

SISTEM KOORDINASI DAN KECERDASAN BUATAN UNTUK STRATEGI BERTANDING PADA ROBOT SOCCER

Prabancoro Adhi Catur Widagdo, Ermita Dwi Rachmawati, Renita Chulafaurrosyda, dan Indra Adji Sulistijono

Program Studi D4 Teknik Mekatronika, Departemen Teknik Mekanika dan Energi,
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Email: carok_army@yahoo.co.id, ermita@student.eepis-its.edu, sayaka_kiruchan@yahoo.com, indra@eepis-its.edu

Abstract

This research presents an autonomous control system of multi-agent robot soccer. The control system is used to realize the holonomic movement of 2 agent robot to make their trajectory. A movement of multi-agent robot soccer is based on visualization by a camera which located above the robot field. A visualization involves process of color detection, such as marker detection and ball detection. The results will processed into coordinate data to make conversion become angle data, distance data and heading angle of agent robot. The generated data will broadcast serially and the agent robot will receive the appropriate data to make a movement. The movement data will processed by the Distribution of Vector Equation. The resulting motion are linear motion, angular motion, and mixed of linear and angular. The results of the system that have been made are work properly, which have a record of agent robot movement, the error data is 1,44%.

Keywords: Broadcast, Color Detection, Distribution of Vector, Holonomic, Multi-agent Robot Soccer, Trajectory.

1. PENDAHULUAN

Saat ini pengembangan sistem dan kecerdasan buatan pada *robot soccer* menjadi hal yang terus berusaha untuk ditingkatkan sejalan dengan perkembangan teknologi yang sangat pesat. Dengan adanya berbagai ajang *robot soccer* internasional seperti ajang *Robocup International* yang rutin diadakan setiap tahun, maka dibutuhkan penelitian dan pengembangan *Robot Soccer* agar memiliki kecerdasan dalam berkoordinasi, menyusun strategi, berperilaku dan mampu mengenali lingkungan (bola, gawang, lawan & kawan). Isu dari ide-ide brilian yang muncul adalah kecerdasan layaknya meniru tingkah laku makhluk hidup (Sulistijono, *et al.*, 2009) (Sulistijono, *et al.*, 2010). Faktanya teknologi kecerdasan seperti *fuzzy*, *neural network*, dan evolusi komputasi telah diaplikasikan sebagai sistem yang mampu berinteraksi terhadap lingkungan (Sulistijono dan Kubota, 2007) (Kubota, 2007), *artificial life*, *autonomous guided vehicles and soccer robots*, *search and*

rescue system by multiple robot (Sulistijono, *et al.*, 2000) (Kubota, *et al.*, 2006) (Kubota, *et al.*, 2007).

Gagasan baru dalam penelitian kali ini adalah membahas tentang sistem koordinasi dan kecerdasan buatan guna menyusun strategi bertanding pada *robot soccer*. Skema koordinasi didasarkan pada pemantauan kamera, pengolahan data dari kamera (komputasi), pengidentifikasian hasil pengolahan data, pemetaan lokal dan global. Sedangkan kecerdasan buatan merupakan tindak lanjut dari pemetaan, yakni untuk menentukan arah *trajectory*, perilaku terhadap lingkungan (menghindari lawan, mencari bola, mengoper bola, dan menendang), selain itu sebagai perilaku untuk berkoordinasi membangun strategi penyerangan maupun strategi pertahanan).

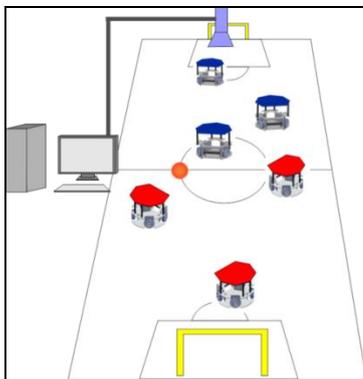
Secara terperinci pengolahan data kamera dilakukan dengan menggunakan metode deteksi warna, deteksi objek dan integral proyeksi sebagai pemetaan lokal

(mengetahui posisi robot) dan pemetaan global (mengetahui posisi bola, lawan, kawan, dan gawang), sehingga pada komputasinya bisa diketahui arah *trajectory* untuk masing-masing robot. Sedangkan penggunaan *multi-agent system* adalah sebagai pembentuk pola dan pengambilan keputusan dalam berperilaku, seperti menentukan waktu yang tepat bagi *robot soccer* untuk menyerang, bertahan, mengoper dan menendang, serta menentukan langkah tepat yang harus dilakukan saat ada lawan yang menghadang. Sehingga, diharapkan *robot soccer* secara otomatis dapat meniru perilaku manusia dalam bermain bola.

