

# Kontrol PID untuk Navigasi Robot Berkaki Berbasis Sensor TOF dan BNO055

Mirza Sjahrul Kurnia<sup>1</sup>, Agus Pracoyo<sup>2</sup>, Leonardo Kamajaya<sup>3</sup>

e-mail: [mirza.sjahrul@gmail.com](mailto:mirza.sjahrul@gmail.com), [agus.pracoyo@polinema.ac.id](mailto:agus.pracoyo@polinema.ac.id), [leonardo42@polinema.ac.id](mailto:leonardo42@polinema.ac.id)

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

## Informasi Artikel

### Riwayat Artikel

Diterima 24 Mei 2023

Direvisi 24 Agustus 2023

Diterbitkan 30 September 2023

### Kata kunci:

Kontrol PID

Sensor BNO055

Robot Berkaki

## ABSTRAK

Perkembangan dalam bidang teknologi semakin cepat khususnya dibidang robotika. Dalam klasifikasinya, robot terbagi berdasarkan *actuator* penggerakannya yaitu robot beroda dan juga robot berkaki (*legged*). Pada robot berkaki, terdapat sebuah tantangan dimana robot harus dapat berjalan lurus di lintasan dimana tidak terdapat dinding penuntun. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan robot hexapoda yang dapat berjalan lurus menggunakan metode kontrol PID. Pengujian dilakukan dengan mengukur jarak tempuh robot dalam lintasan lurus sejauh 5 meter. Robot dikendalikan oleh mikrokontroler dengan algoritma PID untuk mengatur gerakan kaki dan memastikan kestabilan selama berjalan. Penelitian ini melibatkan pembuatan dan pengujian prototipe robot *hexapod* dengan 3 servo motor pada setiap kaki, sehingga total ada 18 servo motor yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Parameter PID terus disesuaikan selama pengujian untuk memperbaiki kinerja robot dalam berjalan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot hexapod dapat berjalan lurus dengan baik, dengan jarak tempuh 5 meter dengan pembelokan maksimal 2° terhadap sumbu y dan dapat kembali ke setpoint 0°. Dalam kesimpulan, penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan metode kontrol PID dapat meningkatkan kinerja robot *hexapod* dalam berjalan lurus dan dapat diimplementasikan pada aplikasi robot lainnya.

## ABSTRACT

*Developments in the field of technology are accelerating, especially in the field of robotics. Robots can be divided based on their means of movement into two, namely legged robots (arms) and wheeled robots. In legged robots, there is a problem where the robot must be able to walk straight on a track where there is no guiding wall. This research aims to develop a hexapod robot that can walk straight using the PID control method. The test was conducted by measuring the distance walked by the robot in a straight trajectory of 5 meters. The robot is controlled by a microcontroller with a PID algorithm to regulate leg movements and ensure stability during walking. This research involved building and testing a prototype hexapod robot with 3 servo motors on each leg, making a total of 18 servo motors controlled by the microcontroller. The PID parameters were continuously adjusted during testing to improve the robot's walking performance. The test results show that the hexapod robot can walk straight well, with a distance of 5 meters with a maximum deflection of 2° towards the y-axis and can return to the 0° setpoint. In conclusion, this research proves that the use of PID control method can improve the performance of hexapod robot in walking straight and can be implemented in other robot applications.*

### Keywords:

PID Control

BNO055 Sensor

Legged Robot

### Penulis Korespondensi:

Mirza Sjahrul Kurnia

Jurusan Teknik Elektrox

Politeknik Negeri Malangx

Jl. Soekarno Hatta No. 9xMalang,xJawa Timur, Indonesia, 65141.



Email: [mirza.sjahrul@gmail.com](mailto:mirza.sjahrul@gmail.com)

