

Deteksi Objek Untuk Robot Bergerak Menggunakan Kamera Omnidirectional Berbasis Fitur Warna

Yogi Dwi Mahandi¹

1. Universitas Negeri Malang, Indonesia | yogi.mahandi.ft@um.ac.id

Abstrak

Kamera merupakan sebuah sensor yang digunakan oleh robot untuk mengetahui keadaan di lingkungan sekitarnya. Dengan menggunakan kamera, berbagai persepsi dapat diambil sesuai dengan kebutuhan. Salah satu penggunaannya, robot dapat mendeteksi objek-objek tertentu pada lingkungan sekitarnya, termasuk sebuah bola di lapangan sepak bola. Jurnal ini menjelaskan mengenai proses pendeteksian bola menggunakan kamera omnidirectional 360° berdasarkan fitur warna menggunakan teknik filtering. Dari pendeteksian ini, akan didapatkan informasi jarak dan sudut bola terhadap robot. Nantinya robot akan mendekati bola dengan cara memutar badan robot sehingga lurus dengan letak dan maju sampai menyentuh bola. Performa robot dalam melakukan navigasi mendekati objek sebesar 90%.

Kata Kunci

Deteksi Objek, Kamera Omnidirectional, Filter Warna, Robot Sepak Bola

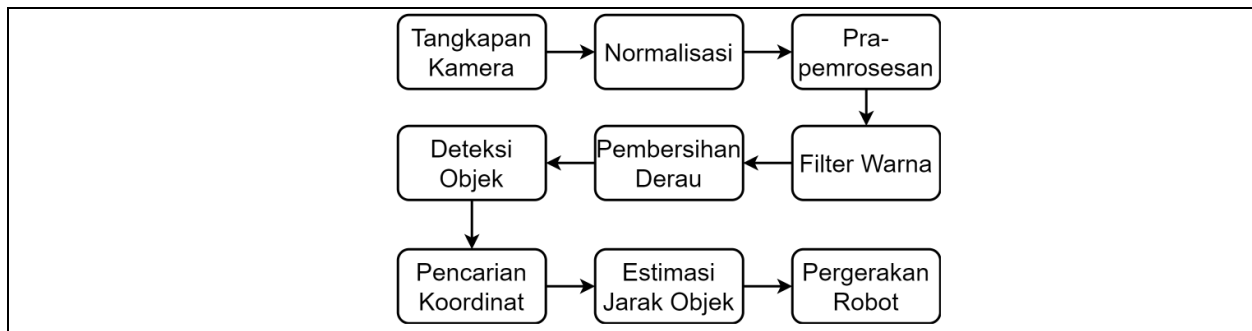
1. Pendahuluan

Robot merupakan sebuah alat yang dirancang secara khusus untuk melakukan sebuah pekerjaan yang ditujukan untuk membantu manusia. Pekerjaan tersebut nantinya akan selalu dilakukan secara terus-menerus ataupun berulang. Pekerjaan robot biasanya berupa memindahkan objek, mengklasifikasi objek, memonitor kualitas objek, maupun mengikuti sebuah objek (Choi dkk., n.d.; Guo dkk., 2017; Markovic dkk., 2014; Sendari dkk., 2015). Oleh karenanya, sebuah alat yang mengerjakan sebuah pekerjaan untuk membantu pekerjaan manusia (tidak peduli rumit atau tidak) sudah dapat digolongkan sebagai sebuah robot. Untuk melakukan pekerjaannya, sebuah robot tentunya membutuhkan kemampuan untuk mengetahui keadaan di sekitarnya. Kegiatan ini sering disebut dengan penginderaan (Giagkos dkk., 2017; Silva, 2008; Silva dkk., 2009). Penginderaan ini sangat membantu robot untuk memberikan informasi kepada robot mengenai hal-hal yang ada disekitarnya ataupun sejauh mana aksi robot sudah dikerjakan terhadap lingkungannya. Tentunya hal ini juga bisa digunakan robot sebagai umpan balik bagi robot untuk melakukan evaluasi hasil pekerjaannya pada saat itu. Umpan balik dan evaluasi tersebut nantinya akan digunakan robot sebagai pertimbangan untuk mengurangi galat atau kesalahan atau ketidak sesuaian aksi robot untuk melakukan pekerjaannya dengan harapan pekerjaan yang dilakukan robot dapat bekerja secara baik dan benar. Begitu juga pada sebuah robot pendeteksi objek, pada bagian penginderaannya, robot membutuhkan sebuah sensor penerima pantulan cahaya dari sebuah objek yang diubah menjadi sebuah titik-titik yang digabungkan dan disusun menjadi sebuah matrix. Matrix tersebut terdiri dari 3 dimensi matrix penyusun yang digabung menjadi satu yaitu kanal R, kanal G, dan kanal B. Sensor ini juga sering disebut dengan kamera digital (Deepu dkk., 2015; Lu dkk., 2011; Yazdi and Bouwmans, 2018).

Kamera digital memiliki banyak variasi berikut fitur-fiturnya. Pada umumnya, sebuah kamera digital yang digunakan oleh robot memiliki daya tangkap 30 frame (*still image*) tiap detiknya (*fps*) dengan dimensi tangkap (*resolution*) 720p (*HD*) atau 1080p (*Full HD*). Namun ada beberapa tipe kamera yang menggunakan 60 fps dengan dimensi tangkap dibawah 720p. Hal ini tentunya menjadi penentu spesifikasi kamera yang baik untuk digunakan robot dalam melakukan tugasnya. Jika robot membutuhkan feedback dari kamera yang lebih mendetail, maka digunakan kamera dengan cuplikan yang tinggi, bisa melebihi 60 fps. Namun, dampak dari cuplikan yang tinggi, dimensi tangkap akan semakin mengecil. Lebih jauh, kamera digital juga memiliki sebuah sudut tangkap (*angle of view*) yang beragam. Semakin kecil nilai sudut tangkapnya, jangkauan tangkap kamera (dalam sudut) akan semakin mengecil, begitu juga sebaliknya hingga sudut tangkap kamera mencapai 360 derajat. Kamera dengan spesifikasi 360 derajat sudut tangkap, sering disebut dengan *omnidirectional camera* (Choi dkk., n.d.; Ismael and Hedley, 2016; Markovic dkk., 2014; Neves dkk., 2011; Urban dkk., 2015; Wang dkk., 2018; Zaeni dkk., 2018). Oleh karenanya pemilihan jenis kamera untuk dibutuhkan robot haruslah ditentukan dengan pertimbangan yang matang.

