dengan dukungan teknologi mikrokontroler Arduino Mega 2560. Robot ini dilengkapi dengan 3 omni wheel yang dipasang pada motor DC Gearbox PG45 sebagai aktuator, serta sensor MPU 9250 sebagai bagian dari sistemnya.

Keputusan penggunaan omni wheel pada Ball Balancing Robot didasari oleh kurangnya alat peraga yang memanfaatkan teknologi omni wheel dalam pembelajaran robotika di Politeknik ATMI Surakarta. Kehadiran Ball Balancing Robot diharapkan dapat memfasilitasi pemahaman mahasiswa mengenai penggunaan omni wheel pada robot bergerak.

Tujuan dibuatnya Ball Balancing Robot yaitu agar mahasiswa dapat mempelajari mobile robot yang menggunakan omni wheel sebagai penggerak. Kemudian mahasiswa juga dapat mempelajari cara kerja sensor MPU 9250 yang memberi sinyal ke Arduino, kemudian diproses untuk menggerakkan 3 motor agar membuat robot berdiri secara stabil. Mahasiswa dapat mempelajari penggunaan aplikasi LabView sebagai salah satu media *monitoring* kondisi robot.

2. METODOLOGI

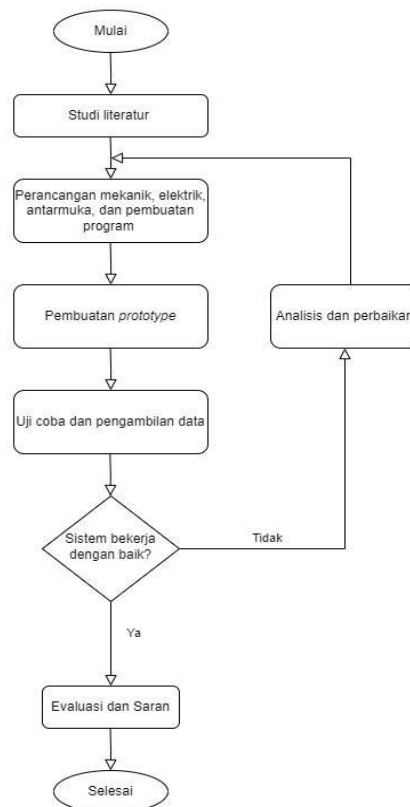
Untuk memastikan kelancaran pelaksanaan penelitian, diperlukan pendekatan yang sistematis dan terperinci dalam proses penelitian. Oleh karena itu, beberapa komponen penting yang diperlukan dalam penelitian ini termasuk metodologi penelitian dan langkah-langkah proses penelitian. Penjelasan tentang elemen-elemen yang telah disebutkan diuraikan sebagai berikut:

2.1. Metode Penelitian

Metode yang diterapkan dalam pembuatan *Ball Balancing Robot* berbasis Mikrokontroler ini menggabungkan pendekatan eksperimental dan kuantitatif. Pendekatan eksperimental digunakan untuk merancang percobaan yang terkendali guna menguji hipotesis terkait dengan kinerja robot dalam menjaga keseimbangan. Dalam hal ini, variabel-variabel tertentu akan dimanipulasi untuk mengamati dampaknya terhadap perilaku robot. Selanjutnya, pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengumpulkan data numerik yang dapat diukur secara objektif, seperti data sensor MPU 9250 dan pergerakan motor, sehingga dapat dianalisis dengan menggunakan metode statistik. Kombinasi metode eksperimental dan kuantitatif ini memungkinkan untuk pemahaman yang lebih mendalam mengenai kinerja dan karakteristik *Ball Balancing Robot* secara ilmiah dan terukur.