Nomor HP/WA aktif: +6283 847 808 921

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telah mengalami banyak kemajuan dan revolusi dalam beberapa dekade terakhir [1]. Saat ini, teknologi semakin canggih dengan adanya pengembangan AI (*Artificial Intelligence*), IoT atau (*Internet of Things*), *augmented reality* atau (AR) dan *virtual reality* atau (VR), dan tidak terkecuali teknologi robotika. Dalam klasifikasinya, robot terbagi berdasarkan *actuator* penggerakannya yaitu robot penggerak dengan menggunakan roda dan juga robot berkaki [2]. Pada prinsipnya, robot berkaki yaitu robot yang bisa pergi ke tempat yang tidak bisa dilalui oleh robot beroda, jadi mereka memerlukan upaya ekstra yang digunakan untuk mengendalikan penggerakannya [3]. Pada bidang robot berkaki, di Indonesia terdapat wadah untuk pengembangan robot berkaki dengan adanya Kontes Robot Indonesia (KRI) dalam divisi Kontes Robot SAR Indonesia (KRSRI) [4]. Dalam ajang Kontes Robot Indonesia (KRI) terdapat sebuah tantangan dimana pergerakan robot diharapkan lurus meskipun tanpa adanya dinding di sebelah kanan dan kiri. Oleh karena itu digunakan sensor BNO055 (IMU) yang memiliki fungsi untuk mengetahui tingkat kemiringan pada sumbu *yaw* ketika robot berkaki (*hexapod*) melakukan manuver lurus atau berjalan lurus. Sensor BNO055 (IMU) adalah sebuah unit sensor yang dimana sistem pengukurannya memanfaatkan sistem seperti giroskop, magnetometer, dan juga akselerometer dimana penggunaannya memiliki fungsi sebagai pengukur perubahan posisi dari suatu objek ataupun robot pada sebuah titik acuan tertentu [5]. Sensor BNO055 termasuk dalam *Micro Electro Mechanical System* (MEMS) yang merupakan sebuah teknologi yang terdiri dari struktur mikroskopis dan perangkat elektronik yang terintegrasi dalam sebuah sistem [6]. Penelitian ini melibatkan pembuatan dan pengujian prototipe robot *hexapod* dengan 3 servo motor pada setiap kaki, sehingga total ada 18 servo motor yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Jenis servo yang digunakan adalah Servo Dynamixel AX-12A atau AX-18 yang merupakan aktuator berbasis motor servo yang sudah terdapat kontroler di dalamnya sehingga dikatakan sebagai *smart servo*. Cara mengakses servo ini dengan menggunakan komunikasi serial half duplex dengan kecepatan mencapai 1Mbps [7].

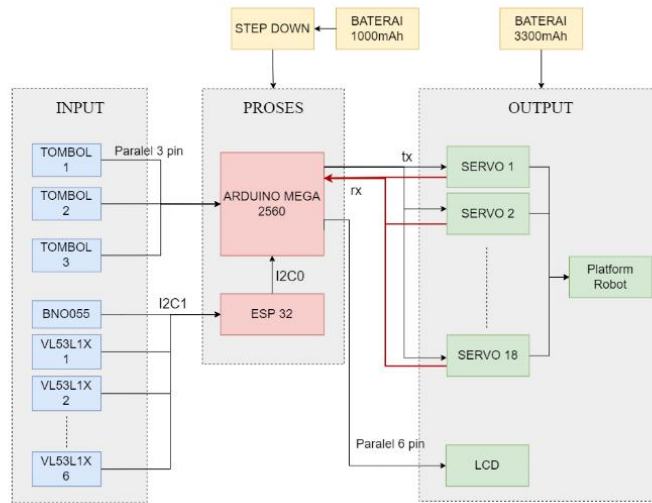
Agar mendapatkan pergerakan yang stabil lurus dan efisien, diperlukan sebuah kontrol yang akan dikombinasikan dengan sensor BNO055. Sementara kontrol yang sangat efisien bagi sistem robot ini adalah kontrol PID [8]. Metode *tuning* untuk mendesain parameter dari sistem kontrol PID yang paling sering digunakan adalah metode *trial and error* [9]. Nilai *error* akan diperoleh dengan adanya perbedaan dari nilai *set-point* dengan nilai aktual yang diperoleh dari sensor. Selanjutnya, dari nilai *error* tersebut akan memberikan suatu *feedback* yang mampu untuk diolah oleh mikrokontroler agar aktuator berjalan sesuai dengan yang kita inginkan. Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini terdapat 2 buah yaitu Arduino Mega 2560 dan ESP32. Dengan 2 buah mikrokontroler ini, digunakan sistem komunikasi I2C, dalam komunikasi I2C, terdapat 2 jenis perangkat yaitu *master* dan *slave* [10]. Dengan penerapan algoritma PID ini diharapkan dapat memberikan sebuah perkembangan untuk riset robotika di kemudian hari.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem merupakan sebuah diagram yang menjelaskan alur setiap komponen yang berperan sebagai input, proses, dan juga output. Pada diagram blok sistem Gambar 1 terdapat 2 buah supply baterai dimana baterai yang pertama memiliki spesifikasi 11.1 V kemudian masuk ke step down hingga memiliki tegangan 5 V untuk supply kepada 2 mikrokontroler yang digunakan. Sedangkan baterai kedua memiliki spesifikasi 11.1 V yang digunakan untuk aktuator servo. Selanjutnya yaitu input 3 tombol yang berfungsi untuk tombol navigasi untuk interface dan juga untuk pengujian yang tersambung secara paralel ke Arduino mega 2560 kemudian terdapat 2 jenis *input* lainnya yaitu sensor BNO055 yang berfungsi sebagai penentu arah hadap robot dengan data orientasi agar pada saat melakukan pergerakan, robot tetap bergerak lurus dan tidak berubah arah. Selanjutnya yaitu sensor ToF sebanyak 6 buah yang berfungsi sebagai sensor jarak untuk pengaman pada bagian depan robot agar tidak menabrak dinding dan untuk acuan kapan robot harus berhenti.