2. Metode

Robot dapat melakukan pendeteksian objek dan bergerak mendekatinya menggunakan langkah-langkah sebagai berikut: (1) kamera menangkap citra, (2) normalisasi data kamera, (3) pra-pemrosesan data, (4) penerapan filter warna, (5) pembersihan derau, (6) pendeteksian objek, (7.) pencarian koordinat objek, (8) mengestimasi jarak objek dengan robot, dan (9) robot bergerak mendekati objek tujuan. Metode tersebut tercantum pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Metode Pendeteksian Objek Pada Robot Bergerak

Tangkapan kamera merupakan sebuah proses yang dilakukan robot untuk mengetahui keadaan sekitarnya dalam bentuk citra digital. Tangkapan kamera yang dilakukan oleh robot menggunakan kamera dengan spesifikasi 60 cuplikan tiap detiknya dan resolusi tangkapannya sebesar 1280 piksel x 720 piksel. Selain itu, kamera pada robot juga dibekali sebuah cermin pada bagian atasnya yang ditujukan untuk memantulkan kondisi sekeliling robot yang memungkinkan kamera robot dapat menangkap sebesar 360 derajat tangkap atau disebut dengan omnidirectional camera. Kamera yang digunakan menggunakan sambungan usb menuju komputer robot. Untuk rancang kamera omnidirectional robot yang digunakan, ditunjukkan pada Gambar 2 serta Gambar 3 menunjukkan citra hasil tangkapan kamera omnidirectional robot.

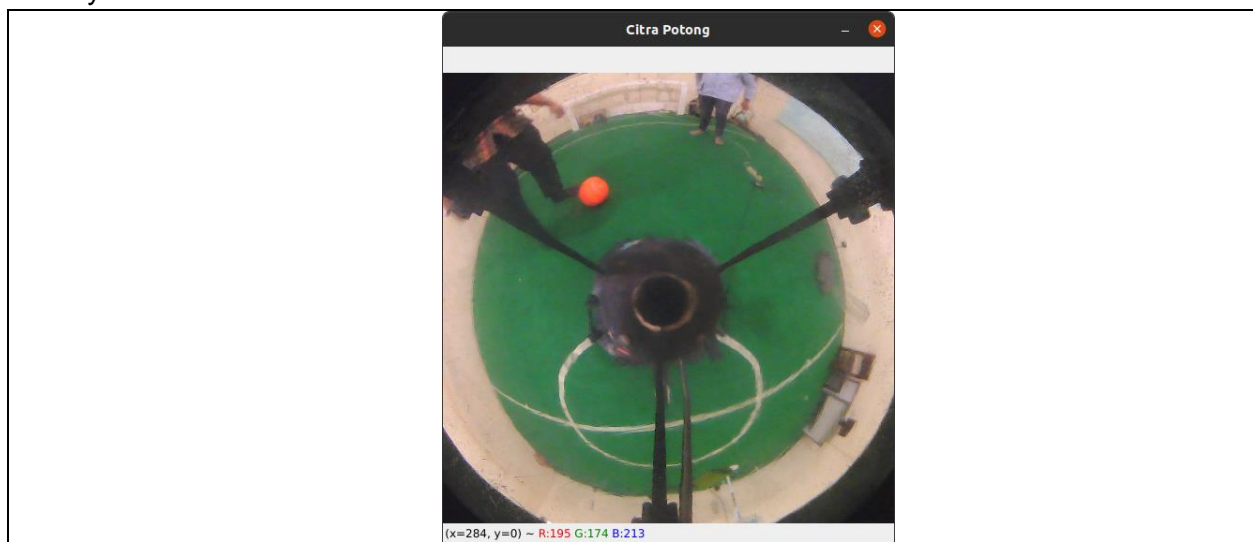


Gambar 2. Rancang kamera omnidirectional yang digunakan robot



Gambar 3. Citra Hasil Tangkapan Kamera Omnidirectional

Langkah selanjutnya merupakan normalisasi data citra yang sudah ditangkap. Normalisasi tersebut merupakan sebuah tahap dimana citra yang tertangkap dinormalkan dahulu resolusinya agar sesuai dengan kebutuhan proses setelahnya. Pada tahap normalisasi ini, citra akan dipotong sedemikian sehingga memiliki ukuran 1:1 untuk tinggi dan lebar citranya. Pada sistem ini, hasil pemotongan citra memiliki resolusi 480 piksel x 480 piksel. Pemilihan ukuran citra ini, dapat mempermudah penulisan koordinat objek yang akan dideteksi terhadap bidang citra nantinya.



Gambar 3. Hasil Normalisasi Citra Awal

Setelah tahap pemotongan citra, dilakukan normalisasi citra dengan mengubah titik origin dari citra, dimana titik origin (0,0) dari citra yang semula berada pada bagian kiri atas digeser pada tengah-tengah citra. Sehingga didapatkan hasil pemindahan titik origin seperti titik merah pada Gambar 4. Pada teknisnya, garis dan titik pada Gambar 4 dihilangkan agar tidak mengganggu proses pengolahan citra digitalnya.



