

Optimalisasi dan Perancangan Algoritma Pergerakan dan Komunikasi pada Robot Penyerang *Humanoid Soccer*

Daniel Santoso¹, Deddy Susilo², Bob William Chandra³

Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer,
Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga
¹daniel.santoso@staff.uksw.edu, ²deddy.susilo@staff.uksw.edu,
³612010003@student.uksw.edu

Ringkasan

Robotic Research Centre (R2C) Universitas Kristen Satya Wacana (UKSW) secara rutin mengikuti Kontes Robot Sepakbola Indonesia (KRSBI). Jenis robot yang digunakan adalah humanoid dengan 18 derajat kebebasan dan memiliki kamera sebagai sensor visual. Pengembangan berkelanjutan yang dilakukan oleh R2C telah dapat mengantarkan tim robot sepakbola ini menjadi juara II tingkat nasional pada tahun 2013, meskipun demikian masih ada beberapa masalah mengenai kelincihan manuver dan komunikasi antar – robot. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukukan optimalisasi pada algoritma *tracking* analisis dan posisi bola, mendekati bola, penentuan orientasi robot, penentuan posisi gawang, menempatkan diri menendang bola, menendang bola, dan komunikasi robot. Pengujian menunjukkan bahwa usaha ini telah dapat meningkatkan respon robot terhadap perpindahan bola, meningkatkan kecepatan dan akurasi dalam mencetak gol, dan membuat robot – robot dalam satu tim dapat berkoordinasi dalam mengejar bola di lapangan.

Kata kunci: robot sepakbola, optimalisasi, algoritma, komunikasi

1. Pendahuluan

Robotic Research Centre (R2C) Universitas Kristen Satya Wacana (UKSW) setiap tahunnya mengirimkan tim untuk mengikuti Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI). Robot – robot yang digunakan dalam kontes ini berbentuk menyerupai manusia (*humanoid*) dan juga bergerak seperti manusia. Robot ini menggunakan kamera sebagai sensor penglihatan dan memiliki 18 derajat kebebasan bergerak.

Seperti layaknya tim sepakbola, robot yang dipakai jumlahnya lebih satu dengan perannya masing – masing. Pada tahun – tahun awal kompetisi, konfigurasi tim KRSBI UKSW hanya terdiri dari satu penyerang dan satu kiper. Seiring dengan perubahan peraturan pertandingan, robot yang digunakan sebagai penyerang berjumlah lebih dari satu sehingga dibutuhkan komunikasi antar robot agar tidak saling mengganggu ketika robot – robot tersebut sedang mengejar, menggiring ataupun menggiring bola di lapangan.

2. Kajian Permasalahan

Selain masalah koordinasi antar robot, secara individual robot – robot yang dipakai R2C untuk kontes sepak bola masih memiliki beberapa permasalahan yang perlu dibenahi karena akan mengganggu kinerja tim secara keseluruhan. Ringkasan permasalahan tersebut dapat dilihat pada daftar berikut.

1. Pemanggilan *motion*/gerakan robot belum *realtime* dan optimal. Robot belum mampu merespon pergerakan bola dengan jeda waktu maksimal 1 detik dan sering terjadi pergantian *motion* yg tidak diperlukan. Hal ini mengakibatkan waktu yang dibutuhkan robot untuk menghampiri dan menendang bola menjadi lebih lama.
2. Perubahan sudut servo *pan* (geleng) dan *tilt* (angguk) kepala tidak sesuai dengan ukuran sudut yang sebenarnya (sudut kompas) dengan resolusi 10°.
3. Ketika robot memutar bola untuk berganti arah, pergerakan robot sering kelebihan memutar dan masih sering menyampar bola sehingga membuat posisi bola jauh dari robot oleh karena robot harus mendekatinya kembali.
4. Proses mengarahkan bola ke gawang lawan membutuhkan waktu lama karena robot harus mengarahkan diri lurus ke daerah lawan baru mengarahkan diri kembali ke gawang lawan. Selain itu tingkat keberhasilan robot dalam mencetak gol masih kurang dari 60%.

Berdasarkan permasalahan di atas, pada penelitian ini dibuat sebuah algoritma untuk mengoptimalkan pergerakan robot dan mengimplementasikan skema komunikasi pada robot – robot penyerang. Diharapkan kedua robot penyerang R2C dapat bermain bola dengan terkoordinasi dan lebih efektif dalam mencetak gol.

