

Sistem Kontrol Robot Sepak Bola berbasis Deteksi Multi Warna dengan PID Controller

Ramdhan Nugraha¹, Nur Ibrahim¹

ABSTRACT : robot as electro-mechanical devices is unseparated from our daily life. Many researches has been developed in robotics which one of them is wheeled soccer robot using differential steering method. These robots have advantages in their ai, responses of commands and sensors reading accuracies. In this study, a soccer robot has been developed as integrated systems between a camera, a computer as host and a robot agent. The robot's ability to recognize 3 colors in objects averagely is 3s in starting up, 2.4s in response of 450 commands and 0.4s in response of pid control system with $kp=20$, $kd=1$ and $ki=10$

Keywords: pid, wheeled soccer robot, kontrol.

ABSTRAK: robot sebagai perangkat elektro mekanika yang dapat berfungsi sebagai alat bantu manusia, sudah tidak bisa dipisahkan lagi dari kehidupan sehari-hari. Berbagai riset mengenai robot sudah banyak berkembang, diantaranya adalah wheeled soccer robot dengan kategori differential steering yang digunakan untuk riset robot sepak bola. Robot jenis ini memiliki kemampuan kecerdasan yang baik, kemampuan merespon perintah, dan keakuratan pembacaan sensor menjadi hal penting untuk pengujian robot ini. Pada penelitian ini dirancang sebuah sistem robot sepak bola yang saling terintegrasi antara kamera, komputer host, dan robot agen. Kemampuan sistem dalam mengenali 3 buah objek warna yaitu merah dan biru pada robot serta oranye pada bola memiliki rata-rata waktu pengidentifikasian selama 3 detik di awal sistem dihidupkan. Kemampuan robot untuk merespon perintah setiap 450 adalah rata-rata 2,4 detik. Sedangkan untuk sistem kontrol pid yang ditanam di dalam robot, memiliki waktu respon 0,4 detik dengan nilai $kp=20$, $kd=1$, dan $ki=10$.

Kata kunci: PID, wheeled soccer robot, kontrol

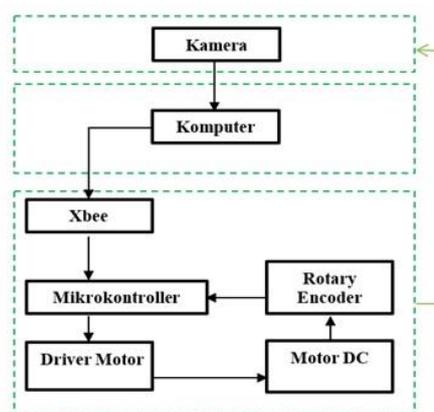
PENDAHULUAN

Robot adalah sebuah alat elektro-mekanik yang dapat diperintahkan melakukan tugas fisik, baik dengan pengawasan dan kontrol manusia maupun menggunakan program yang telah didefinisikan terlebih dahulu (kecerdasan buatan) (Suyadhi, 2010).

Salah satu robot yang sedang berkembang adalah *wheeled soccer robot*. *Wheeled soccer robot* ini memiliki roda sebagai alat pergerakannya, berbeda halnya dengan *humanoid robot* yang menggunakan mekanik seperti kaki (Nugroho et al, 2016). Tujuan dari *wheeled soccer robot* ini adalah untuk digunakan pada lomba robot sepak bola baik tingkat nasional maupun internasional. Salah satu liga sepak bola robot adalah Mirosot (*Micro-Robot World Cup Soccer Tournament*), yang dikembangkan oleh *Federation of International Robot-Soccer Association (FIRA)* (Yujin Robotics, 2003). Selain Mirosot, ada beberapa liga yang dikelola oleh FIRA, seperti Narosot (*Nano-Robot World Cup Soccer Tournament*), Amiresot (*Autonomous Mini-Robots for Research and Edutainment Soccer Tournament*), Hurosot (*Humanoid Robot World Cup Soccer Tournament*), Androsot (*Android Robot Soccer Tournament*), dan Simurosot (*Simulated Robot Soccer Tournament*) (Kim, 2003).

Robot yang digunakan termasuk kategori *differential steering*, yaitu robot yang bergerak menggunakan dua buah roda, masing-masing di sebelah kanan dan sebelah kiri. Robot akan bergerak sesuai dengan perintah yang dikirimkan, yaitu perintah mengenai kecepatan pergerakan dan sudut arah tujuan robot (Ghifari, Rusdinar, & Nugraha, 2016).