Gambar 4. Pemindahan Titik Origin Citra

Setelah dilakukan tahap normalisasi citra, tahap selanjutnya adalah pra-pemrosesan citra. Pada tahap ini, dilakukan penghalusan citra (smoothing) dengan menggunakan teknik blur. penghalusan ini digunakan agar derau-derau warna yang muncul dan mengganggu dapat dihilangkan dengan perhitungan yang singkat. Proses penghalusan dilakukan menggunakan teknik rata-rata atau sesuai dengan Persaman 1.

$$Blur = \frac{1}{25} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Pers. (1)}$$

Setelah derau pada citra dihaluskan dan menjadi lebih sedikit, tahap selanjutnya adalah pengubahan ruang warna. Pengubahan ini dari ruang warna RGB (Red, Green, Blue) menjadi ruang warna HSL (Hue, Saturation, Lightness). Pengubahan ruang warna ini melalui proses perhitungan sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 2. Sehingga dari perhitungan tersebut, muncul variasi warna dari ketiganya.

$$H = \begin{cases} 0^\circ & , \Delta = 0 \\ 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \text{mod} 6 \right) & , C_{max} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right) & , C_{max} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right) & , C_{max} = B' \end{cases} \quad \text{Pers. (2)}$$

$$S = \begin{cases} 0 & , \Delta = 0 \\ \frac{\Delta}{1 - |2L - 1|} & , \Delta <> 0 \end{cases} \quad \text{Pers. (3)}$$

$$L = \frac{C_{max} + C_{min}}{2} \quad \text{Pers. (4)}$$

Keterangan:

Sebelum dilakukan pengoperasian konversi ruang warna dari RGB ke HSL, nilai R, G, B harus dibagi dengan 255 untuk mengubah skala warna tiap kanal dari 0 sampai 255 menjadi 0 sampai 1.

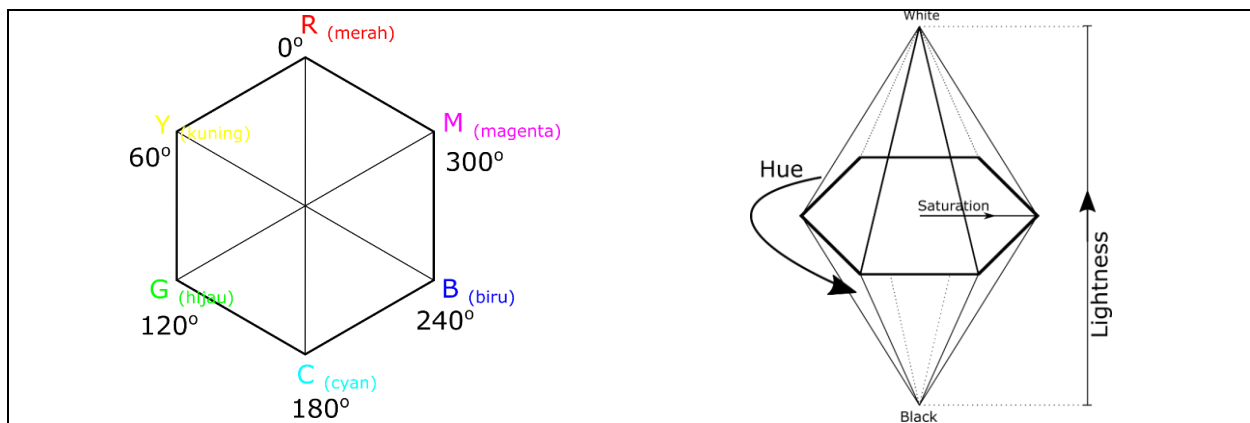
- $R' = \frac{R}{255}$: Pengubaaan Skala Nilai Red
- $G' = \frac{G}{255}$: Pengubaaan Skala Nilai Green
- $B' = \frac{B}{255}$: Pengubaaan Skala Nilai Blue
- $C_{max} = \max(R', G', B')$: Nilai Terbesar
- $C_{min} = \min(R', G', B')$: Nilai Terkecil
- $\Delta = C_{max} - C_{min}$: Nilai Delta

Hue merupakan sebuah anggota kanal warna HSL yang berisi pilihan warna yang muncul pada bidang citra, yaitu perpaduan antara Red, Green, Blue. Pilihan warna tersebut nantinya akan dikonversi menjadi sudut warna dengan total 360° warna. Untuk mempermudah pembagian daerah kerja tiap warnanya, sudut 360° dibagi oleh 3 warna dasar Merah, Hijau, dan Biru, sehingga tiap warna dasar memiliki kelipatan 120°. Oleh karenanya, sudut 0 sebagai awal sudut, diwakili oleh warna Merah (Red), lalu berputar menuju sudut 120° dan diwakili oleh warna Hijau, lalu berputar kembali menuju sudut 240° yang merupakan warna Biru hingga menuju sudut 359° yang merupakan sisi lain dari warna Merah. Dari percampuran kedua warna dasar tersebut, membentuk variasi warna sekunder dengan sudutnya masing-masing. Percampuran antara warna Merah (Red) dan Hijau (Green), membentuk warna Kuning (Yellow) dengan sudut

$\frac{|0^\circ - 120^\circ|}{2} + 0 = 60^\circ$. Percampuran warna Hijau (*Green*) dengan Biru (*Blue*), membentuk warna Cyan dengan sudut $\frac{|120^\circ - 240^\circ|}{2} + 120^\circ = 180^\circ$. Percampuran selanjutnya adalah warna Biru (*Blue*) dan warna Merah (*Red*) yang membentuk warna *Magenta* dengan sudut $\frac{|240^\circ - 360^\circ|}{2} + 240^\circ = 300^\circ$. Sudut-sudut warna yang dibentuk dari warna primer dan sekunder tersebut, ditunjukkan pada Gambar 5 dan warna-warna ini dijadikan dasar acuan untuk tahap filtering warna pada kanal Hue.