2. METODE

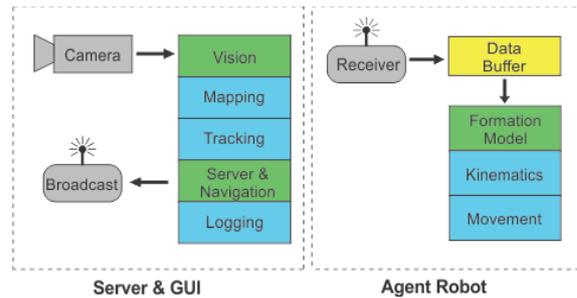
Skema *Multi-agent Robot Soccer*

Rancangan skema alur kerja *multi-agent robot soccer* adalah meniru pola pertandingan *robot soccer* dalam *SSL RoboCup* yaitu terdiri dari lapangan pertandingan yang beralaskan spons, dan terdapat kamera yang menghadap ke bawah tepat ke arah lapangan, PC dan *multi-agent* robot, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1: Skema Koordinasi *Robot Soccer*

Secara umum sistem *multi-agent robot soccer* dibentuk dari proses visualisasi oleh kamera yang kemudian diolah agar didapatkan data-data yang berguna untuk proses kendali pergerakan dan membantu pembentukan pola perilaku seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2: *Offboard Control System*

(Sumber: Biswas, J., Erdogan, C., Etling, P.A., Tao, Y., and Veloso, M., 2001, "CMDragons 2001 Team Description.")

Sistem pada gambar di atas terbentuk dari 2 blok sistem, yaitu pada sisi PC yang notabene sebagai *Server & GUI* dan sistem pada sisi agen robot. Sistem pada blok *Server & GUI* diawali dari *capture* kamera yang diolah oleh *vision system* agar didapatkan *mapping* serta *tracking*, disisi lain *server & navigation* membantu proses kontrol dan pemantauan. Terdapat juga fungsi *logging* data. Apabila *server* melakukan *broadcast* data maka pada sisi agen robot akan menerima kiriman data yang kemudian akan di-*parsing* dan diolah untuk dijadikan *trajectory* dan pembentukan pola perilaku.

Identifikasi Posisi *Multi-agent Robot Soccer*

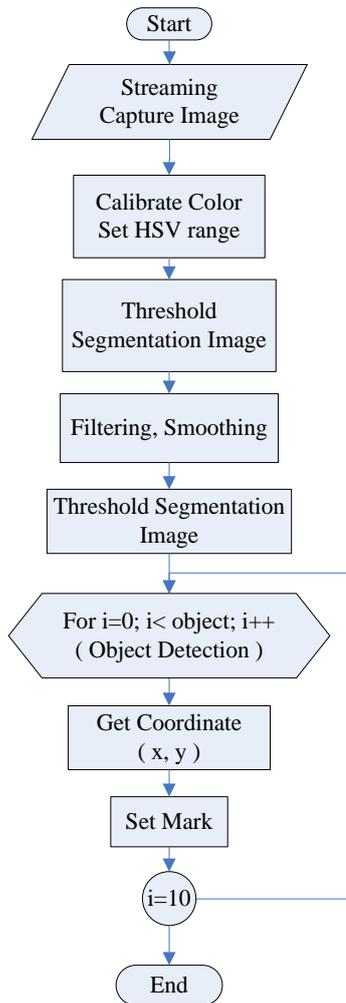
Pemetaan merupakan suatu cara untuk mengetahui kondisi dari suatu agen robot, yaitu untuk mengetahui posisi robot berada. Hal tersebut dapat dideteksi dan diidentifikasi menggunakan pengolahan citra digital (Basuki, 2007). Proses dilakukan dengan masukan berupa citra (*image*) dan hasilnya juga berupa citra (*image*). Metode yang digunakan adalah metode deteksi warna, deteksi objek, filterisasi dan integral proyeksi (Wahyu, 2010).

