

PENANGANAN HALANGAN PANDANGAN MENGGUNAKAN KALMAN FILTER PADA ROBOT BERODA PENGIKUT MANUSIA

VIEW OCCLUSION HANDLING USING KALMAN FILTER ON HUMAN FOLLOWING WHEELED ROBOT

¹Christiawan Nugroho, ²Angga Rusdinar, Ph.D, ³Dr. Basuki Rahmat
^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

¹krizen@students.telkomuniversity.ac.id, ²anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id,
³basukir@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Robot diharapkan mampu berinteraksi dengan lingkungannya. Agar interaksi ini dapat dilakukan, robot perlu memiliki kemampuan mengenali lingkungannya. Kemampuan ini dapat diperoleh dengan menggunakan sensor untuk menangkap informasi dari dunia luar. Salah satu sensor yang dapat dipakai adalah kamera. Sensor kamera memiliki fungsi untuk menangkap informasi dari dunia luar dalam bentuk gambar. Dengan sensor kamera, robot mobile dapat dikembangkan untuk mengikuti objek, misalnya manusia. Fungsi ini dapat meningkatkan peran robot sebagai asisten manusia. Dengan mengikuti manusia kapanpun dia berjalan, robot akan selalu berada di dekat manusia. Peran ini memerlukan kemampuan pengenalan objek yang baik, apalagi jika manusia yang diikuti berada di tengah keramaian. Pada tugas akhir ini dirancang sistem pelacakan warna dan sistem penanganan halangan menggunakan Kalman filter pada robot beroda. Robot mengikuti manusia dengan melacak warna target dan mengikuti perpindahan target. Kalman filter digunakan sebagai estimator posisi target ketika target hilang dari pandangan robot untuk waktu dibawah 3 detik. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah sistem penanganan halangan dengan tingkat akurasi untuk kondisi halangan diam dan target bergerak adalah 60% untuk jarak 1,5m, 80% untuk jarak 2 dan 2,5m. Untuk kondisi halangan bergerak dan target diam, tingkat akurasi adalah 75% untuk jarak 1,5m, 80% untuk jarak 2 dan 2,5m.

Kata kunci : *robot beroda, OpenCV, pengolahan gambar, halangan pandangan, pelacakan warna, Kalman filter*

Abstract

Robots should be able to interact with their environment. In order for this interaction can be done, the robot needs to have the ability to recognize its environment. This capability can be obtained by using sensors to capture information from the outside world. One of the sensors that can be used is a camera. The camera sensor has a function to capture information from the outside world in the form of images. With the camera sensors, mobile robots can be developed to follow the object, for example a human. This function can improve the role of the robot as a human assistant. By following the man wherever he goes, the robot will always be near humans. This role requires a good object recognition capabilities, especially if the man followed in the crowd. In this final project, color tracking system and occlusion handling system using a Kalman filter on wheeled robot are designed. Robot follows human by tracking the target color and follow the movement of the target. Kalman filter is used as the target position estimator when the target is lost from sight of the robot due to occlusion for time less than 3 seconds. Occlusion is limited to have color value (hue) different from the target. Results from this study is an occlusion handling system with accuracy level for occlusion not move and target move condition is 60% for distance of 1.5 m, 80% for distance of 2 and 2.5 m. For occlusion moves and target not move condition, accuracy rate is 75% for distance of 1.5 m, 80% for distance of 2 and 2,5m.

Keywords: *wheeled robots, OpenCV, image processing, view occlusion, color tracking, Kalman filter*

1. Pendahuluan

Salah satu teknologi yang sedang berkembang pesat saat ini adalah robot. Berdasarkan kemampuannya berpindah tempat, robot dibagi menjadi robot mobile (bergerak) dan robot fixed (diam). Umumnya, robot diam digunakan dalam sektor industri. Robot ini bersifat permanen, berfungsi untuk meniru peran kerja manusia.[5]

Robot mobile memiliki kemampuan dalam eksplorasi lingkungan. Robot jenis ini mampu bergerak bebas dalam lingkungan yang sudah ditentukan. Robot ini memiliki peran yang sangat vital dalam membantu manusia, khususnya melakukan pekerjaan yang tidak mampu dilakukan oleh manusia. Misalnya, menjelajahi tempat yang bersifat ekstrim seperti suhu yang terlalu panas dan dingin atau menjelajahi daerah yang dipenuhi gas beracun.[5]