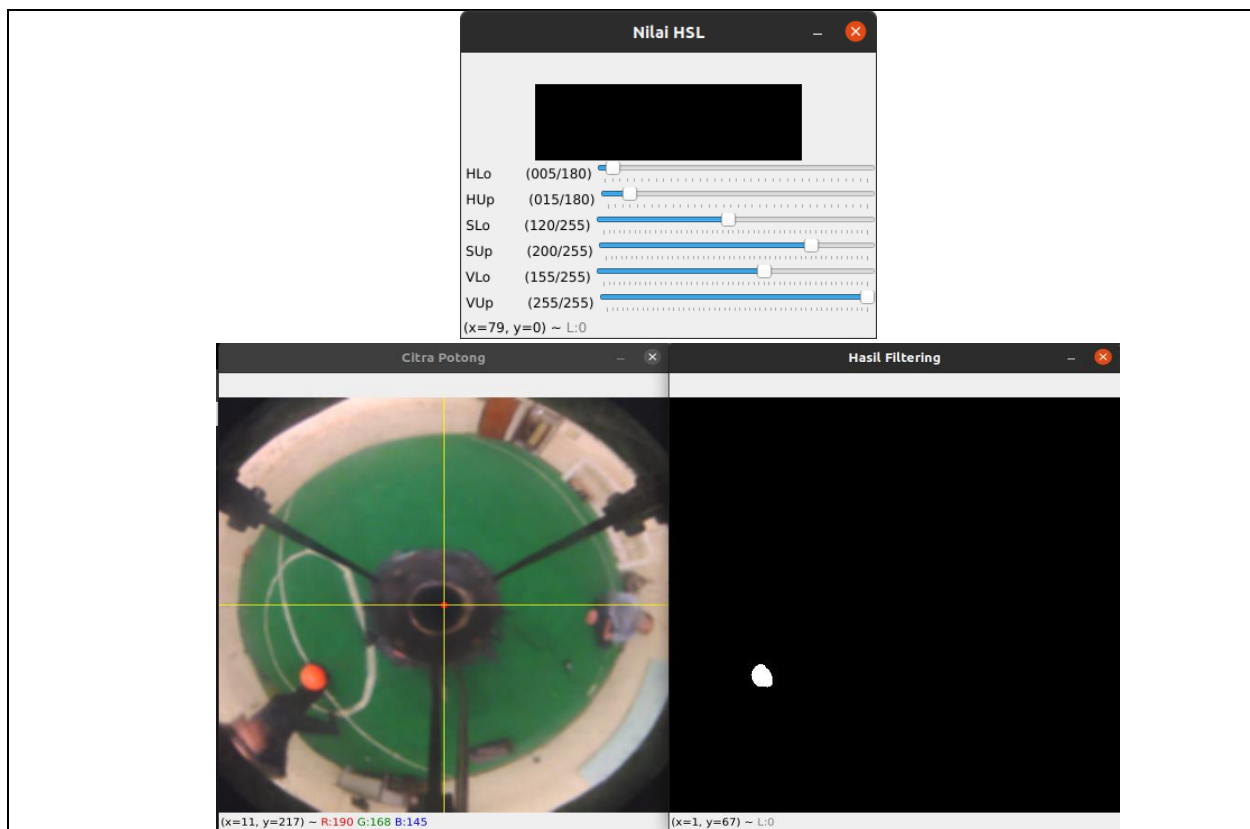
Kanal selanjutnya adalah Saturation, dimana kanal ini merupakan kanal yang berisikan informasi seberapa murni sebuah warna ditampilkan pada bidang citra. Kanal ini berisikan tingkatan kemurnian antara 0-255 (dalam skala citra keabuan atau 8-bit citra). Semakin kecil angka dari kanal ini, warna yang muncul pada bidang citra akan semakin pudar. Sebaliknya, semakin besar angka dari kanal ini, warna yang muncul pada bidang citra, semakin pekat. Analogi dari kanal Saturation adalah seperti kita melakukan pengecatan sebuah bidang menggunakan teknik *air-brush*, dimana semakin sering kita menyemprotkan tinta cat pada bidang, maka kepekatan cat tersebut semakin tinggi dan mempengaruhi seberapa pekat warna yang muncul/tampak pada bidang. Gambar 5 menunjukkan diagram Saturation dan arah kepekataannya. Semakin pekat kebagian luar, maka warnanya semakin pekat.

Kanal yang terakhir dari ruang warna HSL adalah *Lightness*. Kanal ini berisikan seberapa besar kecerahan yang tampak pada suatu bidang citra. Semakin kecil nilai *Lightness*-nya, maka semakin gelap suatu warna hingga berujung pada warna hitam (bernilai 0). Sedangkan semakin besar nilainya, maka semakin terang hingga berujung pada warna putih (bernilai 255). *Lightness* berbeda dengan *Value* pada ruang warna HSV, dimana nilai *Value* hanya setengah dari nilai *Lightness* atau nilai 255 pada *Value* sama dengan nilai 128 pada *Lightness*. Jadi penentuan penggunaan *Lightness* atau *Value*, harus ditentukan terlebih dahulu ciri-ciri dari warna pada objek yang akan digunakan dalam pengolahan citra. Pada kasus ini, digunakan ruang warna HSL untuk mendeteksi salah satu objek berwarna putih.



Gambar 4. Ruang Warna HSL (Hue, Saturation, Lightness)

Setelah dilakukan perubahan ruang warna dari RGB menjadi HSL, warna sudah siap untuk dilakukan filtering menurut ciri-ciri objek yang akan dideteksi. Pemfilteran warna dilakukan pada tiap kanal warna dengan teknik *band-pass filter* dimana penentuan batas dari filter warna tersebut dapat diambil dari derajat warnanya sendiri. Pada kasus ini, objek yang akan dideteksi adalah bola dengan warna oranye. Pada kanal Hue, derajat warna oranye berada diantara warna merah (0°) dan warna kuning (60°). Dengan memberikan nilai filtering -20° (batas bawah) dan $+20^\circ$ (batas atas) dari nilai tengah warnanya yaitu 30° , didapatkan nilai filter batas bawah sebesar 10° dan batas atas 50° . Akan tetapi, jika kondisi lingkungan robot berubah dan mempengaruhi warna tangkap kamera, pengaturan manual dapat diterapkan dan disesuaikan sendiri. Dengan melakukan teknik filtering yang serupa pada kanal Saturation dan Lightness, nilai filtering juga dapat disesuaikan secara manual dengan kondisi lingkungan robot (kalibrasi manual). Gambar 5 menunjukkan proses filtering warna dengan hasil filtering berupa objek berwarna putih (bernilai 1) pada frame mask.

