

Sistem Navigasi Berbasis Pelacakan Objek pada Operasi Robot Asisten Pemanenan di dalam Greenhouse

Sutan Muhammad Sadam Awal¹, Slamet Widodo²
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem
Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Bogor, Indonesia
¹sutan235@gmail.com; ²slamet.ae39@gmail.com

Abstrak—Teknologi robotik telah berkembang pesat dan digunakan di berbagai sektor termasuk pertanian khususnya pada budidaya tanaman dalam lingkungan terkendali seperti greenhouse dan *plant factory*. Pemanenan merupakan salah satu operasi yang telah lama dicoba untuk diotomatisasi menggunakan teknologi robotik. Hanya saja kapasitas pemanenannya relatif rendah. Hal ini dikarenakan robot memerlukan waktu yang cukup lama untuk mengenali objek yang akan dipanen. Untuk pengenalan objek ini, dengan kecerdasan yang dimiliki, manusia mampu melakukannya dengan lebih cepat sehingga secara keseluruhan pemanenan secara manual masih lebih cepat. Namun pemanenan secara manual memiliki kelemahan utamanya terkait faktor kelelahan. Oleh sebab itu dalam studi ini dirancang robot asisten (*assisting robot*) dalam operasi pemanenan yang dapat membawakan hasil panen dan terus mengikuti pemanen (*person following*) agar pemanen dapat terus memanen dan tidak cepat mengalami kelelahan. Diharapkan dengan kolaborasi tersebut, secara keseluruhan kapasitas pemanenan dapat ditingkatkan. Secara khusus, artikel ini membahas tentang sistem navigasi yang digunakan agar robot dapat mengikuti pemanen. Metode yang digunakan adalah sistem navigasi berbasis pelacakan objek (*object tracking*) dengan menggunakan webcam sebagai perangkat akuisisi citra secara *real-time*. Sedangkan untuk pengolahan citra digunakan program komputer berbasis *Python* dan *library open CV*. Program tersebut dijalankan pada perangkat *Raspberry pi* yang juga digunakan untuk mengontrol *hardware* lainnya, seperti motor DC untuk mengatur pergerakan robot. Sistem navigasi yang dikembangkan diuji coba menggunakan *assisting robot* skala model. Berdasarkan uji fungsional, robot dapat mengikuti objek dengan baik.

Kata kunci—*Assisting robot*; *greenhouse*; *object tracking*; panen; sistem navigasi

I. LATAR BELAKANG

Teknologi robotik berkembang semakin pesat. Banyak sektor yang memanfaatkan teknologi robotika untuk mempermudah pekerjaan bahkan meningkatkan efisiensi dan produktivitas pekerjaan. Beberapa sektor yang menerapkan teknologi robotika seperti industri pangan, manufaktur, dan sarana-prasarana transportasi. Teknologi robotik dapat digunakan juga pada sektor pertanian khususnya pada

budidaya tanaman dalam lingkungan terkendali seperti greenhouse dan *plant factory*.

Pemanenan merupakan salah satu operasi penting dalam bidang pertanian. Banyak penelitian yang dilakukan untuk melakukan pemanenan secara otomatis menggunakan teknologi robotika. Contohnya adalah Robot pemanen tomat yang dirancang oleh Zhao (2016). Robot ini dapat bekerja sesuai yang direncanakan namun masih belum mendapatkan efisiensi yang baik. Karena robot bekerja lebih lama dibandingkan dengan tenaga manusia [1].

Pemanenan dengan tenaga manusia memang dapat dilakukan dengan cepat namun terdapat masalah lain. Pemanen harus terus membawa hasil panen yang akan membebani pemanen. Oleh sebab itu dirancanglah robot yang mengkolaborasi masing-masing kelebihan antara manusia dan robot. Robot ini bisa disebut sebagai robot asisten atau *assisting robot*. Sebelumnya sudah banyak penelitian terkait. Afghani dan Javed (2013) mengembangkan *person following robot* yang dapat mengikuti orang berdasarkan panas manusia dengan menggunakan sensor IR Beacon [2]. Wang et al. (2015) juga mengembangkan *person following robot* namun dengan menggunakan sensor Kinect yang dapat secara cerdas mendeteksi orang yang tepat dan secara otomatis akan mengikuti orang tersebut [3].

