Desain dan Realisasi Pemrosesan Citra dengan CMUCam4 untuk Meningkatkan Kinerja Visual Robosoccer

Asep Najmurokhman*), Kusnandar, Bambang HSR Wibowo, Syurya Abiddin

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Jenderal Achmad Yani

Jl. Terusan Jendr. Sudirman PO Box 148 Cimahi 40533

*) email : asepnajmu@yahoo.com

Abstrak—Robot sepakbola (*robosoccer*) adalah sebuah robot humanoid yang dirancang agar dapat bermain sepak bola seperti layaknya tim sepakbola manusia. Kemampuan yang dimiliki oleh sebuah *robosoccer* adalah identifikasi terhadap bola, pemain dalam satu tim, pemain lawan, dan gawang. Makalah ini memaparkan tentang desain dan realisasi pemrosesan citra bola, garis, dan gawang untuk meningkatkan kemampuan visual sebuah robot sepakbola (*robosoccer*). Metode penelitiannya mencakup pelacakan warna dengan menggunakan sensor kamera CMUCam4 yang sudah dilengkapi dengan pemroses citra digitalnya. Pelacakan warna adalah kemampuan untuk mengambil suatu gambar, mengisolasi warna tertentu, dan mengekstrak informasi tentang lokasi suatu daerah gambar yang berisi warna tertentu. Untuk menentukan warna tersebut, diperlukan nilai minimum dan nilai maksimum untuk tiga kanal warna. Setiap warna yang unik dihasilkan melalui proses pencampuran nilai merah, hijau dan biru (RGB) dengan komposisi tertentu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan pengolah citra CMUCam4 dalam aplikasi *robosoccer* dapat meningkatkan kinerja visual *robosoccer* dalam mengenali bentuk dan warna bola, gawang, dan tepi garis lapangan.

Kata kunci—*robosoccer*; pelacakan warna; RGB; CMUCam4.

I. PENDAHULUAN

Robot sepakbola adalah sekumpulan robot humanoid yang bekerja sama menghasilkan gol ke gawang lawan [1]. Menurut FIRA (*federation of international robosoccer association*) sebagai organisasi yang mengembangkan robot sepakbola, penelitian terkait dengan robot sepakbola mencakup penelitian tentang koordinasi antar bagian dalam satu tim yang masing-masing anggotanya disebut agen, sehingga tim robot sepakbola disebut *multi agent* [2]. Setiap agen memiliki dinamika dan karakteristik spesifik tetapi secara keseluruhan tim tersebut harus berkoordinasi mencapai tujuan yang diinginkan. Kemampuan yang dimiliki oleh sebuah *robosoccer* adalah identifikasi terhadap bola, pemain dalam satu tim, pemain lawan, dan gawang. Kemampuan tersebut harus ditunjang oleh kinerja visual *robosoccer* dalam mengenali objek yang ada di sekelilingnya. Beberapa peneliti telah melaporkan tentang strategi dan algoritma dalam

mengenali objek bola dalam aplikasi *robosoccer* [3-6]. Zhang dkk. dalam [3] menjelaskan tentang algoritma pengenalan bola berbasis pandangan ke segala arah dengan menggabungkan metode pengenalan citra tertentu dan metode komputasi *AdaBoost* untuk pengklasifikasi datanya. Rahman dan Widodo dalam [4] menguraikan tentang metode pelacakan posisi bola berwarna dengan kamera kecil yang terpasang pada robot kemudian menerapkan penapisan (*filtering*) warna berdasarkan model warna HSL (*Hue-Saturation-Lightness*) untuk setiap *frame* dalam gambar video. Lu dkk. dalam [5] mendeskripsikan tentang metode pengenalan bola tanpa klasifikasi warna bola. Hwang dkk. dalam [6] memaparkan metode pengenalan bola dan gawang sebuah *robosoccer* dengan teknik jaringan syaraf artifisial dan strategi navigasi visualnya. Dalam konteks penggunaan sensor untuk mendukung kinerja visual robot, Bećanović dkk. dalam [7] memperkenalkan sensor optik *neuromorphic* yang disusun oleh rangkaian terpadu tipe VLSI (*very large scale integration*) dengan kemampuan komputasi gerak dan estimasi posisi spasial objek yang bergerak. Sementara itu, Dodds dkk. dalam [8] mengusulkan metodologi *benchmarking* dan ukuran kinerja untuk sistem visual *robosoccer*.

