

Implementasi Kontrol PID Pada Gerakan Robot Line Follower Berkaki Menggunakan Sensor Kamera

Ilham Agung Wicaksono , Totok Winarno , Achmad Komarudin

Abstrak — Robot *line follower* berkaki merupakan robot otomatis yang digunakan untuk mengikuti Salah satu divisi Kontes Robot Indonesia yaitu Kontes Robot Abu Indonesia atau disebut KRAI. Pada perlombaan tahun ini robot berkaki diharuskan mengikuti garis pada lintasan untuk menuju area rintangan. Komponen utama robot ini terdiri dari kamera webcam, Odroid-XU4, Arduino Mega 2560, OpenCM9.04 dan Servo AX-12. Kamera webcam terhubung secara UART ke Odroid-XU4 dengan menggunakan kabel USB. dalam Odroid-XU4 hasil pembacaan kamera diproses dengan pengolahan citra sehingga menghasilkan nilai titik tengah garis. Hasil pengolahan pembacaan garis yang berupa titik tengah garis akan dikirim ke Arduino Mega 2560 menggunakan komunikasi serial. Setelah data diterima Arduino Mega 2560, *range* data error akan ditentukan. Selanjutnya data error akan dikirim ke OpenCM9.04 untuk menjadi acuan pergerakan robot. Dalam OpenCM9.04 data error akan diolah dengan kontrol PID, hasil dari kontrol PID kemudian akan diakumulasikan dengan gerakan servo. Kontrol PID menjadikan pergerakan robot menjadi lebih stabil dan dapat mengikuti garis sesuai set point yang diinginkan. Dari hasil pengujian pada sistem robot didapatkan nilai parameter PID dengan metode *Trial Error* dengan $K_p=5$, $K_d=12$ dan $K_i=0,02$ mampu menjaga kestabilan pada garis/line dengan baik.

Kata kunci : Line Follower, PID, sensor kamera

I. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi berkembang semakin pesat. Khususnya dalam bidang elektronika. Hal itulah yang menuntut setiap orang untuk lebih siap dalam menghadapi persaingan, salah satunya dalam dunia kerja. Perusahaan-perusahaan besar saat ini saling berkompetisi dalam hal berinovasi untuk meningkatkan produktivitas perusahaan. Banyak perusahaan memanfaatkan teknologi yang memiliki kecepatan, akurasi, dan keandalan yang tinggi serta mudah

dalam hal pengoperasiannya sebagai alat untuk menunjang produktivitas mereka, salah satunya robot.

Robot adalah sebuah alat mekanik yang dapat melakukan tugas fisik, baik menggunakan pengawasan ataupun kontrol manusia dengan menggunakan program yang telah didefinisikan terlebih dulu (kecerdasan buatan). Salah satu kontes robot yang diselenggarakan setiap tahun adalah KRI. KRI merupakan kontes robot yang memiliki 6 divisi, diantara divisi tersebut terdapat satu divisi bernama KRAI. KRAI merupakan salah satu divisi dari KRI dengan misi yang ditentukan dari negara-negara anggota ABU yang setiap tahunnya berubah. Dalam tahun ini ditentukan sebuah tema dengan adanya robot berkaki 4 yang melewati suatu lintasan dengan membawa item dan robot beroda yang bertugas mentransfer item. Dari penelitian ini akan dibahas bagaimana mengontrol robot berkaki akan mengikuti lintasan dengan menggunakan sensor kamera.

Terdapat Beberapa metode untuk mengontrol robot, salah satunya adalah Kontrol PID. Kontrol PID merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk menentukan kepresisian suatu sistem dengan karakteristik adanya nilai umpan balik berupa sinyal error. Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (proportional), D (Derivative) dan I (Integral). Masing-masing pengaturan kontrol memiliki kelebihan dan kekurangan dalam dampak yang ada pada sistem. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap input tertentu dapat sesuai dengan kebutuhan. Adapun Kontrol PID dalam skripsi ini digunakan untuk mengatur gerakan motor servo agar robot bisa bergerak dengan stabil sesuai dengan sinyal masukan dari sensor kamera yang digunakan untuk mendeteksi garis.

