



JURNAL ILMIAH TEKNIK ELEKTRO

SISTEM TENAGA LISTRIK TELEKOMUNIKASI ELEKTRONIKA KOMPUTER INFORMATIKA

Rancang Bangun Multi Platform Edugame untuk Sejarah Khulafaurrasyidin

Binar Kurnia Sari, Endah Sudarmilah

Game Edukasi Dampak Pergaulan Bebas

Budi Darmanto, Endah Sudarmilah

EduGame Sejarah Islam Masuk Indonesia

Dian Imam Nurrahim, Endah Sudarmilah

Pengembangan Permainan Labirin untuk Membantu Perkembangan Motorik Anak

Graficha Aryudhetika Kusuma, Endah Sudarmilah

Implementasi IPTV (Internet Protocol Television) Berbasis Web Pada Jaringan Wireless

Achmad Prajudin Sardju

Rancang Bangun Robot Beroda dengan Object Tracking Sebagai Dasar Pengendalian Gerakan Robot

Ratnasari Nur Rohmah, Laksono Budi Prianggodo

Evaluasi Tatakelola Layanan Teknologi Infomasi Pemerintah Daerah Maluku Utara

Assaf Arief, Iis Hamsir Ayub Wahab

Implementasi Teknologi Wireless Sensor Network (WSN) untuk Monitoring Pergeseran Tanah

Mohamad Jamil, Jamalun Togubu



Fakultas Teknik
Universitas Khairun

Rancang Bangun Robot Beroda dengan Object Tracking Sebagai Dasar Pengendalian Gerakan Robot

Ratnasari Nur Rohmah¹⁾, Laksono Budi Prianggodo²⁾

^{1,2}Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta

E-mail: ¹ rnr217@ums.ac.id, ² laksonobudi94@gmail.com

Abstract— Penelitian ini merancang-bangun robot beroda dengan metode *object tracking* sebagai pengendali gerakan robot. *Object tracking* dilakukan dengan mengenali obyek yang akan diikuti, mengukur beberapa parameter obyek yang akan dijadikan dasar pengendalian, dan mengatur gerakan obyek berdasar analisa parameter yang terukur. Pada penelitian ini, Raspberry pi dengan *library Open CV* menjadi sebuah unit komputer serta *microcontroller* yang melakukan proses pengolahan citra sekaligus mengendalikan pergerakan pada robot. Pengenalan obyek melibatkan proses akuisi citra, penapisan warna obyek, dan pengenalan bentuk obyek. Akuisisi citra dilakukan dengan modul kamera Raspberry pi, sedangkan penapisan warna dari citra terakuisisi dilakukan dengan mengambil fitur dari citra dalam ruang warna *HSV*. Obyek yang dijejaki pada penelitian ini adalah obyek berbentuk bola dan pengenalan bentuk bola dilakukan dengan *circle Hough transform*. Sedangkan pengendalian gerakan robot didasarkan pada perbandingan fitur referensi, yang berupa ukuran bola dan posisi bola saat bola dikenali, dengan fitur terukur setelah adanya pergerakan bola. Uji coba pada sistem yang dikembangkan memperlihatkan kinerja sistem telah berjalan seperti yang direncanakan. Robot dapat melakukan penjajakan terbaik pada citra dengan resolusi 320x240 piksel, dan memiliki jarak pandang maksimum 113 cm, dan mengenali obyek sampai pada intensitas cahaya minimum 21,1 lux. Sedangkan kecepatan maksimal perpindahan benda yang masih dapat diikuti adalah 22,6 cm/detik.

Kata-kata kunci: *object tracking*, pengendalian gerakan, robot beroda, Raspberri Pi.

I. PENDAHULUAN

Salah satu aplikasi teknologi yang menggabungkan teknik mekanik elektronik yang memberikan kemanfaatan besar pada manusia adalah robot. Robot adalah mesin yang dapat dirancang untuk menggantikan peran manusia dalam melakukan berbagai pekerjaan. Penggunaan robot ini sangat

berguna terutama untuk menggantikan jenis pekerjaan yang monoton dalam jangka lama, membutuhkan ketelitian, atau pekerjaan pada lingkungan yang membahayakan manusia.