Hal yang paling diharapkan dari sebuah robot adalah kemampuannya untuk berinteraksi dengan lingkungannya. Interaksi antara robot dan manusia bisa diperoleh dengan sistem pengenalan. Untuk dapat mengenali lingkungannya, robot memerlukan masukan tentang informasi kondisi dari dunia luar melalui suatu sensor. Salah satu sensor yang mampu menangkap informasi lingkungan adalah sensor gambar (kamera).

Seiringi dengan perkembangan teknologi komputasi, penggunaan kamera sebagai sensor semakin banyak diterapkan. Hal ini terjadi karena untuk mengolah gambar secara realtime dibutuhkan kemampuan komputasi berkecepatan tinggi. Berbeda dengan masa lalu, dimana processor berkecepatan tinggi memiliki harga yang sangat mahal sehingga susah diperoleh, saat ini banyak processor berkecepatan tinggi dengan harga yang murah beredar di pasaran. Tidak hanya kecepatan yang semakin tinggi, ukuran processor pun semakin kecil. Hal ini mengakibatkan penelitian robot dengan memanfaatkan sensor kamera semakin berkembang.

Dengan memanfaatkan sensor kamera, robot mobile dapat dikembangkan untuk mengikuti suatu objek, misalnya manusia. Kemampuan ini jelas mampu meningkatkan peran robot dalam kehidupan manusia. Robot dapat berperan sebagai asisten manusia yang selalu mengikuti kemanapun manusia berjalan, selalu berada di dekat manusia. Peran ini jelas memerlukan kemampuan pengenalan objek utama (manusia) dan dapat membedakan siapa yang hendak diikuti. Apalagi, jika robot akan dipakai di tengah keramaian dimana ada banyak orang berlalu lalang dan dapat menghalangi pandangan robot. Oleh karena itu, kemampuan memprediksi arah perpindahan objek utama walau terhalang oleh objek lain amat penting.

Dalam tugas akhir ini, penulis mencoba menyelesaikan permasalahan halangan pandangan robot menggunakan Kalman filter. Robot akan mengikuti objek dengan melacak warna dari target. Dengan menggunakan Kalman filter sebagai estimator, robot diharapkan dapat mengestimasi posisi objek ketika pandangan robot terhalang.

2. Dasar Teori

2.1 Gambar Digital

Gambar digital merupakan gambar dua dimensi yang direpresentasikan oleh data biner. Gambar digital memiliki himpunan terbatas nilai digital yang dinamakan *pixel* (*picture elements*). Resolusi gambar adalah jumlah baris dan kolom dari *pixel* pada gambar. Gambar beresolusi 320x640 berarti memiliki lebar (kolom) 320 *pixel* dan tinggi (baris) 640 *pixel*, dengan total 204.800 *pixel*.

Nilai pada pixel ditentukan oleh jumlah bit per pixel (bpp). Nilai bpp menentukan kedalaman warna pada pixel. Pixel dengan 8-bit berarti memiliki jumlah 256 variasi warna dengan rentang nilai antara 0 – 255 (2^8). Untuk gambar hitam putih, nilai 0 menunjukkan warna hitam dan nilai tertinggi (255) menunjukkan nilai putih. Rentang nilai menunjukkan gradasi/intensitas warna dari hitam ke putih.

Gambar berwarna umumnya terdiri atas 3 kanal warna yaitu merah (Red/R), biru (Blue/B), dan hijau(Green/G). Gambar berwarna dengan kedalaman warna 24-bit berarti memiliki kedalaman 8-bit per pixel untuk tiap kanal warna (3 kanal x 8-bit = 24-bit).

Gambar digital umumnya berukuran dua dimensi (baris x kolom). Dengan memperlakukan gambar digital sama seperti matriks/array berukuran $n \times m$, dimana n = jumlah baris pixel dan m = jumlah kolom pixel, maka nilai di dalam gambar digital dapat dimanipulasi.