Warna *marker* yang dideteksi pada *multi-agent* robot adalah warna merah, biru, hijau dan orange, seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3: *Multi-agent Robot Soccer*

Algoritma pengolahan citra digital dan identifikasi objek ditunjukkan oleh Gambar 4.



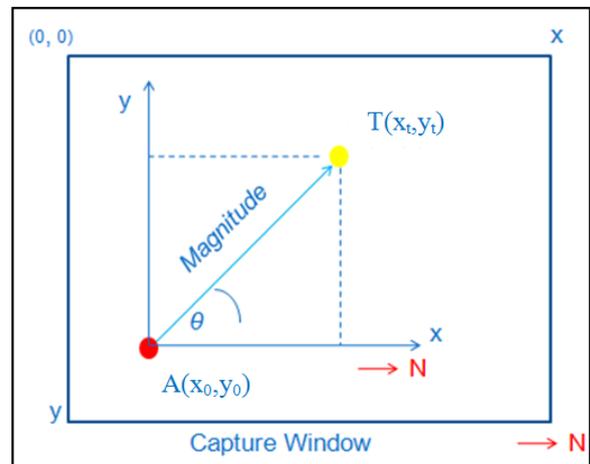
Gambar 4: Flowchart Algoritma Identifikasi Objek

Dalam sistem pemetaan global, digunakan kamera yang digunakan secara khusus untuk mengamati posisi agen robot dan objek lain. Hasil pengamatan kamera diolah menggunakan metode deteksi warna dan identifikasi koordinat masing-masing warna (Basuki, 2007). Kemudian data koordinat selanjutnya dikirim menggunakan komunikasi serial secara *wireless* (Binugroho, 2010). Agar masing-masing agen robot dapat bergerak secara sinkron dengan hasil pengamatan kamera maka setiap agen hanya menerima data sesuai dengan ID masing-masing agen. Sistem bekerja mendekati *real time* dan dikirim dengan interval tertentu, sehingga pergerakan agen robot akan terus terpantau.

Pergerakan & Trajectory

Pada robot terdapat 4 buah aktuator berupa motor DC berukuran kecil yang terintegrasi dengan roda omni, sebuah aktuator sebagai penggerak *dribbler*, dan juga sebuah solenoid *pull* sebagai *kicker*, dan dilengkapi pula dengan tempat *hardware* serta baterai. Dimensi robot secara keseluruhan adalah 180x140mm. Robot tersusun dari beberapa *part* yang memiliki keutamaan sendiri. Disisi lain roda juga disusun dengan sudut yang berbeda, hal ini bertujuan agar robot dapat bergerak secara *holonomic* (De Villiers, 2010).

Pergerakan robot didasarkan pada posisi robot dan target, sehingga membantu dalam penentuan arah dan jarak antara robot dan target (Kurnianto, 2010). Berdasarkan pemetaan yang dilakukan oleh kamera dan pengolahan citra yang dilakukan oleh PC maka data berupa koordinat antara agen robot dan target akan bisa diketahui. Perlu adanya penentuan letak arah mata angin yang berguna sebagai referensi acuan bagi agen robot untuk membentuk sudut. Gambar 5 menunjukkan sebuah tampilan pada *window* di PC dan didalamnya diilustrasikan sebuah agen robot (titik warna merah) dan target (titik warna kuning).



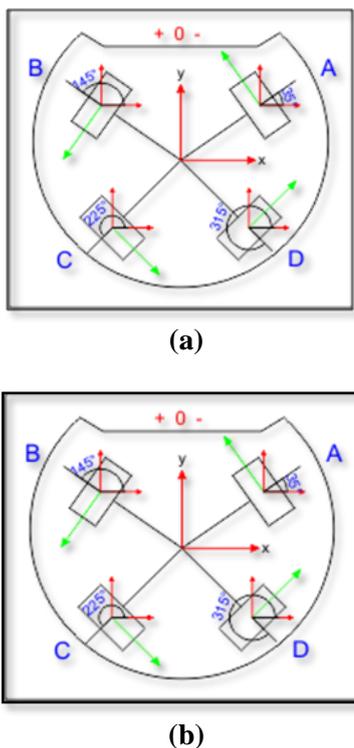
Gambar 5: Window Koordinat Agen Robot dan Target