Terdapat tiga bagian utama yang membangun suatu robot, yaitu sensor, sistem pengendalian gerak robot, dan bagian mekanik. Sensor berperan sebagai indra bagi robot, yang akan menangkap semua informasi yang diperlukan dalam pengendalian gerak robot. Sistem pengendalian gerak robot berperan seperti otak pada manusia. Bagian robot ini akan mengolah semua informasi yang diperoleh dari untuk menentukan bagaimana robot bergerak dan mengirim informasi untuk menggerakkan bagian mekanik robot. Bagaimana pola gerakan robot dalam merespon informasi masukan ditentukan oleh manusia sebagai *programmer* robot. Sedangkan bagian mekanik merupakan bagian robot yang mengeksekusi informasi yang dihasilkan oleh sistem pengendalian gerak menjadi gerakan.

Penelitian ini mengembangkan sistem pengendalian gerakan robot beroda untuk dapat mengikuti gerakan perpindahan obyek tertentu. Pengenalan gerakan obyek dilakukan dengan metode *object tracking* (*obyek tracking*) secara *real time*. Obyek bergerak yang digunakan dalam penelitian ini adalah obyek bola dengan warna tertentu. Robot dirancang untuk dapat diperintahkan mengenali obyek bola tertentu, mengukur fitur bola, dan menggunakan fitur terukur sebagai informasi masukan untuk mengikuti gerakan bola tersebut. Penelitian ini menggunakan Raspberry pi sebagai *microprocessor* sekaligus serta *microcontroller*, yang dilengkapi kamera sebagai sensor robot untuk mengakuisisi informasi masukan.

II. DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian ini merancang sebuah sistem robotika yang menangkap objek melalui sensor kamera, melakukan proses pengenalan objek menurut bentuk dan warna, serta dapat mengikuti pergerakannya (*object tracking*) secara *real-time*. Pada penelitian ini, Raspberry pi menjadi sebuah unit komputer serta *microcontroller* yang melakukan proses pengolahan citra sekaligus mengendalikan pergerakan pada robot. Akuisisi citra obyek pada penelitian ini dilakukan dengan modul kamera Raspberry pi.

Pada proses akuisisi citra, peletakan kamera pada sebuah tumpuan akan sangat mempengaruhi hasil akuisisi citra. Terdapat 2 macam peletakan kamera pada tumpuannya, yaitu metode *eye in hand* dan *stand alone* [1]. *Eye in hand* merupakan metode peletakkan kamera pada *end reflector* (bagian ujung) dari robot dan *stand alone* merupakan metode peletakkan kamera terpisah dari bagian tubuh robot [1]. Dengan menggunakan metode *eye in hand* sistem akan langsung melihat objek yang akan diikuti secara langsung sedangkan metode *stand alone* sistem akan dapat melihat posisi objek serta robot dari jarak jauh [1].

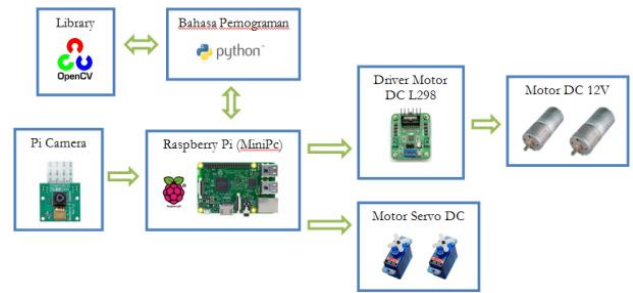
Selain teknik peletakkan kamera, teknik pencahayaan juga akan mempengaruhi hasil akuisisi citra. Marchand, (2007) menyatakan bahwa peletakkan kamera sangat mempengaruhi hasil citra yang diperoleh [2]. Terdapat berbagai teknik untuk memperoleh citra yang bagus. Beberapa teknik tersebut adalah memaksimalkan intensitas cahaya, meningkatkan kontras antara objek dengan latar, dan teknik pengambilan yang tepat [2].

