

APLIKASI POSITIONING MOBILE ROBOT DALAM RUANGAN BERBASIS DETEKSI DAN PELACAKAN GERAKAN BEACON

MOTION DETECTION AND TRACKING SYSTEM ON BEACON FOR MOBILE ROBOT INDOOR POSITIONING APPLICATION

Fikri Thauli¹, Dr. Eng. Willy Anugrah Cahyadi, S.T., M.T.², Dr. Eng. Faisal Budiman, S.T., M.Sc.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹fikrithauli@student.telkomuniversity.ac.id, ²waczze@telkomuniversity.co.id,

³faisalbudiman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Penentuan posisi menjadi sangat penting dengan menggunakan teknologi *Global Positioning System* (GPS). Namun, teknologi tersebut menjadi terbatas untuk digunakan dalam penentuan posisi di lingkungan *indoor* (dalam ruangan). Pada tugas akhir ini dirancang aplikasi dari teknologi penentuan posisi di lingkungan *indoor* menggunakan *mobile robot* dengan memanfaatkan pengolahan citra digital. Sistem yang dirancang pada *mobile robot* menggunakan kamera sebagai sistem akuisisi citra secara *real time*. Citra yang telah diakuisisi oleh kamera selanjutnya diolah dengan filter HSV dan *frame difference* untuk dapat mendeteksi dan melacak pergerakan dari objek yang diakuisisi oleh kamera. Hasil pengujian yang didapatkan yaitu sistem pengolahan citra mampu mendeteksi objek *beacon* NIR dengan menggunakan filter HSV sejauh 160 cm dan mampu mengukur jarak objek antara 15 cm sampai dengan 115 cm dengan tingkat presisi ± 0.17 cm sampai dengan ± 2.26 cm. Sedangkan untuk jarak 120 cm sampai dengan 160 cm didapatkan tingkat presisi ± 2.66 cm sampai dengan ± 11.82 cm. Pada pengujian gerakan *mobile robot*, objek diletakkan pada dalam ruangan berdimensi 3.2 m x 2.5 m. Pengujian tersebut menggunakan 4 skenario pergerakan *mobile robot* dengan jarak awal objek sejauh 15 cm untuk masing-masing skenario. Dari pengujian ini didapatkan *mobile robot* mampu mendeteksi dan melacak pergerakan objek *beacon* NIR dengan rata-rata *framerate* sebesar 12.85 FPS dari *framerate* maksimal 60 FPS dan mampu menjaga jarak terhadap objek antara 9 cm sampai dengan 60 cm.

Kata kunci : *Mobile robot, filter HSV, frame difference, Global Positioning System*

Abstract

Positioning is very important using *Global Positioning System* (GPS) technology. However, this technology is limited for use in positioning in indoor environments. In this final project, the application of positioning technology in the indoor environment is designed using a mobile robot by utilizing digital image processing. The system designed for the mobile robot uses a camera as an image acquisition system in real-time. The image that has been acquired by the camera is then processed with HSV filters and frame differences to detect and track the movement of the object acquired by the camera. The test results obtained were that the image processing system was able to detect NIR beacon objects using a 160 cm HSV filter and was able to measure the object distance between 15 cm to 115 cm with a precision level of ± 0.17 cm to ± 2.26 cm. Whereas for a distance of 120 cm to 160 cm, the level of precision is ± 2.66 cm to ± 11.82 cm. In testing the mobile robot movement, the object is placed in a room with dimensions of 3.2 m x 2.5 m. The test uses 4 scenarios for the movement of the mobile robot with an initial distance of 15 cm for each scenario. From this test, it was found that the mobile robot is able to detect and track the movement of NIR beacon objects with an average framerate of 12.85 FPS from a maximum framerate of 60 FPS and is able to maintain a distance from objects between 9 cm to 60 cm.

Keywords: *Mobile robot, HSV filter, frame difference, Global Positioning System*

1. Pendahuluan

Penentuan posisi menjadi sangat penting dengan menggunakan teknologi *Global Positioning System* (GPS). Namun kinerja dari GPS akan menjadi terbatas saat diterapkan di lingkungan *indoor*/dalam ruang dikarenakan sinyal satelit dari GPS sulit untuk menembus dinding pada konstruksi sebuah gedung. Hal ini menyebabkan besarnya galat/error deteksi posisi GPS sebagai sistem navigasi di lingkungan *indoor* [1]. Pembuatan sistem pelacakan posisi khusus di lingkungan *indoor* adalah salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi kesalahan posisi yang dilacak pada lingkungan *indoor*.