(1)

Magni (2)

$A(x_0, y_0)$ adalah Agen Robot
 $T(x_t, y_t)$ adalah Poin Target

Dari persamaan di atas maka dapat diketahui arah *trajectory* robot dan dengan menggunakan persamaan gerak dinamik maka agen robot dapat bergerak sesuai arah *trajectory* yang ditentukan (Kurnianto). Berdasarkan desain mekanik yang telah dirancang maka diketahui sudut antar roda yang berbeda. Sudut roda A adalah 35 derajat, roda B 145 derajat, roda C 225 derajat dan roda D memiliki sudut 315 derajat. Penentuan sudut diambil dari sumbu X terhadap garis dari titik pusat robot dengan poros roda. Apabila putaran roda adalah berlawanan arah jarum jam (CCW) maka ditentukan nilai positif “+” dan sebaliknya apabila searah jarum jam (CW) maka ditentukan nilai negative “-“. Sedangkan sebagai referensi “0” derajat bagi arah *trajectory* adalah sejajar sumbu Y. Sehingga bisa ditentukan arah gaya-gaya yang bekerja pada tiap roda dengan mengambil referensi sudut atau arah *trajectory*. Hal ini digambarkan oleh Gambar 6.

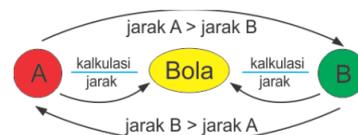


Gambar 6: Distribusi Vektor : (a) Sudut Roda dan (b) Arah dan Besar Vektor
(Sumber: Ribeiro, F., Moutinho, I., Silva, P., Fraga, C., and Pereira, N., “Controlling Omni-directional Wheels of a MSC RoboCup Autonomous Mobile Robot”)

Perhitungan tiap roda didasarkan pada besar dan arah gaya, sehingga perlu diuraikan gaya-gaya yang bekerja agar dapat digunakan untuk memecahkan masalah gerak dinamik dari pergerakan robot.

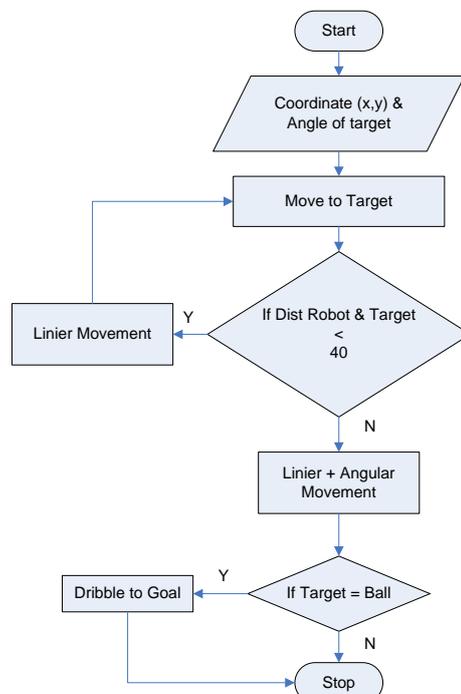
Koordinasi & Pola Perilaku Agen Robot

Di dalam sistem benam agen robot diimplementasikan program *embedded* yang memiliki algoritma untuk menentukan pola perilaku, berkoordinasi dan membentuk *trajectory*. Hierarki yang ditanamkan dalam program dideskripsikan seperti pada Gambar 7.



Gambar 7: Coordination Hierarchy

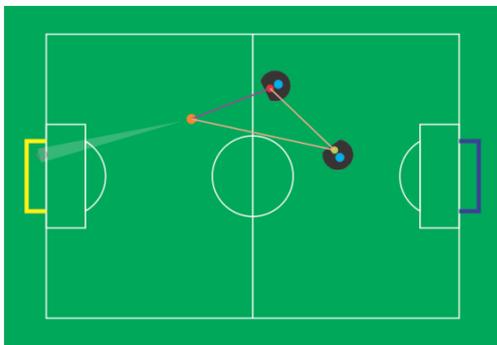
Apabila perhitungan jarak antara A (robot 1) dengan bola adalah lebih kecil daripada B (robot 2) dengan bola, maka A akan bergerak ke bola dan B akan bergerak menuju A. Demikian pula sebaliknya dengan B. Hal inilah yang menjadi dasar penentuan *leader* & *follower*. *Leader* adalah agen robot yang hierarkinya bergerak menuju bola. Sedangkan algoritmanya ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8: Flowchart Behavior Agen Robot