Berkaitan dengan pengenalan objek, ada dua pendekatan yang dilakukan dalam mengenali benda di sekeliling *robosoccer*, yaitu melibatkan warna [4, 6] atau tanpa klasifikasi warna [5, 9]. Dalam hal tanpa klasifikasi warna, *robosoccer* hanya mengenali bentuk dan harus mampu membedakan bentuk benda di sekelilingnya. Dalam makalah ini, pengenalan objek benda yang harus dikenali oleh *robosoccer* melibatkan warna dari benda tersebut. Objek tersebut ditangkap oleh sensor kamera yang terpasang di kepala robot dan citranya diolah melalui prosesor citra CMUCam. Penggunaan prosesor citra CMUCam dalam kompetisi robotika sudah dimulai sejak tahun 2008 [10]. Dewasa ini, CMUCam menjadi komponen standar dalam aplikasi-aplikasi yang membutuhkan sensor visual yang kecil, kompak, berdaya rendah, dan cerdas [11]. Disamping memiliki keunggulan dalam spesifikasi teknisnya, perangkat lunak yang bersifat *open source* untuk menjalankan fungsi

CMUcam menjadi daya tarik bagi peneliti dalam menerapkan sensor visual sebagai komponen utama dalam navigasi sistemnya.

II. PERANCANGAN SISTEM

Diagram blok sistem *robosoccer* yang dibangun dalam penelitian diperlihatkan dalam Gambar 1. Sistem tersebut terdiri atas sebuah pengendali utama berupa mikrokontroler Arduino Uno, mikrokontroler CM-510 sebagai pengendali motor servo untuk menggerakkan robot, sensor kompas sebagai pemandu navigasi robot, dan sensor kamera yang digerakkan oleh motor servo. Sensor kamera yang terpasang pada robot tersebut merupakan pemandu visual robot dalam mengenali objek yang ada di sekelilingnya.

Gambar 1. Diagram blok sistem *robosoccer*

Dalam penelitian ini, sebuah modul sensor elektronis yang sudah dilengkapi dengan prosesor pengolah citra dipasang untuk meningkatkan kinerja visual *robosoccer*. Modul sensor yang digunakan tersebut disebut sebagai CMUcam. CMUcam terdiri dari kamera kecil dan mikrokontroler dengan antarmuka serial. Antarmuka yang ringan pada CMUcam memungkinkan untuk dapat diprogram oleh mikrokontroler. Dalam penelitian ini, seri CMUcam yang digunakan bertipe CMUcam4. Versi tersebut memiliki modul kamera yang dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi dan mampu dihubungkan dengan kontroler utama, seperti PC atau Arduino(AVR). Berbasis prosesor utama Parallax P8X32A yang merupakan *propeller chip* dimana terdapat 8 buah prosesor di dalam chip tersebut, modul kamera ini mampu mengakomodasi pengolahan gambar digital dengan cepat dan data tersebut dapat dibaca dengan mudah oleh mikrokontroler, seperti Arduino Uno. Bentuk fisik CMUcam4 diperlihatkan dalam Gambar 2. Selain memiliki prosesor utama yang cukup tinggi spesifikasinya, CMUcam4 juga menggunakan sensor kamera CMOS OV9665 1.3 MegaPixel yang telah dilengkapi dengan lensa kamera dengan ukuran yang lebih kecil jika dibandingkan dengan CMUcam versi sebelumnya. Selain perbaikan dari sisi fitur dari pengolahan gambar digital, CMUcam4 juga menyediakan tambahan fitur TV-Out yang mampu menampilkan gambar di TV.