Karena terbatasnya kinerja dari GPS di lingkungan *indoor*, beberapa penelitian terkait sistem pelacakan posisi di lingkungan *indoor* telah dilakukan. Pada tahun 2017, Kang Li dkk telah melakukan penelitian [2] yang

berfokus pada pelacakan posisi objek di lingkungan *indoor* menggunakan kamera. Penelitian tersebut melakukan pendekatan yang terbagi menjadi tiga bagian yaitu *target detection*, *target tracking*, dan *target following*. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah akurasi sebesar 84,16% dengan presisi sebesar 78,04% [2]. Penelitian lainnya [3], yaitu sistem pelacakan posisi objek bergerak berbasis *RGB-D camera*, memanfaatkan *home service robot* dan menjadikan manusia sebagai objek bergerak yang dilacak. Hasil penelitian tersebut, yaitu robot berhasil melacak objek dengan rata-rata *frame rate* sebesar 12 fps [3]. Pada 2017, penelitian terkait pelacakan posisi objek bergerak di lingkungan *indoor* telah dilakukan. Pada penelitian tersebut dibuat sistem *Multiple Moving Object Monitoring in Robot Vision* dengan memanfaatkan kamera pada robot. Penelitian tersebut mendapatkan hasil terbaik saat gambar yang ditangkap menggunakan resolusi 640x480 dengan minimum fps sebesar 16 fps [4]. Ketiga penelitian tersebut menunjukkan pentingnya pelacakan *moving object* (objek bergerak) selain posisi diam dari suatu objek di dalam ruangan.

Mengacu pada berbagai penelitian yang telah dilakukan [2-4], pada penelitian ini penulis merancang sistem deteksi dan pelacakan objek bergerak pada lingkungan *indoor*. Sistem yang dirancang memanfaatkan modul kamera yang ditempatkan pada robot beroda yang melacak pergerakan *beacon* yang memanfaatkan *transmitter LED near-infrared (NIR)*. *Beacon NIR* digunakan karena memanfaatkan cahaya *infrared* yang tidak dapat dilihat dengan mata manusia. Kondisi tersebut menjadikan *mobile robot* tidak terpengaruh dengan keberadaan manusia di sekitarnya. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode *image processing filtering Hue, Saturation, dan Value (HSV)* untuk mendeteksi objek *beacon* dan metode *Frame Difference* untuk mendeteksi adanya gerakan pada *beacon*. Metode filter HSV digunakan karena pada ruang warna HSV lebih selaras dengan penglihatan manusia dalam mendeteksi warna [5]. Metode *Frame Difference* digunakan karena merupakan metode yang paling umum digunakan untuk mendeteksi gerakan berdasarkan perbedaan *pixel* antar *frame* dan memiliki algoritma yang sederhana serta baik diterapkan pada sistem yang *real time* [6].

2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1 Three-Frame Difference

Three-frame difference merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendeteksi sebuah gerakan. Prinsip dasar dari metode tersebut adalah dengan membandingkan nilai-nilai piksel keabuan citra pada *frame* sebelumnya, saat ini dan setelahnya [6]. Apabila perbedaan piksel pada citra yang berbeda berada di bawah *threshold*, target yang diamati dalam kondisi diam. Jika perbedaan piksel berada di atas *threshold*, target yang diamati dalam keadaan bergerak. Persamaan *three-frame difference* didefinisikan seperti pada Persamaan (1) – Persamaan (3).

$$D_{t,t-1}(x,y,t) = \begin{cases} 1 & |f(x,y,t) - f(x,y,t-1)| > T \\ 0 & |f(x,y,t) - f(x,y,t-1)| \leq T \end{cases} \quad (1)$$

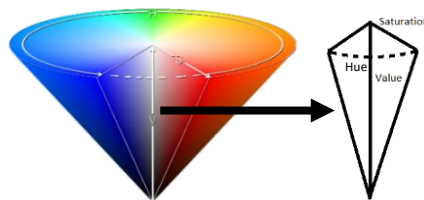
$$D_{t,t+1}(x,y,t) = \begin{cases} 1 & |f(x,y,t) - f(x,y,t+1)| > T \\ 0 & |f(x,y,t) - f(x,y,t+1)| \leq T \end{cases} \quad (2)$$

$$D_3(x,y,t) = \begin{cases} 1 & D_{t,t-1}(x,y,t) = 1 \& D_{t,t+1}(x,y,t) = 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

berdasarkan Persamaan (1) dan Persamaan (2), $f(x,y,t)$, $f(x,y,t-1)$, $f(x,y,t+1)$ masing-masing merepresentasikan *frame* saat ini, *frame* sebelumnya, dan *frame* setelahnya. T merepresentasikan *threshold*.