Pada penelitian ini obyek yang akan dikenali oleh robot adalah obyek berbentuk bola. Salah satu algoritma yang sering digunakan dalam pengenalan bentuk lingkaran adalah algoritma yang disebut sebagai *hough circles*. Obyek bola pada penelitian ini dikenali sebagai bentuk lingkaran. Algoritma ini biasa digunakan untuk mendeteksi seluruh bentuk lingkaran pada sebuah citra 2D [3].

Selain pengenalan bentuk bola, pada penelitian ini robot dirancang untuk dapat mengenali warna. Ekstraksi ciri warna oleh robot dilakukan dengan *colour filtering*. Beberapa penelitian memperlihatkan hasil yang didapat pada *color filtering* pada ruang warna *HSV* lebih bagus dibandingkan dengan *RGB*. Ruang warna *HSV* dengan penekanan pada variasi persepsi visual dalam nilai *hue*, *saturation* dan *value* dari suatu piksel *image*, memberikan identifikasi yang lebih baik terhadap objek dalam sebuah citra dibandingkan dengan yang dihasilkan menggunakan ruang warna *RGB* [4]. Metode *color filtering* dalam ruang warna *RGB* masih belum dapat memahami objek secara akurat disebabkan oleh faktor dari intensitas cahaya yang belum diperhitungkan [5].

III. METODA PENELITIAN

Pada penelitian ini, Raspberry pi menjadi sebuah unit komputer serta *microcontroller* yang dapat melakukan proses pengolahan citra sekaligus dapat mengendalikan rangkaian elektronik lain untuk melakukan pergerakan pada robot. Citra streaming dari kamera akan dianalisa oleh Raspberry Pi dengan *library Open CV* menggunakan bahasa pemrograman python. Berdasarkan hasil analisis citraini, robot akan bergerak mengikuti pergerakan posisi bola dengan menggunakan motor DC 12 Volt. Motor servo digunakan agar kamera bisa leluasa mengikuti perpindahan bola secara *real-time*. Gambar 1 berikut ini memperlihatkan blok diagram sistem yang dirancang-bangun.



Gambar 1. Blok diagram sistem

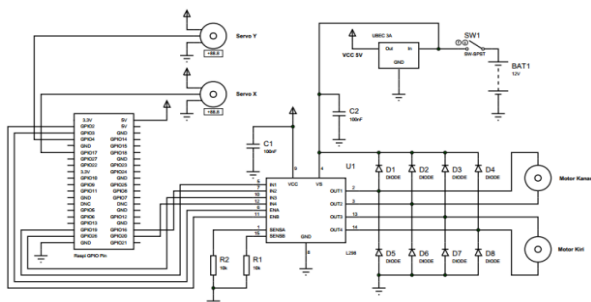
Peralatan dan komponen elektronika yang akan digunakan dalam perancangan ini meliputi :

- Raspberry Pi 2 Model B.
- Modul Kamera Raspberry Pi.
- Baterai Lippo 3Cell 2200mA.
- Konektor HDMI to VGA.
- Kabel LAN.
- Motor DC 12Volt.
- Motor Servo Micro.
- IC L298N, Resistor, Dioda, LED.
- Kabel, PCB, Solder, Timah, Atraktor.
- Obeng, AVO Meter, Tang Potong.
- Aklirik.
- Roda Tank Mainan.
- Komputer/laptop.

A. Perancangan Hardware

Perancangan *hardware* dilakukan dengan melakukan desain mekanik serta elektronik robot. Skema rangkaian dapat dilihat pada Gambar 2. GPIO pin pada Raspberry Pi menyalurkan pulsa PWM (*Pulse Width Modulation*) yang mengatur secara langsung pergerakan 2 motor servo. Pengendalian arah dan kecepatan motor DC oleh Raspberry Pi harus dilakukan melalui perantara IC L298N, karena Raspberry Pi bekerja pada tegangan 0-3.3V sedangkan motor bekerja pada tegangan 12V. Pada penelitian ini digunakan dua catu daya, catu daya baterai 12 V untuk motor DC, sedangkan UBEC 5V 3A untuk Raspberry Pi, motor servo dan IC L298N.