Algoritma program berlaku bagi setiap agen robot, dan parameter yang digunakan adalah data yang dikirimkan oleh PC dan merupakan hasil deteksi serta pengolahan data oleh *GUI*. Data yang dikirimkan akan digunakan untuk membentuk pergerakan yang notabene diproses dengan perhitungan dari Distribusi Vektor, yaitu gerak linier & *angular*. Sedangkan data yang lain digunakan sebagai acuan untuk membentuk pola perilaku.

Formasi agen robot yang dibentuk berdasarkan algoritma program apabila divisualisasikan akan tampak seperti pada Gambar 9.

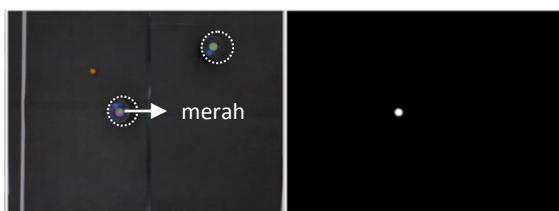


Gambar 9: Visualisasi *Multi-agent Robot Soccer*

Visualisasi di atas mengilustrasikan bahwa *leader* agen robot bertugas sebagai pencari target dan agen robot yang lain mengikuti *leader*. Garis segitiga mendeskripsikan bahwa formasi akan terlihat dari pola garis yang terbentuk. Sedangkan warna berbeda dari garis menunjukkan bahwa garis tersebut adalah penghubung antara bola dengan *leader*. Dan *leader* akan memposisikan diri menuju *goal* dengan membawa bola.

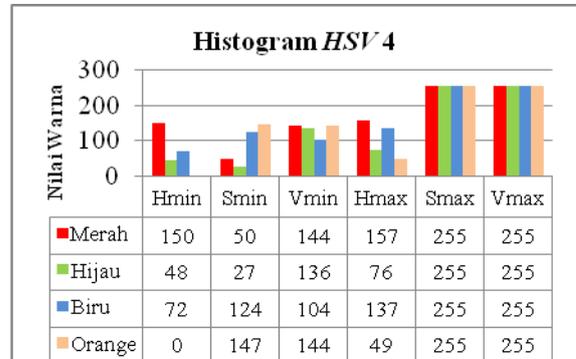
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini merupakan hasil pengujian segmentasi warna dari *marker multi-agent robot soccer*. Gambar 7 menunjukkan hasil segmentasi pada warna merah.



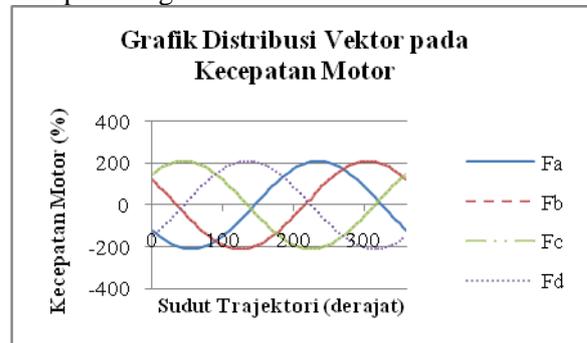
Gambar 10: Hasil segmentasi Warna Merah

Dilakukan juga pengujian segmentasi pada warna-warna yang lain dengan mengkalibrasi nilai-nilai *HSV marker* sehingga menghasilkan data yang akurat. Gambar 11 adalah hasil kalibrasi nilai *HSV marker*.