2.2 Filter HSV

Filter HSV merupakan algoritma *image processing* yang digunakan untuk membedakan satu warna dengan warna lainnya. Ruang warna yang digunakan adalah ruang warna HSV seperti pada Gambar 3. Ruang warna HSV digunakan karena ruang warna tersebut lebih selaras dengan penglihatan manusia dalam merasakan warna [7]. Algoritma filter HSV membedakan warna satu dengan warna lainnya berdasarkan tiga fitur dasar, yaitu Hue, Saturation dan Values.



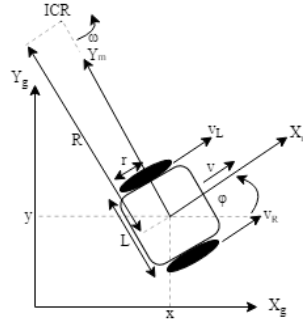
Gambar 1. Ruang warna HSV.

Fitur *Hue* menunjukkan jenis warna. Fitur tersebut direpresentasikan dengan nilai sudut pada lingkaran. Namun, nilai tersebut dinormalisasi pada rentang 0 sampai 255. Fitur *Saturation* menunjukkan intensitas warna. Nilai rentang untuk fitur tersebut antara 0 sampai 255. Semakin kecil nilai *Saturation*, sebuah citra akan tampak

pudar keabuan. Fitur *Values* menunjukkan kecerahan warna. Nilai rentang yang digunakan antara 0 sampai 255. Semakin tinggi nilai *Values*, sebuah citra akan tampak lebih cerah.

2.3 Mobile Robot

Mobile robot yang dibuat menggunakan mekanisme mengemudi *differential drive*. Roda utama pada robot ditempatkan pada sumbu yang sama. Kecepatan masing-masing roda dikontrol oleh motor yang dipasang secara terpisah. Variabel *input* (kontrol) pada robot beroda adalah kecepatan pada roda kanan $v_R(t)$ dan kecepatan pada roda kiri $v_L(t)$ seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme *differential drive*.

Posisi robot pada pada bidang didefinisikan oleh vektor keadaan seperti Persamaan (4).

$$q(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ \varphi(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Hubungan antara sumbu koordinat global (X_g, Y_g) dengan gerak pada robot (X_m, Y_m) didefinisikan oleh vektor translasi $[x, y]^T$ dan matriks rotasi seperti Persamaan (5).

$$R(\varphi) = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Berdasarkan Gambar 2 terdapat variabel yang lain seperti: r adalah radius dari roda, L adalah jarak antara kedua roda, dan $R(t)$ adalah jarak antara pusat robot dengan *Instantaneous Center of Rotation* (ICR) point seperti Persamaan (6) [7].

$$R(t) = \frac{L}{2} \frac{v_R(t) + v_L(t)}{v_R(t) - v_L(t)} \quad (6)$$

Dalam setiap satuan waktu, kedua roda pada robot memiliki kecepatan sudut $\omega(t)$ yang sama terhadap ICR seperti Persamaan (7) [7].

$$\omega(t) = \frac{v_R(t) - v_L(t)}{L} \quad (7)$$

Berdasarkan kedua persamaan di atas didapatkan persamaan kecepatan tangensial $v(t)$ pada robot seperti Persamaan (8).

$$v(t) = \omega(t)R(t) = \frac{v_R(t) + v_L(t)}{2} \quad (8)$$

Kecepatan tangensial masing-masing roda didefinisikan sebagai $v_L(t) = r\omega_L(t)$ dan $v_R(t) = r\omega_R(t)$. $\omega_L(t)$ dan $\omega_R(t)$ menunjukkan kecepatan sudut untuk roda kiri dan kanan terhadap sumbu. Berdasarkan hubungan yang telah dipaparkan gerakan pada robot (dalam koordinat lokal) dapat dinyatakan sebagai Persamaan (9).

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_m(t) \\ \dot{y}_m(t) \\ \dot{\varphi}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} vX_m(t) \\ vY_m(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & 0 \\ -\frac{r}{L} & \frac{r}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_L(t) \\ \omega_R(t) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Gerakan pada robot (dalam koordinat global) dapat dinyatakan sebagai Persamaan (10).