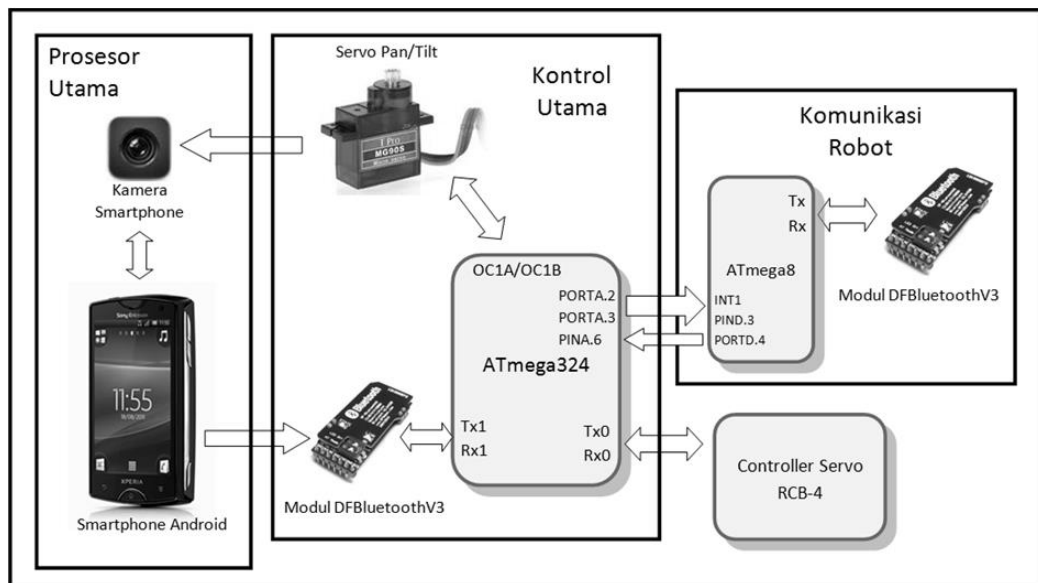
3. Perancangan dan Penerapan

Sebagaimana umumnya sebuah robot, sistemnya akan terdiri dari mekanik, perangkat keras dan perangkat lunak. Titik berat penelitian ini pada pengembangan dan evaluasi kinerja algoritma pergerakan dan koordinasi robot. Meskipun demikian hal gambaran sistem tetap akan dibahas secara ringkas untuk memberikan pemahaman yang lebih utuh dan sistematis.

Selain kemampuan dasar untuk berjalan dan mengendalikan kestabilan, salah satu kemampuan dasar lain yang harus dimiliki oleh robot *humanoid soccer* adalah kemampuan mengambil keputusan sebagai pemain untuk melakukan serangkaian pergerakan terbaik dalam berbagai kondisi agar mencapai tujuan [1].

3.1. Gambaran Sistem

Sistem instruksi pergerakan pada robot dibagi menjadi 3 bagian utama, yaitu *smartphone* berbasis Android sebagai prosesor utama yang menentukan gerakan robot yang akan dilakukan, mikrokontroler ATmega324 sebagai kontrol utama yang mengatur kesinambungan antara prosesor utama dengan pengendali motor servo robot Kondo KHR-3HV (RCB-4) dan pemroses data komunikasi yang menggunakan mikrokontroler ATmega8 dengan modul *bluetooth* sebagai media komunikasinya. Berikut adalah diagram blok dari sistem keseluruhan.



Gambar 1. Diagram blok sistem secara keseluruhan

Prosesor Utama yang digunakan dalam robot adalah sebuah *smartphone* berbasis Android dengan kamera yang dilepas dan diletakan pada servo *pan - tilt*. Dalam *smartphone* ini algoritma pergerakan robot ditanamkan. Tugas utama dari perangkat ini memproses gambar kamera yang diletakan di kepala robot sebagai mata dan mengunci bola [2]. Berdasarkan posisi bola terhadap robot, prosesor utama mengirimkan paket – paket data ke kontrol utama melalui koneksi *bluetooth*.

Kontrol utama robot menggunakan mikrokontroler ATmega324 yang bertugas mengolah paket – paket dari *smartphone* melalui komunikasi. Ada 3 macam perintah yang dikirim dari *smartphone* yaitu perintah untuk menggerakkan robot, perintah untuk menggerakkan servo kepala, dan perintah untuk berkomunikasi pada robot teman. Ketika perintah yang diterima mikrokontroler ATmega324 berupa perintah *motion*, maka mikrokontroler akan mengirimkan paket data sesuai dengan *motion* yang diinginkan ke pengendali motor servo RCB-4. Jika mikrokontroler ATmega324 menerima perintah untuk menggerakkan servo kepala, maka nilai *OCR1A/B* akan berubah sesuai dengan sudut yang diinginkan. Sedangkan jika perintah yang diterima mikrokontroler ATmega324 adalah perintah untuk berkomunikasi pada robot teman, maka mikrokontroler ATmega324 akan mengirimkan data ke mikrokontroler ATmega8 melalui pin I/O.

Pemroses data komunikasi menggunakan mikrokontroler ATmega8 yang bertugas mengirimkan data ke robot teman dan menerima data dari robot teman melalui *bluetooth* yang kemudian dikembalikan ke kontrol utama dengan menggunakan pin I/O.

3.2. Algoritma – algoritma Perangkat Lunak Pengendali Robot

Pada bagian ini akan dibahas algoritma – algoritma perangkat lunak pengendali ketika robot sedang bermain bola. Pembahasan akan diberikan dalam bentuk diagram alir secara keseluruhan dan diagram alir tiap prosedur agar dapat dipahami secara lebih detail.