Konfigurasi yang paling umum untuk CMUcam4 adalah untuk berkomunikasi dengan prosesor utama yaitu melalui *port serial* TTL menggunakan port TX RX pada komputer (melalui USB atau RS232), Arduino, *Basic Stamp*, PIC, atau mikrokontroler yang sama. CMUcam4 cukup sederhana untuk *embedded system* yang tidak memerlukan komputer untuk memprogramnya karena prosesor utama CMUcam4 ini telah diisi dengan program untuk membaca dan melacak gambar. Pada CMUcam4 juga terdapat beberapa *protocol* atau *command* untuk mengendalikan kamera tanpa di koneksikan dengan komputer cukup dengan mikrokontroler sebagai pengendali pengganti komputer.

Gambar 2. Board CMUcam4 [11]

Untuk mengoperasikan CMUcam4, sebuah perangkat lunak yang disebut dengan CMUcam4GUI telah dibangun untuk mengoperasikan kamera CMUcam4. CMUcam4GUI dapat mengambil gambar dan ditampilkan pada monitor komputer. Gambar yang akan dilacak tersebut dapat diberi kotak untuk dapat dihitung lebar pikselnya dan dapat diberi batas-batas pelacakannya. Dengan menggunakan CMUcam4GUI, batas pelacakan warna untuk sebuah objek dapat ditentukan dengan cepat dalam satu adegan pencahayaan dan memperluas batas pelacakan warna untuk mendukung pelacakan objek dalam mengubah adegan pencahayaannya. CMUcam4GUI juga memungkinkan untuk melihat apa yang dilacak dengan CMUcam4 secara *real time* tanpa TV dengan menampilkan isi dari pelacakan berupa histogram dan bingkai grafis yang dikirim oleh CMUcam4. Tampilan CMUcam4GUI diperlihatkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Tampilan CMUcam4GUI.

Gambar 4. Pelacakan warna

A. Metoda Pelacakan Warna dengan Kamera CMUcam4 [12]

Pelacakan warna adalah kemampuan untuk mengambil suatu gambar, mengisolasi warna tertentu, dan mengekstrak informasi tentang lokasi suatu daerah gambar yang berisi warna tertentu. Untuk menentukan warna tersebut, diperlukan nilai minimum dan nilai maksimum untuk tiga kanal warna. Setiap warna yang unik diwakili oleh nilai merah, hijau dan biru (RGB) yang mengindikasikan berapa banyak setiap warna pada kanal tersebut dicampur. Pada CMUcam4, setiap kanal warna tersebut memiliki batasan nilai dari 0 (nol) sampai 255 sehingga diperlukan enam nilai yang merepresentasikan nilai minimum dan maksimum setiap kanal warna yang ingin dilacak. Setelah ditentukan, CMUcam4 mengambil nilai tersebut dan memulai untuk memproses gambar. Banyak metoda yang dapat dipakai untuk melacak warna, CMUcam4 mengambil metoda yang sederhana yaitu memproses setiap *frame* gambar dari kamera secara terpisah. Dimulai dari bagian atas kiri gambar dan secara berurutan meneliti setiap piksel baris demi baris. Jika piksel tersebut memenuhi nilai warna yang ingin dilacak maka posisi tersebut ditandai. Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan untuk mengetahui posisi kiri atas, kiri bawah, kanan atas dan kanan bawah dari warna yang terlacak pada gambar sehingga terbentuk kotak yang melingkupi warna yang diinginkan tersebut. Pada akhir gambar, CMUcam4 menjumlahkan nilai piksel yang terdapat pada kotak tersebut dan mencari titik tengah dari kotak tersebut. Oleh karena itu, informasi yang dikeluarkan dalam pelacakan warna pada CMUcam4 berupa posisi x awal, y awal, x akhir, y akhir, titik tengah x, titik tengah y, dan jumlah piksel seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 4.