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\phi}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi(t)) & 0 \\ \sin(\varphi(t)) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

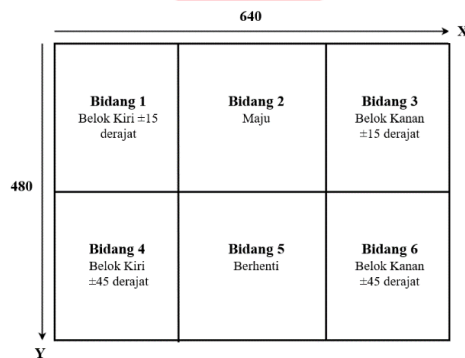
Variabel $v(t)$ dan $\omega(t)$ merupakan variabel kontrol. Persamaan (9) dapat dinyatakan dalam bentuk diskrit seperti persamaan (11). Pada $t = kT_s$, $k = 0, 1, 2, \dots$ dengan T_s adalah rentang pencuplikan.

$$\begin{aligned} x(k+1) &= x(k) + v(k)T_s \cos(\varphi(k)) \\ y(k+1) &= y(k) + v(k)T_s \sin(\varphi(k)) \\ \varphi(k+1) &= \varphi(k) + \omega(k)T_s \end{aligned} \quad (11)$$

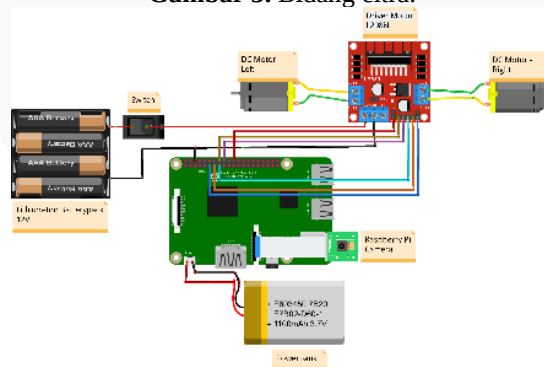
3. Pembahasan

3.1 Desain Sistem

Pada penelitian ini penulis merancang sebuah *mobile robot* yang terdiri dari dua motor DC dan satu roda pasif sebagai aktuator. *Mobile robot* dirancang menggunakan *Raspberry Pi 3*. Citra objek ditangkap secara *real time* menggunakan modul kamera yang sudah terpasang pada *mobile robot*. Citra objek tersebut diproses dengan pengolahan citra pada *Raspberry Pi 3*. Hasil dari pengolahan citra akan direfleksikan pada pergerakan *mobile robot* yang akan mengikuti arah pergerakan dari objek sesuai dari bidang citra pada *frame* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Bidang citra.



Gambar 4. Wiring diagram.

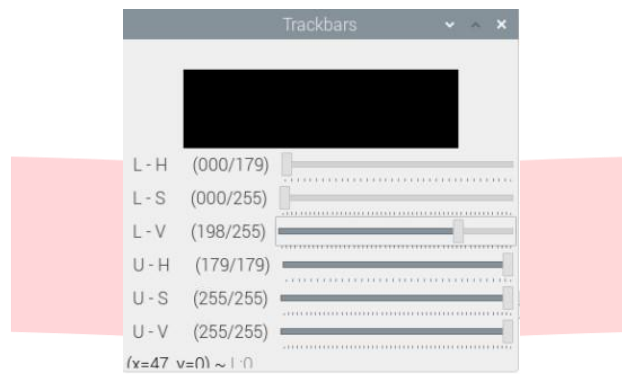


Gambar 5. Mobile robot.

Gambar 4 menunjukkan *wiring diagram* dari *mobile robot* yang telah dirancang. Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini, yaitu *Raspberry Pi 3* digunakan sebagai kontroler dari *mobile robot* dan pengolahan citra, motor DC sebagai aktuator, *driver motor* sebagai pengendali putaran dari motor DC, dan *battery pack* sebagai catu daya untuk *Raspberry Pi* maupun *driver motor*. Gambar 5 menunjukkan *mobile robot* yang telah dirancang.

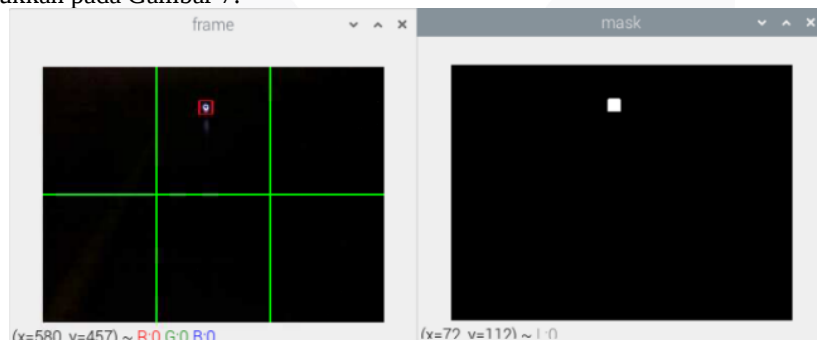
3.2 Deteksi Objek menggunakan filter HSV

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi objek *beacon* NIR dengan pengolahan citra filter HSV. Sebelum pengujian, dilakukan kalibrasi nilai karakteristik dari objek *beacon* NIR. Gambar 6 menunjukkan tampilan pengaturan *trackbar* untuk mendapatkan nilai karakteristik dari objek *beacon* NIR.