3.2.1. Algoritma Keseluruhan

Algoritma keseluruhan robot adalah algoritma yang berisi semua pergerakan robot ketika bermain di lapangan dalam merespons segala kondisi bola, gawang, posisi robot di lapangan, dan lainnya. Pada dasarnya prosedur pergerakan robot ketika bermain di lapangan adalah sebagai berikut:

1. *Tracking* bola : melihat bola dan menggerakkan servo *pan* dan *tilt* robot sampai bola terlihat di tengah-tengah pandangan kamera.
2. Analisis posisi bola terhadap robot : menganalisis posisi bola berdasarkan sudut servo *pan* dan *tilt* robot setelah melakukan *tracking* bola.
3. Mendekati bola : melakukan gerakan berjalan maju dan putar ditempat untuk mendekati bola berdasarkan posisi bola terhadap robot.
4. Penentuan orientasi : membandingkan arah orientasi robot dengan arah orientasi menyerang (arah gawang lawan) dan mengubah arah orientasi jika tidak sesuai.
5. Penentuan posisi gawang : mencari gawang lawan dan menyearahkan arah orientasi robot untuk mengarahkan tendangan ke gawang lawan.
6. Penempatan diri menendang bola : memosisikan diri hingga bola berada tepat di depan kaki kanan atau kiri, sehingga robot dapat menendang bola dengan baik.
7. Tendang bola : melakukan gerakan menendang bola.

Sebagai tambahan, ada algoritma komunikasi antar robot sebagai sarana koordinasi. Siklus algoritma keseluruhan ini diilustrasikan pada Gambar 2.

3.2.2. Algoritma *Tracking* dan Analisis Posisi Bola

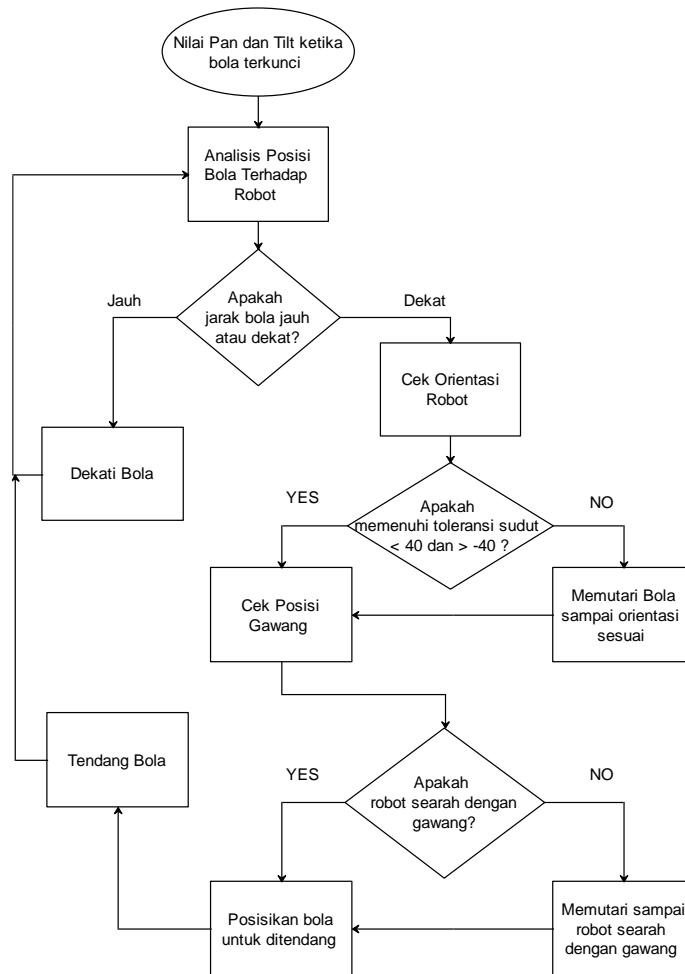
Pada bagian ini dilakukan juga dilakukan perbaikan penentuan perubahan sudut servo kepala ketika robot melakukan *tracking* bola dengan cara memperbaiki kontrol *overshoot* servo. Gambar 3 menunjukkan diagram alir ketika robot melakukan *tracking* bola.

Perbaikan utama bagian ini adalah dalam hal menghitung selisih koordinat bola dengan daerah toleransi. Untuk lebih jelasnya berikut adalah gambar *vision* kamera robot dan daerah toleransi yang dimaksud. Resolusi gambar yang digunakan adalah 480x320 piksel. Sedangkan daerah toleransi adalah 30x20 piksel di tengah dan kotak bergaris tebal adalah batas daerah toleransi.