B. 2.2 Diagram alir proses pelacakan warna oleh CMUcam4

Diagram alir umum proses pelacakan warna oleh CMUcam4 untuk aplikasi *robosoccer* diberikan dalam Gambar 5. Dalam diagram alir tersebut, kamera CMUcam4 akan berfungsi apabila diberi perintah untuk melakukan pelacakan warna dengan menggunakan kedua servo yang terhubung pada kamera dan diberi perintah oleh mikrokontroler Arduino sebagai komponen pemroses utama dalam sistem. Dalam proses pelacakan ini kamera akan selalu mengarah pada titik *setpoint* pada jendela kamera CMUcam4 yaitu pada koordinat $[x,y] = [100,11]$ sesuai dengan piksel benda yang dilacak untuk gawang dan $[x,y] = [75,75]$ pada bola. Jika kamera tidak mendapatkan titik koordinat tersebut maka kamera akan melakukan *scanning* sampai mendekati *setpoint* koordinat benda. Pada bagian pengontrol utama Arduino Uno, robot pertama kali dioperasikan dalam keadaan *standby* dengan nilai data pada sensor dalam keadaan 0 atau belum ada kondisi apapun. Ketika "*sound* = 1" maka robot akan mulai bergerak melacak mencari bola warna *orange* sesuai dengan keadaan pada kuadran kamera. Apabila bola tidak terdeteksi maka kamera akan mengambil data dari Arduino dengan nilai parameter RGB 255,73,139. Setelah kamera menemukan *setpoint* maka robot akan berjalan mendekati bola. Jika bola sudah mulai dekat dengan nilai "*koordinatX* != 0 || *koordinatY* != 0 dan *x* Gawang = nilai *Servo x*", maka robot akan mulai melacak warna gawang kuning dengan nilai parameter RGB 226,229,149. Apabila warna gawang tidak terlacak maka kamera akan mengambil data dari Arduino dengan data tersebut. Setelah menemukan gawang, robot akan menentukan arah menendang bola yang searah dengan gawang sehingga nilai parameternya tertentu.

Gambar 5. Sub Proses Diagram Alir Pelacakan Warna oleh CMUcam4.

III. HASIL PENGUJIAN DAN DISKUSI

Proses deteksi objek dengan sensor kamera CMUcam4 menggunakan CMUcam4GUI melalui beberapa tahap yaitu pengambilan gambar benda yang akan dilacak dengan CMUcam4GUI, pemolaan gambar yang dilacak dengan CMUcam4GUI, dan pengambilan parameter nilai RGB dari hasil pemolaan dengan CMUcam4GUI tersebut. Proses pemolaan pada bola dan pengambilan sampel model untuk dapat dilacak oleh kamera CMUcam4 dilakukan agar kamera dapat mengenali dimensi bola dan warna bola dengan cara mengetahui jumlah piksel pada gambar yang diambil oleh kamera CMUcam4 dan dapat mengetahui nilai RGB pada bola tersebut. Pengambilan sampel bolanya diperlihatkan pada Gambar 6.

Pengambilan model gambar dilakukan dengan memotret *frame* pada jendela CMUcam4 lalu memberi tanda kotak pada model bola yang akan dilacak seperti diperlihatkan pada Gambar 7. Dalam penelitian ini, sampel bola berwarna oranye sesuai dengan warna bola yang harus dideteksi oleh *robosoccer* yang digunakan.

Gambar 6. Pengambilan sampel bola

Gambar 7. Pengambilan Warna Pelacakan

Tahap selanjutnya yaitu pemberian tanda dengan mengatur *opacity control* pada GUI dalam Gambar 7(1). Pada bagian *opacity control* terdapat dua bagian pengaturan *frame* dan *bitmap opacity*, masing - masing nilai dari bagian tersebut di perkecil menjadi 0,96 dan 0,50 agar sampel model lebih jelas seperti pada Gambar 7(2), sehingga pada saat pelacakan bola kamera dapat melacak bola dengan baik. Dari pengaturan tersebut, nilai parameter RGB untuk bola diperlihatkan pada Gambar 8.