Gambar 6. Tampilan *trackbar* filter HSV

Berdasarkan gambar diatas didapatkan nilai karakteristik untuk objek *beacon* NIR. Parameter L-H, L-S dan L-V masing-masing menunjukkan batas bawah untuk nilai piksel pada ruang warna HSV dan U-H, U-S dan U-V masing-masing menunjukkan batas atas untuk nilai piksel pada ruang warna HSV. Hasil dari pengolahan citra filter HSV ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengolahan citra filter HSV.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, fungsi *object detection* dapat mendeteksi untuk jarak 15 – 160 cm. Dengan data yang diambil sebanyak 30 data dan rentang jarak setiap 5 cm.

3.3 Pengukuran Jarak Objek

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat presisi pengukuran jarak antara robot dan objek *beacon*. Pada pengujian ini dilakukan sebanyak lima kali dengan objek *beacon* diletakkan sejajar terhadap kamera dengan rentang jarak 5 cm sama seperti pengujian deteksi. Pada pengujian ini, jarak ditentukan berdasarkan posisi objek terhadap sumbu vertikal pada *frame* dan objek *beacon* diletakkan pada permukaan lantai.

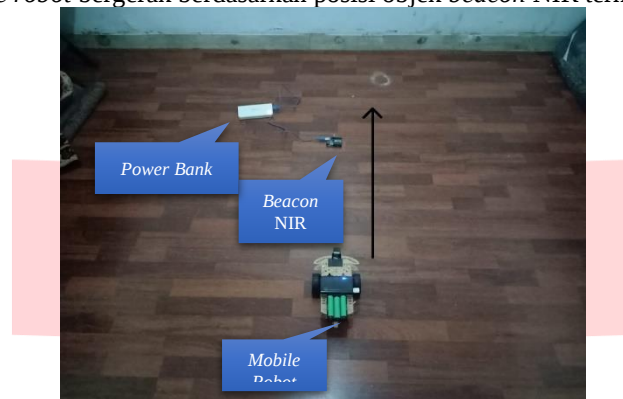


Gambar 8. Hasil pengujian pengukuran jarak objek.

Gambar 8 menunjukkan hasil dari pengujian pengukuran jarak objek *beacon* NIR terhadap kamera. Pengujian ini dilakukan sebanyak 5 kali dengan jarak objek diambil sebanyak 30 data dimulai dari 15 cm sampai dengan 160 cm. Pada Gambar 4.4 untuk data ke-1 sampai data ke-21, yaitu jarak 15 cm sampai 115 cm didapatkan tingkat presisi berkisar antara ± 0.17 cm sampai dengan ± 2.26 cm. Namun, pada saat data ke-22 sampai data ke-30, yaitu jarak 120 cm sampai 160 cm didapatkan tingkat presisi yang selalu bertambah untuk setiap datanya. Tingkat presisi paling besar didapat pada data ke-30, yaitu sebesar ± 11.82 cm dari jarak sebenarnya 160 cm.

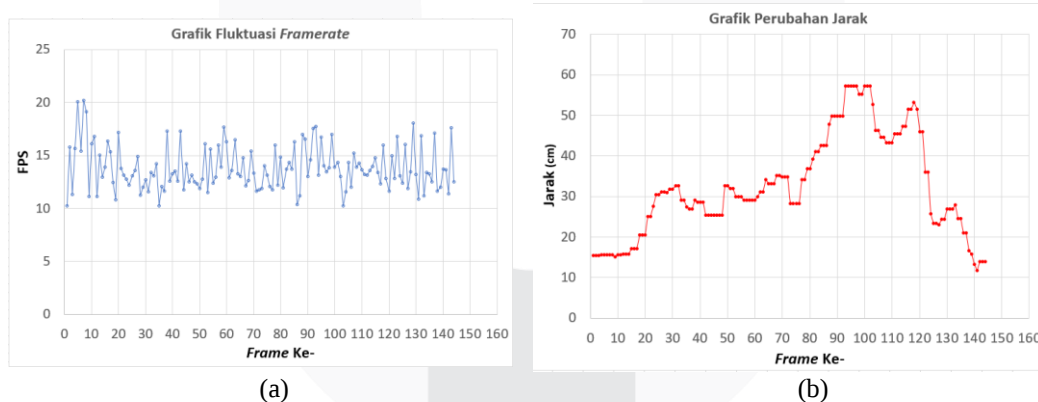
3.4 Gerakan *mobile robot*.