2.2. Proses Penelitian

Proses pelaksanaan dilaksanakan melalui serangkaian langkah-langkah seperti yang terlihat dalam diagram alir yang digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Penelitian

2.2.1. Pengumpulan Data

Pengambilan data dilakukan melalui studi literatur dan akuisisi informasi yang berkaitan dengan Ball Balancing Robot berbasis mikrokontroler. Pengumpulan data dirancang untuk mendapatkan pemahaman mendalam tentang konsep dan teknologi yang diterapkan pada Ball Balancing Robot ini. Data diperoleh melalui interaksi wawancara dengan pengusul, yang memberikan sejumlah informasi yang berharga untuk merumuskan batasan dan mengidentifikasi tantangan. Selain dialog dengan pengusul, informasi penelitian didapatkan dari sumber-sumber pendukung termasuk pengamatan langsung terhadap objek penelitian untuk memastikan akurasi dan validitas data. Data juga dikumpulkan melalui pencarian literatur yang mencakup buku, jurnal, dan artikel ilmiah yang relevan dengan topik penelitian.

2.2.2. Pembuatan Matriks Kebutuhan

Sebelum melakukan proses perancangan, terdapat beberapa data yang harus ditentukan keterkaitan antara satu dengan yang lain. Pada proses penentuan matriks kebutuhan, diperlukan beberapa data seperti daftar kebutuhan yang didapatkan berdasarkan permintaan pengusul. Solusi yang diperlukan untuk menjawab permintaan dari pengusul adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Matriks Kebutuhan Proyek pada *Ball Balancing Robot* Berbasis Mikrokontroler

No	Permintaan	Solusi	Spesifikasi
1	Model Mesin yang Compact dan Kokoh	Pembuatan desain 3D sebelum direalisasikan	Cover Akrilik Rangka Alumunium Dudukan 3D Print
2	Mudah dalam Maintenance	a. Membuat desain penempatan komponen. b. Menggunakan kabel dan soket molex.	Pembuatan layer 2 tingkat Penggunaan soket molex
3	Monitoring suhu, baterai, posisi robot	a. Menggunakan sensor voltage untuk mengukur tegangan baterai. b. Menggunakan sensor pendeteksi suhu dan kelembaban. c. Menggunakan sensor pendeteksi kemiringan atau posisi.	Voltage Sensor Sensor DHT-22 Sensor MPU-9250

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan dan implementasi ball balancing robot berbasis mikrokontroler ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu keberhasilan fungsi sistem input data, kesesuaian nilai input pada pengolahan data, komunikasi data dari tiap unit dapat terhubung pada arduino, dan real time data tersaji pada display monitoring dan aplikasi labview.

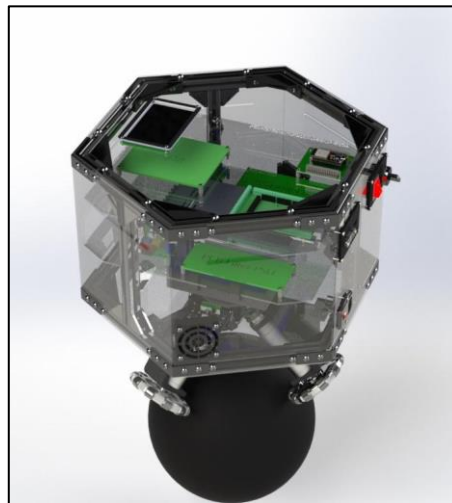
3.1. Hasil

Setelah terlaksananya proses perancangan dan perhitungan yang dilakukan, maka desain dari robot ini dapat terealisasikan. *Ball Balancing Robot* berbasis Mikrokontroler

memiliki fitur pendukung berupa *joystick* untuk sistem kendali manual, layar HMI dan aplikasi LabVIEW untuk melakukan monitoring kondisi robot. Sistem kendali manual dengan menggunakan joystick ini digunakan untuk menggerakkan bola melalui pemanfaatan kombinasi gerakan dari 3 motor yang dipasang omni wheel. Layar HMI dan aplikasi LabVIEW digunakan untuk memonitoring kondisi robot yang mencakup persentase baterai, suhu mikrokontroler, sudut kemiringan robot, dan kecepatan putaran masing-masing motor.