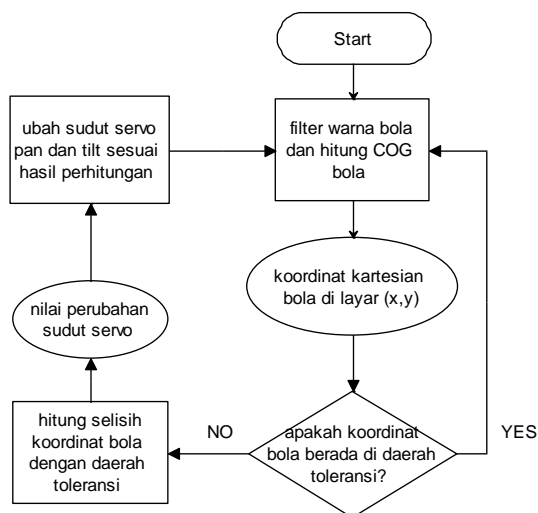
Bola dinyatakan terkunci atau sudah didapatkan ketika koordinat bola sudah berada di dalam daerah toleransi. Jika koordinat bola berada di luar batas toleransi, maka servo kepala robot akan bergerak sedemikian hingga koordinat bola dapat berada di dalam batas toleransi. Pergerakan servo tersebut dikendalikan dengan algoritma *tracking bola*. Pada algoritma ini, nilai perubahan sudut servo dihasilkan dengan memasukan selisih koordinat bola dengan daerah toleransi ke dalam sebuah persamaan regresi. Persamaan tersebut didapat dari melakukan *sampling* nilai-nilai perubahan sudut servo terhadap selisih koordinat bola dengan daerah toleransi yang kemudian dari data tersebut dibuat grafik. Persamaan garis dari grafik tersebut kemudian digunakan untuk menghitung perubahan sudut servo, seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Sumbu Y dengan label d_Servo adalah nilai perubahan sudut servo dan sumbu X dengan label d_K_Bola adalah selisih koordinat bola dengan daerah toleransi. Sedangkan persamaan tersebut adalah persamaan dari *trendline* grafik yang secara otomatis dibuat dari program *Microsoft Excel*. Persamaan tersebut dapat berubah-ubah sesuai dengan hasil *sampling* yang dilakukan. Sesuai dengan grafik tersebut, nilai perubahan sudut

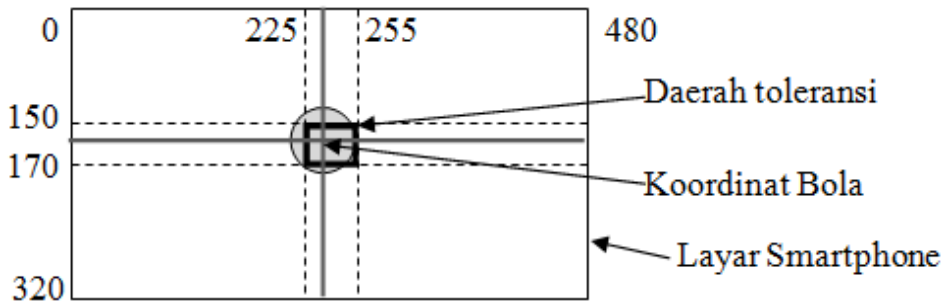
servo kepala dapat berubah-ubah dengan nilai lebih bervariasi, hasilnya servo dapat bergerak lebih halus dan cepat ketika merespon perpindahan bola.



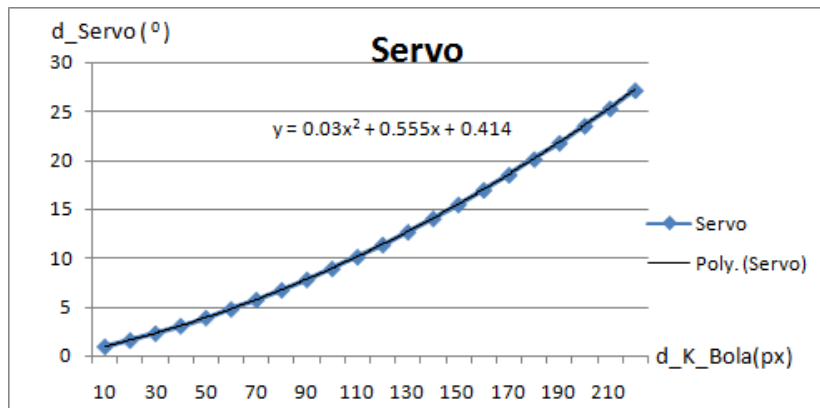
Gambar 2. Diagram alir algoritma keseluruhan



Gambar 3. Diagram alir algoritma *tracking* bola



Gambar 4. Vision robot dan daerah toleransi



Gambar 5. Grafik selisih koordinat bola dengan batas toleransi terhadap perubahan sudut sero

Setelah proses tracking bola dilakukan, maka akan didapatkan nilai sudut *pan* dan *tilt* servo ketika robot sudah mendapatkan bola. Sudut *pan* dan *tilt* tersebut kemudian digunakan untuk memperkirakan posisi bola terhadap robot.