Pengujian ini dilakukan dalam beberapa skenario pergerakan *mobile robot*. Untuk masing-masing skenario, jarak awal objek *beacon* NIR diletakkan sejauh 15 cm di depan *mobile robot* dan ditarik dengan perkiraan kecepatan 13 cm/s. *Mobile robot* bergerak berdasarkan posisi objek *beacon* NIR terhadap *frame*.



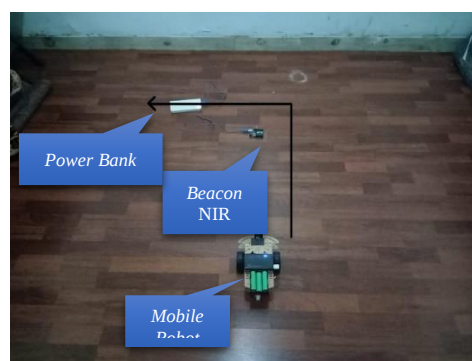
Gambar 9. Skenario pertama.

Pada skenario pertama, *mobile robot* diletakkan seperti pada Gambar 9 dan objek *beacon* NIR ditarik menjauhi *mobile robot* sehingga *mobile robot* mengikuti pergerakan dari objek tersebut. *Mobile robot* bergerak mengikuti garis berwarna hitam sesuai pada Gambar 9 dengan arah yang dituju sejauh 200 cm sampai titik yang ditentukan. Hasil dari skenario pengujian pertama dapat dilihat pada Gambar 10.



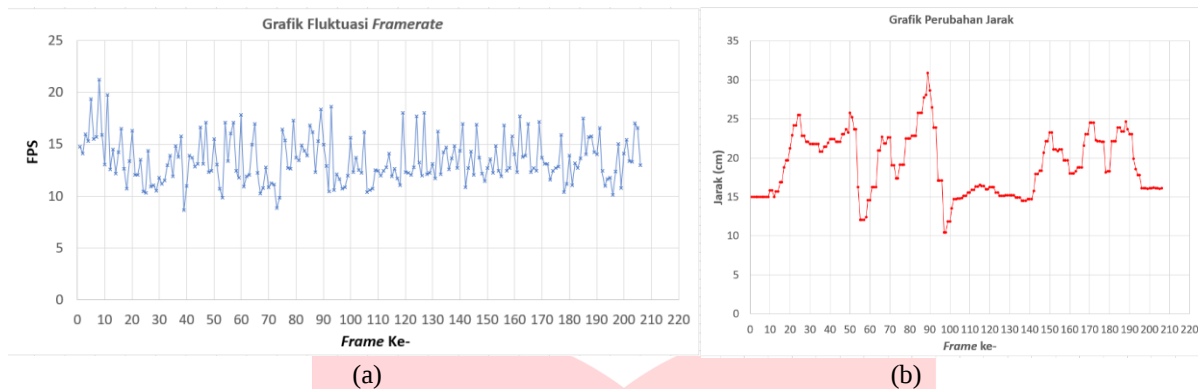
Gambar 10. Grafik fluktuasi *framerate* skenario pertama (a) Grafik perubahan jarak skenario pertama (b).

Jarak terjauh yang didapatkan pada skenario pertama sejauh 57.19 cm dan jarak terdekat sejauh 11.71 cm. Berdasarkan hasil pengujian pertama dapat disimpulkan bahwa *mobile robot* dapat menjaga jarak antara 11.71 cm sampai dengan 57.19 cm.



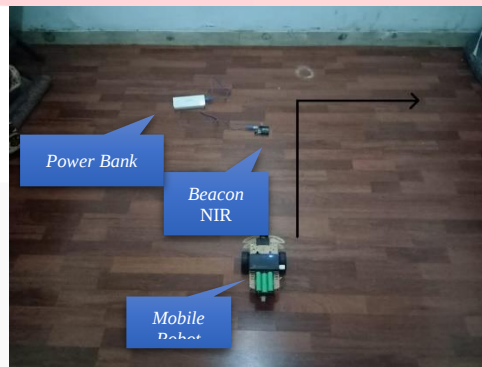
Gambar 11. Skenario Kedua.

Pada skenario kedua, *mobile robot* diletakkan seperti pada Gambar 11 dan objek *beacon NIR* ditarik menjauhi *mobile robot* sehingga *mobile robot* mengikuti pergerakan dari objek tersebut. *Mobile robot* bergerak lurus mengikuti garis berwarna hitam sampai titik yang ditentukan kemudian berbelok ke kiri dan bergerak lurus hingga titik tujuan akhir. Hasil dari skenario pengujian kedua dapat dilihat pada Gambar 12.