Pada sistem robot sepak bola, terdapat beberapa bagian yang saling terintegrasi antara satu bagian dengan bagian lainnya, dimana semuanya terintegrasi dengan sebuah sistem cerdas. Pada penelitian ini, desain umum diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 1 dengan pengaturan *layout* seperti ditunjukkan pada Gambar 2

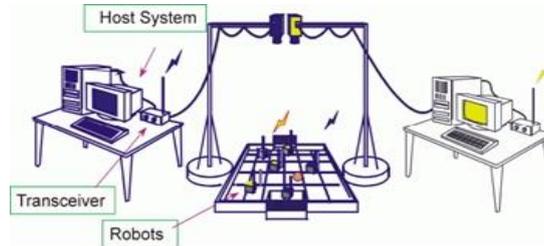


■ Gambar 1. Diagram Blok Sistem Robot Sepak Bola

Bagian dari robot sepak bola ini antara lain sistem *vision*, komputer *host*, sistem komunikasi, dan robot agen (*Wheeled Soccer Robot*)

Sistem *Vision*

Fungsi dari sistem ini adalah untuk mendeteksi posisi robot agen dan bola yang sedang berada di dalam lapangan pertandingan. Setiap kondisi akan direkam dan diubah menjadi data *digital* yang selanjutnya akan diolah oleh *server*.



■ **Gambar 2. Layout Sistem yang Digunakan dalam Penelitian (FIRA Mirobot Game Rules, 2012)**

Untuk *vision* menggunakan kamera Logitech C920 seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil tangkapan dari kamera adalah berupa image yang digunakan untuk diolah oleh server, hasil pengolahan tersebut akan dijadikan sebagai input yang akan dikirim ke robot agen.



■ **Gambar 3. Kamera yang Digunakan pada Sistem *Vision* (Logitech, 2018)**

Komputer *Host*

Komputer *host* berfungsi untuk mengelola sistem secara keseluruhan. Di bagian inilah semua data yang dihasilkan sistem *vision* diolah menjadi strategi yang akan diterapkan kepada seluruh robot agen. Hasil strategi itu berupa instruksi gerak kepada setiap robot agen. Pada komputer *host* terdapat *frame grabber* yang berfungsi mendigitalisasi hasil gambar dari kamera.

Modul Komunikasi

Modul komunikasi berfungsi sebagai media pengirim dan penerima instruksi yang dikirim dari komputer *host* ke setiap robot agen. Modul komunikasi yang digunakan adalah Xbee seperti dapat dilihat pada Gambar 4.



■ **Gambar 4. Xbee S6 yang Digunakan sebagai Modul Komunikasi (Sparkfun, 2018)**

Modul Xbee dapat berfungsi sebagai *transmitter* (Tx) maupun *receiver* (Rx), menggunakan komunikasi serial dengan frekuensi 2.4 Ghz, serta jangkauannya dapat mencapai jarak 30 meter untuk di dalam ruangan dan 100 meter untuk di luar ruangan (Sparkfun, 2018).

Robot Agen

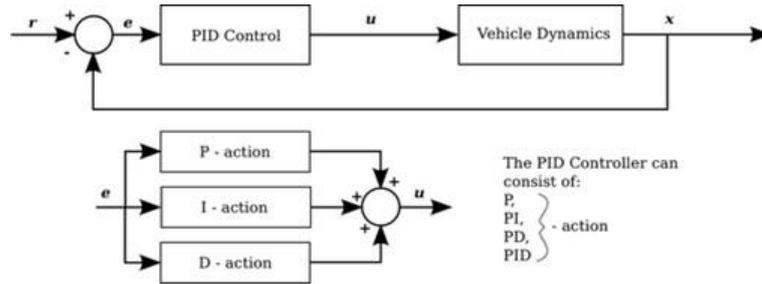
Robot agen adalah sebuah robot *differential steering* yang bergerak sesuai instruksi yang diberikan oleh komputer *host*. Pada robot agen, terdapat sistem kontrol PID yang digunakan untuk mengatur respon pergerakan robot. Robot agen yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 5.