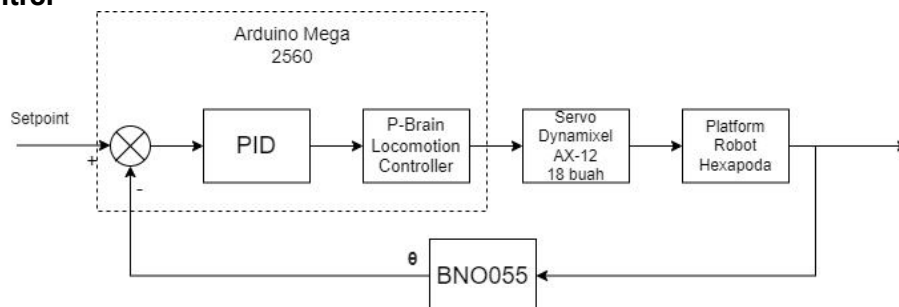




Gambar 1 : Blok Diagram Sistem

Ke 2 sensor tersebut tersambung secara I2C ke esp32. Selanjutnya pada tahap proses terdapat esp32 yang berguna untuk memproses data dari setiap sensor yang digunakan, kemudian data tersebut dikirimkan kepada arduino mega 2560 dengan komunikasi serial I2C. Kemudian terdapat 2 *output* yaitu LCD sebagai *interface* dan juga servo sebagai penggerak robot dimana terdapat 18 buah servo yang tersambung dengan UART (tx, rx) kemudian dari servo akan menggerakkan platform robot.

## 2.2 Diagram Blok Kontrol



Gambar 2 : Diagram Blok Kontrol

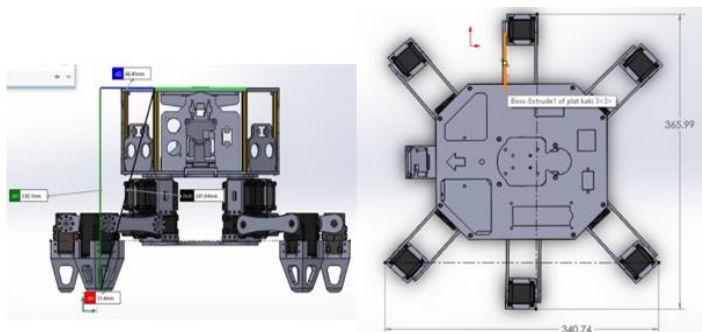
Gambar 2 merupakan Gambar diagram blok kontrol dari robot dimana kontroler PID digunakan untuk menjaga supaya lintasan aktual robot selalu lurus pada setiap segmen perjalanannya. Jalur perjalanan robot yang akan digunakan dalam pengujian yaitu robot berjalan lurus dengan jarak tempuh 5 meter. Robot dirancang menggunakan umpan balik sudut yang dibaca dari sensor BNO055. Sensor ini mampu memberikan dua macam sudut yaw aktual, yaitu berasal dari data orientasi x (Euler) dan dari bagian magneto. Dalam penelitian ini digunakan data orientasi x yang nilai sudut  $0^\circ$  bersifat relatif terhadap arah hadap robot ketika pertama kali dinyalakan. Nilai  $0^\circ$  ini selanjutnya digunakan sebagai setpoint untuk gerak lurus. Kontroler PID akan secara berulang menghitung error yang besarnya  $0^\circ$  dikurangi sudut actual rotasi dari orientasi x. Lalu nilai error diolah menggunakan PID dan hasilnya dikirim ke pBrain berupa sudut yaw (minimal  $-90$  maksimal  $90$ ). Proses akan diulang hingga robot mencapai tujuan, yang ditandai oleh jarak ke dinding depan (diukur menggunakan sensor ToF depan) telah memiliki nilai tertentu. Proses kontrolnya serupa dengan penjelasan sebelumnya. Jadi, kemanapun robot menghadap maka hanya ada satu setpoint yaitu  $0^\circ$ .

Dalam penelitian ini, penentuan nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  untuk kontrol PID adalah dengan menggunakan metode *trial and error* ataupun *manual tuning* ataupun bisa juga disebut dengan *tuning experiment*. Metode tersebut yaitu sebuah metode untuk menentukan nilai dari tiap-tiap parameter dengan cara bereksperimen sampai didapatkan kombinasi dari ketiga nilai untuk sampai dalam keadaan *steady state*. Dengan melakukan eksperimen untuk nilai tiap-tiap parameter tersebut dengan metode *trial and error* atau *manual tuning* maka



ditemukan nilai  $K_p$  sebesar 1,  $K_i$  sebesar 0, dan  $K_d$  sebesar 0. Dalam proses penentuannya telah dilakukan penambahan nilai  $K_i$  dan  $K_d$  dalam robot tetapi performa yang ditunjukkan oleh robot semakin tidak maksimal. Maka dengan hanya kontrol proporsional saja dirasa yang paling baik.