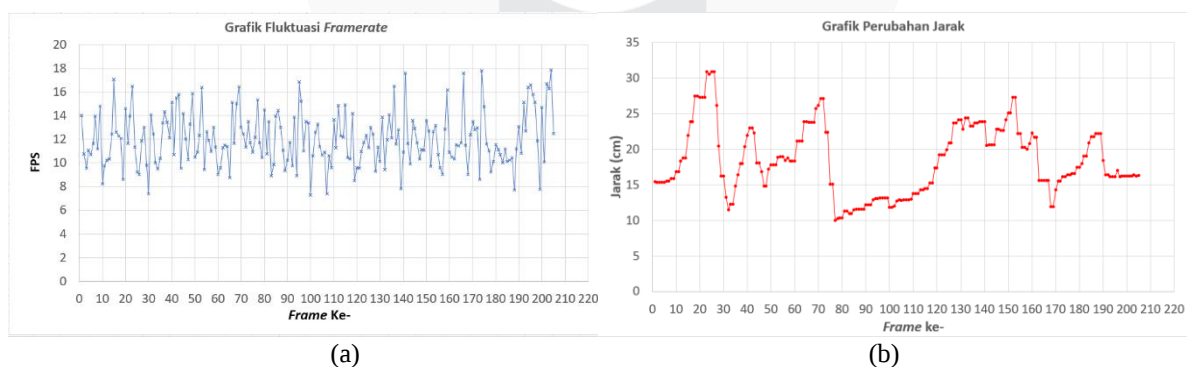
Gambar 12. Grafik fluktuasi *framerate* skenario kedua (a) Grafik perubahan jarak skenario kedua (b).

Jarak terjauh yang didapatkan pada skenario kedua sejauh 30.92 cm dan jarak terdekat sejauh 10.46 cm. Berdasarkan hasil pengujian kedua dapat disimpulkan bahwa *mobile robot* dapat menjaga jarak antara 10.46 cm sampai dengan 30.92 cm.



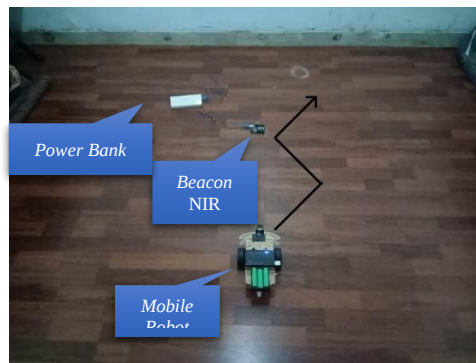
Gambar 13. Skenario ketiga.

Pada skenario ketiga, *mobile robot* diletakkan seperti pada Gambar 13 dan objek *beacon NIR* ditarik menjauhi *mobile robot* sehingga *mobile robot* mengikuti pergerakan dari objek tersebut. *Mobile robot* bergerak lurus mengikuti garis berwarna hitam sampai titik yang ditentukan kemudian berbelok ke kanan dan bergerak lurus hingga titik tujuan akhir. Hasil dari skenario pengujian ketiga dapat dilihat pa



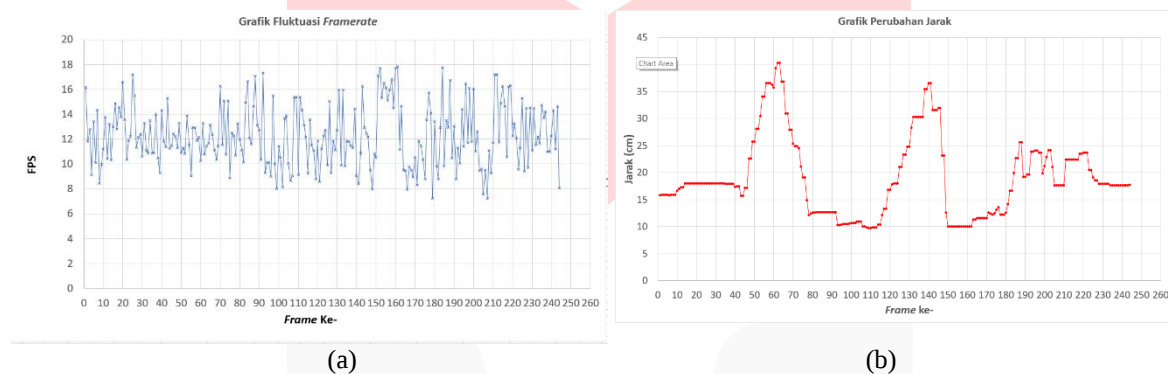
Gambar 12. Grafik fluktuasi *framerate* skenario ketiga (a) Grafik perubahan jarak skenario ketiga (b).