■ Gambar 5. Robot Agen yang Digunakan

PID

PID adalah sebuah algoritma kendali pada robot dimana keputusan yang diambil mempertimbangkan tiga hal, yaitu *Proportional* (*present errors*), *Integral* (*past errors*), dan *Derivative* (*prediction of future errors*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



■ Gambar 6. Diagram Blok PID Controller (Autonomous Robots Lab, 2018)

Secara matematis, PID dapat dideskripsikan dalam bentuk persamaan berikut: (Autonomous Robots Lab, 2018)

$$Command_{PID} = f_P(e) + f_I(e) + f_D(e) \quad (1)$$

Keterangan:

$Command_{PID}$: Perintah PID

$f_P(e)$: Fungsi *proportional*

$f_I(e)$: Fungsi *integral*

$f_D(e)$: Fungsi *derivative*

Perintah PID tidak harus mempertimbangkan ketiga fungsi tersebut (fungsi *proportional*, fungsi *integral*, fungsi *derivative*), tetapi cukup salah satu dari ketiga fungsi tersebut atau kombinasi dua fungsi dari ketiga fungsi tersebut. Perintah yang paling umum digunakan adalah perintah P, PI, dan PD sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Command_P = f_P(e) \quad (2)$$

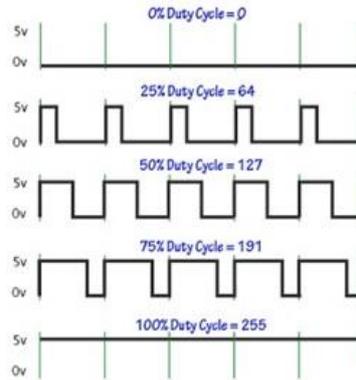
$$Command_{PI} = f_P(e) + f_I(e) \quad (3)$$

$$Command_{PD} = f_P(e) + f_D(e) \quad (4)$$

Perintah P pada persamaan (2) merupakan aksi reaktif dengan hanya mempertimbangkan *error* yang terjadi saat ini. Sedangkan perintah PI pada persamaan (3), disamping mempertimbangkan *error* saat ini, juga mempertimbangkan *error* sebelumnya. Dan perintah PD pada persamaan (4) mempertimbangkan *error* saat ini, untuk selanjutnya akan memprediksikan *error* yang mungkin terjadi setelahnya (Autonomous Robots Lab, 2018).

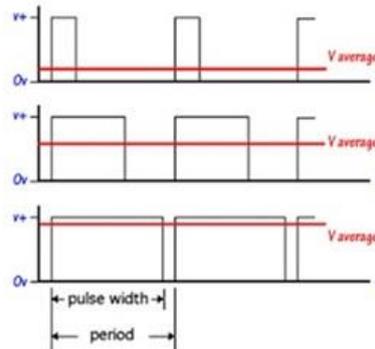
PWM

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan modulasi data dengan cara mengubah perbandingan lebar pulsa (*duty cycle*) seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



■ Gambar 7. Ilustrasi PWM (Robotic-Electric, 2018)

Perubahan *duty cycle* dari 0-100% direpresentasikan dengan nilai 8 bit dari 0-255. Dengan berubahnya *duty cycle*, maka tegangan rata-rata keluaran akan berubah seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



■ Gambar 8. Perubahan Tegangan pada PWM (Robotic-Electric, 2018)

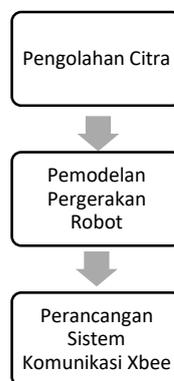
Dengan berubahnya *level* tegangan rata-rata maka dapat diperoleh sinyal analog dari sebuah piranti yang bekerja secara *digital* (Robotic-Electric, 2018).

Driver Motor

Driver motor merupakan penguat arus kecil yang berfungsi mengubah sinyal kendali yang memiliki arus kecil menjadi arus yang lebih besar yang dapat digunakan untuk menggerakkan motor.

Arduino

Arduino merupakan *platform* terbuka yang populer digunakan untuk sebuah proyek elektronik. *Arduino* terdiri atas komponen fisik *programmable circuit board* (komponen utamanya adalah sebuah mikrokontroler dan software IDE) yang digunakan untuk menulis program dan mengunggah kodenya ke *microcontroller*.