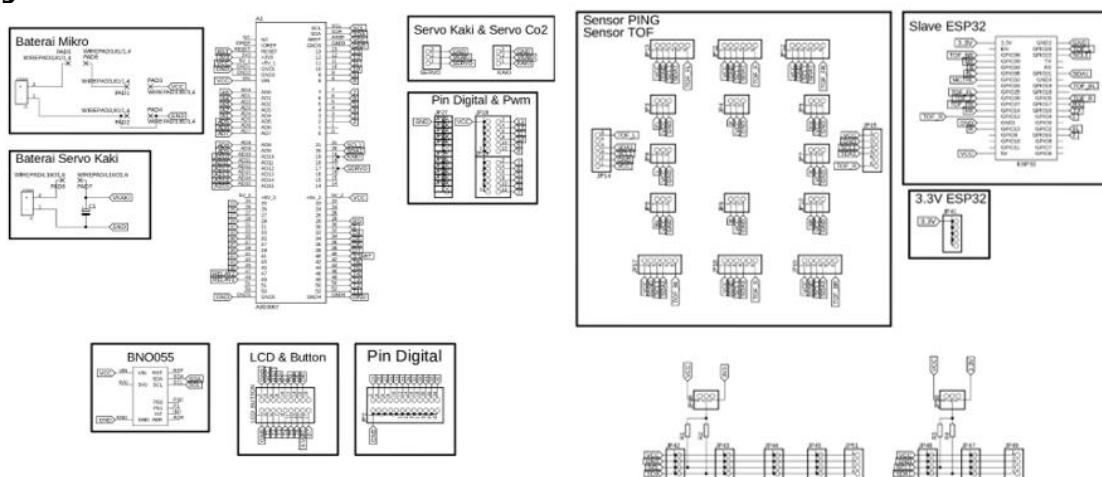
### 2.3 Perancangan Mekanik



Gambar 3 : Perancangan Mekanik

Gambar 3 merupakan perancangan mekanik dari robot hexapoda dimana bahan untuk *body* robot menggunakan PLA yang dibuat dengan 3D *printer* dengan Panjang 36,5cm, lebar 34cm, dan tinggi 23 cm. Servo yang digunakan adalah Servo Dynamixel AX-12A atau AX-18, servo ini merupakan *smart* servo yang didalamnya terdapat sebuah mikrokontroler [7]. Kemudian, untuk menyambungkan antara servo *femur* dan *tibia* menggunakan plat aluminium.

### 2.4 Perancangan Elektronik



Gambar 4 : Perancangan *Main Board*

Gambar 4 merupakan rangkaian *main board* pada robot hexapoda ini dimana terdapat Arduino mega 2560 sebagai pengontrol dari pergerakan robot sedangkan ESP32 untuk mengakses sensor BNO055 dan sensor ToF. Kemudian dilakukan komunikasi I2C antar mikrokontroler untuk mengirim data sensor dari ESP32 ke Arduino mega 2560. Untuk *power supply* menggunakan 2 baterai lippo, baterai dengan kapasitas 3300mAh untuk *supply* servo dynamixel dan baterai lippo 1100mAh untuk *supply* dari sensor, lcd, dan mikrokontroler yang digunakan.

### 2.5 Perancangan Algoritma Navigasi Robot

Agar dapat memberikan perintah kepada robot untuk bergerak sesuai arah hadapnya dan juga menyusuri lintasan lorong maupun non lorong, mendeteksi lokasi atau titik dimana robot harus berhenti maka diperlukan

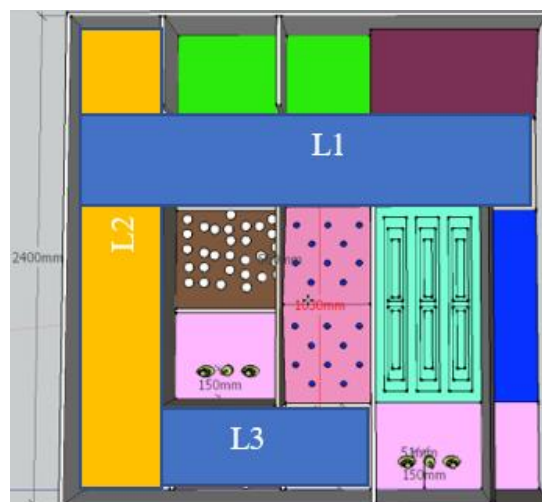


sebuah algoritma pemrograman untuk dapat melakukan tugas tersebut. Algoritma pemrograman dalam penelitian ini difokuskan pada algoritma dari navigasi robot untuk dapat bermanuver lurus. Ada 2 algoritma yaitu berdasarkan arah hadapnya dan juga algoritma behavior.