2.2 Pengolahan Gambar Digital

Pengolahan gambar digital merupakan penggunaan algoritma komputer pada gambar digital. Secara umum, pengolahan gambar digital berlangsung dalam beberapa tahapan sebagai berikut.

a. Akuisisi gambar (*image acquisition*)

Akuisisi gambar merupakan tahap awal dalam pengolahan gambar. Tahap ini bertujuan untuk menangkap lingkungan sekitar ke dalam bentuk gambar. Alat yang dapat digunakan untuk akuisisi misalnya kamera, scanner, dan photo x-ray. Jika gambar yang diperoleh masih dalam bentuk analog, maka perlu didigitalisasi terlebih dahulu.

b. Peningkatan kualitas gambar (*pre-processing*)

Tahap ini dilakukan untuk meningkatkan kualitas gambar sehingga memudahkan tahap selanjutnya. Proses yang bisa dilakukan pada tahap ini misalnya, menghilangkan noise, mengubah kualitas (seperti brightness, kontras), menentukan bagian tertentu dari gambar yang akan diamati, mengubah gambar dari berwarna ke abu-abu.

c. Segmentasi gambar (*segmentation*)

Tahap ini dilakukan untuk memisahkan suatu objek dari keseluruhan gambar. Hal ini dilakukan untuk fokus hanya pada informasi yang mau diolah dan mengabaikan informasi lainnya. Misalnya memisahkan objek dari background.

d. Representasi dan uraian (*representation*)

Tahap ini dilakukan untuk mengubah data hasil pemisahan dari tahap sebelumnya ke dalam bentuk yang lebih sesuai untuk diolah oleh komputer.

e. Pengenalan dan interpretasi (*classification*)

Tahap ini dilakukan untuk mengklasifikasi objek yang diamati ke dalam kelompok yang sama. Dari gambar yang diolah, gambar dengan ciri yang sama akan dikelompokkan.

2.3 OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision) merupakan library fungsi pemrograman dengan tujuan utama pengolahan gambar secara realtime, dikembangkan oleh pusat penelitian Intel Rusia. Library bebas digunakan di bawah lisensi open source BSD. OpenCV banyak digunakan dalam pengolahan gambar digital.

OpenCV ditulis dengan bahasa pemrograman C++ dan dalam penggunaannya, antarmuka yang utama adalah bahasa C++. Namun, sejak versi 2.5, antarmuka python sudah disediakan.[1] Dalam pengerjaan tugas akhir ini, penulis menggunakan OpenCV versi 2.4.8.

2.4 Kalman Filter

2.4.1 Proses Yang Diestimasi

Kalman filter merupakan algoritma estimasi keadaan (*state*) x dari proses kontrol waktu diskrit yang dapat dimodelkan sebagai *linear stochastic difference equation* [3]

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + w_{k-1} \quad (1)$$

dengan pengukuran z dimana

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (2)$$

Variabel acak w_k dan v_k masing-masing mewakili noise proses dan pengukuran. Mereka diasumsikan independen satu sama lain dengan distribusi peluang normal (Gaussian) [3]

$$\begin{aligned} p(w) &\sim N(0, Q), \\ p(v) &\sim N(0, R). \end{aligned} \quad (3)$$

Dimana x_k merupakan vektor keadaan dari sistem. u_k merupakan vektor kontrol. z_k merupakan vektor pengukuran. Matrix A merupakan matrix transisi keadaan yang menghubungkan keadaan pada tahap waktu sebelumnya $k-1$ ke keadaan pada tahap sekarang k . Matrix B merupakan matrix kontrol yang menghubungkan kontrol input u ke keadaan x . Matrix H merupakan matrix observasi yang menghubungkan keadaan x dengan pengukuran z_k . Q merupakan matriks kovarians noise proses dan R merupakan matriks kovarians noise pengukuran.

