



ROBOT KESEIMBANGAN PADA SEBUAH BOLA MENGUNAKAN SISTEM KENDALI PID

Muhammad Fauzan¹, Muhammad Ferdiansyah¹, Muhammad Iqbal Nugraha¹,
Indra Dwisaputra¹

¹Politeknik Manufaktur Bangka Belitung

Corresponding Author: mferdiansyah0910@gmail.com

ABSTRAK

Robot keseimbangan bola adalah salah satu robot penyeimbang dinamis. Robot ini harus dikontrol secara aktif untuk menstabilkannya agar tetap seimbang tegak lurus 0° diatas bola pada permukaan tanah atau lantai. Sistem kendali yang digunakan ialah sistem kendali PID. Pengujian yang dilakukan diantaranya pengujian sensor, pengujian motor, pengujian respon robot, serta implementasi sistem kendali PID pada robot. Dari berbagai metode tuning yang diuji pada robot, metode manual tuning memberikan waktu jatuhnya robot sedikit lebih lama yaitu 330ms, dibandingkan metode lainnya yaitu Ziegler-Nichlos=70ms, CHR Overshoot 0%=170ms, CHR Overshoot 20%=160ms, dan Cohen-Coon=150ms. Pengolahan data keseluruhan diproses oleh mikrokontroler Arduino Mega2560 yang menerima pembacaan sudut dari sensor MPU6050 sebagai masukan dan aktuasi pada motor stepper sebagai keluaran untuk penyeimbangan pada robot.

Kata Kunci: Robot Keseimbangan Bola, PID, Kinematika

ABSTRACT

The ball balance robot is one of the dynamic balancing robots. This robot must be actively controlled to stabilize it so that it remains balanced perpendicular to 0° above the ball on the ground or floor. The control system used is the PID control system. The tests carried out include sensor testing, motor testing, robot response testing, and the implementation of the PID control system on the robot. Of the various tuning methods tested on the robot, the manual tuning method gives the robot a slightly longer fall time of 330ms, compared to other methods, namely Ziegler-Nichlos=70ms, CHR Overshoot 0%=170ms, CHR Overshoot 20%=160ms, and Cohen-Coon =150ms. Overall data processing is processed by the Arduino Mega2560 microcontroller which receives angle readings from the MPU6050 sensor as input and actuation on the stepper motor as output for balancing on the robot.

Keywords: Ball Balancing Robot, PID, Kinematics

1. PENDAHULUAN

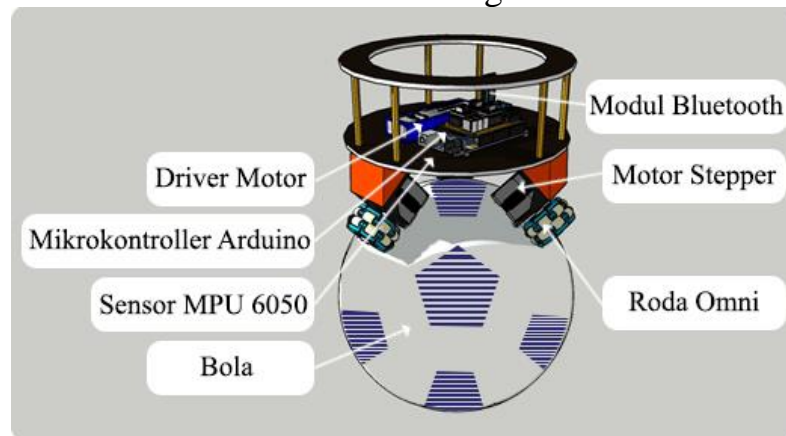
Robot keseimbangan pada sebuah bola adalah salah satu robot penyeimbang dinamis, sama halnya seperti robot penyeimbang roda dua. Robot ini harus dikontrol secara aktif untuk menstabilkannya agar tetap seimbang tegak lurus diatas bola pada permukaan tanah atau lantai (Lal, et al., 2019), yang dimana pada penelitiannya mampu berosilasi seimbang pada kemiringan 5° pada sumbu y dan 7° pada sumbu x. Salah satu keunggulan utama robot keseimbangan bola dibandingkan dengan robot penyeimbang roda dua yaitu robot mampu bergerak ke segala arah pada sumbu x dan sumbu y, sedangkan robot penyeimbang roda dua hanya bisa berputar pada porosnya untuk mendapatkan arah tertentu.