Pemilihan mini komputer Raspberry Pi pada penelitian ini adalah karena fitur yang disediakan sesuai dengan kebutuhan untuk pembuatan sistem robot ini. Desain Raspberry Pi didasarkan pada SoC (*System-on-a-Chip*) Broadcom BCM2835. Pada konfigurasi Raspberry Pi (Pi 2 model B) telah tertanam prosesor QuadCore ARM dengan kecepatan *clock* sebesar 900 MHz, VideoCore IV GPU, dan 1 Gigabyte RAM. Penyimpanan data didisain tidak untuk menggunakan *hard disk* atau *solid-state drive*, melainkan mengandalkan kartu SD (*SD memory card*) untuk *booting* dan penyimpanan jangka panjang.



Gambar 2. Skema rangkaian

Sistem operasi utama Raspberry Pi menggunakan Debian GNU/Linux dan bahasa pemrograman python. Komputer ini dilengkapi dengan 4 USB versi 2.0 Port yang dapat dihubungkan dengan perangkat yang menggunakan port USB apapun. Komputer dilengkapi juga dengan ethernet port untuk sambungan LAN (Local Area Network), HDMI port untuk disambungkan dengan perangkat layar LCD/LED dengan kualitas HD (*High Definition*), connector 3,5mm untuk disambungkan ke perangkat *speaker* atau *headset*, dan USB *micro* untuk *power supply*. Selain itu disediakan juga 2 Port khusus untuk kamera dan LCD Raspberry Pi. Komputer ini menyediakan 40 pin GPIO (*General Purpose Input Output*) agar Raspberry Pi dapat digunakan sebagai pengendali rangkaian elektronik.



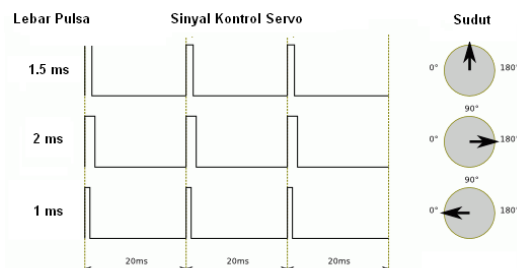
Gambar 3. Bentuk fisik modul kamera Raspberry Pi.

Kamera yang digunakan untuk melakukan proses akuisisi citra pada penelitian ini adalah *Pi Camera* yang merupakan kamera khusus yang didesain untuk *minicomputer* Raspberry Pi. Seperti terlihat pada Gambar 3, dengan ukuran kecil, modul kamera Raspberry Pi dapat digunakan untuk mengambil citra dengan kualitas *high definition* memiliki kualitas 5 MP mendukung resolusi video 1080p 30fps, 720p 60 fps dan VGA90, dapat bekerja pada semua model Raspberry Pi yang terhubung pada port CSI.

Sebagai penggerak untuk robot agar dapat berjalan digunakan sepasang motor DC 12 Volt. Keuntungan utama motor DC adalah dalam hal pengendalian kecepatan serta arah putaran motor DC tersebut sangat mudah. Supaya Raspberry Pi dapat melakukan *controlling* terhadap motor DC, maka digunakan *driver* motor, L298N. Kelebihan dari *driver* motor ini adalah cukup presisi dalam mengendalikan motor DC dan mudah dikendalikan. Pada prinsipnya rangkaian *driver* motor L298N ini akan mengatur tegangan dan arus sehingga kecepatan dan arah motor dapat disesuaikan dengan keinginan.