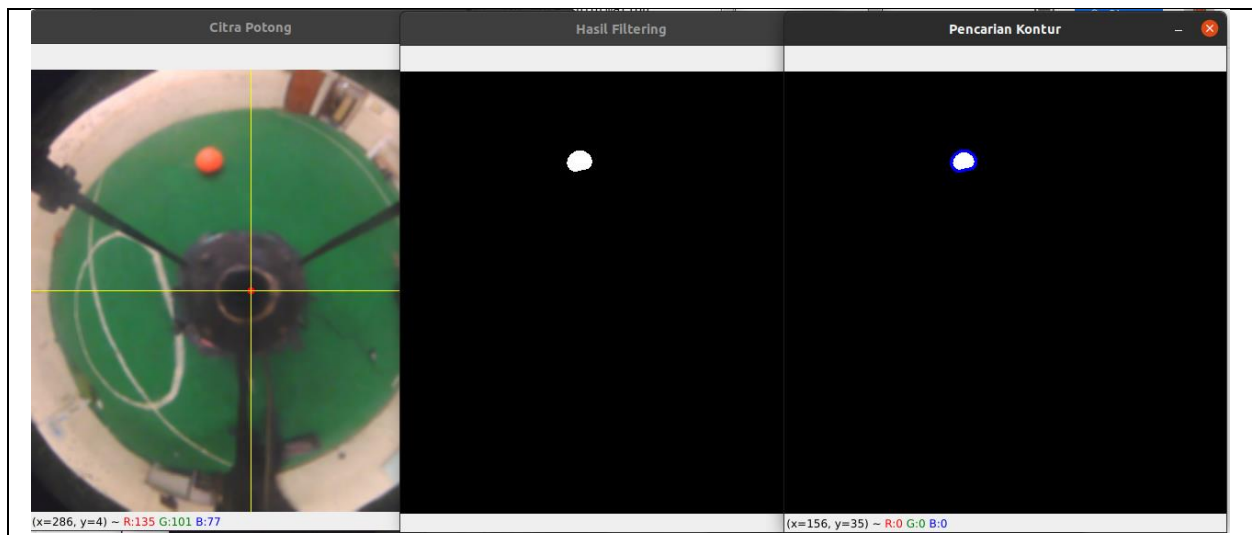


Gambar 5. Proses Filtering Warna Pada Ruang Warna HSL (Hue, Saturation, Lightness)

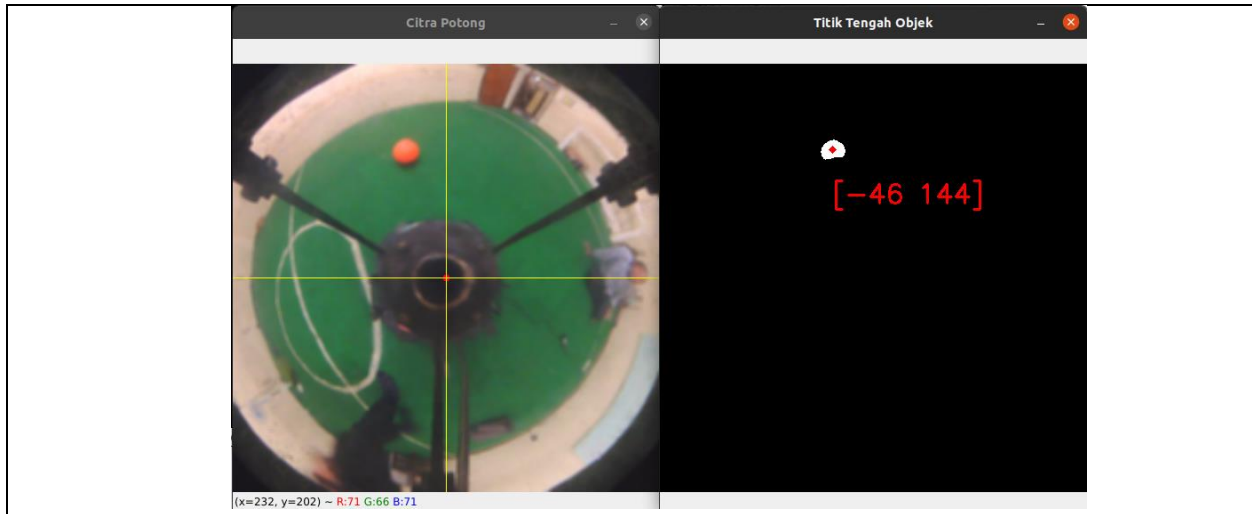
Proses filtering warna menghasilkan citra biner dimana warna putih bernilai 255 (*True*) yang berarti objek yang terdeteksi (bola oranye) dan hitam bernilai 0 (*False*) selain objek yang terdeteksi. Citra biner tadi, sebagai acuan untuk pencarian kontur (*contour*). Kontur merupakan sebuah kurva yang menghubungkan semua titik kontinu yang memiliki warna atau intensitas yang sama. Dari hasil pencarian kontur tersebut, didapatkan beberapa titik-titik lokasi dimana letak konturnya (lihat titik-titik biru pada Gambar 6). Warna biru merupakan kumpulan titik-titik kontur yang telah ditemukan. Dari koordinat titik-titik kontur tersebut, dapat ditentukan dimana letak titik tengahnya (*centroid*). Untuk mendapatkan koordinat *centroid*, digunakan teknik moment. Moment merupakan jumlah luasan (*area*) dari sebuah intensitas citra berwarna putih (*objek*) dengan informasi lokasinya di dalam sebuah citra. Didapatkan sebuah matrik 2x2 dari teknik moment ini. Untuk dapat memperoleh koordinat *centroid*-nya, digunakan perhitungan pada Persamaan 2 dan hasil perhitungan letak titik tengah objek $C_{(x,y)}$ (titik merah) terhadap koordinat origin ditunjukkan pada Gambar 7.

$$C_x = \frac{M_{10}}{M_{00}} \quad \text{Pers. (5)}$$

$$C_y = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad \text{Pers. (6)}$$