Cukup banyak penelitian dan desain robot keseimbangan bola yang sudah diusulkan dalam literatur, diantaranya oleh Ioana Lal dan timnya seperti yang telah disebutkan diatas, kemudian oleh Sagar Sanjay dengan timnya (Kadam, et al., 2018) yang membuat model matematika dan melakukan simulasi animasi robot keseimbangan bola yang menggunakan kombinasi sistem kendali LQR dan PID, namun belum mengimplementasikan ke dalam robot nyata, serta buatan Chengtao Cai dengan timnya (CAI, et al., 2019) yang menggunakan sistem kendali kaskade Fuzzy dan PD untuk kontrol keseimbangan, kontrol yaw, serta sistem kendali PI untuk kontrol posisi yang telah mencapai keseimbangan dinamis hingga $0,4^\circ$.

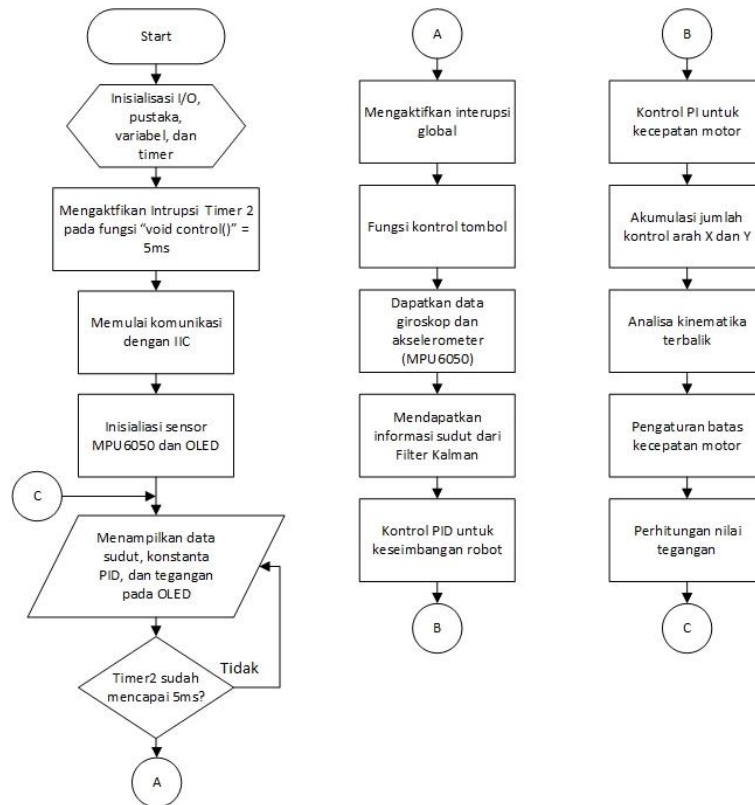
Untuk membuat robot tetap seimbang pada proyek akhir ini diperlukan sebuah sistem kontrol yang dapat mengendalikannya. Sistem kendali yang digunakan ialah sistem kendali PID. Pada penelitian ini, kontribusi yang diberikan ialah implementasi sistem kendali PID secara lengkap, yaitu dengan menambahkan konstanta integral (Ki) pada robot keseimbangan bola yang diharapkan mampu mengeliminasi *steady-state error* sesuai dengan teori PID (Jayakody & Sucharithrathna, 2019) dengan robot keseimbangan roda dua yang dibuatnya telah mampu mengeliminasi *steady-state error* pada simulasi menggunakan *software* Matlab. Kemudian kontribusi yang dilakukan selanjutnya ialah melakukan perbandingan dari beberapa metode *tuning* sistem kendali PID untuk mencapai hasil yang optimal pada robot keseimbangan bola pada proyek akhir ini.

2. METODE

2.1. Desain Kontruksi dan *Flowchart* Program



Gambar 1. Desain Kontruksi Robot Keseimbangan Bola

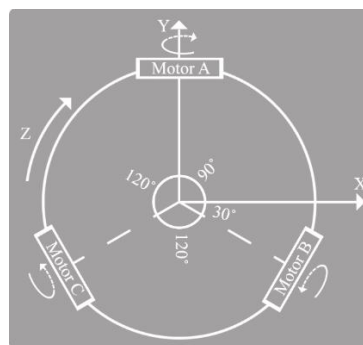


Gambar 2. Flowchart Program

Gambar Flowchart Program diatas menjelaskan proses kerja dari Robot Keseimbangan Bola. Jenis sensor yang digunakan pada robot ini ialah sensor MPU6050, sensor ini mampu membaca kemiringan sudut berdasarkan data dari sensor Akselerometer dan Giroskop. Informasi sudut yang diperoleh dari sensor MPU6050 dikontrol menggunakan sistem kontrol PID untuk mengontrol keseimbangan robot, dan sistem kontrol PI untuk mongontrol kecepatan motor.