Berdasarkan latar belakang diatas maka penulis manulis skripsi yang berjudul “Implementasi Kontrol PID Pada Gerakan Robot Line Follower Berkaki Menggunakan Sensor Kamera”. Diharapkan dengan pembuata alat ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa atau peneliti yang berkecimpung di dunia robotika serta memberikan motivasi kepada mahasiswa/mahasiswi Politeknik Negeri Malang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Robot

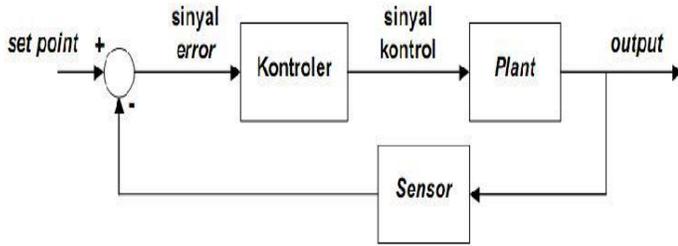
Istilah “robot” berasal dari kata “robota” (bahasa Czech) yang berarti pekerja, mulai populer ketika seorang

Ilham Agung Wicaksono adalah mahasiswa D4 Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang , email : ilhamagung138@gmail.com
Totok Winarno dan Achmad Komarudin adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, email: totok.winarno@polinema.ac.id , achmad.komarudin@polinema.ac.id

penulis berbangsa Czech (Ceko), Karl Capek, membuat pertunjukan dari lakon komedi yang ditulisnya pada tahun 1921 yang berjudul RUR (Rossum's universal Robot) pentas ini mengisahkan mesin yang menyerupai manusia yang dapat bekerja tanpa lelah yang kemudian memberontak dan menguasai manusia.

2.2 Kontrol PID (Proporsional, Integral, Derivatif)

Kontrol PID merupakan suatu sistem kontrol untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan adanya umpan balik kepada sistem tersebut. Secara umum sistem umpan balik dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1 Sistem Umpan Balik

Set point merupakan keadaan tertentu yang ingin dicapai. Sensor berfungsi mendeteksi keluaran plant dan mengkonversikannya menjadi besaran dengan satuan yang sama seperti satuan set point. Keluaran sensor merupakan sinyal umpan balik (feedback) yang akan dikurangkan dengan set point menghasilkan sinyal error. Jika satuan dari keluaran sudah sama dengan set point maka blok sensor dapat dihilangkan sehingga sinyal umpan balik (feedback) adalah keluaran plant. Sinyal error diproses oleh kontroler lalu menghasilkan sinyal kontrol yang diumpankan ke plant, dengan tujuan agar keluaran dari plant sama dengan set point, yang berarti sinyal error bernilai (atau mendekati) nol. Dalam metode kontrol PID, sinyal kontrol dihasilkan dengan cara memperkuat sinyal error (*proportional*), mengintegalkan sinyal error (*integral*), dan membuatnya sebanding dengan laju perubahan sinyal error itu sendiri (*derivative*). Oleh karena itu dalam kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P (*proportional*), I (*integral*), dan D (*Derivative*) agar tanggapan sinyal keluaran pada input tertentu sesuai dengan kebutuhan.

Karakteristik kontrol PID sangat dipengaruhi oleh nilai dari ketiga parameter yaitu P, I dan D. Penyetelan konstanta K_p , T_i dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat diatur sehingga lebih menonjol dari konstanta yang lain. Konstanta yang lebih menonjol akan menunjukkan bagaimana respon sistem yang terjadi.

2.3 Pengolahan Citra

Pengolahan citra adalah suatu proses manipulasi data, dalam hal ini suatu citra digital (*image*) agar dapat lebih bermanfaat untuk hasil yang diinginkan. Image merupakan informasi yang secara umum tersimpan dalam bentuk pemetaan bit-bit yang sering dikenal dengan bitmap. Setiap

bit-bit membentuk suatu titik informasi yang dikenal dengan *pixel*. Atau dengan kata lain, satu *pixel* merupakan satu titik *image* yang terdiri dari satu atau beberapa bit informasi. Informasi dari *pixel* biasanya dinyatakan dengan posisi x, posisi y dan nilai dalam *pixel* (warna atau abu-abu). Dalam satu bidang gambar, sepenuhnya terdiri dari *pixel-pixel*. Karena itu, file yang menyimpan *image* biasanya berukuran besar. Image ini disimpan dalam bentuk BMP. Untuk mengurangi ukuran dari file, file *image* biasanya dimampatkan dengan teknik tertentu, misalkan yang terkenal dengan JPEG atau GIF.