Gambar 6. Proses Pencarian Titik-Titik Kontur

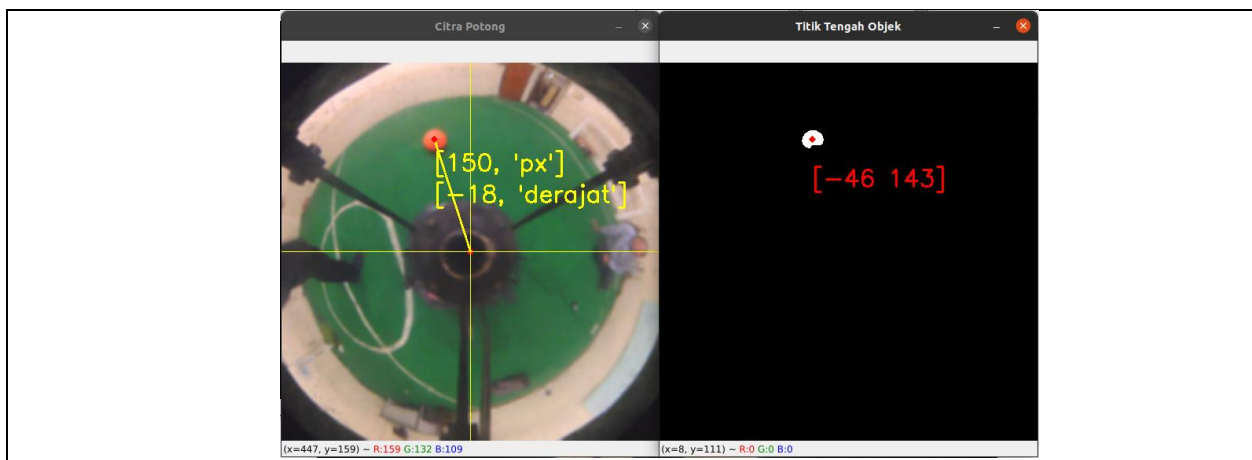


Gambar 7. Hasil Perhitungan Letak Titik Tengah Objek Terhadap Koordinat Origin

Setelah koordinat objek terhadap koordinat origin diketahui, dapat ditentukan estimasi nilai jarak objek terhadap titik tengah bidang citra. Jarak ini dapat diasumsikan sebagai jarak dari titik tengah robot dengan objek, sehingga dapat digunakan sebagai acuan navigasi robot nantinya. Jarak antara keduanya diperoleh dari Persamaan 3 dan Gambar 8 menunjukkan hasil pengukuran jarak dalam piksel (bidang citra).

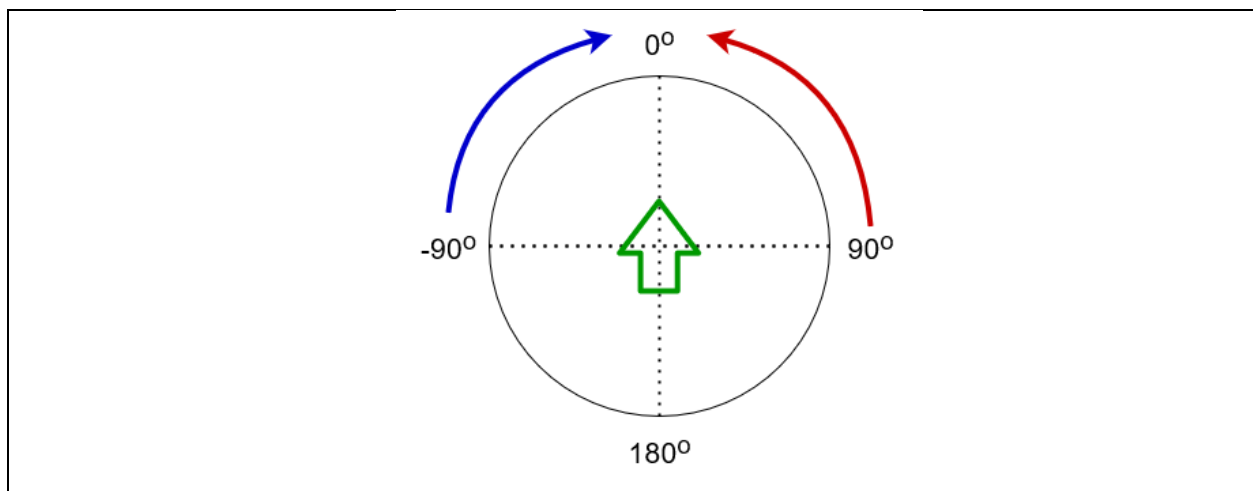
$$d = \sqrt{(x^2 + y^2)} \quad \text{Pers. (7)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad \text{Pers. (8)}$$