Assisting robot yang dibuat memiliki fitur mengikuti pemanen (*person following*) sehingga pemanen tidak perlu repot membahwa hasil panen. Fitur *following* pada robot ini dikembangkan menggunakan metode pelacakan objek (*object tracking*) yang didasarkan pada penelitian Gurrum et al. (2016). Nantinya robot akan diaplikasikan pada operasi pemanenan di dalam greenhouse [4].

II. BAHAN DAN METODE

A. *Assisting Robot Model*

Gambar 1 menunjukkan model robot asisten (*assisting robot*) yang dikembangkan. Model yang dibuat merupakan pengembangan dari *mobile robot* beroda 2 dan dilengkapi beberapa komponen pendukung lainnya. Secara ringkas,

rancangan fungsional dan komponen pendukungnya disajikan pada Tabel 1.

TABEL I. KOMPONEN DAN FUNGSINYA

Fungsi	Komponen
Akuisisi citra yang akan digunakan untuk pelacakan objek	Web Camera
Perangkat yang digunakan untuk meningkatkan jarak pandang <i>webcam</i>	Lensa <i>Fish eyes</i>
<i>Motor driver</i> merupakan seperangkat IC yang digunakan untuk memberikan tambahan arus pada motor DC dan mengatur arah dan kecepatan putaran motor DC.	<i>Motor Driver</i>
Motor DC merupakan aktuator agar robot dapat berpindah tempat dengan memanfaatkan putaran roda.	Motor DC
Sumber energi bagi robot	Baterai
Keranjang digunakan untuk memuat hasil panen yang akan diangkut.	Keranjang
Rangka merupakan bagian yang menopang komponen lainnya. Rangka ini sudah termasuk dudukan motor dan penopang <i>webcam</i> .	Rangka
Unit pengolahan citra untuk pengembangan sistem navigasi berbasis object tracking	Minicomputer Raspberry Pi dilengkapi dengan bahasa program Python dengan library Open CV

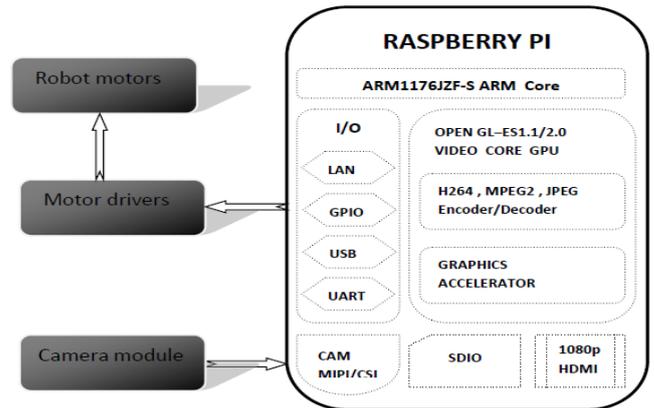


Gambar 1. Model robot asisten yang dikembangkan.

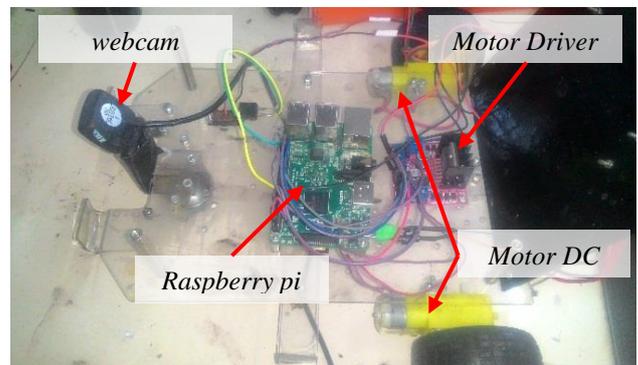
Sebagai unit pengendali dan pemrosesan data digunakan minikomputer *raspberry pi*. Perangkat ini memiliki kemampuan komputasi yang baik serta mendukung penggunaan berbagai modul elektronik sehingga mudah digunakan. Selain itu dengan desain yang kompak dan harga relative terjangkau membuat perangkat ini banyak digunakan untuk berbagai aplikasi *mobile* [5].

Skema rangkaian dan komunikasi antara *raspberry pi* dan modul elektronik lain (*webcam*, *motor driver*, motor DC) ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Pertama kamera *webcam* yang disambungkan dengan *raspberry pi* dengan menggunakan kabel usb akan menangkap gambar secara *real-time*. Kemudian gambar yang ditangkap oleh kamera diproses oleh *raspberry pi* sesuai dengan program yang dikehendaki. Lalu *raspberry pi* akan memberikan umpan pada motor driver melalui GPIO (*General Pin Input Output*) sesuai dengan

masukannya dari kamera. Terakhir motor driver akan menyalurkan daya pada motor DC dan menggerakkan sesuai dengan arah yang ditentukan oleh *raspberry pi* [6]. Gambar 1 menunjukkan diagram kerja *hardware* dan gambar menunjukkan hardware yang sudah dirangkai.