Agar kamera dapat melakukan *tracking* terhadap objek dibuat sistem mekanik *Pan tilt* yang dapat membuat kamera leluasa bergerak dengan sumbu sejajar *x* dan *y*. Untuk

melakukan hal tersebut, *actuator* yang cocok ialah motor servo. Pengendalian putaran motor servo dilakukan dengan mengirimkan pulsa kontrol dengan frekuensi 50 hz dengan periode 20ms dan *duty cycle* yang berbeda, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sinyal pulsa motor servo

B. Perancangan Software

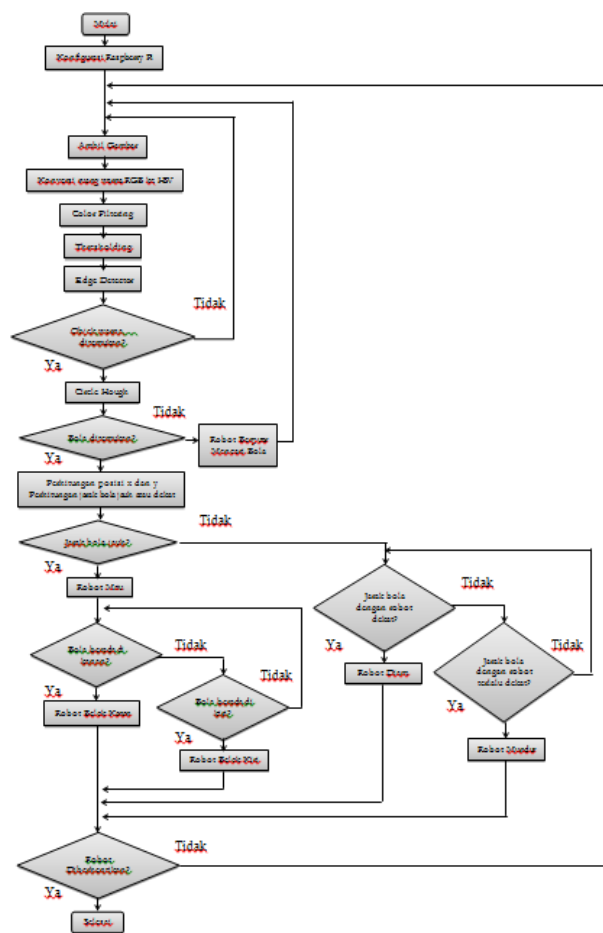
Pada perancangan *software* dilakukan dengan pembuatan program pada *Python Idle* yang merupakan *compiler* bawaan pada Raspberry Pi. Dalam merancang suatu program untuk menjalankan fungsi *hardware* pada Raspberry Pi, perlu dilakukan beberapa pengaturan terlebih dahulu. Pengaturan yang diperlukan pada pembuatan robot ini diantaranya ialah pengaturan pin GPIO mana saja yang digunakan dan pengaturan resolusi citra dari kamera. Default resolusi kamera yang menjadi pengaturan awal pada sistem ini adalah 320x240 piksel.

Proses *object tracking* diawali dengan akuisisi citra melalui *Pi Camera*. Citra ini selanjutnya akan diproses untuk pengenalan warna. Pengenalan warna dilakukan dengan proses konversi ruang warna dari ruang warna asal RGB keruang warna HSV, dan diikuti proses *color filtering*. Proses *color filtering* dilakukan untuk menetapkan obyek yang memiliki warna yang ditentukan sebagai obyek yang akan diikuti.

Langkah selanjutnya ialah proses pengenalan bentuk. Proses diawali dengan *thresholding* yang bertujuan untuk mengubah citra berderajat keabuan menjadi citra biner atau hitam putih. Proses ini dilakukan agar dapat diketahui daerah mana yang termasuk obyek dan mana yang merupakan *latar* dari citra secara jelas. Proses selanjutnya adalah proses pengenalan tepi obyek dengan *edge detector*. Proses ini bertujuan untuk melakukan perubahan format citra hanya menampilkan bagian tepi saja. Selanjutnya fungsi *circle hough* yang ada pada *Open CV* digunakan untuk mendeteksi objek yang berbentuk lingkaran. Pada proses ini juga dilakukan pengukuran fitur diameter lingkaran dan koordinat posisi bola. Fitur ini akan digunakan untuk pengendalian gerakan robot