2.2. Kinematika

Dalam menentukan kecepatan dan arah putaran, diperlukan perhitungan kinematika yang dapat mengombinasikan ketiga motor sehingga dapat mencapai kecepatan dan arah putaran yang sesuai. Kombinasi arah putaran dari tiga motor tersebut didapat berdasarkan perhitungan analisa kinematika mundur (*Inverse Kinematic*) (CAI, et al., 2019) yang dilampirkan pada persamaan 1.



Gambar 3. Kinematika Mundur Robot

$$\begin{pmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_X + V_Z \\ -\sin 30^\circ V_X - \cos 30^\circ V_Y + V_Z \\ -\cos 60^\circ V_X + \sin 60^\circ V_Y + V_Z \end{pmatrix} \quad (1)$$

Keterangan :

V_A : Kecepatan motor A

V_B : Kecepatan motor B

V_C : Kecepatan motor C

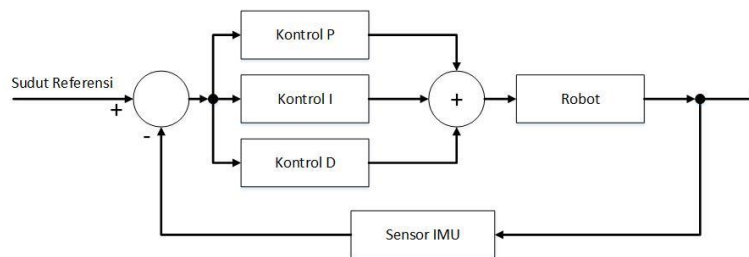
V_X : Kecepatan motor terhadap sumbu X

V_Y : Kecepatan motor terhadap sumbu Y

V_Z : Kecepatan robot terhadap sumbu Z

2.3. Sistem Kontrol

Robot keseimbangan bola ini direalisasikan menggunakan sistem kendali PID. PID merupakan singkatan dari *Proportional-Integral-Derivative controller*. Sistem kontrol PID akan terus melakukan proses pembacaan dan penyesuaian secara kontinu untuk meminimalisir nilai *error* (Ilham & Iftitah, 2020). Pada robot ini sistem kendali PID yang digunakan adalah PID ideal bentuk *independent*.



Gambar 4. Blok Diagram Sistem Kendali PID Robot

Dalam menentukan nilai parameter PID untuk sebuah sistem diperlukan pemilihan metode yang tepat. Dalam meriset metode yang tepat untuk sistem robot keseimbangan bola ini, dilakukan beberapa percobaan nilai parameter PID dari 3 metode yang berbeda, yaitu metode Ziegler-Nichols, CHR, Cohen-Coon.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Motor Stepper

Pengujian motor stepper dibantu menggunakan alat ukur *Tachometer*, uji motor ini bertujuan untuk memastikan kecepatan motor berputar sesuai dengan kecepatan yang diberikan.

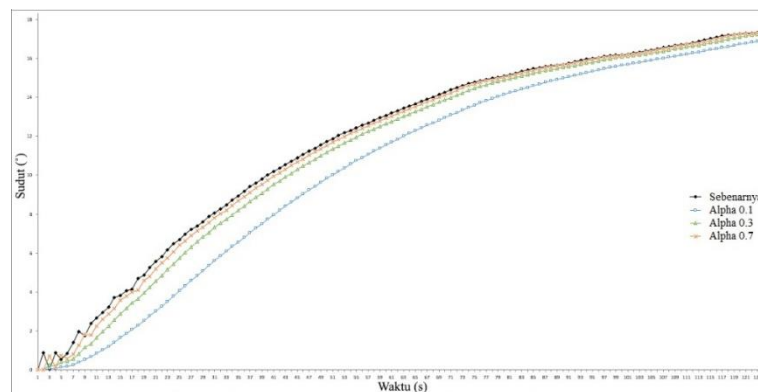
Tabel 1. Data Pengujian Kecepatan Motor (RPM)

No	Target	Pengukuran			Error (%)		
		Motor A	Motor B	Motor C	Motor A	Motor B	Motor C
1	20	19,5	19,5	19,5	2,5641	2,5641	2,5641
2	70	67,1	67,1	67,1	4,3219	4,3219	4,3219
3	100	94,5	94,5	94,5	5,8201	5,8201	5,8201
4	125	115,7	115,7	115,7	8,038	8,038	8,038
5	150	138,2	138,2	138,2	8,5384	8,5384	8,5384
Rata-Rata Error (%)					5,8565	5,8565	5,8565

Berdasarkan tabel 1, dapat disimpulkan bahwa ketiga motor stepper tersebut memiliki persentase *error* yang sama. Kesalahan itu bisa saja disebabkan dari kondisi pabrikan dari motor tersebut.