Gambar 11: Hasil Kalibrasi Nilai *HSV Marker Multi-agent Robot Soccer*

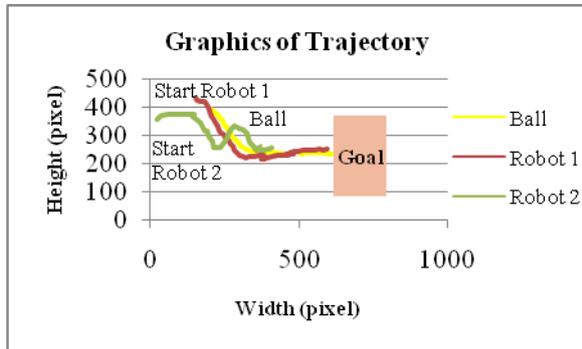
Selanjutnya adalah pengujian kecepatan antar roda ketika robot bergerak menuju target. Pengujian dilakukan dengan arah hadap robot yang tetap yaitu menghadap ke sudut 180 derajat dan sudut target yang dipindah-pindah. Gambar 12 menunjukkan data kecepatan pada setiap roda agen robot.



Gambar 12: Data Kecepatan Roda Hasil Implementasi Persamaan Distribusi Vektor

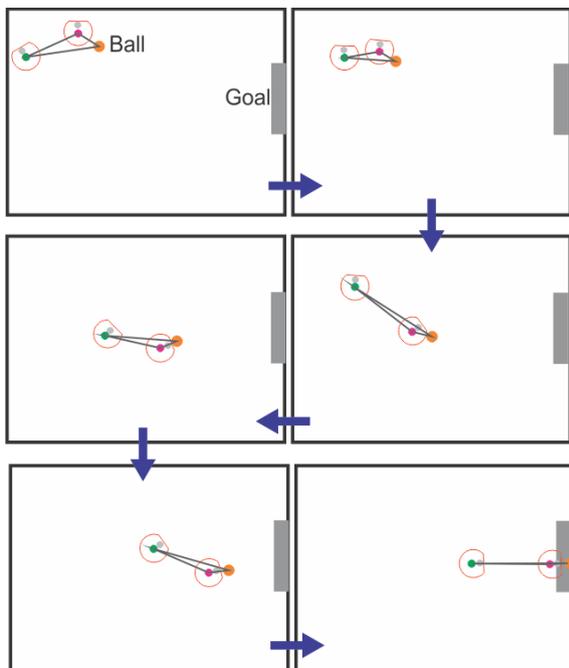
Dari Gambar 12 dapat dianalisa bahwasanya data kecepatan ketika target berada pada 0 derajat dan 360 derajat adalah sama dan berbanding terbalik nilainya ketika *angle* target berada pada 180 derajat. Yang membedakan hanya nilai negatif dan positifnya (- / +) saja. Demikian halnya pula dengan data pada lajur kanan dan kiri yang saling berkebalikan nilai. Nilai negatif dan positif menandakan putaran roda (*CW / CCW*) dan besarnya nilai menunjukkan besar kecepatan pada motor.

Gambar 13 adalah grafik hasil pengujian persamaan Distribusi Vektor dan *trajectory* ketika robot bergerak menuju target.



Gambar 13: Grafik *Trajectory Multi-agent Robot Soccer*

Dari grafik di atas dapat dianalisa bahwa robot 1 bergerak dari sisi kiri atas menuju bola dan menggiring bola menuju ke tengah lalu mengarah ke gawang. Disisi lain robot 2 bergerak dari posisi yang hampir sama dengan robot 1, yaitu sebelah kiri robot 1. Robot 2 bergerak mengikuti robot 1 yang notabene lebih dekat dengan bola dan mempunyai hierarki sebagai *leader* dan robot 2 merupakan *follower*. Grafik *trajectory* seperti pada Gambar 13 memiliki kesesuaian dengan Gambar 14.

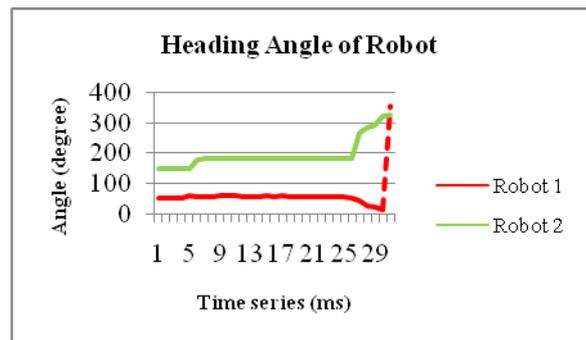


Gambar 14: *Capture Gambar Tracking Goal*

Dari Gambar 11 dapat diketahui proses pencarian dan *tracking* target kemudian pergerakan menuju *goal*, serta pola perilaku yang ditunjukkan *multi-agent* robot. Gambar di atas merupakan hasil *capture video streaming* yang diambil kedalam beberapa potongan klip gambar. Tanda lingkaran putih menunjukkan agen robot, dan oval berwarna putih menunjukkan bahwa agen robot sedang menggiring bola.