■ Gambar 9. Flowchart Metodologi Penelitian

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Adapun detail setiap tahapan *flowchart* pada Gambar 9 akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

Pengolahan Citra

Webcam adalah sebuah *device* yang digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi pergerakan robot agen dan bola. Pada proses pengolahan gambar, dikenal istilah *object tracking* dan proses segmentasi. *Object tracking* yaitu proses untuk mengikuti perpindahan posisi maupun perpindahan lokasi objek yang telah ditentukan. Sedangkan proses segmentasi adalah pemisahan segmen antara proses pengenalan objek dan deteksi objek.

Fungsi dari segmentasi adalah pengambilan informasi dari citra seperti pencarian bagian mesin, pencarian manusia, dan pencarian citra yang serupa. Secara umum, pendekatan segmentasi citra yang sering digunakan adalah melalui pendekatan intensitas, pendekatan warna, dan pendekatan bentuk (Asep Nana et al, 2015).



■ Gambar 10. Diagram Blok Deteksi Objek

Objek yang harus dikenali oleh sistem adalah tiga buah objek berupa lingkaran dengan masing-masing berwarna merah dan biru untuk robot, serta warna oranye untuk bola. Gambar 10 merupakan blok diagram dari sistem yang digunakan untuk mendeteksi objek.

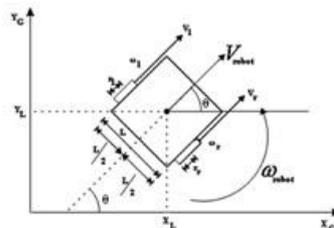
Gambar 11 merupakan gambar robot agen dengan bola. Warna merah dan biru berada pada robot, dimana warna biru merupakan bagian depan robot dan warna merah adalah bagian belakang robot. Sedangkan yang berwarna oranye adalah bola.



■ Gambar 11. Kode Warna pada Robot Agen

Pemodelan Pergerakan Robot

Untuk menghasilkan pergerakan yang baik, perlu dibuat sebuah pemodelan pergerakan robot yang baik juga. Pergerakan robot sendiri tergantung dari arah putaran roda (θ) dan kecepatan putaran roda (v) (Rusdinar & Kim, 2012). Persamaan (5), (6), dan (7) serta Gambar 12 menunjukkan pemodelan gerak robot yang digunakan pada penelitian ini.



■ Gambar 12. Pemodelan Gerak Robot (Nugroho et al, 2016)

$$v = \frac{v_{kiri} + v_{kanan}}{2} \quad (5)$$

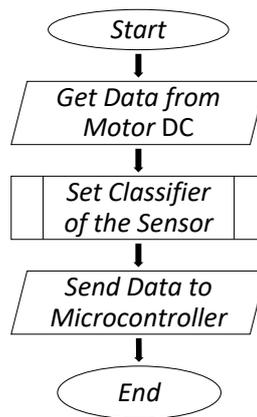
$$\omega = \frac{vl - vr}{l} \quad (6)$$

$$\theta = \theta_0 + \omega \quad (7)$$

Keterangan:

- v : kecepatan roda (m/s)
- ω : kecepatan sudut robot (rad/s)
- θ_0 : besar sudut awal (derajat)
- θ : besar sudut (derajat)
- L : jarak antar roda
- v_{kiri} : kecepatan roda kiri
- v_{kanan} : kecepatan roda kanan

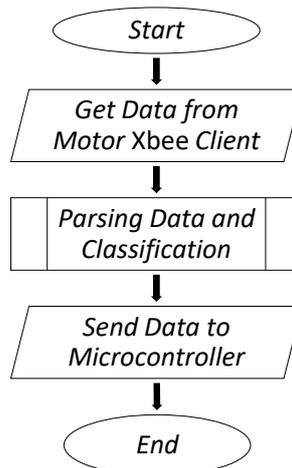
Kemudian, *encoder* digunakan pada penelitian ini untuk mengukur jumlah putaran dan sudut motor pada robot. Gambar 13 menunjukkan diagram alir sistem *encoder* yang digunakan.



■ Gambar 13. Diagram Alir Sistem *Encoder*

Perancangan Sistem Komunikasi Xbee

Sistem komunikasi dirancang untuk menghubungkan antara komputer *host* dengan robot agen menggunakan perangkat Xbee. Gambar 14 menunjukkan diagram alir sistem komunikasi menggunakan Xbee.