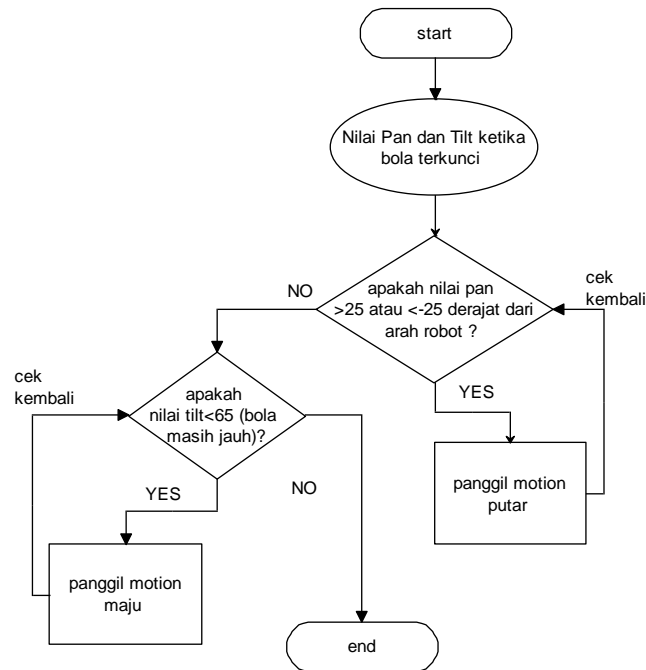
3.2.3. Algoritma Mendekati Bola

Optimalisasi kecepatan robot mendekati bola dilakukan dengan mengganti metode pemanggilan motion yang sebelumnya menggunakan *counter* menjadi tanpa menggunakan *counter*. *Counter* yang dimaksud adalah jumlah robot melakukan *motion*. Misalnya dikirimkan perintah melakukan *motion* jalan maju dengan *counter* sebanyak 3, maka robot akan melakukan motion jalan maju sebanyak 3 langkah. Robot dapat bergerak dengan motion lain setelah *counter* tersebut selesai dilakukan. Hal ini menyebabkan robot menjadi kurang responsif terhadap pergerakan bola. Tanpa menggunakan *counter*, robot dapat berganti ke motion yang relevan dengan perubahan posisi bola dengan lebih cepat. Gambar 6 menunjukkan diagram alir algoritma mendekati bola tanpa *counter*.

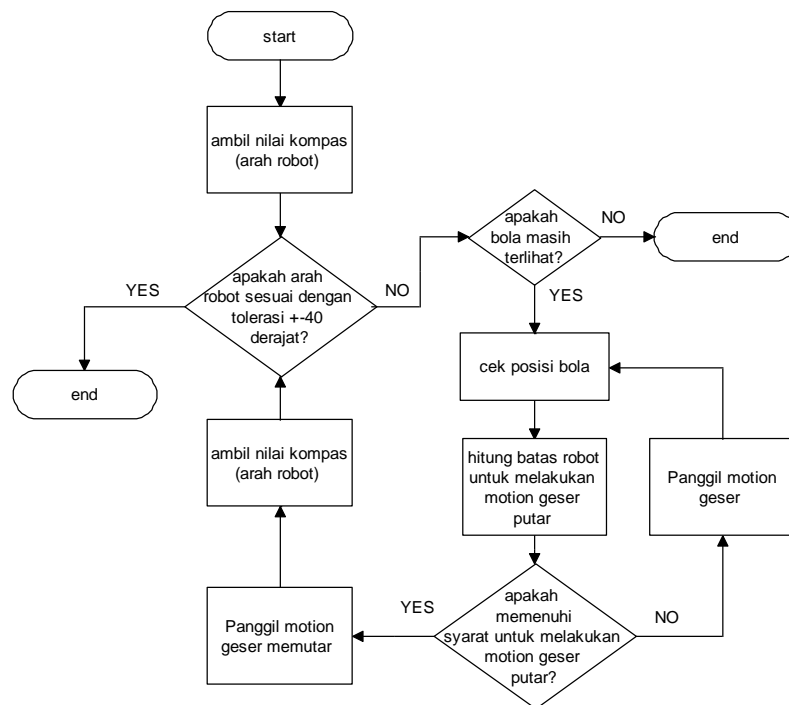
3.2.4. Algoritma Penentuan Orientasi Robot

Penentuan orientasi robot perlu dilakukan untuk mengetahui posisi robot apakah cenderung menghadap gawang sendiri atau cenderung menghadap gawang lawan. Pada proses robot melakukan penentuan orientasi, sudut toleransi diperkecil menjadi $\pm 40^\circ$ terhadap garis tegak lurus lapangan supaya kemungkinan robot dapat menangkap lokasi gawang di segala posisi menjadi lebih besar. Karena simpangan maksimal servo *pan* kepala robot adalah $\pm 80^\circ$ maka diharapkan robot dapat melihat gawang dari posisi pinggir lapangan sekalipun. Kemungkinan robot tidak mendapatkan gawang dan

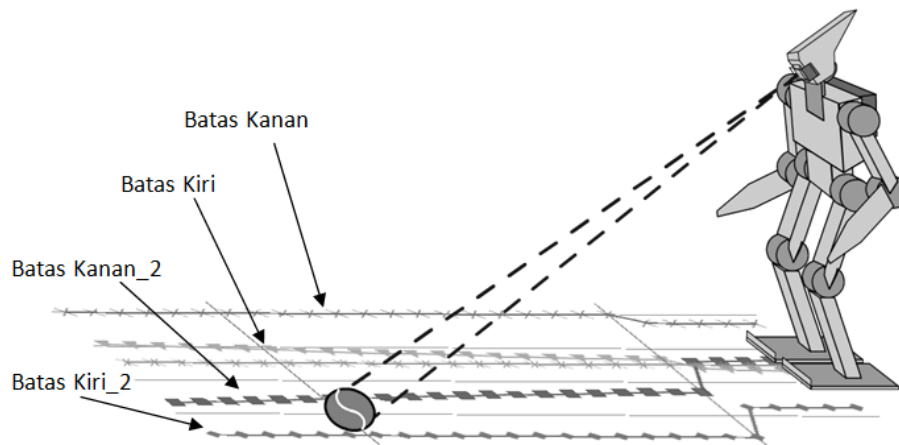
menendang ke arah yang tidak seharusnya juga dapat diperkecil. Gambar 7 menunjukkan algoritma penentuan orientasi robot.