Pola garis pada Gambar 14 terdiri dari warna hijau tua dan hijau muda. Garis berwarna hijau tua menandakan hubungan yang dibentuk antara *leader* agen dengan bola, dan warna hijau muda adalah hubungan antara *follower* dengan *leader* dan terhadap bola. Berdasarkan Gambar 14 dapat diketahui bahwa robot 1 (*marker* berwarna merah) adalah sebagai *leader* dan bertugas menuju bola, sedangkan robot 2 (*marker* berwarna hijau) adalah sebagai *follower* dan bertugas mengikuti *leader*. Secara garis besar seluruh pengujian *formation behavior* dapat dianalisa bahwa pembentukan perilaku masing-masing agen robot didasarkan pada kondisi dimana posisi robot berada. Apabila salah satu agen robot berada lebih dekat dengan bola maka agen robot tersebutlah yang menjadi *leader* dan yang lain sebagai *follower*.

Gambar 15 merupakan grafik *absolut heading angle* ketika *multi-agent* robot bergerak menuju ke target.



Gambar 15: Grafik *Absolut Heading Angle Multi-agent Robot*

Grafik di atas menunjukkan bahwa robot bergerak dengan arah hadap yang stabil. Hal ini diketahui dari grafik robot 1 yang lurus dan kemudian melengkung secara perlahan, serta garis merah putus-putus menandakan bahwakan robot berputar ke kanan (berputar

dari 50-0-357 derajat). Sedangkan robot 2 memutar kekiri yang menandakan target berada pada sisi kiri robot dan target berada pada sisi kanan robot 1.

Berdasarkan grafik *heading angle* pada agen robot, dapat dianalisa bahwa masing-masing robot mempunyai kemampuan untuk bergerak menuju target dengan arah hadap yang cukup stabil. Arah hadap terhadap target penting dalam membantu agen robot untuk memposisikan diri. Dalam pergerakan *linier* tidak dibutuhkan penggunaan *heading angle*, tetapi akan sangat dibutuhkan dalam pergerakan *angular* dan percampuran gerak *linier* dan *angular*.

Berdasarkan hasil semua pengujian secara umum dapat dianalisa bahwa sistem dari *multi-agent robot soccer* secara bertahap diawali dari sistem penginderaan oleh kamera, yaitu pendeteksian dan pengidentifikasian warna *marker* agar dapat diketahui informasi didalamnya. Informasi berupa data posisi (koordinat) yang selanjutnya diolah menjadi data berupa sudut, jarak dan arah hadap agen robot. Sistem diolah dan divisualisasikan oleh *GUI* dan data juga dikirimkan (*broadcast*) secara serial kepada agen robot. Selanjutnya data terima diolah oleh sistem benam pada *hardware* robot dengan mengimplementasikan persamaan Distribusi Vektor, sehingga agen robot mampu bergerak menuju target dan membentuk pola perilaku sesuai dengan algoritma program yang telah dibuat. Pergerakan agen robot divisualisasikan agar dapat diketahui *trajectory*-nya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembuatan, pengujian dan hasil analisa yang telah dilakukan pada sistem *multi-agent robot soccer*, maka pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa deteksi menggunakan kamera webcam dengan jarak lebih dari 1 meter adalah kurang akurat dan *error* data pendeteksian *marker* sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya, sehingga perlu dilakukan kalibrasi nilai *HSV* untuk mendapatkan hasil yang akurat. Disisi lain E-MARS *GUI* cukup handal dalam melakukan visualisasi, akurat dalam menentukan identitas dan arah hadap *multi-agent robot soccer*, serta pemodelan persamaan Distribusi Vektor pada *multi-agent*

robot teruji dengan baik dan cukup handal dalam membuat *trajectory*, yaitu semua roda berputar sebanding dari nilai -210 (CW) sampai 210 (CCW), selain itu dari pengambilan data ketika agen robot bergerak didapatkan data error 1.44% dari seluruh data yang terekam.