■ Gambar 14. Diagram Alir Sistem Komunikasi Xbee

HASIL DAN DISKUSI

Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui keandalan dan kemampuan robot dalam menjalankan tugasnya sesuai dengan instruksi yang diberikan. Beberapa pengujian yang dilakukan meliputi pengujian arah perpindahan posisi robot (sudut perubahan) dan pengujian sistem PID.

Pengujian Perubahan Posisi Sudut Robot

Pengujian terhadap respon perubahan sudut robot bertujuan untuk melihat kemampuan robot dalam bergerak. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan instruksi arah putaran roda dan nilai PWM.

Pada pengujian pertama adalah menguji pergerakan robot untuk berubah dari posisi awal ke arah sebelah kanan dan ke sebelah kiri dengan perubahan sebesar 45° , 90° , dan 135° . Sedangkan untuk perubahan dari posisi awal ke posisi 180° arah putarannya hanya ke sebelah kanan. Pada masing-masing perubahan, diberikan instruksi sebesar 100 PWM untuk tiap motor. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

■ **Tabel 1. Hasil Pengukuran untuk Instruksi Perubahan Posisi Robot Sebesar 45° ke Kanan dan Kiri**

Pengujian	45° ke Arah Kanan (derajat)	45° ke Arah Kiri (derajat)
1	44°	45°
2	45°	45°
3	44°	46°
4	46°	45°
5	47°	44°
6	45°	45°
7	45°	46°
8	45°	46°
9	44°	45°
10	45°	44°

■ **Tabel 2. Hasil Pengukuran untuk Instruksi Perubahan Posisi Robot Sebesar 90° ke Kanan dan Kiri**

Pengujian	90° ke Arah Kanan (derajat)	90° ke Arah Kiri (derajat)
1	88°	90°
2	91°	89°
3	90°	89°
4	90°	91°
5	89°	90°
6	92°	90°
7	90°	91°
8	90°	90°
9	89°	90°
10	90°	90°

■ **Tabel 3. Hasil Pengukuran untuk Instruksi Perubahan Posisi Robot Sebesar 135° ke Kanan dan Kiri**

Pengujian	135° ke Arah Kanan (derajat)	135° ke Arah Kiri (derajat)
1	132°	133°
2	133°	136°
3	135°	138°
4	137°	137°
5	136°	138°
6	134°	136°
7	137°	133°
8	138°	135°
9	134°	131°
10	138°	135°

■ **Tabel 4. Hasil Pengukuran untuk Instruksi Perubahan Posisi Robot Sebesar 180° ke Kanan dan Kiri**

Pengujian	180° ke Arah Kanan (derajat)	180° ke Arah Kiri (derajat)
1	182°	182°
2	183°	183°
3	181°	181°

4	180 ⁰	180 ⁰
5	178 ⁰	178 ⁰
6	180 ⁰	180 ⁰
7	182 ⁰	182 ⁰
8	178 ⁰	178 ⁰
9	180 ⁰	180 ⁰
10	182 ⁰	182 ⁰

Setelah melakukan pengujian terhadap respon perubahan sudut pergerakan robot, dilanjutkan dengan pengukuran waktu yang dibutuhkan untuk setiap perubahan posisi. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 5.

■ **Tabel 5. Hasil Pengukuran Kecepatan Perubahan dari Posisi Awal ke Posisi Berikutnya**

Pengujian	45 ⁰ (detik)	90 ⁰ (detik)	135 ⁰ (detik)	180 ⁰ (detik)
1	2	4	7	8
2	3	4	6	8
3	3	5	7	8
4	2	4	7	9
5	2	5	6	10
6	2	5	6	8
7	3	4	6	8
8	2	4	7	9
9	2	4	6	8
10	3	5	6	8

Dari Tabel 5 diperoleh kesimpulan bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan oleh robot untuk berpindah posisi dari kondisi awal ke posisi 45⁰ adalah 2,4 detik, perpindahan posisi ke 90⁰ rata-rata adalah 4,4 detik, perpindahan posisi ke 135⁰ rata-rata adalah 6,4 detik, perpindahan posisi ke 180⁰ rata-rata adalah 8,4 detik.