Gambar 6. Diagram alir algoritma mendekati bola



Gambar 7. Diagram alir algoritma penentuan orientasi robot

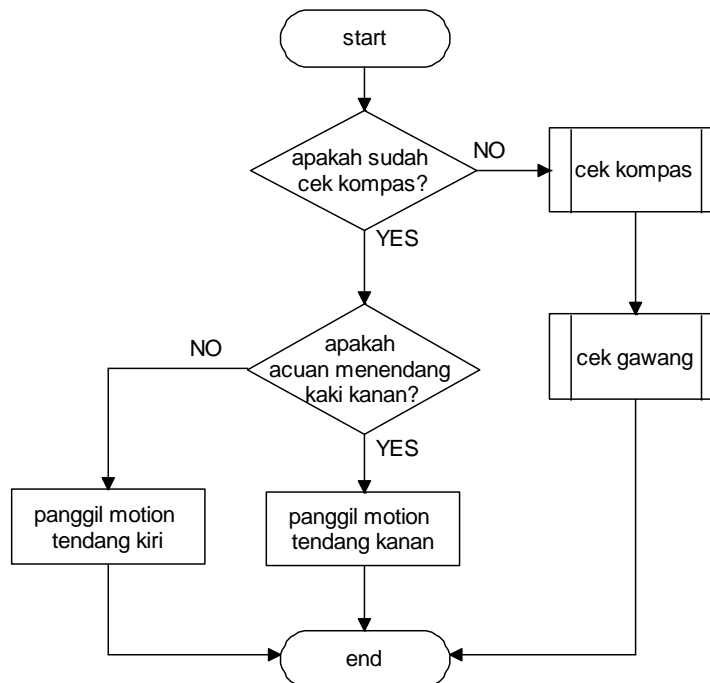


Gambar 9. Rute pergerakan, robot, dan bola

Ketika bola cenderung berada di sebelah kiri robot, maka robot akan menggunakan batas kanan_2 dan batas kiri_2 sebagai rute pergerakan robot. Sebaliknya, jika bola cenderung berada di sebelah kanan robot, maka akan digunakan batas kanan dan batas kiri sebagai rute pergerakannya.

3.2.7. Algoritma Menendang Bola

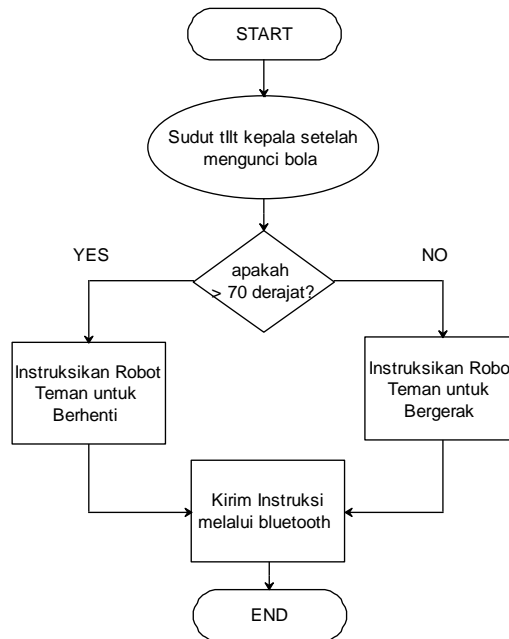
Sebelum robot melakukan *shooting*, dipastikan robot telah melakukan proses penentuan orientasi robot dan penentuan posisi gawang sehingga kemungkinan robot menendang ke arah yang tidak seharusnya dapat diminimalkan. Gambar 10 menunjukkan diagram alir algoritma menendang bola.



Gambar 10. Diagram alir algoritma menendang bola

3.2.8. Algoritma Komunikasi Robot

Untuk komunikasi antar robot, digunakan *bluetooth* sebagai media komunikasi data nirkabel. Bluetooth ini memiliki antarmuka serial UART yang sudah berlevel tegangan TTL sehingga dapat langsung digunakan dengan mikrokontroler ATmega8. Algoritma komunikasi robot ini sederhana, ketika satu robot sudah dekat dengan bola maka robot itu akan menginstruksikan robot lain untuk berhenti sampai robot yang memegang bola menginstruksikan untuk kembali bergerak. Berikut adalah diagram alir algoritma komunikasi antar robot.