- **Berdasarkan Arah Hadapnya**

Dalam sistem navigasi berdasarkan arah hadapnya memanfaatkan pembacaan dari sensor IMU BNO055 agar dapat mendeteksi arah hadap robot. Dalam algoritma ini, diberikan setpoint agar pergerakan maju robot dapat lurus. Navigasi robot menggunakan metode ini memiliki keuntungan yaitu robot tetap dapat berjalan lurus meskipun tanpa ada dinding disebelah kanan atau kirinya, tidak seperti algoritma *wall following*. Dalam algoritma ini, diberikan perhitungan agar hanya ada satu *setpoint* meskipun arah hadap robot berbeda-beda. *Setpoint* tersebut berguna ketika robot berjalan maju di lintasan non lorong yang lurus. Algoritma ini juga memerlukan sensor jarak sebagai pengaman untuk bagian depan dan belakang robot agar tidak menabrak dinding dan untuk tau kapan harus berbelok ataupun berhenti.

- **Algoritma Behavior**



Gambar 5 : Algoritma Behavior

Agar robot dapat bergerak menyusuri lintasan tanpa bingung kapan harus berhenti maka diperlukan *motion planning* berupa program yang dapat mendeteksi setiap lintasan dengan karakteristik yang unik dan berbeda-beda. Parameter unik tersebut dapat dijadikan sebagai acuan robot untuk berhenti. Untuk melakukan perencanaan titik berhenti robot dilakukan identifikasi dan pengukuran lintasan menggunakan sensor jarak yang kemudian dimasukkan ke dalam memori pada program. Jadi ketika sensor mendeteksi karakteristik yang sesuai dengan yang sudah ditentukan maka robot akan berhenti. Pada Gambar 5 merupakan sebuah ilustrasi sebuah ruangan dimana ketika robot berada dalam posisi di L1, L2, ataupun L3 robot dapat mengetahui posisi keberadaanya dengan algoritma *behavior*, algoritma ini dilakukan dengan melakukan *scanning* jarak antara robot dengan sudut-sudut di sekitarnya, yang dimana hasil *scanning* tersebut digunakan untuk robot mengambil keputusan untuk berhenti, belok kanan, ataupun kiri.

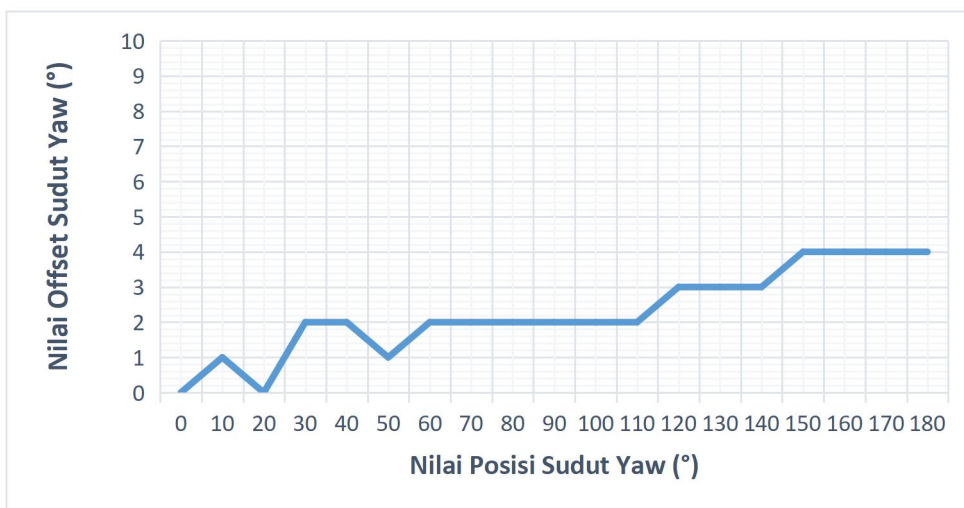
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian Karakteristik Sensor BNO055

Sensor BNO055 merupakan sensor yang akan digunakan untuk *feedback* dari kontrol PID yang digunakan agar robot dapat berjalan lurus meskipun tanpa adanya parameter dinding di sebelah kanan dan kiri. Data yang akan digunakan dari sensor BNO055 adalah data dari sudut yaw yang akan dikoreksi agar robot dapat berjalan lurus.