2.4.2 Persamaan Kalman Filter

Kalman filter digunakan untuk mengestimasi matriks keadaan x_k berdasarkan nilai keadaan, matriks transisi dan estimasi noise sebelumnya. Tujuan persamaan kalman filter adalah menghitung estimasi keadaan *a posteriori* (\hat{x}_k) sebagai kombinasi linear dari estimasi keadaan *a priori* (\hat{x}_k^-) dan selisih berbobot antara pengukuran sebenarnya (z_k) dan prediksi pengukuran ($H\hat{x}_k^-$) yang meminimalkan selisih antara estimasi sebelumnya dan pengukuran sebenarnya.

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (4)$$

Matriks K disebut kalman gain dan digunakan untuk meminimalkan *a posteriori* kovarians error P_k , yang menjadi tujuan akhir proses ini. Persamaan kalman yang meminimalkan P_k ditunjukkan sebagai berikut

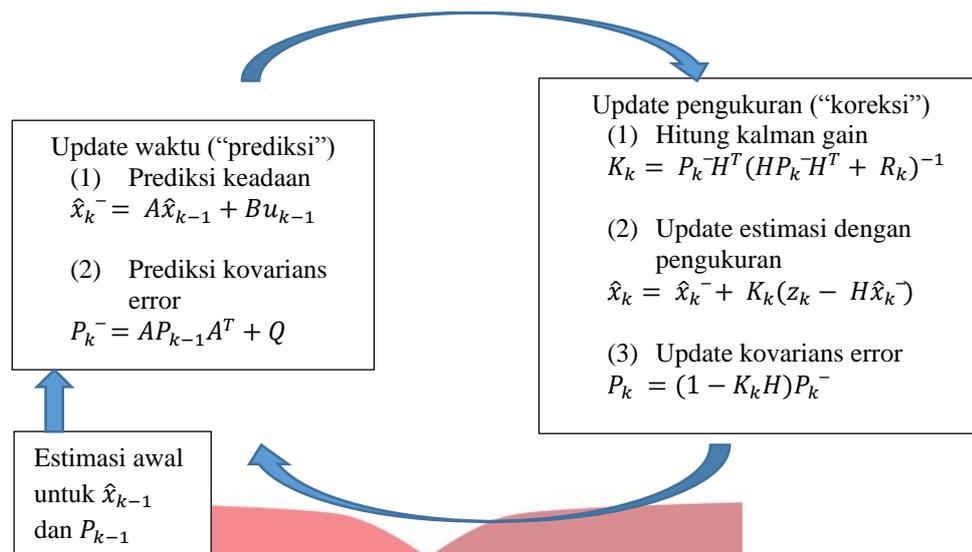
$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R_k)^{-1} \quad (5)$$

Dari kedua persamaan di atas, dapat dilihat ketika kovarians noise pengukuran R_k mendekati nol, pengukuran sebenarnya (z_k) lebih dipercaya daripada prediksi pengukuran ($H\hat{x}_k^-$). Sebaliknya, ketika *a priori* kovarians error P_k^- mendekati nol, pengukuran sebenarnya (z_k) kurang dipercaya daripada prediksi pengukuran ($H\hat{x}_k^-$).

2.4.3 Algoritma Kalman Filter Diskrit

Kalman filter mengestimasi proses dengan menggunakan suatu bentuk kontrol umpan balik yaitu filter mengestimasi keadaan proses pada suatu waktu kemudian memperoleh umpan dalam bentuk pengukuran berderau. Algoritma kalman filter dapat digolongkan dalam dua kelompok : persamaan update waktu dan persamaan update pengukuran. Persamaan update waktu digunakan untuk memprediksi estimasi keadaan *a priori* dari keadaan sekarang dan estimasi kovarians error (disebut juga tahap prediksi). Persamaan update pengukuran digunakan untuk memperoleh estimasi keadaan *a posteriori* berdasarkan pengukuran sebenarnya (disebut juga tahap koreksi). Algoritma ditunjukkan oleh gambar 1.

Karena sifat rekursif algoritma, algoritma dapat berjalan secara real time hanya menggunakan pengukuran saat ini dan keadaan yang dihitung sebelumnya. Dalam pelacakan objek, kalman filter dapat digunakan untuk memprediksi posisi objek di masa depan dan mengurangi noise dari deteksi yang kurang akurat.