Pengendalian robot dilakukan dengan mendeteksi adanya pergerakan bola dan jarak bola setelah pergerakan. Setelah objek dikenali, maka robot akan terus-menerus mengukur jarak bola, melakukan pergerakan mendekati atau menjauhi bola sesuai gerakan bola, dan akan berhenti pada jarak yang telah ditentukan. Perubahan posisi bola menjauh diperlihatkan dengan adanya perubahan ukuran diameter

mengecil, dan sebaliknya. Robot akan bergerak mendekat saat bola menjauh dan pada saat terlalu dekat akan mundur. Selain memperhitungkan jarak, robot juga memperhitungkan posisi bola. Jika bola bergerak ke arah kanan dari koordinat awal. Maka gerakan maju robot akan cenderung ke kanan, dan sebaliknya. Algoritma pemrograman yang dibuat untuk sistem robot ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bagan alir program pengendalian gerakan robot

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

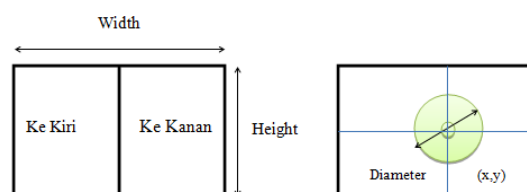
Bentuk fisik robot yang dikembangkan pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 6. Eksperimen pergerakan robot memperlihatkan robot bisa bergerak mengikuti perubahan posisi bola. Robot bergerak mengikuti obyek dengan terus-menerus mengukur jarak, dan bergerak maju atau mundur untuk mempertahankan jarak yang telah ditentukan. akan selalu menjaga jaraknya dengan posisi bola. Perubahan jarak dideteksi dari perbandingan diameter bola awal dan diameter bola setelah bergerak.

Kecenderungan gerak robot ke kanan atau kekiri didasarkan pada posisi relatif bola dari pusat bola. Posisi relatif ini dilihat dari perbandingan jarak horisontal dari titik pusat bola awal ke tepi-tepi bola. Jika Ketika posisi bola berada di kanan maka robot akan bergerak cenderung ke kanan

dan sebaliknya, sedemikian rupa sehingga jarak tepi kanan dan kiri dari titik pusat sama (posisi pusat yang baru).



Gambar 6. Bentuk fisik robot yang dikembangkan.



Gambar 7. Koordinat serta diameter gambar bola untuk sistem gerak robot.

A. Eksperimen pengaruh resolusi citra pada robot

Eksperimen ini dilakukan dengan mengukur jarak maksimum obyek bola yang dapat dikenali oleh kamera untuk berbagai resolusi citra obyek. Selain jarak maksimum, dilakukan juga pengukuran waktu tracking bola. Jarak robot dengan objek bola dihitung dari posisi kamera dengan pusat bola, sedangkan waktu *tracking* diambil saat robot bergerak dari posisi awal hingga posisi akhir dimana robot berhenti bergerak.

Tabel 1. Pengaruh resolusi citra pada kinerja robot

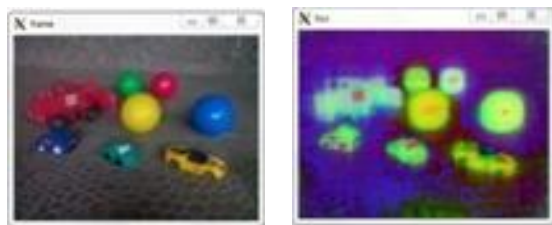
Resolusi citra (piksel)	Jarak maksimal	Waktu tracking objek
240x160	102 cm	4 detik
320x240	113 cm	5 detik
480x320	135 cm	6 detik
640x480	172 cm	-
720x560	180 cm	-
800x600	190 cm	-

Tabel 1 berikut memperlihatkan hasil eksperimen yang dilakukan. Dari tabel terlihat bahwa semakin tinggi resolusi citra, semakin jauh jarak maksimal obyek dapat dikenali oleh robot. Meskipun demikian, pada resolusi mulai dari 640x480 piksel, robot tidak mampu melakukan *tracking object*. Ini karena terjadi *lag* pada *streaming* citra pada kamera, dan adanya *delay* yang lama pada pergerakan motor servo dalam mencari objek.