3.1.1. Desain Robot

Ball Balancing Robot berbasis Mikrokontroler memiliki dimensi dengan ukuran sebagai berikut: 45,3cm x 40cm x 42,8cm (panjang x lebar x tinggi) dengan bola ber diameter 27cm. Ball Balancing Robot berbasis Mikrokontroler memiliki frame yang terbuat dari aluminium profile dan cover yang terbuat dari akrilik.



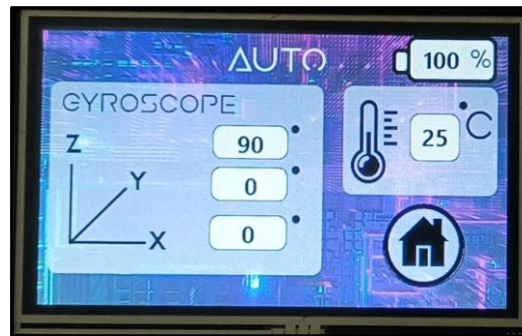
Gambar 2. Ball Balancing Robot

3.1.2. HMI

Pembuatan *user interface* pada *Ball Balancing Robot* berbasis Mikrokontroler difokuskan untuk pemantauan kondisi robot. *User interface* ini tersusun atas menu Home, menu Auto, dan menu Manual.



Gambar 3. Menu Home pada HMI



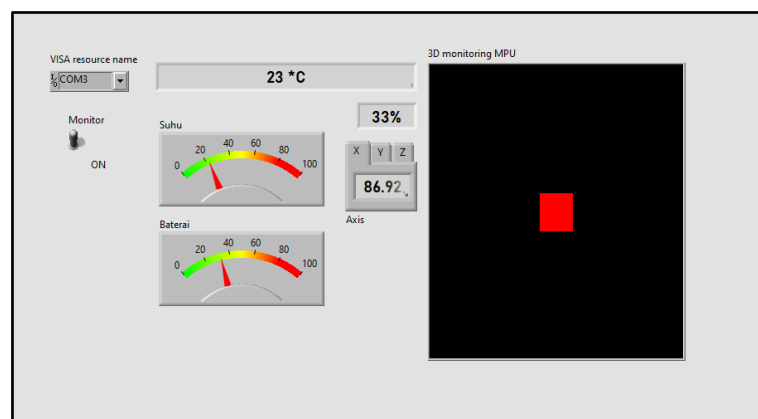
Gambar 4. Menu Auto pada HMI



Gambar 5. Menu Manual pada HMI

3.1.3. LabVIEW

Pembuatan *user interface* pada aplikasi LabVIEW pada *Ball Balancing Robot* berbasis Mikrokontroler difokuskan pada monitoring kondisi robot. *Monitoring* melalui LabVIEW ini dapat digunakan dengan menyambungkan perangkat laptop atau komputer pada satu akses poin internet yang sama yang tersambung dengan *Ball Balancing Robot*.



Gambar 6. Tampilan Monitoring pada Aplikasi LabVIEW

3.2. Pengujian

Tingkat keberhasilan fungsi sistem pada *Ball Balancing Robot* berbasis Mikrokontroler didasarkan dari hasil pengujian kendali dan kalibrasi joystick dan enkoder motor. Berikut adalah hasil pengujian sistem pada *Ball Balancing Robot* berbasis Mikrokontroler.

3.2.1 Pengujian Enkoder Motor

Di dalam proses kalibrasi enkoder masing-masing motor, dibuat tabel untuk pencatatan data pembacaan enkoder dari masing-masing motor selama proses kalibrasi. Fungsi dari tabel kalibrasi tersebut adalah untuk mengetahui nilai kesesuaian antara pembacaan enkoder dari masing-masing motor dengan *set point* yang telah ditentukan. Berikut adalah tabel hasil kalibrasi pembacaan enkoder masing-masing motor.