Untuk melakukan pengolahan citra, robot menggunakan kamera webcam dan Odroid-XU4. Kamera webcam digunakan untuk membaca garis yang ada pada lintasan. Jenis kamera webcam yang digunakan adalah Logitech C525.



Gambar 2 Kamera Logitech C525

Selanjutnya, kamera webcam dihubungkan ke Odroid-XU4 melalui USB. Kamera Logitech C525 terhubung ke Odroid-XU4 menggunakan komunikasi serial. Pengolahan hasil pembacaan kamera dilakukan pada Odroid-XU4. Untuk mengolah hasil pembacaan kamera digunakan metode *thresholding*, kontur dan momen. Metode *thresholding* digunakan untuk membuat gambar dari kamera memiliki tingkat keabuan yaitu hitam dan putih. Hasil pengolahan pembacaan dari kamera dari metode *thresholding* akan diolah kembali dengan kontur. Kontur adalah alat yang berguna untuk analisis bentuk dan deteksi objek. Untuk akurasi yang lebih baik dapat menggunakan gambar biner, jadi sebelum menemukan kontur, menerapkan ambang batas atau deteksi tepi. Lalu, pengolahan dari kontur diolah kembali dengan *moment*. Output dari beberapa pengolahan diatas adalah nilai tengah dari garis. Nilai tengah dari garis ini yang digunakan sebagai acuan pergerakan robot.



Gambar 3 Odroid-XU4

2.4 Arduino Mega 2560

Menurut Massimo Banzi dalam bukunya “Getting Started with Arduino”, arduino didefinisikan sebagai sebuah platform komputasi fisik (*Physical Computing*) yang *open source*, yang terdapat pada *board* input output. Platform komputasi fisik sendiri mempunyai makna yang berarti sebuah sistem fisik yang interaktif dengan penggunaan *software* dan *hardware* yang dapat mendeteksi dan merespon situasi dan kondisi yang ada di dunia nyata.

Arduino Mega adalah sebuah board mikrokontroler yang berbasis Atmega2560. Arduino memiliki 54 pin input/output yang mana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset.



Gambar 4 Arduino Mega 2560

2.5 OpenCM9.04

OpenCM9.04 adalah kontroler robot dari ROBOTIS yang bersifat open source, baik secara hardware maupun software. Secara hardware kontroler ini didukung dengan mikrokontroler ARM Cortex-M3 STM32F103CD dengan 128 KB flash dan 20 KB dari SRAM dengan board yang memiliki 26 GPIO dengan input analog 10, USB, SPI, I2C dan serial port. Kontroler ini juga dilengkapi dengan model pin head yang kompatibel dengan sensor dan servo dari ROBOTIS. Selain itu software Open CM juga sudah dilengkapi library untuk mengakses servo Dynamixel dan sensor dari ROBOTIS.

2.6 Servo AX12

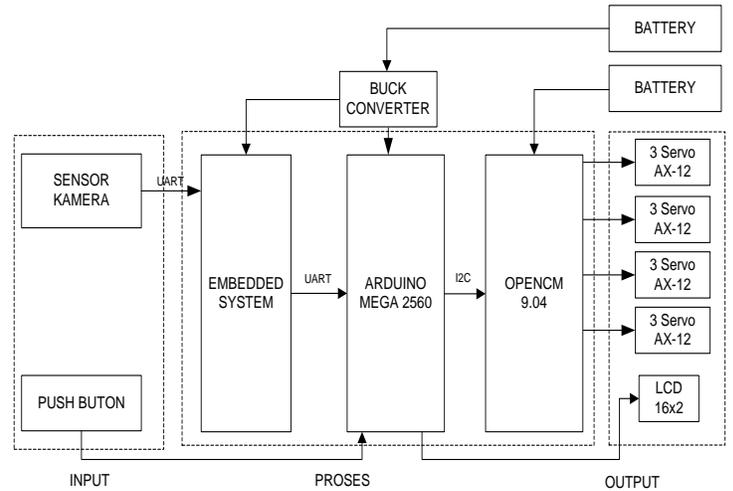
Motor servo adalah kombinasi dari motor dc dengan rangkaian umpan balik elektronik. Motor servo merupakan sebuah motor dengan sistem closed feedback dimana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor servo yang digunakan pada robot ini adalah motor servo jenis AX-12. AX-12 memiliki susunan roda gigi dan sirkuit controller yang terdapat dalam satu paket.