Gambar 6 : Grafik Nilai Offset Sudut Yaw dari 0° sampai 180°



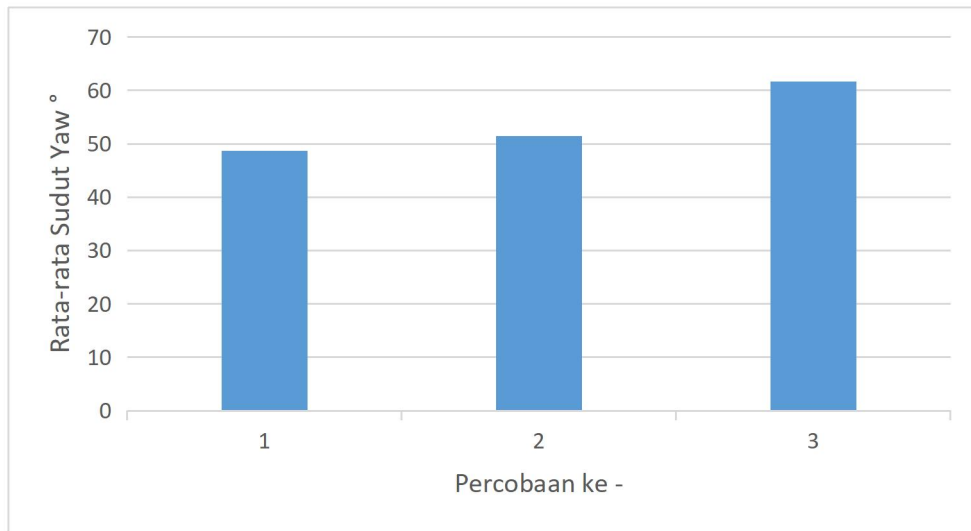
Gambar 7 : Grafik Nilai Offset Sudut Yaw dari 0° sampai -180°

Berdasarkan dari hasil pengujian sudut *yaw* yang ditunjukkan pada Gambar 6, dengan cakupan data dari 0° sampai dengan 180° dan dilakukan *sampling* data pada setiap 10° dan didapati kesalahan dari pembacaan nilai posisi sudut yaw dengan rata-rata 2,263° sedangkan pada Gambar 7 dengan cakupan data dari 0° sampai dengan -180° didapatkan kesalahan dari pembacaan nilai posisi sudut *yaw* dengan rata-rata 2,052° dengan kesalahan tertinggi sebesar 5°.

### 3.2 Pengujian Gerak Berjalan Lurus Robot Tanpa Kontrol PID

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa rata-rata sudut *yaw* dalam setiap percobaan selalu meningkat yang berarti *error* yang didapatkan selalu meningkat pada setiap percobaan. Hal tersebut dapat membuktikan bahwa penggunaan daripada servo dynamixel AX-12A secara terus-menerus akan menyebabkan nilai *error* yang semakin besar juga karena kerja daripada servo dynamixel AX-12A juga akan mengalami penurunan yang disebabkan oleh kontroler yang terdapat di dalam servo semakin panas.

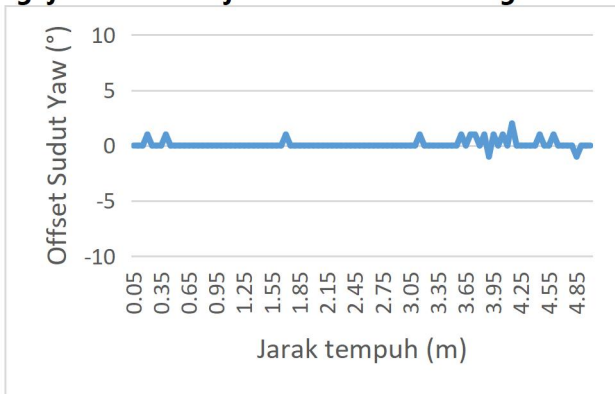




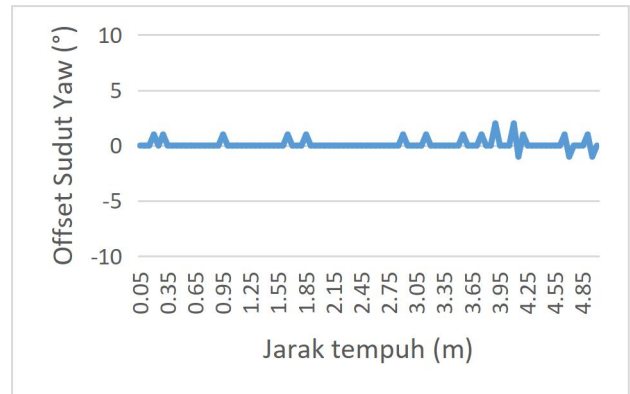
Gambar 8 : Rata-rata sudut yaw

Berdasarkan dari pengujian tersebut sudah jelas dapat dilihat bahwa diperlukan sebuah sistem kontrol untuk memperbaiki pergerakan robot agar robot dapat berjalan dengan lurus. Sistem kontrol yang diterapkan yaitu sistem kontrol PID yang dimana menggunakan sensor IMU BNO055 sebagai *feedback*. Dalam kontrol ini sebenarnya robot masih mengalami pembelokan, tetapi dengan adanya kontrol PID nilai pembelokan sudut *yaw* dapat dikoreksi kembali sehingga pembelokan tersebut dapat dilakukan kearah yang sebaliknya sehingga robot terlihat dapat melakukan pergerakan dengan lurus sejauh 5m.