Gambar 2. Skema rangkaian dan komunikasi raspberry pi dan modul elektronik lain.

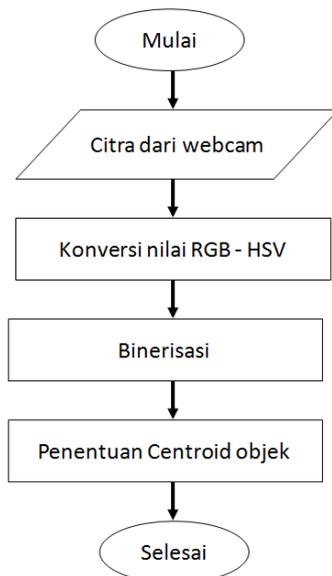


Gambar 3. Rangkaian hardware pada model assisting robot.

B. Pengolahan Citra untuk Deteksi Objek

Pengolahan citra dilakukan untuk mendeteksi objek yang akan di-*tracking* sehingga didapatkan data sebagai bahan untuk pengambilan keputusan. Program pengolahan citra dibuat dengan menggunakan bahasa python. Terdapat beberapa tahapan untuk mendapatkan data berupa titik pusat dari objek yang hendak di-*tracking*. Diagram alir (*flowchart*) dari algoritma pengolahan citra untuk deteksi objek ini dapat dilihat di Gambar 4. Pertama kamera akan mengambil gambar secara *realtime* berupa *video stream*. Data warna yang didapat masih berupa *RGB (Red, Green, Blue)* yang mudah diterjemahkan oleh komputer. Selanjutnya gambar atau frame yang telah didapatkan diubah jenisnya menjadi *HSV (Hue, Saturation, Value)*. Digunakan warna HVS karena robot akan beroperasi pada lingkungan luar. Warna HSV merupakan warna yang mendekati mata manusia oleh sebab itu digunakan warna HSV untuk memudahkan proses *thresholding*. Setelah diubah menjadi warna HSV, dilakukan binerisasi untuk mengubah warna background menjadi gelap dan objek yang

di-track menjadi cerah (hitam dan putih). Sehingga *background* dan objek dapat terpisah. Langkah terakhir adalah menemukan titik berat atau sentroid objek berdasarkan warna cerah tersebut. Dengan rumus tertentu didapatkan sentroid objek dan diameter dari objek. Setelah itu berdasarkan sentroid tersebut maka digambar titik merah, sehingga kemanapun objek berpindah [7].



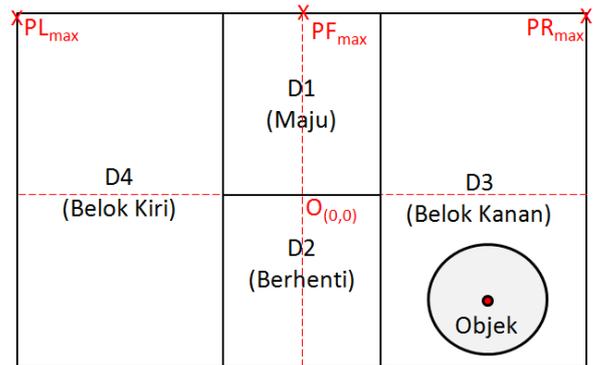
Gambar 4. Algoritma pengolahan citra untuk deteksi objek.

C. Sistem Navigasi Robot Berbasis Object tracking

Salah satu hal yang perlu dievaluasi adalah jangkauan kamera. Hal ini untuk memastikan bahwa jangkauan kerja kamera mencakup ruang kerja yang diinginkan. Hal ini juga yang menjadi pertimbangan untuk menggunakan lensa *fish eye* karena jangkauan awal kamera sangat terbatas. Jangkauan kamera ini diukur dengan meletakkan objek/marker pada posisi tertentu sehingga citra yang ditangkap kamera berada pada titik terjauh baik di sisi depan (PF_{max}), sisi kanan (PR_{max}) dan sisi kiri (PL_{max}) sebagaimana ditunjukkan Gambar 5. Selanjutnya diukur jarak actual objek marker dalam koordinat (x,y) dimana titik asal O (0,0) ditetapkan dari posisi objek ketika citra objek persis berada di tengah-tengah layar kamera.