B. Evaluasi kinerja robot dalam mengenali warna obyek.

Evaluasi ini dilakukan untuk melihat bagaimana kinerja robot dalam mengenali warna obyek tertentu diantara obyek-

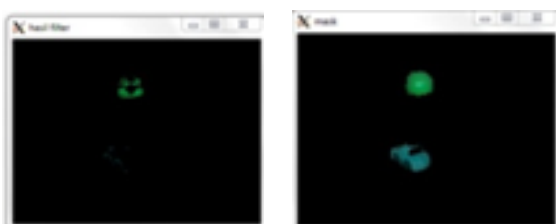
obyek dengan warna lain yang ada dalam satu *frame* citra. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, sistem pengenalan warna robot dilakukan dengan terlebih dahulu mengkonversi ruang warna citra dari ruang warna asli *RGB* ke *HSV*. Dalam eksperimen ini, *color filtering* dilakukan pada citra obyek baik citra *RGB* maupun *HSV* sebagai perbandingan.



(a) Citra dalam ruang warna *RGB* (b) Citra dalam ruang warna *HSV*

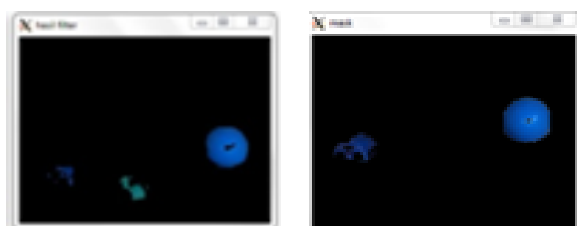
Gambar 8. Citra dengan beberapa obyek berwarna yang ada pada satu frame dalam dua ruang warna yang berbeda.

Hasil uji coba memperlihatkan bahwa penggunaan ruang warna *HSV* memberikan kinerja yang lebih baik dari pada *RGB*. Uji coba dilakukan dengan pendeteksian obyek dalam satu *frame* citra yang terdiri dari beberapa obyek berwarna. Masing-masing warna diwakili oleh dua obyek dengan tingkat ketajaman warna yang berbeda. Gambar 8 memperlihatkan, pada deteksi obyek warna hijau, hanya satu obyek yang terdeteksi dalam ruang warna *RGB*, sedangkan dengan ruang warna *HSV*, kedua obyek dalam satu warna tersebut terdeteksi sebagai dua obyek. Sedangkan pada Gambar 9, pendeteksian warna biru dalam ruang warna *RGB* menghasilkan tiga obyek terdeteksi, sedangkan pada ruang warna *HSV* tepat terdeteksi sebagai dua obyek. Sedangkan pada pendeteksian obyek berwarna merah, dua obyek terdeteksi baik pada ruang warna *RGB* maupun *HSV*. Hal ini dikarenakan ketajaman kedua obyek berwarna merah yang tidak jauh berbeda.



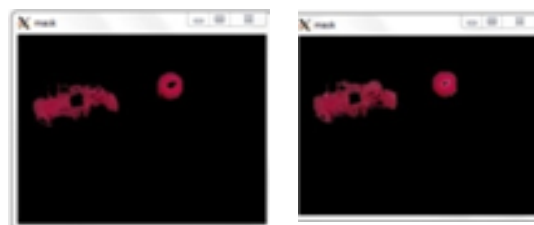
(a) Dalam ruang warna *RGB* (b) Dalam ruang warna *HSV*

Gambar 9. Hasil pendeteksian dua obyek berwarna hijau dalam ruang warna *RGB* dan *HSV*



(a) Dalam ruang warna *RGB* (b) Dalam ruang warna *HSV*

Gambar 10. Hasil pendeteksian dua obyek berwarna biru dalam ruang warna *RGB* dan *HSV*



(a) Dalam ruang warna *RGB* (b) Dalam ruang warna *HSV*

Gambar 11. Hasil pendeteksian dua obyek berwarna merah dalam ruang warna *RGB* dan *HSV*

C. Evaluasi kinerja robot dalam mengenali bentuk obyek

Evaluasi ini dilakukan untuk melihat bagaimana kinerja robot dalam mengenali bola setelah proses *color filtering*. Pada penelitian ini proses pengenalan bentuk obyek bola dilakukan dengan proses pengubahan citra obyek menjadi citra biner, proses deteksi tepi, dan *Hough transforms*. Uji coba memperlihatkan, pada ketiga warna obyek, robot dapat mengenali bentuk bola dari bentuk lain yang ada.