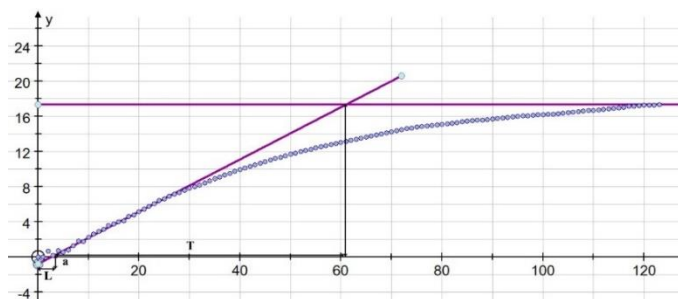
3.2. Pengujian Respon Robot

Tahapan pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon robot terhadap kemiringan tertentu, yang kemudian digunakan untuk mendapatkan *starting point* parameter PID. Pengujian dilakukan dengan sistem *loop* terbuka terhadap sistem (Maulana & Pujiharsono, 2021), dengan kecepatan motor 93,75 RPM dari kemiringan sudut 18° menuju 0° terhadap sumbu y. Kemudian grafik dihaluskan dengan nilai alpha 0.1, 0.3, dan 0.7 untuk memudahkan dalam pengolahan data. Gambar grafik respon robot terhadap kemiringan ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Respon Robot Pada Kemiringan 18° Menuju 0° Terhadap Sumbu Y

Tahapan selanjutnya ialah penarikan garis asimtot pada grafik alpha 0.7 yang telah dihaluskan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Data hasil penarikan garis asimtot ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 6. Penarikan Garis Asimtot Pada Grafik Alpha 0.7

Tabel 2. Data Penarikan Garis Asimtot Grafik Alpha 0.7

Konstanta	a	L (ms)	L (s)	L+T	T	τ
Alpha 0.7	0,8	2,69159	0,002692	0,060974	0,058283	0,04414288

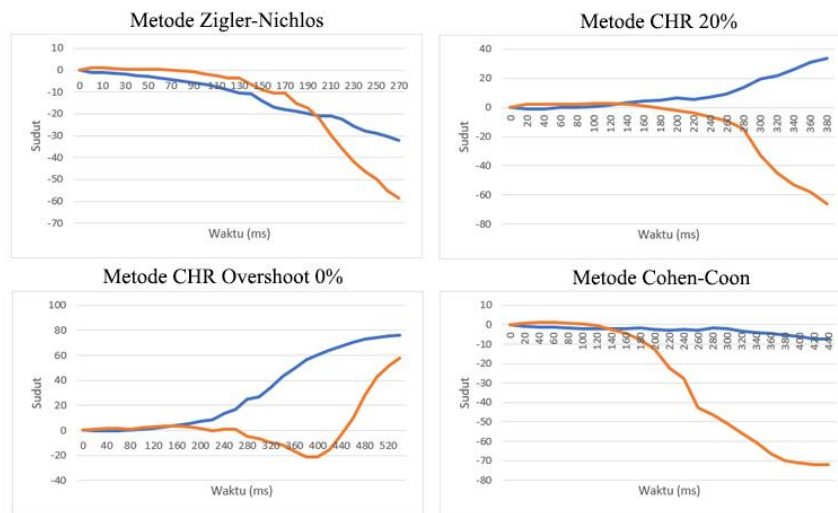
Data yang telah didapatkan akan digunakan untuk perhitungan konstanta PID dari berbagai metode. Hasil perhitungan dilampirkan pada tabel 3.