Terkait pergerakan robot, penentuan arah pergerakan robot dilakukan dengan membagi-bagi daerah yang tertangkap dalam kamera seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Metode ini didasarkan pada penelitian Karthikeyan *et al.* (2016). Metode ini membagi daerah tangkap kamera menjadi empat daerah yaitu: 1) daerah pertama (D1) yang akan memberikan perintah maju, 2) daerah kedua (D2) yang akan memberikan perintah berhenti, 3) daerah tiga (D3) yang akan memerikan perintah belok kanan, dan 4) daerah empat (D4) yang akan memberikan perintah belok kiri. Perintah akan diberikan apabila *centroid* dari objek terdapat pada salah satu daerah tersebut. Objek yang akan digunakan (*marker*) merupakan objek lingkaran berwarna biru. Dipilih warna biru karena di dalam greenhouse tidak banyak warna biru yang dapat mengganggu *object tracking* [8]. Dalam implementasinya,

posisi *marker* ini diletakan di atas pergelangan kaki pemanen sekitar 25 cm dari tumit kaki dengan dibentuk seperti gelang dan lingkaran diameter objek lingkaran 5 cm atau bisa juga dipasang pada sepatu boot yang biasa dipakai oleh petani/pekerja.



Gambar 5. Titik pengujian untuk mengetahui jangkauan kamera dan pembagian daerah perintah berdasarkan lokasi centroid objek sebagai panduan navigasi robot.

TABEL II. PERGERAKAN RODA ROBOT SESUAI DENGAN PERINTAH

No	Perintah	Roda Kiri	Roda Kanan
1	Maju	Maju	Maju
2	Berhenti	Berhenti	Berhenti
3	Belok kanan	Maju	Mundur
4	Belok kiri	Mundur	Maju

Pergerakan maju, berhenti, belok kanan, dan belok kiri pada robot menggunakan metode *differential drive steering*, yaitu dengan mengkombinasikan gerakan roda kanan dan roda kiri sehingga membuat pergerakan yang diinginkan. Tabel 2 menunjukkan kombinasi gerakan roda kiri dan roda kanan untuk menghasilkan suatu pergerakan yang diinginkan. Pada penelitian ini kecepatan motor diatur dengan mengatur tegangan masukan masing-masing motor yang diatur dengan *Pulse Width Modulation* (PWM). Model yang dikembangkan belum dilengkapi sistem kendali kecepatan motor. Namun karena robot tidak dioperasikan dalam kecepatan tinggi hal tersebut tidak menimbulkan masalah yang signifikan.

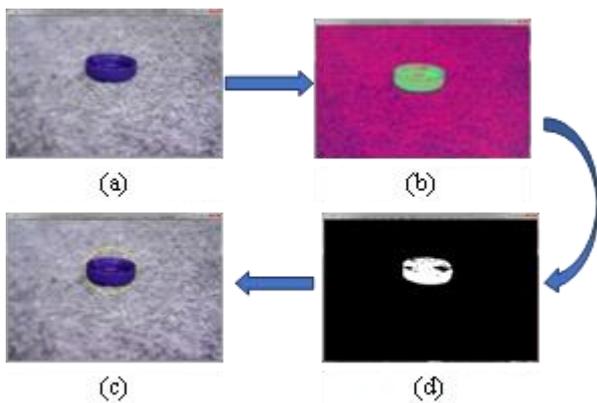
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam studi ini dilakukan 2 pengujian yaitu terkait pengolahan citra untuk deteksi objek dan sistem kendali berbasis pelacakan objek. Secara lebih rinci hasil dan diskusi untuk masing-masing pengujian diuraikan sebagai berikut:

A. Pengolahan Citra untuk Deteksi Objek

Pengolahan citra merupakan bagian penting dari sistem navigasi berbasis pelacakan objek. Unit pengolahan citra harus mampu mendeteksi keberadaan objek yang dari citra yang diakuisisi secara real time oleh webcam. Oleh karena itu, desain *marker* menjadi salah satu kunci penting baik dari sisi ukuran, bentuk, maupun warna. Hal ini dimaksudkan agar pengolahan citra dapat dilakukan dengan proses yang sederhana dan dilakukan dalam waktu sesingkat mungkin.