Tabel 2. Data Kalibrasi Enkoder Motor

No	Setpoint	Motor 1	Motor 2	Motor 3
1	50	50.0	48.8	50.5
2		49.7	49.6	49.5
3		50.0	49.7	50.5
4		49.7	49.6	49.7
5		50.4	50.2	49.6
Min		0	0.2	0.3
Max		0.4	1.2	0.5
Average		0.2	0.5	0.44

3.2.2. Pengujian Joystick

Di dalam proses kalibrasi joystick, dilakukan pengecekan nilai analog pada sumbu X dan sumbu Y. Berikut merupakan tabel nilai analog pada joystick.

Tabel 3. Data Nilai Analog Joystick

Value	Sumbu X	Sumbu Y
Ideal minimum value	0	0
Ideal maximum value	1023	1023
Ideal centered position value	512	512
Actual minimum value	0	0
Actual maximum value	1014	1013

Actual centered position value	507	505
--------------------------------	-----	-----

3.2.3. Pengujian Sistem Kendali Manual

Proses pembuatan sistem kendali manual dimulai dengan melakukan mapping dari nilai analog joystick menjadi nilai kemiringan sudut dengan mengasumsikan maksimal kemiringan sudut sebesar 15 derajat untuk setiap sumbu sehingga mapping mengubah nilai 0-1014 menjadi (-15)-15 untuk sumbu X dan mapping nilai 0-1013 menjadi (-15)-15 untuk sumbu Y. Kemudian, nilai tersebut diolah oleh rumus berikut untuk menjadi nilai setpoint dari masing-masing motor.

$$\begin{aligned}
 M1 &= [X \times \text{Sin}(60^\circ)] - [Y \times \text{Sin}(30^\circ)] \\
 M2 &= -[X \times \text{Sin}(60^\circ)] - [Y \times \text{Sin}(30^\circ)] \\
 M3 &= Y
 \end{aligned}$$

Gambar 7. Rumus Konversi Sudut ke Kecepatan Angular

Keluaran dari rumus di atas berupa kecepatan angular yang perlu diubah menjadi kecepatan putaran terlebih dahulu. Kecepatan putaran inilah yang menjadi nilai setpoint untuk kecepatan putaran dari masing-masing motor. Namun, kecepatan aktual motor yang terbaca dari enkoder menyatakan bahwa kecepatan aktual motor berbeda dari kecepatan yang diperintahkan. Oleh karena itu, perlu digunakan sistem kendali PID untuk menyamakan antara kecepatan setpoint dengan kecepatan aktualnya. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan nilai variabel KP, KI, dan KD yang paling optimal seperti berikut:

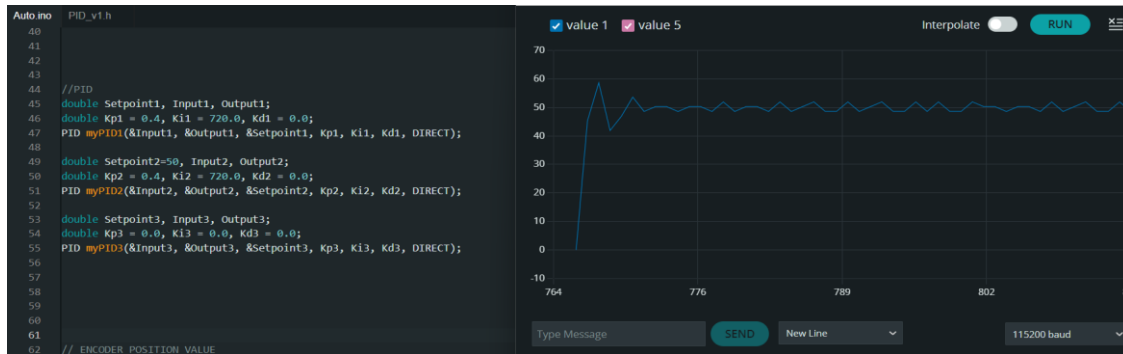
Tabel 4. Data Nilai Set Variabel KP,KI,KD