Gambar 12. Hasil pendeteksian bola berwarna hijau



Gambar 13. Hasil pendeteksian bola berwarna biru



Gambar 14. Hasil pendeteksian bola berwarna merah

D. Evaluasi intensitas cahaya minimum yang diperlukan agar robot dapat mengenali obyek.

Intensitas cahaya pada saat robot beroperasi akan mempengaruhi kualitas citra saat akuisisi citra. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, akuisisi citra pada sistem robot ini dilakukan dengan menggunakan modul kamera Raspberry Pi. Evaluasi ini dilakukan untuk mengukur minimum cahaya yang diperlukan oleh kamera robot, untuk mendapatkan citra obyek yang masih dapat dikenali oleh robot. Tabel 2 berikut memperlihatkan hasil uji coba pengukuran cahaya minimum untuk masing-masing warna obyek. Dari hasil pengukuran, terlihat untuk masing-masing warna, nilai intensitas minimum yang terukur berbeda. Meskipun demikian, dari hasil evaluasi ini robot terlihat cukup peka dalam mengenali obyek pada intensitas cahaya yang cukup kecil.

Tabel 1. Pengaruh resolusi citra pada kinerja robot

Warna	Intensitas Cahaya Minimum
Merah	22.7 lux
Hijau	21.2 lux
Biru	21.1 lux

V. KESIMPULAN

Pada hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan resolusi kamera mempengaruhi jarak objek yang dapat dikenali. Semakin besar resolusi kamera maka akan semakin jauh jarak objek dapat dikenali oleh robot. Meskipun demikian, besarnya resolusi ini akan menyebabkan kerja *processor* dalam proses pengolahan citra yang semakin berat, dan pada jarak maksimal tertentu robot tidak sanggup mengatasi sehingga tidak bereaksi. Konversi ruang warna citra obyek dari *RGB* ke *HSV* pada proses *color filtering* menghasilkan performa yang lebih baik dalam mengenali objek dengan warna yang diinginkan. Pengenalan bentuk obyek dengan deteksi tepi dan *Hough transforms* juga memperlihatkan kinerja yang baik. Robot dapat melakukan *tracking* terhadap bola dengan menggunakan resolusi citra terbaik pada 320x240 piksel, memiliki jarak pandang maksimum 113 cm, kecepatan maksimal mengikuti perpindahan objek 22,6 cm/detik, dan mampu mengenali bola pada intensitas cahaya minimum 21,1 lux.

Pengembangan penelitian selanjutnya diantaranya adalah penggunaan penggerak motor *omni directional* agar robot dapat bergerak bebas ke berbagai arah. Pengembangan lain yang dapat dilakukan adalah dengan penambahan sensor pendeteksi halangan agar roboti tabrakan dengan suatu penghalang saat mengikuti obyek yang diinginkan. Motor servo juga dapat diganti dengan motor servo jenis digital agar pergerakannya lebih halus serta derajatnya lebih teliti dan dapat bergerak dari 0° hingga 360°.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kragic, D., Christensen, H.I. 2011. Survey on Visual Servoing for Manipulation: Centre forAutonomous Systems. *Numerical Analysis and Computer Science*.
- [2] Marchand, E. 2007. Control Camera and Light Source Positions using Image Gradient Information. *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*. 417 – 422.
- [3] Ikwuagu, E. 2011. Design Of An Image Processing Algorithm ForBall Detection. *Computing Research Association*.
- [4] Sural, S., Qian, G., Pramanik, S. 2002. Segmentation and histogram generation using the HSV color space for image retrieval. *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*. 589-592.
- [5] Yustinus, P. 2012. Rancang Bangun Aplikasi Pendeteksi Bentuk Dan Warna Benda Pada Mobile Robot Berbasis Webcam. *Academia*.

p-ISSN 2354 – 8924
e-ISSN 2527 – 9572

| Volume 03 | No. 2 | September 2016 | Hal. 46 – 89 |