Gambar 5 Servo AX-12

III. METODE PENELITIAN

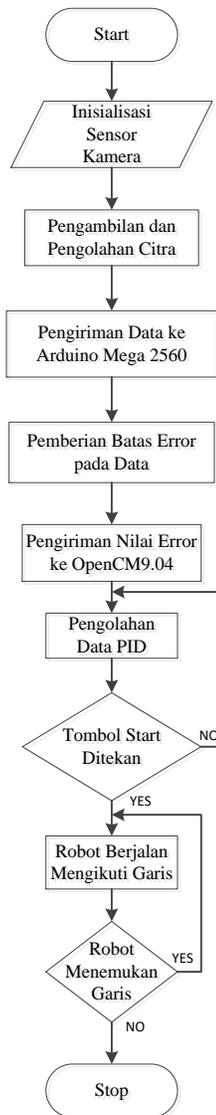
3.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 6 Diagram Blok Sistem

Robot pengikut garis ini melewati garis pada track yang telah ditentukan dan selalu memosisikan robot pada tengah garis pada track. Robot akan mengikuti garis lurus dan akan bermanuver sesuai dengan track sehingga robot dapat sampai pada target sesuai misi dari Kontes Robot ABU Robocon 2019. Prinsip kerja dari robot pengikut garis ini yaitu dengan membaca garis dengan sensor kamera webcam C525 yang diproses dengan Odroid-XU4. Kemudian hasil gambar garis dari kamera akan diolah terlebih dahulu dan hasilnya adalah data nilai tengah dari garis. Lalu, data nilai tengah garis dikirim ke Arduino Mega 2560 dengan menggunakan komunikasi serial. Pada Arduino Mega 2560 data dari kamera akan ditentukan batas errornya. Hal ini ditujukan agar error dari kontrol PID tidak terlalu besar dan gerakan servo untuk meluruskan tidak terlalu lebar. Lalu setelah data selesai ditentukan batas errornya, dilakukan pengiriman data dari Arduino Mega 2560 ke OpenCM9.04 menggunakan komunikasi I2C. Selanjutnya, pada OpenCM9.04 nilai error diatas akan diakumulasikan dengan kontrol PID. Hasil akumulasi data tersebut akan menjadi referensi pergerakan robot untuk berbelok.

3.2 Flowhart Perancangan Software

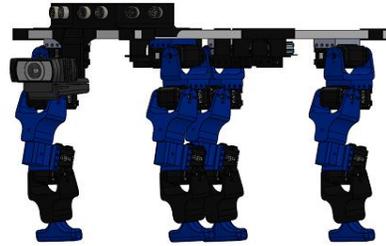


Gambar 7 Flowchart Keseluruhan Sistem

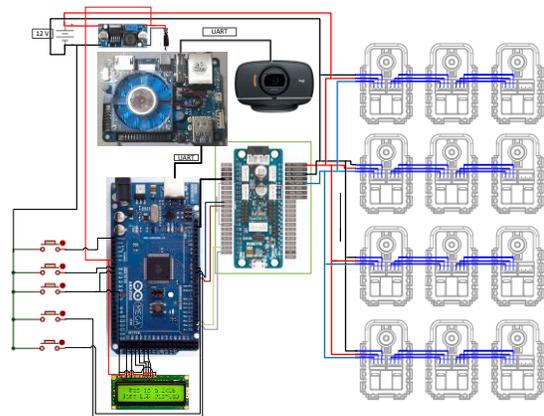
Setelah proses dimulai, akan dilakukan inisialisasi pembacaan kamera. Hasil pembacaan kamera akan diolah pada Odroid-XU4. Setelah data selesai diolah data akan dikirim ke Arduino Mega 2560 untuk ditentukan batas errornya menggunakan komunikasi serial. Selanjutnya, dari Arduino Mega 2560 nilai error data akan dikirim ke OpenCM9.04 menggunakan komunikasi I2C. Pada OpenCM9.04 data error akan diolah dengan kontrol PID. Ketika tombol pada arduino ditekan nilai output dari kontrol PID akan diakumulasikan dengan nilai servo pada saat robot berjalan.