Motor	KP	KI	KD
1	0.4	720.0	0.0
2	0.4	720.0	0.0
3	0.4	720.0	0.0

Pengujian sistem kendali ini dilakukan dengan ketentuan pengambilan data pencuplikan tiap 10ms dan delay program sebesar 50ms. Berikut merupakan grafik hasil pengujian sistem kendali PID dengan setpoint sebesar 50 untuk masing-masing motor:



Gambar 8. Grafik PID Motor 1



Gambar 9. Grafik PID Motor 2



Gambar 10. Grafik PID Motor 3

Dengan menggunakan sistem kendali PID ini, nilai aktual yang terbaca oleh enkoder dapat sesuai dengan nilai setpoint yang diberikan. Namun, waktu respon yang diperlukan masih kurang cepat sehingga sistem ini masih sulit untuk diimplementasikan ke sistem kendali otomatis. Berikut merupakan contoh keterlambatan waktu respon yang terjadi pada motor 2:

Time	Setpoint 2	Enkoder 2
14:14:32.054	0.16	0.00
14:14:32.095	-0.11	0.00
14:14:32.168	-1.09	0.00
14:14:32.201	-1.41	0.00
14:14:32.274	-1.20	0.00
14:14:32.307	-0.12	0.00
14:14:32.380	1.09	0.00
14:14:32.444	6.92	0.00
14:14:32.477	20.39	0.00
14:14:32.550	47.34	6.70
14:14:32.586	100.58	20.11
14:14:32.659	180.00	46.93
14:14:32.706	180.00	93.85
14:14:32.779	180.00	122.35
14:14:32.820	180.00	137.43
14:14:32.892	180.00	154.19
14:14:32.925	172.73	165.92

Gambar 11. Respon Waktu Pembacaan Enkoder dengan Setpoint

Dapat dilihat dari gambar diatas bahwa dalam waktu ± 300 ms, ada perubahan setpoint sebesar 180 RPM, sedangkan pembacaan dari enkoder baru mulai berubah setelah setpoint mencapai 47.34 RPM dan belum mencapai 180 RPM bahkan setelah setpoint turun menjadi

172.73 RPM. Hal ini menyebabkan respon gerakan dalam sistem kendali otomatis masih belum optimal, namun masih aman untuk digunakan dalam sistem kendali manual.

3.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian, *Ball Balancing Robot* berbasis Mikrokontroler berhasil melewati tahap perancangan hingga implementasi. Robot ini telah berhasil untuk melakukan pergerakan sesuai arah yang diinginkan, dan dapat menampilkan hasil *monitoring* kondisi robot pada layar HMI dan juga LabVIEW. Walaupun telah terdapat beberapa hasil yang sesuai dengan keinginan, namun masih diperlukan beberapa perbaikan dan penyesuaian kembali pada sistem. Misalnya seperti penyesuaian dan perbaikan respon untuk kendali otomatis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, dapat dikatakan bahwa *Ball Balancing Robot* berbasis Mikrokontroler belum berhasil mencapai tujuan utama dimana robot ini dapat berdiri dengan seimbang di atas bola secara otomatis. Melalui hasil uji kendali manual, dapat dikatakan bahwa arah pergerakan motor yang dihasilkan telah sesuai yang diinginkan. Selain itu, proses pemantauan kondisi robot juga telah berhasil ditampilkan pada HMI dan LabVIEW.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ioana Lal, Hardware and control design of a Ball Balancing Robot. Dokumen teknis, International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits & Systems, 2019
- Jochen Alt. Paul | Hackaday.io. Diakses dari <https://hackaday.io/project/20045-paul> , 14 November 2022.
- Thomas Kølbaek Jespersen, Kugle - Modelling and Control of a Ball-balancing Robot. Dokumen teknis, Aalborg Univesity, 2019
- MPU-9250 Product Specification Revision 1.1. Dokumen teknis, InvenSense Inc., Technology Drive, San Jose, 2016.
- MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.3. Dokumen teknis, InvenSense Inc., Borregas Ave, Sunnyvale, 2012.
- MPU-6500 Product Specification Revision 1.0. Dokumen teknis, InvenSense Inc., Technology Drive, San Jose, 2013.