Gambar 11. Diagram alir algoritma komunikasi

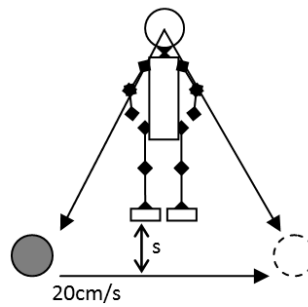
4. Pengujian dan Pembahasan

Pada bagian ini akan dipaparkan mengenai pengujian algoritma yang diterapkan dan analisis hasil pengujiannya. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kinerja algoritma yang telah dikembangkan dan tingkat keberhasilan spesifikasi yang diusulkan.

4.1. Pengujian *Overshoot* Servo Kepala

Pengujian dilakukan dengan menggelindingkan bola dengan kecepatan kira – kira 20 cm per detik dari beberapa jarak (s) berbeda dari robot. Gambar 12 menunjukkan ilustrasi pengujian *overshoot* servo.

Overshoot diukur dengan menghitung waktu kepala robot bergerak setelah bola berhenti (semakin cepat waktu berhenti maka sistem semakin baik). Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian *overshoot* servo kepala robot pada berbagai jarak bola dari robot.



Gambar 12. Ilustrasi pengujian *overshoot* servo kepala

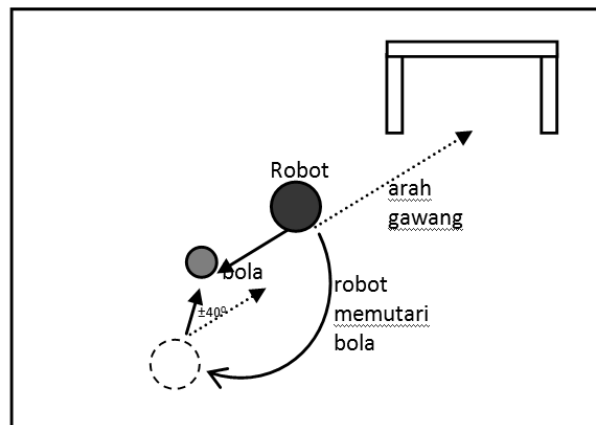
Tabel 1. Pengujian *overshoot* servo kepala

Posisi bola terhadap robot (cm)	Lama <i>overshoot</i> (ms)
10	810
30	670
60	480
100	400
200	250

Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa waktu *overshoot* semakin besar apabila jarak bola dengan robot semakin dekat. Meskipun demikian waktu *overshoot* terlama dalam pengujian ini tetap di bawah 1 detik. Sebelum dilakukan optimalisasi, *overshoot* terlama 1,4 detik.

4.2. Pengujian Keberhasilan Robot Memutari Bola

Pengujian dilakukan dengan menjalankan robot berlawanan arah 180° dengan arah gawang lawan, kemudian memutari bola sampai sudut toleransi sesuai. Keberhasilan diukur dengan mengamati apakah robot menyampar bola atau tidak. Berikut ini adalah ilustrasi dari pengujian yang dilakukan.

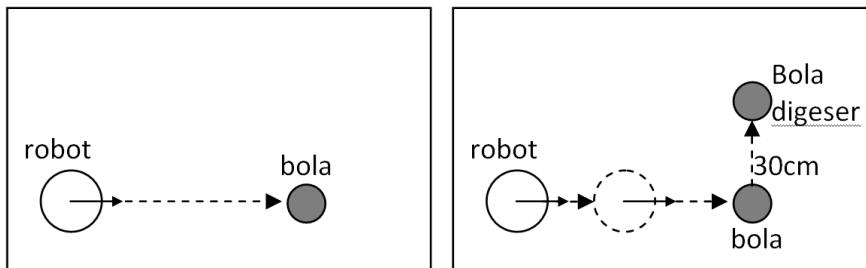


Gambar 13. Ilustrasi pengujian robot memutari bola

Dari 10 kali percobaan didapatkan persentase kesesuaian robot arah terhadap gawang sebesar 100% dan persentase robot tidak menyampar bola sebesar 80%. Saat robot menyampar bola disebabkan oleh *motion cut* sehingga kaki robot terpeleset dan menyampar bola. Sebelum dilakukan optimalisasi persentase kesesuaian arah sebesar 90% dan persentase tidak menyampar bola sebesar 70%.

4.3. Pengujian Respon Robot terhadap Perpindahan Bola

Pengujian dilakukan dengan menggeser bola sejauh kira – kira 30 cm ke samping ketika robot bergerak dalam berbagai macam kondisi pergerakan. Respon robot diukur dengan mulai dari bola selesai dipindahkan sampai robot berhenti melakukan motion sebelumnya dan mengikuti perpindahan bola dengan melakukan *motion* yang sesuai. Gambar 14 menunjukkan ilustrasi pengujian.