Gambar 8. Nilai Parameter RGB

Dari proses tersebut, kamera akan memberikan nilai parameter RGB kepada prosesor digital dalam CMUcam4 dan selanjutnya nilai parameter tersebut diberikan dalam inisialisasi program mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengendali utama dalam sistem *robosoccer* ini.

Objek berikutnya yang harus dikenali oleh *robosoccer* adalah gawang dan garis tepi lapang. Dalam hal ini, sampel yang akan diolah oleh CMUcam4 berupa informasi warna dari

gawang dan garis tepi tersebut, seperti diberikan dalam Gambar 9.

Gambar 9. (1) Gambar Gawang dan Tepi Garis; (2) Citra yang diolah oleh CMUcam4.

Gambar 9(1) memperlihatkan citra asli sedangkan Gambar 9(2) adalah citra yang diolah dengan *opacity control* pada GUI kamera ditentukan *frame opacity* dan *bitmap opacity* masing bernilai 0,60 dan 0,27. Nilai tersebut diberikan agar kamera mudah fokus dalam pelacakan warna dan tidak mudah *lost tracking*. Dari hasil pengaturan nilai tersebut, nilai RGB untuk gawang dan garis tepi lapang diperlihatkan pada Gambar 10.

Gambar 10. (1) parameter RGB gawang; (2) parameter RGB Garis Lapangan

Dari hasil proses pengambilan sampel warna untuk proses pelacakan objek didapatkan beberapa nilai parameter RGB pada masing masing objek bola, gawang, dan garis tepi lapangan seperti diperlihatkan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Nilai Parameter RGB untuk dapat melacak bola

No	Parameter Pelacakan	Nilai RGB
1.	RED_MIN	183
2.	RED_MAX	225
3.	GREEN_MIN	72
4.	GREEN_MAX	154
5.	BLUE_MIN	41
6.	BLUE_MAX	139

Tabel 2. Nilai Parameter RGB untuk dapat melacak gawang

No	Parameter Pelacakan	Nilai RGB
1.	RED_MIN	201
2.	RED_MAX	226
3.	GREEN_MIN	212
4.	GREEN_MAX	229
5.	BLUE_MIN	117
6.	BLUE_MAX	149

Tabel 3. Nilai Parameter RGB untuk dapat melacak garis tepi lapang

No	Parameter Pelacakan	Nilai RGB
1.	RED_MIN	195
2.	RED_MAX	215
3.	GREEN_MIN	230
4.	GREEN_MAX	237
5.	BLUE_MIN	231
6.	BLUE_MAX	220

Dalam pengujian sistem, hasil pelacakan terhadap bola dianalisis dengan membandingkan tiga orientasi robot dengan bola masing-masing pada posisi 45°, 90°, dan 135° seperti diilustrasikan dalam Gambar 11-13. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa robot dapat mengenali bola dengan waktu pelacakan berturut-turut sekitar 12,2; 12,6; dan 18,7 detik.

Gambar 11. Pelacakan bola pada orientasi 45°

Gambar 12. Pelacakan bola pada orientasi 90°

Gambar 13. Pelacakan bola pada orientasi 135°

Setelah mengenali bola, proses berikutnya adalah mengenali gawang dan melakukan proses membawa bola (*dribbling*) mendekati gawang yang *snapshot*nya diperlihatkan pada Gambar 14.

Gambar 14. *Dribbling* bola menuju gawang

IV. KESIMPULAN

Makalah ini telah memaparkan tentang pemrosesan citra dari objek bola, gawang, dan tepi garis lapangan dalam sebuah *robosoccer* dengan menggunakan sensor kamera CMUcam4 yang sudah dilengkapi dengan pemroses citra didalamnya. Dari hasil pengujian memperlihatkan bahwa sensor kamera CMUcam4 dapat melacak warna bola, gawang, dan tepi garis lapangan dengan nilai parameter RGB yang sesuai dengan warna objeknya. Respon kamera CMUcam4 diamati relatif cepat dalam mengenali objek bola dengan waktu pelacakan objek bergantung kepada sudut orientasi robot dengan bolanya. Pengujian lain berkaitan dengan kemampuan mengenali gawang dan garis tepi lapangan menunjukkan bahwa robot dapat menggiring bola dan menendang bola ke arah gawang dalam kecepatan yang relatif konstan dan gerak yang mantap. Penelitian berikutnya yang dilakukan untuk menindaklanjuti hasil penelitian ini diarahkan kepada pemrosesan citra dengan algoritma tertentu yang menghasilkan akurasi dan komputasi yang efisien seperti yang