3.3 Perancangan Mekanik

- a. Dimensi
 - Panjang : 37 cm
 - Lebar : 18.5 cm
 - Tinggi : 30 cm
- b. Berat : 2 kg
- c. Bahan casis/base : Aluminium, filament pla



3.4 Perancangan Hardware Elektrik



Gambar 9 Desain Elektrik Robot

- a. Odroid-XU4[4]
 - Tegangan Kerja : 5V
 - Arus Kerja : 2A
- b. Arduino Mega 2560[5]
 - Tegangan Kerja : 7 – 12 A
 - Arus Kerja : 200mA
- c. Servo AX-12[6]
 - Tegangan Kerja : 7 – 16V
 - Arus Kerja : 1 – 1.5A
- d. OpenCM9.04[7]
 - Tegangan Kerja : 9 – 12V
 - Arus Kerja : 50mA(standby), 200mA(max)
- e. LCD16x2[8]
 - Tegangan Kerja : 5V
 - Arus Kerja : 120 – 160A
- f. Kamera Webcam Logitech C525[9]
 - Tegangan Kerja : 5V
 - Arus Kerja : 200A

Sumber tegangan berasal dari baterai 12 Volt. Untuk didistribusikan menuju Odroid-XU4 maka harus melalui stepdown terlebih dahulu karena tegangan kerja dari Odroid-XU4 adalah 5 V. Tombol berfungsi sebagai input. Tombol pada rangkaian terdiri dari tombol *up* dan *down*, tombol stop serta *start* robot. Sensor kamera terhubung dengan Odroid-XU4 dengan menggunakan USB. Odroid mengirimkan nilai dari sensor kamera menggunakan USB yang mana koneksi ini adalah komunikasi serial..

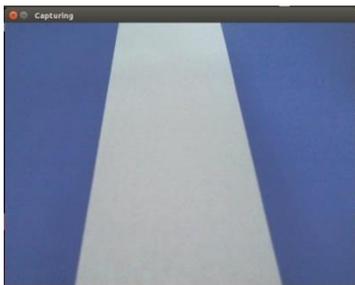
Arduino Mega berfungsi untuk menerima data dari pembacaan garis pada lintasan yang dikirim oleh Odroid-XU4. 5 buah tombol juga dipasang pada minimum sistem sebagai pengatur menu pada robot. Arduino Mega akan mengirim ke OpenCM9.04 nilai error yang diproses pada Arduino Mega. Saat OpenCM9.04 sudah mendapat perintah melalui tombol start, robot akan berjalan dimana pergerakan robot nantinya akan bergantung pada pembacaan sensor dan robot akan berbelok apabila sensor mendeteksi adanya belokan. Robot akan berhenti apabila tidak mendeteksi garis

LCD pada robot ini berfungsi untuk menampilkan nilai dari sensor kamera saat robot berjalan maupun saat diam. Pada saat start, LCD berfungsi sebagai penampil nilai *error* pada saat robot berjalan. Untuk pengaturan pergerakan OpenCM9.04 akan menunggu perintah dari arduino mega untuk menjalankan sistem sehingga nilai dari kamera akan dikirim sehingga robot dapat mengikuti garis.

IV. HASIL DAN ANALISA

4.1 Pengujian Webcam

Pengujian pada kamera dilakukan untuk mengetahui apakah kamera dapat mengambil gambar. Pengujian ini menggunakan program python dengan tambahan library untuk *image processing* pada OpenCV. Berikut hasil pengambilan gambar menggunakan kamera webcam *logitech C525*.



Gambar 10 Hasil Pengujian Webcam

Dari hasil pengujian pada gambar 10, dapat disimpulkan bahwa webcam dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

4.2 Pengujian LCD

Pengujian pada *display* LCD 16x2 dilakukan untuk memastikan apakah lcd dapat menampilkan karakter sesuai dengan program yang ditanam pada Arduino Mega 2560. Berikut adalah program untuk menguji tampilan LCD.