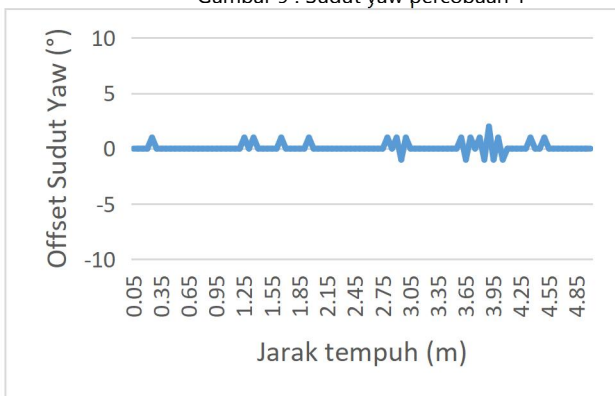
### 3.3 Pengujian Gerak Berjalan Lurus Robot dengan Kontrol PID



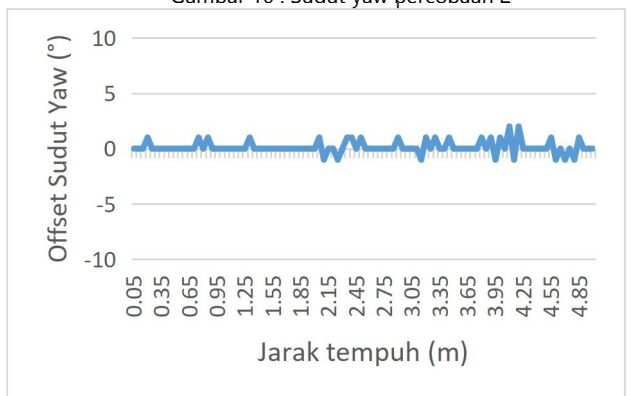
Gambar 9 : Sudut yaw percobaan 1



Gambar 10 : Sudut yaw percobaan 2

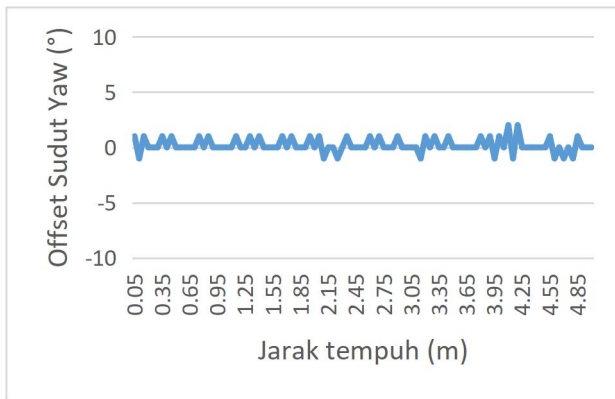


Gambar 11 : Sudut yaw percobaan 3

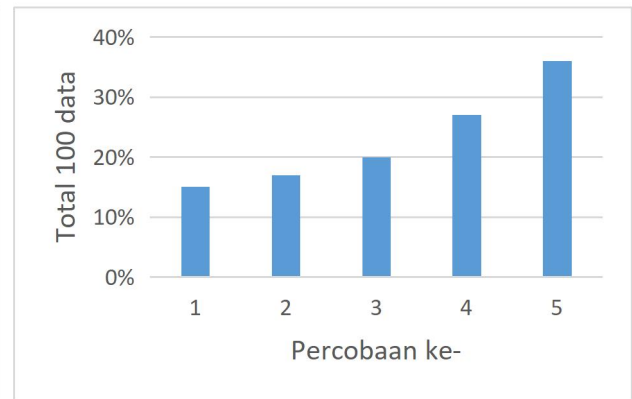


Gambar 12 : Sudut yaw percobaan 4





Gambar 13 : Sudut yaw percobaan 5



Gambar 14 : Persentase kesalahan

Berdasarkan dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui dalam grafik bahwa gerak berjalan lurus robot ketika telah menggunakan sistem kontrol PID telah mengalami perubahan yang lebih baik secara signifikan dibandingkan dengan gerak berjalan lurus robot tanpa menggunakan sistem kontrol PID. Penerapan sistem kontrol PID dapat dikatakan telah bekerja dengan baik dimana robot dapat berjalan atau bermanuver dengan lurus dengan jarak tempuh 5m. Walaupun tetap terdapat kemiringan dalam proses berjalannya, tetapi robot telah dapat mengembalikan posisinya ke sudut *yaw* yang seharusnya sehingga pergerakan robot masih terhitung lurus.