diusulkan dalam [13] serta integrasi *robosoccer* dalam satu tim sehingga merepresentasikan suatu tim robot sepakbola.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Unjani yang telah mendanai sebagian penelitian yang dilakukan melalui skema Penelitian Kompetitif Tahun Anggaran 2015-2016. Terima kasih juga disampaikan kepada Agita Septian Putra yang telah membantu dalam implementasi program dan pengujian deteksi objek untuk *robosoccer*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Huang; Q. Song and N. Kasabov, "Evolving Connectionist System Based Role Allocation for Robotic Soccer", International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 5, No. 1, 2008, pp. 59-62.
- [2] FIRA – Federation of International Robot-soccer Association, http://www.fira.net/contents/sub01/sub01_2.asp, diakses tanggal 1 Maret 2015 pukul 11.00.
- [3] H. Zhang, H. Lu, P. Dong, D. Xiong, and Z. Zheng, "A Novel Generic Ball Recognition Algorithm Based on Omnidirectional Vision for Soccer Robots", International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.10, No. 388, 2013, pp. 1-12.
- [4] A. Rahman dan N. S. Widodo, "Colored Ball Position Tracking Method for Goalkeeper Humanoid Robot Soccer", TELKOMNIKA, Vol. 11, No.1, March 2013, pp. 11-16.
- [5] H. Lu, H. Zhang, S. Yang and Z. Zheng, "Vision-Based Ball Recognition for Soccer Robots without Color Classification", International Conference on Information and Automation, 22-24 June 2009, Macau, pp.916-921.
- [6] C.L. Hwang, N. W. Lu, T.C. Hsu, and C.H. Huang, "Penalty Kick of a Humanoid Robot by a Neural-Network-Based Active Embedded Vision System", SICE Annual Conference 2010, August 18-21, 2010, The Grand Hotel, Taipei, Taiwan, 2291-2299.
- [7] V. Bećanović, R. Hosseiny, and G. Indiveri, "Robot Soccer Using Optical Analog VLSI Sensors", International Journal of Robotics and Automation, Vol. 19, No. 4, 2004, pp. 213-221.
- [8] R. Dodds, L. Iocchi, P. Guerrero, and J.R. Solar, "Benchmarks for Robotic Soccer Vision", dalam RoboCup 2011: Robot Soccer World Cup XV, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7416, 2012, pp 427-439.
- [9] A. Treptow, A. Masselli and A. Zell, "Real-Time Object Tracking for Soccer-Robots without Color Information", Robotics and Autonomous Systems, Vol. 48, Issue 1, 31 August 2004, Pages 41-48.
- [10] C. Siedentop, M. Schwarz, and S. Pfulb, "Introduction of Image Processing to Robocup Junior", dalam Robocup 2008 : Robot Soccer World Cup XII, Lecture Notes in Artificial Intelligences, Vol. 5399, 2009, pp. 308-317.
- [11] <http://www.cmucam.org>, diakses tanggal 17 Maret 2015 pukul 19.00
- [12] A. Goode, A. Rowe, and K. Agyeman, "Color Tracking Explanation", http://www.cmucam.org/projects/cmucam4/wiki/Color-tracking_Explanation, diakses tanggal 20 Oktober 2014 pukul 21.00
- [13] S.Y. Chiang, X. Guo, H.W. Hu, "Real-time Self Localization of Omni Vision Robot by Pattern Match System", International Conference on Advanced Robotics and Intelligent Systems (ARIS), 2014, 6-8 June 2014, Taipei, pp. 46-50.