Gambar 11 Hasil Pengujian LCD 16X2

Dari hasil pengujian pada gambar 11 didapatkan hasil bahwa LCD 16x2 yang dipakai dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

4.3 Pengujian Gerak Robot

Pengujian gerak robot bertujuan untuk mengetahui arah gerak robot dan nilai servo saat robot bergerak, dalam proses pengendalian gerak mobile robot berkaki menggunakan servo *dunamixel AX-12A*. Nilai masukan servo bernilai antara 0 – 1024. Komunikasi dari Board mikrokontroler OpenCM9.04

Tabel 1 Nilai Servo saat Gerakan Robot Maju

ID Servo Dynamixel	Stand Position Value	Goal Position Value	Position Speed (rpm)
1	512	512	33rpm
2	762	647	
3	592	632	
4	512	512	
5	762	647	
6	592	632	
7	512	512	
8	762	647	
9	592	632	
10	512	512	
11	762	647	
12	592	632	

Tabel 2 Nilai Servo saat Gerakan Robot ke Kanan

ID Servo Dynamixel	Stand Position Value	Goal Position Value	Position Speed (rpm)
1	512	662	33rpm
2	762	647	
3	592	632	

4	512	662
5	762	647
6	592	632
7	512	362
8	762	762
9	592	592
10	512	362
11	762	762
12	592	592

Tabel 3 Nilai Servo saat Gerakan Robot ke Kiri

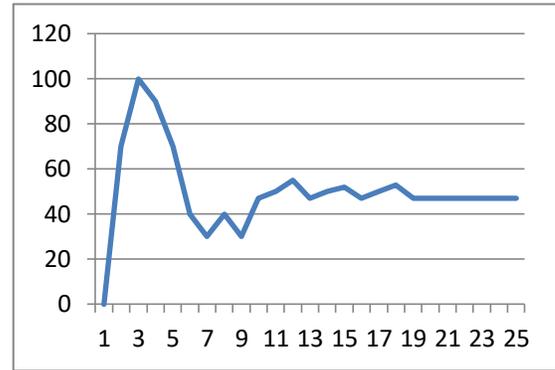
ID Servo Dynamixel	Stand Position Value	Goal Position Value	Position Speed (rpm)
1	512	362	33rpm
2	762	647	
3	592	632	
4	512	362	
5	762	647	
6	592	632	
7	512	662	
8	762	762	
9	592	592	
10	512	662	
11	762	762	
12	592	592	

Dengan data pergerakan setiap motor servo yang ditampilkan pada tabel 1, tabel 2 dan tabel 3, untuk gerakan maju robot dapat bergerak maju dengan baik dan untuk gerakan belok kanan dan belok kiri robot dapat bergerak dengan baik tanpa terjatuh.

4.4 Pengujian Keseluruhan Sistem

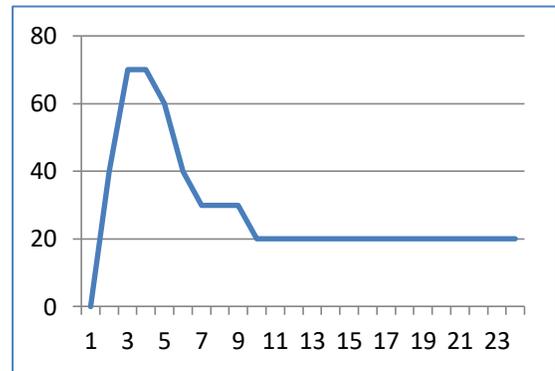
Pengujian ini dilakukan dengan mengatur gerakan dari servo dan mengatur konstanta PID. Gerakan dari servo diatur agar robot tidak melangkah terlalu panjang. Apabila gerakan servo terlalu besar maka gerakan robot akan tidak stabil sehingga robot rawan jatuh. Pengujian dilakukan dengan metode trial error.

Pada awal pengujian diberikan nilai $K_p=3$, $K_d=6$ $K_i=0,01$. Respon sistem pada percobaan ini masih diatas setpoint dengan overshoot sebesar 100. Selanjutnya untuk mencapai stabil sistem memerlukan waktu 18 detik. Waktu ini merupakan waktu yang cukup lama agar robot menuju stabil. Selain itu pada trial ini output PID masih di atas setpoint.