Gambar 8. Hasil Perhitungan Jarak Dan Sudut Objek Terhadap Robot

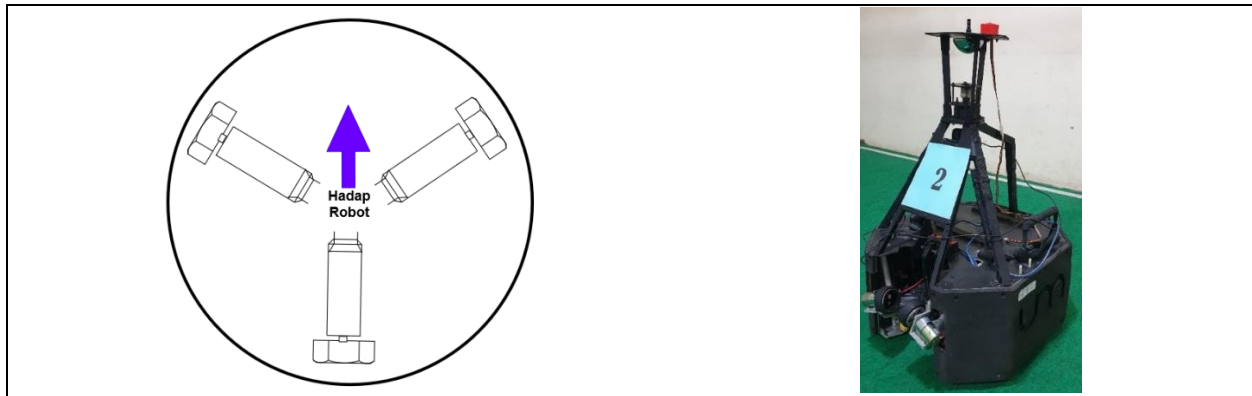
Setelah estimasi jarak antara robot dan objek didapatkan, tahap selanjutnya adalah pengambilan keputusan untuk navigasi robot. Dalam hal ini, kecepatan gerak robot ditentukan oleh jarak robot dengan objek, dan arah pergerakan ditentukan oleh sudut yang terbentuk. Pada penentuan sudut robot terhadap objek, digunakan titik acuan 0° sebagai arah hadap robot (depan), sudut negatif adalah letak objek pada bagian kiri hadap robot, dan sudut positif letak objek berada pada bagian kanan hadap robot. Pada sistem navigasi robot, peraturan yang diterapkan (1) robot akan berputar terlebih dahulu sedemikian sehingga mendekati sudut nol atau menghadap depan, (2) robot akan mendekati objek sesuai dengan nilai jarak yang terukur, (3) batasi kecepatan maksimal robot sebesar 50%.



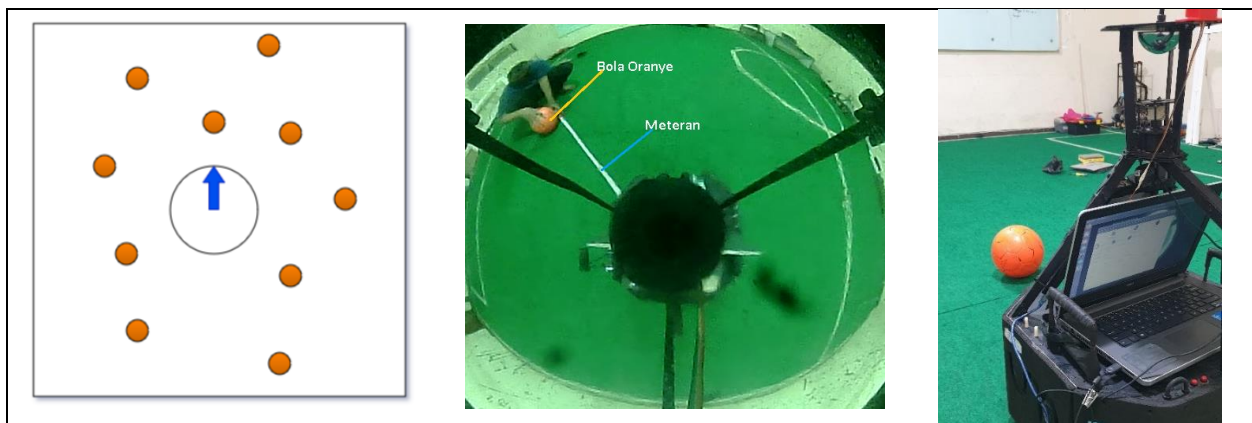
Gambar 9. Hasil Perhitungan Jarak Dan Sudut Objek Terhadap Robot

3. Hasil Dan Pembahasan

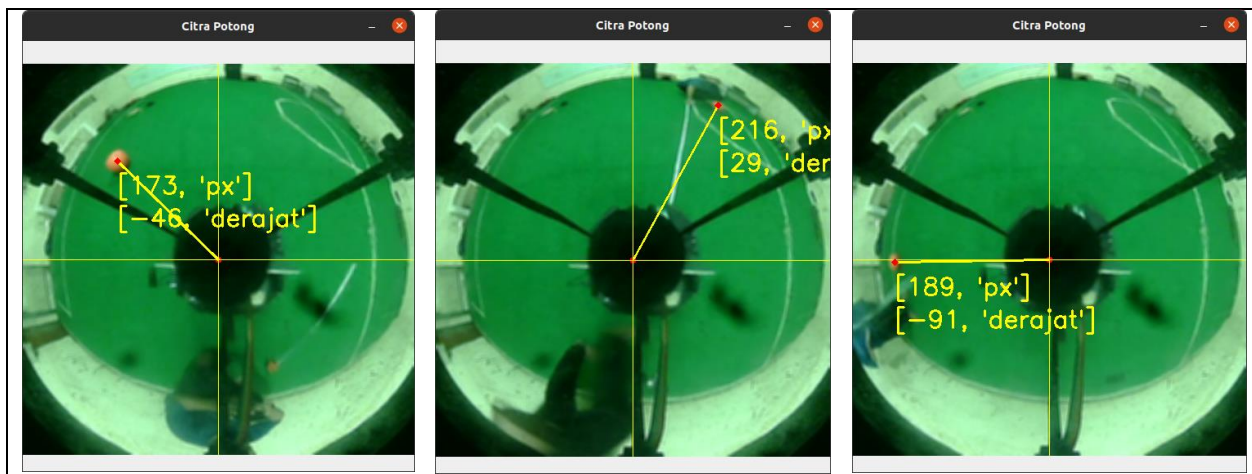
Pendeteksian objek menggunakan kamera omnidirectional diujikan menggunakan robot beroda yang menggunakan 3 buah roda omni. Letak kamera omnidirectional berada pada titik tengah rangka robot dengan ketinggian 55 cm dari permukaan tanah. Lalu objek yang akan dideteksi diletakkan pada sudut acak dengan jarak 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, 250 cm



Gambar 10. Robot Beroda Dengan 3 Roda Omni Untuk Pengujian



Gambar 11. Pengujian Dengan Peletakan Objek Secara Acak



Gambar 12. Hasil Pengujian Pendeteksian Serta Prediksi Jarak Dan Sudut Objek

Pengujian dilakukan 10 kali dengan jarak yang sudah ditentukan namun sudut peletakan objek secara acak. Jarak diukur menggunakan meteran antara titik tengah robot dan titik tengah objek. Objek uji yang digunakan adalah bola futsal berwarna oranye dengan diameter 4 Inch. Pencahayaan ruangan sedemikian sehingga diatur agar bayangan objek berada pada bagian bawahnya dan tidak mengganggu warna asli bidang objek pada bagian atas. Hasil pengujian deteksi objek dan navigasi robot ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Deteksi Objek dan Navigasi Robot