Pengujian Deteksi Warna

Pengujian deteksi warna dilakukan untuk melihat keakuratan dan kestabilan pendeteksian warna dan objek, baik saat dalam posisi robot dan bola diam maupun pada saat robot dan bola bergerak. Pada tahap ini akan dilakukan pengujian pembacaan objek untuk masing-masing warna secara terpisah (biru, merah, dan oranye) serta melihat waktu yang dibutuhkan untuk mendeteksi warna pada saat sistem pertama kali dihidupkan. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 6.

■ **Tabel 6. Hasil Pengukuran Kecepatan Pelacakan Objek saat Pertama Kali Sistem Dihidupkan**

Pengujian	Objek		
	Biru (detik)	Merah (detik)	Oranye (detik)
1	2	3	2
2	3	2	2
3	3	3	3
4	2	4	3
5	2	4	3
6	3	4	4
7	4	3	4
8	4	3	3
9	3	4	2
10	3	3	3

Hasil pengujian pada Tabel 6 menunjukkan bahwa sistem dapat membaca warna objek dengan waktu pemrosesan rata-rata 2,9 detik (warna biru), 3,3 detik (warna merah), dan 2,9 detik (warna oranye).

Pengujian Posisi Robot terhadap Bola

Pengujian selanjutnya adalah penentuan posisi robot terhadap bola. Tahapan ini dilakukan untuk menguji kemampuan sistem dalam membedakan antara objek robot bagian depan, objek robot bagian belakang, dan bola. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 7.

■ Tabel 7. Hasil Pengukuran Pelacakan Posisi Robot terhadap Bola

Pengujian	Sudut Sebenarnya (derajat)	Sudut Pembacaan Sistem (derajat)
1	Bola di depan robot	Lurus
2	Bola di depan robot	Lurus
3	Bola di kanan robot	Kanan
4	Bola di kanan robot	Kanan
5	Bola di kanan robot	Kanan
6	Bola di kiri robot	Kiri
7	Bola di kiri robot	Kiri
8	Bola di kiri robot	Kiri
9	Bola di belakang robot	Putar
10	Bola di belakang robot	Putar

Tabel 7 menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi sudut posisi robot terhadap bola dan mengukurnya dengan tingkat akurasi 100%.

Pengujian Pengiriman Data

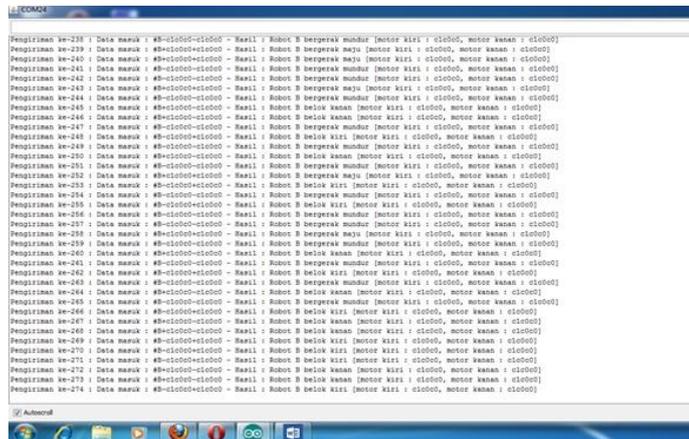
Pengujian ini dilakukan dengan cara mengirimkan paket data sebanyak 1000 kali dengan misi tiap paket berbeda-beda. Jarak antar Xbee diatur berbeda-beda, mulai dari jarak 50 cm sampai jarak 5 m. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 15.

Dari Gambar 15 dapat dilihat bahwa tidak ada *loss data* dari *transmitter* ke *receiver*. Semua data berhasil dikirim dan diterima 100%.