Gambar 6 menunjukkan contoh hasil pengolahan citra. Gambar 6a. menunjukkan citra asli yang diambil dari video stream yang ditangkap menggunakan webcam. Citra yang diperoleh masih dalam bentuk nilai RGB dan selanjutnya dikonversi menjadi HSV (Gambar 6b). Proses dilanjutkan dengan binerisasi dengan menerapkan thresholding sehingga objek target dapat diekstrak dari citra dan menampilkannya dalam bentuk citra biner (hitam-putih) seperti ditunjukkan Gambar 6c. Terakhir dilakukan penentuan centroid dari objek sehingga dapat ditentukan koordinat lokasi objek pada layar kamera (Gambar 6d). Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa hasil pengolahan citra sudah sesuai tujuan, yaitu memisahkan objek dengan *background* dan mengetahui letak *centroid* pada objek. Waktu pengolahan citra juga cukup singkat serta mampu mengikuti pergerakan objek secara *real-time* sehingga dapat digunakan untuk melakukan pelacakan objek dengan baik.



Gambar 6. Hasil pengolahan citra untuk deteksi objek: a) citra asli hasil akuisisi oleh webcam, b) hasil konversi nilai RGB menjadi HSV, c) Citra hasil binerisasi, dan d) Centroid dari objek yang ditunjukkan oleh titik merah di dalam lingkaran.

B. Sistem Navigasi Robot Berbasis Object tracking

Pengujian selanjutnya adalah pengujian terkait jangkauan kamera yaitu jarak terjauh yang dapat ditangkap kamera serta proyeksinya terhadap layar kamera. Pengujian didasarkan menggunakan koordinat x dan y sebagai letak benda yang akan diikuti. Berdasarkan data pada Tabel 3 jarak terjauh objek yang dapat dideteksi oleh robot adalah pada sumbu $x = 0$ cm karena benda diletakan tepat didepan kamera dan jarak $y = 60$ cm. Sedangkan saat objek diletakan pada sisi kanan robot. Jarak terjauh yang dapat dideteksi oleh robot adalah koordinat $x = 22$ cm dan $y = 60$ cm. Jarak terjauh pada saat objek diletakan pada sisi kiri robot adalah koordinat $x = -22$ cm dan $y = 60$ cm.

Kemampuan robot dalam mendeteksi objek tergantung juga terhadap intensitas cahaya. Tabel 4 menunjukan hasil pendeteksian objek terhadap intensitas cahaya. Berdasarkan tabel 4 robot dapat dengan baik mendeteksi objek hingga jarak terjauh 60 cm pada intensitas cahaya 30 lux dan 100 lux. Sedangkan pada intensitas cahaya dibawah 15 lux dan diatas 1750 lux robot tidak dapat mendeteksi objek dengan baik.

TABEL III. DATA JARAK RESPON TERJAUH

Ulangan	Depan (PF _{max})		Kanan (PR _{max})		Kiri (PL _{max})	
	x (cm)	y (cm)	x (cm)	y (cm)	x (cm)	y (cm)
1	0.0	60.0	22.0	60.0	-22.0	60.0
2	0.0	59.0	21.0	60.0	-22.0	60.0
3	0.0	60.0	22.0	60.0	-22.0	60.0
Rataan	0.0	59.7	21.7	60.0	-22.0	60.0

TABEL IV. HASIL PENDETEKSIAN OBJEK TERHADAP INTENSITAS CAHAYA

Jarak	Intensitas (lux)				
	5	15	30	100	1750
10	x	v	v	v	v
20	x	v	v	v	v
30	x	v	v	v	v
40	x	v	v	v	x
50	x	v	v	v	x
60	x	x	v	v	x

Keterangan :

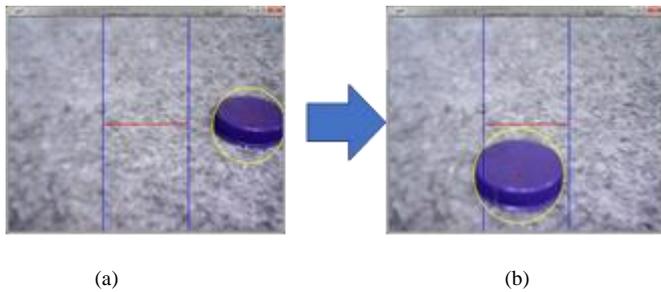
- x = Robot tidak dapat mendeteksi tobjek
- v = robot dapat mendeteksi objek