Pembentukan formasi dan pola perilaku - *multi-agent* robot didasarkan pada posisi antar robot serta bola, sehingga *Multi-agent* robot memiliki kecerdasan dalam mencari bola, berkoordinasi, dan menggiring bola kedalam gawang.

5. REFERENSI

- Basuki, A., 2007, *Pengantar Pengolahan Citra*, Lecture handout: Image Processing, PENS-ITS, Surabaya.
- Basuki, A. dan Ramadijanti, N., *Image Processing*. Laboratorium Computer Vision, PENS-ITS.
- Biswas, J., Erdogan, C., Etling, P.A., Tao, Y., and Veloso, M., 2001, "CMDragons 2001 Team Description.
- De Villiers, M. and Bright, G., 2010, "Development of a Control Model for a Four Wheel Mecanum Vehicle", *25th Internationa Conference of CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future Conference*, Pretoria, South Africa, 13-16 July.
- Henfri, E., 2010, *Protokol Komunikasi Data antar 2 PC dengan Interface RS232*, Lecture handout: Interfacing-Teknik Mekatronika, PENS-ITS, Surabaya.
- Kubota, N., Tajima, K., and Yasuda, Y., "Formation Behaviors based on Spring Model in Ultimate Simulator".
- Kubota, N. and Aizawa, N., 2007, "Intelligent Control of A Multi-agent System based on Multi-objective Behavior Coordination", *Proceeding of the 2007 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, pp.184-189.
- Kubota, N. and Aizawa, N., 2006, "Intelligent Control of Multi Partner Robots Interacting With Humans", pp.1977-1982.

- Kurnianto, I., 2010, *Implementasi Metode Vector-Distance Function sebagai Metode Penghindaran Halangan untuk Autonomous Mobile Robot*, Proyek Akhir, PENS-ITS, Surabaya.
- Ribeiro, F., Moutinho, I., Silva, P., Fraga, C., and Pereira, N., "Controlling Omni-directional Wheels of a MSC RoboCup Autonomous Mobile Robot.
- Satria, R., 2003, "Pengantar Multi Agent System (MAS)", dalam *Kuliah Umum Ilmu Komputer.Com*, hal.1-16.
- Sulistijono, Indra A., Kuswadi, S., Binugroho, Eko H., Jazidie, A., 2009, "Pengembangan Mekanisme Multiplatform Robot Pencari Korban Bencana Alam", *Proceeding of National Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (1st APTECS)*, Surabaya, Indonesia, Des 22.
- Sulistijono, Indra A., Setiaji, O., Salfikar, I., Aziz, M.N., 2010, "Kendali Keseimbangan Pada Humanoid Robot Soccer", *Proceeding of Modern Electrical Engineering Technology and Its Application Seminar 2010 (MEETAS 2010)*, Bandung, Indonesia, Mar 20, hal. D5
- Sulistijono, Indra A., Ardiansyah R., 2010, "Facial Expression Simulator Control System Using OpenGL Graphical Simulator", *Proceeding of Industrial Electronics Seminar 2010 (IES 2010)*, Surabaya, Indonesia, Nov 3.
- Sulistijono, Indra A., Kuswadi S., Sigit, R., 2000, "Reach Target and Obstacle Avoidance Behavior Menggunakan Sistem Kendali Fuzzy Untuk Sistem Navigasi Autonomous Mobile robot", *Proceeding Seminar Komputer dan Sistem Intelijen 2000 (KOMMIT 2000)*, Universitas Gunadarma, Jakarta, Indonesia, Agust 23.
- Sulistijono, Indra A., Kubota, N., 2007, "Particle Swarm Intelligence Robot Vision for Multiple Human Tracking of A Partner Robot (in English)," *Proceeding (CD ROM) of the Society of Instrument and Control Engineers Annual Conference (SICE 2007)*, Tokamatsu, Japan, Sep 17-20, hal. 604-608.
- Wahyu, R., 2010, *An Image Processing System for Visual Servoing of Soccer Robot*, Proyek Akhir, PENS-ITS, Surabaya.
- _____, *Praktikum Pengolahan Citra*, PENS-ITS.