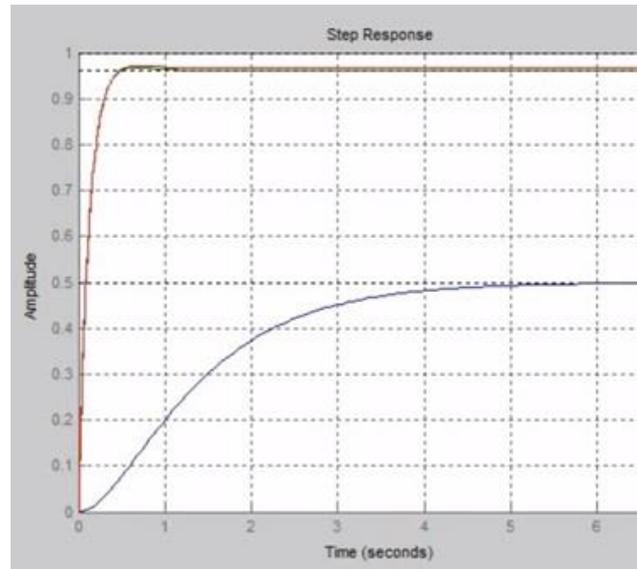
Pengujian Sistem Kontrol

Pengujian sistem kontrol PID bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat respon yang diberikan robot terhadap perintah yang diberikan oleh komputer *host*. Pengujian sistem kontrol dilakukan dengan membandingkan antara sistem sebelum menggunakan PID dan sistem setelah menggunakan PID.

Setelah dilakukan beberapa uji coba, di dapatkan nilai $K_p=20$, $K_d=1$, dan $K_i=10$. Hasil pengujian dengan menggunakan Matlab dan Simulink dapat dilihat pada Gambar 16, dimana Gambar 16 menunjukkan respon kecepatan motor adalah 0,4 detik.



■ Gambar 15. Proses Pengiriman Data



■ Gambar 16. Respon Kecepatan Motor

KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk kepentingan riset robotika, kecerdasan buatan, *image processing*, dan komunikasi data. Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini antara lain :

1. Robot sudah dapat merespon dengan baik, dengan waktu rata-rata untuk perubahan sudut sebesar 45° adalah 2,4 detik.
2. Respon robot terhadap instruksi yang diberikan, setelah dilakukan beberapa uji coba, didapatkan nilai $K_p=20$, $K_d=1$, dan $K_i=10$. Hasil pengujian dengan menggunakan Matlab dan Simulink dari menunjukkan respon kecepatan motor adalah 0,4 detik.
3. Kemampuan awal sistem pada saat dinyalakan untuk mendeteksi objek warna yang telah ditentukan, yaitu merah dan biru untuk robot serta oranye untuk bola, rata-rata adalah 3 detik

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Antonomus Robots Lab, (2008), Dipetik pada 1 mei 2018 dari <http://www.autonomousrobot.com/> *FIRA Mirosoft Game Rules*. (2012). Dipetik pada 1 mei 2018 dari http://fira.net/?module=file&act=procFileDownload&file_srl=2870&sid=09c8a14e80aa45c9df6152b1cfbd534b9
- [2] Ghifari, A. A., Rusdinar, A., & Nugraha, R. (2016). Rancang Bangun dan Implementasi Sistem Tracking pada Robot Tank menggunakan Android. *e-Proceeding of Engineering*, (pp. 4008-4014)
- [3] H., A. N., Ichwan, M., & Putra, I. S. (2015). Segmentasi Citra untuk Deteksi Objek Warna pada Aplikasi Pengambilan Bentuk Citra Rectangle. *Karya Tulis Ilmiah Institut Teknologi Nasional*, (pp. 1-10)
- [4] Kim, J. H. (2003). *Lecture Notes on Soccer Robotics ASEAN Technology Network for Multi-robot Cooperation System Development*. Korea: Korea Advanced Institute of Science and Technology.
- [5] *Logitech*. (2018). Dipetik pada 6 mei 2018 dari <https://www.logitech.com/id-id/product/hd-pro-webcam-c920>
- [6] Nugroho, C. T., Rusdinar, A., & Nugraha, R. (2016). *Perancangan dan Implementasi Robot Tank yang Berjalan dengan Jalur Virtual dari Smartphone Android*. Bandung: Telkom University. *Robotic-Electric*. (2018). Dipetik pada 1 mei 2018 dari <http://robotic-electric.blogspot.com/>
- [7] Rusdinar, A., & Kim, S. (2012). Model of Vision Based Robot Formation Control using Fuzzy Logic Controller and Extended Kalman Filter. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, 12(3), 238-244. *Sparkfun*. (2018). Dipetik pada 1 mei 2018 dari <https://learn.sparkfun.com/tutorials/exploring-xbees-and-xctu>
- [8] Suyadhi, T. D. (2010). *Buku Pintar Robotika*. Yogyakarta: Andi. Yujin Robotics. (2003). *Robot Soccer: YSR-A System Manual*. Korea: Yujin Robotics, Co.,Ltd