Setelah dilakukan pengujian jangkauan kamera pengujian dilanjutkan dengan uji kecepatan respon robot. Penentuannya dilakukan berdasarkan seberapa lama robot dapat mencapai titik-titik terjauh tersebut sampai robot berhenti bergerak. Data-data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4. Kecepatan respon untuk objek yang berada di sisi kiri dan kanan lebih lama. Sebab robot perlu menyesuaikan arah pada kiri atau kanan berdasarkan letak objek yang akan dicapai. Setelah itu barulah robot akan maju ke depan dan berhenti pada titik berhenti, yaitu pada saat *centroid* objek berada pada pertengahan layar kamera (zona D2). Berdasarkan data-data tersebut dapat dianggap bahwa robot sudah mampu mengikuti pemanen dengan baik sesuai dengan batasan-batasan yang terdapat pada uji kinerja.

TABEL V. WAKTU RESPON

Pergerakan	Ulangan			Rataan
	1	2	3	
Maju (detik)	2.76	3.29	3.36	3.14
Kanan (detik)	4.36	5.02	4.61	4.66
Kiri (detik)	4.63	4.09	4.53	4.42

Selanjutnya dilakukan pengujian terkait sistem navigasi. Berdasarkan hasil pengolahan citra sebelumnya dapat ditentukan lokasi objek dan juga langkah kendali yang diperlukan sesuai dengan skema yang dirancang. Gambar 7 menggambarkan ilustrasi ini. Gambar 7a menunjukkan hasil pengolahan citra yang menunjukkan bahwa objek berada di zona D3 sehingga sistem akan mengirimkan perintah kepada robot untuk berbelok ke kanan hingga objek berada pada zona tengah (D1 atau D2). Selanjutnya jika objek masih berada di zona D1, maka sistem akan mengirimkan perintah maju hingga objek berada di zona D2. Selanjutnya robot berhenti. Gambar 7a menunjukkan citra sebelum pergerakan robot dan Gambar 7b menunjukkan citra setelah pergerakan robot.



Gambar 7. Pergerakan robot mengikuti objek: a) citra sebelum dan b) citra setelah pergerakan robot.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan baik uji fungsional pada *object tracking* maupun fungsional pergerakan robot, dapat disimpulkan bahwa robot dapat berfungsi dengan baik. Walaupun robot yang dibuat merupakan permodelan dari desain sebenarnya, namun secara fungsional sudah menyerupai desain yang sebenarnya. Berdasarkan uji kinerja, robot dapat mengikuti objek warna yang sudah ditentukan. Namun dengan batasan-batasan yang telah diuji. Selanjutnya akan dibuat prototipe dari robot ini yang sesuai dengan dengan desain yang diinginkan sehingga dapat diuji di lapangan, kemudian dapat diketahui keefektifan dan efisiensi dari robot ini dalam meningkatkan kapasitas pemanenan di dalam *greenhouse*.

- [1] Zhao Y, Gong Liang, Liu Chengliang, Huang Y.2016. Dual-arm robot design and testing for harvesting tomato in Greenhouse. *IFAC-PapersOnLine*. 49(16): 161–165
- [2] Wang R, Zhang H, Leung C. 2015. Follow me : a personal robotic companion for elderly. *International Journal of Information Technology*. 21(1): 1-20
- [3] Afghani S dan Javed M I. 2013. Follow Me Robot Using Infrared Beacons. *Savap International Journal*. 4(3):63-72
- [4] Gurram R, SweathaSuresh, Sneha, Sushmitha. 2016. Object Tracking Robot on Raspberry Pi using Opencv. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. 35(4):160-163
- [5] Warren Gay. 2014. *Mastering The Raspberry Pi*. New York (US) : Apress Publisher
- [6] Joshi P, Godoy V, Escriva DM . 2016. *OpenCV By Example*. Brimingham (UK) : Packt Publishing
- [7] Ramirez A A dan Chouikha M. 2013. A New Algorithm for Tracking Objects in Videos of Cluttered Scenes. *International Journal of Information Technology, Modeling and Computing (IJITMC)*. 1(2): 71-83
- [8] Karthikeyan M, Kudalingam M, Natrajan P, Palaniappan K, Prabhu AM. 2016. Object Tracking Robot by Using Raspberry PI with Open Computer Vision (CV). *International Journal of Trend in Research and Development*. 3(3):31-35