No	Jarak Terukur (cm)	Sudut Terukur (cm)	Prediksi Jarak (px)	Prediksi Sudut	Navigasi Putar Sudut Objek	Navigasi Mendekati Objek
1	50	0	72	-1	Sukses	Sukses
2	100	-45	173	-46	Sukses	Sukses
3	150	-90	189	-91	Sukses	Sukses
4	200	30	216	29	Sukses	Sukses
5	250	60	-	-	Objek Tidak Terdeteksi	Gagal Bergerak
6	50	135	75	122	Sukses	Sukses
7	100	170	171	174	Sukses	Sukses
8	150	-150	193	-147	Sukses	Sukses
9	200	-100	218	-97	Sukses	Sukses
10	250	120	221	122	Sukses	Sukses

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan sebuah error dimana sudut objek berada pada sudut 60° dimana letak bola sejajar dengan bagian penyangga dari kamera omnidirectional berwarna hitam. Oleh karenanya, objek tidak terdeteksi dan robot gagal dalam melakukan navigasi. Selain itu, pada jarak 250 cm, objek masih terdeteksi oleh robot dan robot masih bisa bergerak mendekati objek.

Performa dari prediksi jarak dan jarak sesungguhnya, masih mengalami kesalahan dalam konversinya. Didapatkan nilai MAD (Mean Absolute Different) sebesar 58,6 dari jarak terukur dan prediksi jarak dan sebesar 8,9 dari sudut terukur dan prediksi sudutnya. Nilai tersebut menjadi besar dikarenakan ada satu data yang tidak terdeteksi sehingga nilai prediksi jarak dan prediksi sudut menjadi 0. Sedangkan untuk performa navigasi robot, dari 10 percobaan, hanya 1 percobaan yang tidak sukses, sehingga nilai performa untuk navigasi robot sebesar 90% sukses sesuai target.

4. Kesimpulan

Fitur warna dapat digunakan sebagai salah satu solusi untuk mendeteksi objek menggunakan kamera omnidirectional kamera. Kamera ini juga membantu robot dalam mendeteksi objek pada sekelilingnya dan bernavigasi mendekati objek dengan performa yang baik sebesar 90%.

Daftar Rujukan

- Choi, Y.-W., Choi, J.-W., Im, S.-G., Qian, D., Lee, S.-G., n.d. Multi-Robot Avoidance Control Based on Omni- Directional Visual SLAM with a Fisheye Lens Camera 19, 10.
- Deepu, R., Honnaraju, B., Murali, S., 2015. Path Generation for Robot Navigation using a Single Camera. *Procedia Computer Science* 46, 1425–1432. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.02.061>
- Giagos, A., Lewkowicz, D., Shaw, P., Kumar, S., Lee, M., Shen, Q., 2017. Perception of Localized Features During Robotic Sensorimotor Development. *IEEE Trans. Cogn. Dev. Syst.* 9, 127–140. <https://doi.org/10.1109/TCDS.2017.2652129>
- Guo, S., Pan, S., Shi, L., Guo, P., He, Y., Tang, K., 2017. Visual Detection and Tracking System for a Spherical Amphibious Robot. *Sensors* 17, 870. <https://doi.org/10.3390/s17040870>
- Ismael, O.Y., Hedley, J., 2016. Development of an Omnidirectional Mobile Robot Using Embedded Color Vision System for Ball Following 22, 12.
- Lu, H., Yang, S., Zhang, H., Zheng, Z., 2011. A robust omnidirectional vision sensor for soccer robots. *Mechatronics* 21, 373–389. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2010.06.007>
- Markovic, I., Chaumette, F., Petrovic, I., 2014. Moving object detection, tracking and following using an omnidirectional camera on a mobile robot, in: 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Presented at the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), IEEE, Hong Kong, China, pp. 5630–5635. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2014.6907687>
- Neves, A.J.R., Pinho, A.J., Martins, D.A., Cunha, B., 2011. An efficient omnidirectional vision system for soccer robots: From calibration to object detection. *Mechatronics* 21, 399–410. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2010.05.006>
- Sendari, S., Elmunsyah, H., Mahandi, Y.D., 2015. Six-Legged Animaloid Robot as a Trainer for Robotic Course, in: 3rd UPI International Conference on Technical and Vocational Education and Training. Atlantis Press.
- Silva, J.M.L. da, 2008. Sensor fusion and behaviours for the cambada robotic soccer team. Universidade de Aveiro.
- Silva, J.M., Lau, N., Rodrigues, J., Azevedo, J.L., Neves, A.J., 2009. Sensor and Information Fusion Applied to a Robotic Soccer Team., in: RoboCup. Springer, pp. 366–377.
- Urban, S., Leitloff, J., Hinz, S., 2015. Improved wide-angle, fisheye and omnidirectional camera calibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 108, 72–79.
- Wang, Z., Yang, G., Su, X., Schwager, M., 2018. OuijaBots: Omnidirectional Robots for Cooperative Object Transport with Rotation Control Using No Communication, in: Groß, R., Kolling, A., Berman, S., Frazzoli, E., Martinoli, A., Matsuno, F., Gauci, M. (Eds.), *Distributed Autonomous Robotic Systems*. Springer International Publishing, Cham, pp. 117–131. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73008-0_9
- Yazdi, M., Bouwmans, T., 2018. New trends on moving object detection in video images captured by a moving camera: A survey. *Computer Science Review* 28, 157–177.
- Zaeni, I.A.E., Sendari, S., Lestari, D., Mahandi, Y.D., Jiono, M., Syaifuddin, M., 2018. An Implementation of Multi-object Tracking Using Omnidirectional Camera for Trash Picking Robot, in: 2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS). IEEE, pp. 154–158.