Tabel 3. Parameter PID Menggunakan Berbagai Metode

Metode	Kp	Ti	Td	Ki	Kd
ZN-step response	1,5	0,00538	0,00135	278,646	0,00202
CHR Overshoot 0%	1,1875	0,00646	0,00113	183,829	0,00134
CHR Overshoot 20%	1,5	0,00538	0,00113	278,646	0,00169
Cohen-Coon	1,7015	0,00661	0,00099	257,61	0,00168

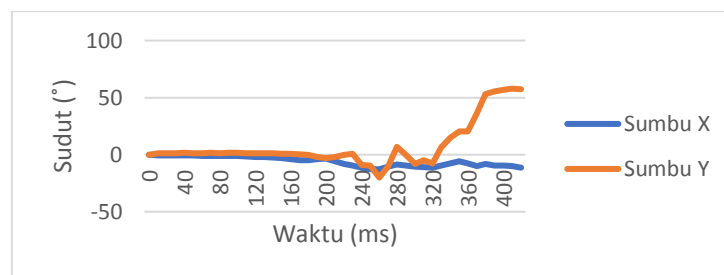
3.3. Pengujian PID Kontrol Keseimbangan

Berikut adalah hasil pengujian konstanta PID pada robot dengan menggunakan konstanta yang telah didapat :



Gambar 7. Grafik Dari Berbagai Metode

Dari beberapa hasil percobaan diatas terlihat bahwa konstanta PID yang telah didapat dari beberapa metode belum dapat menyeimbangkan robot sebagaimana yang diinginkan. Waktu jatuhnya robot dari masing-masing metode yaitu Ziegler-Nichlos=70ms, CHR Overshoot 0%=170ms, CHR Overshoot 20%=160ms, dan Cohen-Coon=150ms. Sehingga perlu dilakukan *tuning* manual agar dapat menyesuaikan parameter PID dengan melihat respon robot secara langsung dengan konstanta yang diberikan. Berikut ialah hasil yang didapat dengan menggunakan nilai Kp=5.1, Ki=772.83, dan Kd=0.084.



Gambar 8. Grafik Manual *Tuning*

Berdasarkan grafik pada gambar 8, didapatkan bahwa waktu jatuhnya robot sedikit lebih lama yaitu 330ms dibandingkan dengan ketiga metode sebelumnya

yaitu kurang dari 180ms. Namun nilai *tuning* PID yang digunakan belum dapat menyeimbangkan robot sepenuhnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan, didapatkan beberapa kesimpulan berikut:

- Pentingnya pengukuran dan pengecekan kelayakan sebuah perangkat sebelum diimplementasikan agar sesuai dengan hasil yang diinginkan.
- Berdasarkan hasil pengujian motor, didapatkan nilai rata-rata *error* sebesar 5,8565%. Maka diperlukan sistem kendali agar dapat menyesuaikan kecepatan motor yang diinginkan dan keluaran yang dihasilkan.
- Penting penentuan sebuah metode *tuning* sistem kendali agar mendapatkan kinerja yang lebih baik menyesuaikan dengan sistem yang dikendalikan.
- Berdasarkan hasil percobaan secara keseluruhan, robot belum bisa dikatakan seimbang. Diantara faktor penyebabnya ialah *tuning* PID yang belum tepat, namun sudah lebih baik dibandingkan ketiga metode sebelumnya, yaitu 330ms dibandingkan metode lainnya yaitu kurang dari 180ms. Penyebab lainnya ialah kontrol posisi yang kurang efektif, dimana hasil pengukuran kecepatan motor untuk keseimbangan robot didapatkan dari formulasi perhitungan, bukan dari pengukuran nyata menggunakan sensor kecepatan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada POLMAN BABEL yang telah menyediakan fasilitas selama berlangsungnya pengerjaan proyek akhir, dan juga pihak lainnya yang telah bersedia berbagi ilmunya.

DAFTAR PUSTAKA

- CAI, C., LU, J. & LI, . Z., 2019. Kinematic Analysis and Control Algorithm for the Ballbot. *IEEE Access*, Volume 7, p. 38317.
- Ilham, S. A. A. & Iftitah, M. I., 2020. Penggunaan Kontrol PID dengan Berbagai Metode Untuk Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC. *Jurnal Fisika dan Terapannya*, Volume 7, pp. 78-79.
- Jayakody, D. & Sucharitharathna, K., 2019. Control Unit for a Two-Wheel Self-Balancing Robot. *Global Journal of Researches in Engineering (J)*, 19(1).
- Kadam, S. S., Thokal, G. N. & Kadam, S., 2018. Mathematical Modeling and Simulation with Animation of Ball Balancing Robot. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, p. 17.
- Lal, I., Nicoara, M., Codrean, A. & Busoniu, L., 2019. Hardware and control design of a ball balancing robot. *IEEE*.
- Maulana, Y. Z. & Pujiharsono, H., 2021. Perbandingan Kinerja Pengontrol PID menggunakan Antarmuka OPC pada PLC dan MATLAB untuk Sistem Pasteurisasi Susu. *Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika.* , 9(2), p. 436.