Ada beberapa hal yang dapat dianalisa dari kelima percobaan yang telah dilakukan tersebut. Dalam lima percobaan tersebut nilai kesalahan yang paling besar adalah sebesar  $2^\circ$ . Kemudian dalam Gambar 9 sampai dengan Gambar 13 dapat dilihat bahwa robot mulai terjadi lebih banyak osilasi ketika mulai memasuki jarak tempuh 3.65m dan dalam percobaan pertama hingga kelima nilai osilasi semakin meningkat yang dapat membuktikan bahwa performa dari servo dynamixel mengalami penurunan ketika servo dynamixel digunakan secara berulang-ulang atau terus-menerus. Pergerakan servo menjadi semakin tidak sesuai atau tidak presisi dengan pergerakan yang seharusnya. Dalam Gambar 14 sudah jelas terlihat bahwa persentase kesalahan terkecil adalah pada percobaan pertama dengan persentase kesalahan hanya sebesar 15% dan persentase kesalahan terbesar adalah pada percobaan ke lima dengan 36%. Nilai persentase didapatkan dari banyaknya data yang tidak sesuai dengan setpoint. Nilai persentase kesalahan selalu meningkat di setiap percobaan yang menandakan adanya penurunan performa dari servo dynamixel AX-12A bila digunakan secara berulang sehingga persentase nilai kesalahan semakin meningkat. Tetapi, dikarenakan nilai kesalahan dari sudut *yaw* yang relatif kecil yang hanya sekitar  $1^\circ$  sampai dengan  $2^\circ$  dan robot dapat kembali pada sudut  $0^\circ$ , maka pergerakan robot masih dapat terbilang lurus dengan jarak tempuh 5m tersebut.

#### 4. KESIMPULAN

Dalam pengujian manuver robot *hexapod* untuk berjalan lurus dengan menggunakan sistem kontrol PID robot dapat berjalan atau bermanuver secara lurus dengan jarak tempuh 5 meter dengan nilai parameter  $K_p$  sebesar 1,  $K_i$  sebesar 0, dan  $K_d$  sebesar 0. Terjadi pembelokan sudut  $1^\circ$  sampai dengan  $2^\circ$  tetapi robot tetap dapat kembali pada sudut *setpoint* yang telah ditentukan yaitu  $0^\circ$ . Penggunaan sensor BNO055 sebagai umpan balik dapat bekerja dengan baik. Dengan jangkauan jarak 5 meter dan percobaan sebanyak 5 kali, memiliki persentase kesalahan dari 100 *sampling* data yang terkecil adalah 15% dan yang terbesar adalah 36%, dengan hasil terbaik didapatkan ketika percobaan pertama dimana servo dalam kondisi masih belum digunakan sebelumnya atau dalam kondisi masih dingin. Jadi dapat disimpulkan juga bahwa performa *servo dynamixel* AX-12A atau *servo dynamixel* AX-18 dapat mempengaruhi gerak berjalan lurus robot. Semakin tinggi intensitas penggunaan servo dengan jeda yang tidak terlalu lama, akan membuat mikrokontroler di dalam servo menjadi panas dan membuat pergerakan servo menjadi tidak presisi, hal ini akan mempengaruhi gerak berjalan lurus robot hingga terjadi pergeseran pergerakan robot ke samping kanan atau kiri sekitar 1-3 cm, dengan sudut masih dapat mempertahankan pada *setpoint* yaitu  $0^\circ$ .





## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Nurul, T. Winarno, and A. Komarudin, "Sistem Navigasi Robot Berkaki Menggunakan Sensor Lidar Dengan Metode PID," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 8, no. 1, p. 83, 2021, doi: 10.33795/elk.v8i1.231.
- [2] H. S. Purnama, "Implementasi Pid Wall Following Pada Robot Hexapod Untuk Kontes Robot Pemadam Api Indonesia," 2017. doi: 10.13140/RG.2.2.36837.86249.
- [3] F. Delcomyn and M. E. Nelson, "Architectures for a biomimetic hexapod robot," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 30, no. 1, pp. 5–15, 2000, doi: 10.1016/S0921-8890(99)00062-7.
- [4] B. Kusumoputro *et al.*, *Panduan Kontes Robot Indonesia (KRI) Tahun 2022*. 2022.
- [5] B. Natakusuma, "Aplikasi Sensor Inertia Measurement Unit (Imu) Untuk Memperbaiki Gerak Berjalan Lurus Pada Robot Quadruped," 2018.
- [6] J. He, W. Zhou, H. Yu, X. He, and P. Peng, "Structural designing of a MEMS capacitive accelerometer for low temperature coefficient and high linearity," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 2, 2018, doi: 10.3390/s18020643.
- [7] Robotis, "e-Manual AX-12A," 2023. <https://emanual.robotis.com/docs/en/dxl/ax/ax-12a/> (accessed May 09, 2023).
- [8] A. Febriawan and W. S. Aji, "Rotating Control on Robots Indonesian Abu Robot Contest with PID and IMUBNO055 Controls," *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, p. 14, 2020, doi: 10.12928/biste.v1i3.987.
- [9] A. Ma'Arif, H. Nabila, Iswanto, and O. Wahyunggoro, "Application of Intelligent Search Algorithms in Proportional-Integral-Derivative Control of Direct-Current Motor System," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1373, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1373/1/012039.
- [10] P. P. Murmu, H. Paul, J. J. Roopa, and A. J. Timothy, "A Novel modernistic techniques in women security system using ESP32 and Arduino Uno," *2nd Int. Conf. Signal Process. Commun. ICSPC 2019 - Proc.*, pp. 330–334, 2019, doi: 10.1109/ICSPC46172.2019.8976745.