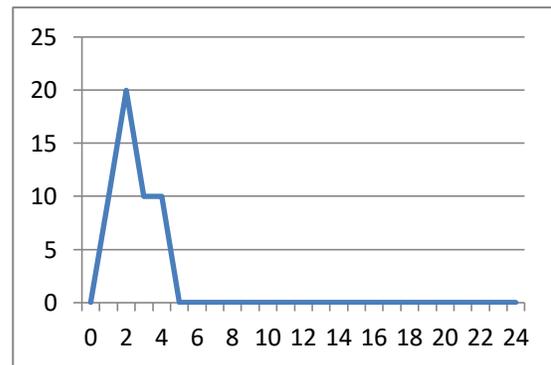
Gambar 11 Respon Sistem Trial 1

Karena output PID masih diatas setpoint maka dilakukan kembali trial dengan $K_p=4$, $K_d=8$ dan $K_i=0.01$. Respon sistem pada trial ke 2 ini menghasilkan sistem yang mencapai kestabilan saat detik ke 10. Untuk output PID pada trial ini masih berada di atas setpoint namun lebih rendah dari trial pertama



Gambar 12 Respon Sistem Trial 2

Selanjutnya dilakukan kembali trial ke 3 dengan $K_p=5$, $K_d=12$ dan $K_i=0.02$. Pada trial 3 ini diperoleh overshoot sebesar 20. Untuk menuju stabil sistem memerlukan waktu 5 detik. Pada trial ini output PID sudah berada pada setpoint karena nilai PID adalah 0 pada detik ke 5.



Gambar 13 Respon Sistem Trial 3

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem yang telah dibuat pada robot dapat mengikuti garis dengan stabil. Berikut adalah kesimpulan yang didapat:

1. Dengan menggunakan sensor kamera, robot dapat mengikuti garis dengan otomatis
2. Dengan mengimplementasikan metode PID sebagai sistem kontrol robot *line follower* berkaki robot dapat mengikuti garis putih dengan stabil.
3. Penentuan PID menggunakan *ziegler nicholse* masih belum bisa dikatakan stabil sehingga dilakukan metode trial error sampai didapatkan sistem yang cukup stabil dengan $K_p=5$, $K_d=12$ dan $K_i=0,02$

5.2 Saran

Perlu adanya perbaikan dan penyempurnaan agar robot dapat bekerja secara optimal. Ada beberapa hal yang disarankan oleh penulis untuk perbaikan dan penyempurnaan :

1. Sebaiknya digunakan servo dengan spesifikasi torsi yang lebih tinggi
2. Perlu adanya uji coba metode PID lebih baik lagi
3. Untuk selanjutnya metode ini dapat dikembangkan dengan metode controller lainnya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putra, Harditya Pratama. 2013. *Perancangan Simulasi Alat Bantu Pemindah Barang Pada Industri Manufaktur Dengan Robot Lengan (Studi Kasus : Laboratorium Teknik Industri UMS)*. Skripsi Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [2] Widiastuti, Anita Puput. 2016. *Implementasi Prototype Robot Line Following Untuk Pengantar Barang Pada Area Berbahaya Dengan Kontrol PID*. Skripsi Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang
- [3] Wicaksono, Rendi Pambudi. 2016. *Identifikasi Ruang Menggunakan Sensor Kamera pada Robot KRPAI Berkaki*. Skripsi Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang
- [4] User Manual Odroid-XU4, 2017, <https://magazine.odroid.com/wp-content/uploads/odroid-xu4-user-manual.pdf>, diakses tanggal 15 Juni 2019
- [5] Arduino Mega 2560 Datasheet, <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/arduinomega2560datasheet.pdf>, diakses tanggal 1 Juni 2019
- [6] AX-12 Specification, http://support.robotis.com/en/product/actuator/dynamixel/ax_series/dxl_ax_actuator.htm, diakses tanggal 17 Juni 2019
- [7] OpenCM9.04 Hardware, https://www.mouser.com/ds/2/859/ROBOTICS_06132017_902-0084-040-1217900.pdf, diakses tanggal 7 Juni 2019
- [8] Specification of LCD Module, <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS-3.3v.pdf>, diakses tanggal 7 Mei 2019
- [9] Getting started with Logitech® HD Webcam c525, <https://www.logitech.com/assets/46921/7/hd-webcam-c525-quickstart-guide.pdf>, diakses tanggal 17 Mei 2019
- [8] Risdhayanti, Anindya, D. (2013). *Monitoring dan Pengendalian Continuous Flow Mixing Menggunakan SIMATIC PCS 7 dengan Metode Model Predictive Control*. Jurnal TEUB Vol.1, No.1, 2013.
- [9] Wang, Liuping. (2008). *Model Predictive Control System Design and Implementation Using Matlab/Simulink*. School of Electrical and Computer Engineering, RMIT University, Melbourne, Australia (2008).