Jarak terjauh yang didapatkan pada skenario ketiga sejauh 30.92 cm dan jarak terdekat sejauh 9.94 cm. Berdasarkan hasil pengujian ketiga dapat disimpulkan bahwa *mobile robot* dapat menjaga jarak antara 9.94 cm sampai dengan 30.92 cm.



Gambar 14. Skenario keempat.

Pada skenario keempat, *mobile robot* diletakkan seperti pada Gambar 14 dan objek *beacon NIR* ditarik menjauhi *mobile robot* sehingga *mobile robot* mengikuti pergerakan dari objek tersebut. *Mobile robot* bergerak secara zigzag mengikuti garis berwarna hitam sampai titik yang ditentukan. Hasil dari skenario pengujian keempat dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 12. Grafik fluktuasi *framerate* skenario keempat (a) Grafik perubahan jarak skenario keempat (b).

Jarak terjauh yang didapatkan pada skenario keempat sejauh 40.33 cm dan jarak terdekat sejauh 9.79 cm. Berdasarkan hasil pengujian keempat dapat disimpulkan bahwa *mobile robot* dapat menjaga jarak antara 9.79 cm sampai dengan 40.33 cm.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian tugas akhir mengenai aplikasi positioning mobile robot dalam ruangan berbasis deteksi dan pelacakan gerakan beacon adalah sebagai berikut:

1. Sistem pengolahan citra pada mobile robot dapat mendeteksi objek beacon NIR dengan menggunakan metode filter HSV untuk jarak 15 sampai dengan 160 cm.
2. Sistem pengolahan citra mampu mengukur jarak objek antara 15 cm sampai dengan 115 cm dengan tingkat presisi ± 0.17 cm sampai dengan ± 2.26 cm. Sedangkan untuk jarak 120 cm sampai dengan 160 cm didapatkan tingkat presisi ± 2.66 cm sampai dengan ± 11.82 cm.
3. Mobile robot berhasil melacak dan mengikuti pergerakan dari objek beacon NIR dengan kecepatan estimasi sebesar 13 cm/s dengan rata-rata framerate efektif sebesar 12.85 FPS dari framerate maksimal 60 FPS.
4. Mobile robot mampu menjaga jarak terhadap objek beacon NIR selama bergerak antara 9 cm sampai dengan 60 cm.
5. Berdasarkan hasil pengujian gerakan mobile robot, nilai framerate berpengaruh terhadap kemampuan mobile robot dalam melacak pergerakan dari objek beacon NIR sehingga semakin tinggi framerate yang dihasilkan pergerakan mobile robot akan lebih stabil.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Sistem pengolahan citra belum dapat membedakan objek yang menyerupai beacon NIR. Untuk kedepannya dalam mendeteksi objek dibuat sistem pengolahan citra yang dapat membedakan objek yang menyerupai beacon NIR.

2. Pada sistem mobile robot yang dibuat masih belum menggunakan sistem kendali sehingga pergerakan mobile robot tidak stabil. Saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya adalah untuk menambahkan sistem kendali yang dapat membuat pergerakan mobile robot lebih stabil.

Daftar Pustaka :

- [1] H. Zheng, Z. Xu, C. Yu, and M. Gurusamy, "A 3-D high accuracy positioning system based on visible light communication with novel positioning algorithm," *Opt. Commun.*, vol. 396, no. December 2016, pp. 160–168, 2017.
- [2] K. Li, X. Zhao, Z. Sun, and M. Tan, "Robust Target Detection , Tracking and Following for an Indoor Mobile Robot," *2017 IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics*, 2017.
- [3] Y. Sun, L. Sun, and J. Liu, "Real-Time and Fast RGB-D based People Detection and Tracking for Service Robots," *2016 12th World Congr. Intell. Control Autom.*, pp. 1514–1519, 2016.
- [4] D. Pour, Y. Barfeh, R. V Bustamante, E. C. Jose, and E. R. Mendoza, "Multiple Moving Object Monitoring in Robot Vision," *2017 4th IEEE Int. Conf. Eng. Technol. Appllied Sci.*, 2017.
- [5] P. Hidayatullah and M. Zuhdi, "Color-texture based object tracking using HSV color space and local binary pattern," *Int. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 7, no. 2, pp. 161–174, 2015.
- [6] G. Shi, J. Suo, C. Liu, K. Wan, and X. Lv, "Moving target detection algorithm in image sequences based on edge detection and frame difference," *Proc. 2017 IEEE 3rd Inf. Technol. Mechatronics Eng. Conf. ITOEC 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 740–744, 2017.
- [7] G. Klancar, A. Zdesar, S. Blazic, and I. Skrjanc, *Wheeled Mobile Robotics: From Fundamentals Towards Autonomous Systems*. Cambridge: Elsevier, 2017.