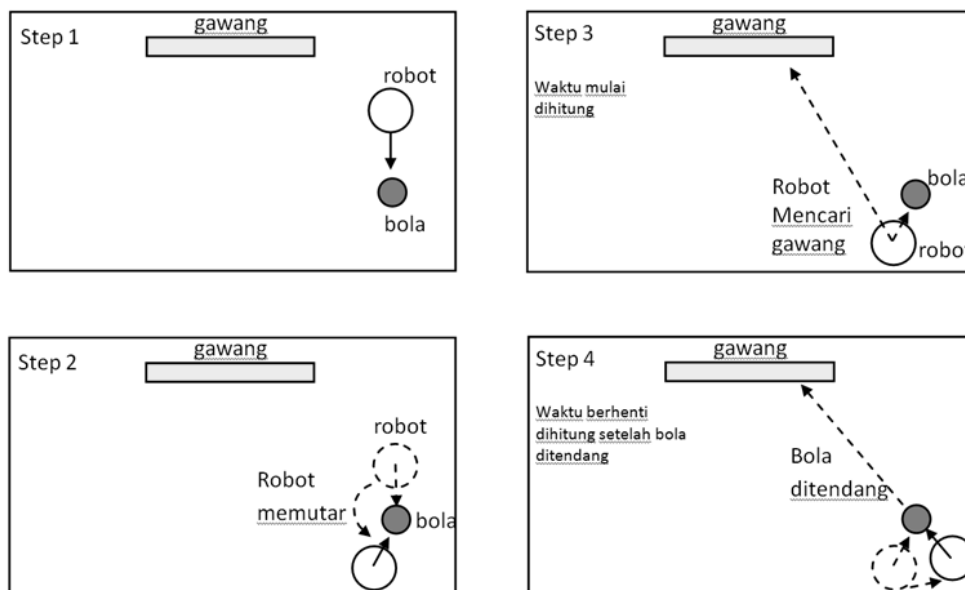


Gambar 14. Ilustrasi pengujian respon robot terhadap perpindahan bola

Dari 10 kali pengujian didapatkan waktu respon bervariasi antara 320 ms – 630 ms dengan rata – rata 417 ms. Berarti robot rata – rata dapat merespon perpindahan bola dalam waktu kurang dari setengah detik.

4.4. Pengujian Kemampuan Robot Mengarahkan Bola ke Gawang

Pengujian dilakukan dengan memosisikan bola pada daerah samping gawang supaya robot harus mencari posisi gawang dan mengarahkan diri ke gawang. Robot kemudian dijalankan dengan posisi membelakangi gawang sehingga robot harus memutar menyesuaikan kompas terlebih dahulu baru kemudian bersiap untuk mengarahkan diri ke gawang. Waktu diukur dari robot memulai melihat gawang sampai robot melakukan tendangan dan posisi bola berjarak antara 5 - 10 cm dari robot. Gawang yang digunakan berupa objek warna kuning dengan lebar 1.5 meter. Gambar 15 menunjukkan ilustrasi pengujian.



Gambar 15. Ilustrasi pengujian robot mengarahkan bola ke gawang

Dari 10 kali percobaan, rata – rata robot membutuhkan waktu 11 detik untuk melakukan tendangan sejak gawang terlihat dalam jangkauan. Persentase keberhasilan dalam mencetak gol mencapai 90%. Sebelum dilakukan optimalisasi, rata – rata robot membutuhkan waktu 27 detik untuk proses yang sama dan persentase keberhasilan mencetak gol hanya 60%.

4.5. Pengujian Sistem Komunikasi Robot

Pengujian pertama adalah pengujian proses pengiriman data yang dilakukan dengan memberi LED pada *board* komunikasi sebagai penanda dan kemudian robot dimainkan. Keberhasilan diukur dengan nyala LED ketika robot sudah mendapat bola dan mematikan LED kembali setelah posisi bola jauh atau bola sudah ditendang.

Pengujian kedua adalah pengujian sistem keseluruhan yang dilakukan dengan 2 robot yang dijalankan bersamaan. Keberhasilan diukur dengan berhentinya salah satu robot ketika robot yang lain sudah mendapat bola dan robot dapat kembali bergerak tanpa kesalahan pemanggilan *motion* setelah bola sudah ditendang atau sudah tidak dikuasai oleh robot.

Kedua pengujian di atas berhasil dengan sempurna. Robot yang tidak mendapat bola selalu dapat berhenti untuk memberi kesempatan robot yang mendapat bola untuk melakukan manuver untuk mencetak gol.

5. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, perealisasiian dan pengujian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses pemanggilan motion tanpa menggunakan *counter* dapat lebih responsif dalam menanggapi perpindahan bola.
2. Penggunaan sudut *pan* dan *tilt* dalam menentukan batasan-batasan robot melakukan *motion* memutari bola dapat memperkecil kemungkinan tersamparnya bola oleh kaki robot.
3. Optimalisasi algoritma – algoritma yang berkaitan dengan eksekusi tendangan telah dapat meningkatkan kecepatan dan kemungkinan robot dalam mencetak gol.
4. Fitur komunikasi antar – robot efektif dalam mencegah terjadinya rebutan bola.

Daftar Pustaka

- [1] P. Nasrollahi, S. Jafari, M. Bazmara, and A. Nikooee, "Player level decision making of humanoid soccer robots using fuzzy rule – based classification system," *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, vol. 3, no. 11, hal. 439 – 446, 2013.
- [2] R.D. Airlangga, S. Nugroho, and B.W. Yohanes, "Optimizing ball detection algorithm using center of gravity method and servo pan and tilt controller for humanoid soccer robotic based on Android," *In Proc Engineering International Convergence UNNES Conservation*, hal. 142 – 146, 2013.