Gambar 1. Algoritma Kalman filter[3]

2.5 Teori Mean Shift

Mean Shift merupakan algoritma iterasi non parametrik yang dapat digunakan untuk berbagai macam tujuan seperti mencari mode, pengelompokan, dll. Mean shift bekerja dengan cara mencari local maximum (nilai puncak) pada distribusi kepadatan himpunan data. Mean Shift umum digunakan untuk pelacakan objek dalam Computer Vision.

Secara garis besar, algoritma bekerja dalam tahapan berikut ini:

1. Pilih lokasi jendela pencarian.
2. Hitung pusat massa (mean) dalam jendela pencarian.
3. Letakkan pusat jendela pencarian pada pusat massa.
4. Kembali ke langkah 2 hingga jendela berhenti bergerak.

Pada kasus distribusi peluang gambar 2D, pencarian lokasi mean (pusat massa) x_c dan y_c dapat ditemukan dengan menggunakan momen gambar back projection.

$$x_c = \frac{\sum_x \sum_y x P(x,y)}{\sum_x \sum_y P(x,y)}; y_c = \frac{\sum_x \sum_y y P(x,y)}{\sum_x \sum_y P(x,y)} \quad (6)$$

Dimana $P(x, y) = h(I(x, y))$ adalah proyeksi kembali (*backprojection*) distribusi peluang pada titik x, y dalam jendela pencarian $I(x, y)$ yang dihitung dari histogram h dari I . Disederhanakan menjadi

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}}; y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (7)$$

Dimana $M_{00} = \sum_x \sum_y P(x, y)$ adalah zeroth moment,

$M_{10} = \sum_x \sum_y x P(x, y)$ dan $M_{01} = \sum_x \sum_y y P(x, y)$ adalah first order moment.

2.6 Komunikasi Data

Komunikasi data yang digunakan dalam pembuatan sistem interaksi ini adalah komunikasi serial. Komunikasi serial merupakan komunikasi yang bersifat *full duplex* karena memiliki dua jalur berbeda dalam pengiriman dan penerimaan data, satu jalur digunakan untuk media pengiriman (TX) dan satu jalur untuk media penerimaan (RX). Komunikasi serial digunakan untuk pengiriman karakter serial yang memberikan informasi perpindahan posisi objek.

2.7 Arduino UNO

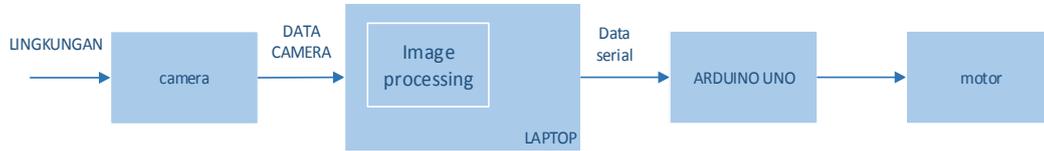
Arduino Uno merupakan sebuah *board* yang berbasis mikrokontroler ATmega328. Arduino memiliki 14 digital I/O, 6 diantaranya dapat digunakan sebagai pin output PWM (*Pulse Width Modulation*). Selain itu juga terdapat 6 pin analog, osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi ke port usb, sebuah soket power, ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino sama seperti sistem minimum mikrokontroler biasa yang didalamnya terdapat komponen-komponen pendukung yang diperlukan agar mikrokontroler dapat bekerja dengan baik.

2.8 Motor DC

Jenis aktuatur yang digunakan robot pada pembuatan sistem ini adalah motor dc. Pada sistem ini, motor dc berfungsi untuk menggerakkan robot untuk maju, mundur, berbelok kanan dan berbelok kiri tergantung perpindahan posisi objek.

3. Perancangan

Robot diharapkan memiliki kemampuan untuk mengikuti manusia dengan melacak warna target serta memiliki kemampuan menangani halangan dengan memanfaatkan Kalman filter. Objek yang menjadi penghalang dibatasi memiliki warna (nilai hue) berbeda dari warna target pelacakan. Data posisi hasil pengolahan gambar pada laptop akan dikirim ke arduino untuk menggerakkan motor (robot) ke arah perpindahan objek



Gambar 2. Diagram Blok

3.1 Mekanik Robot

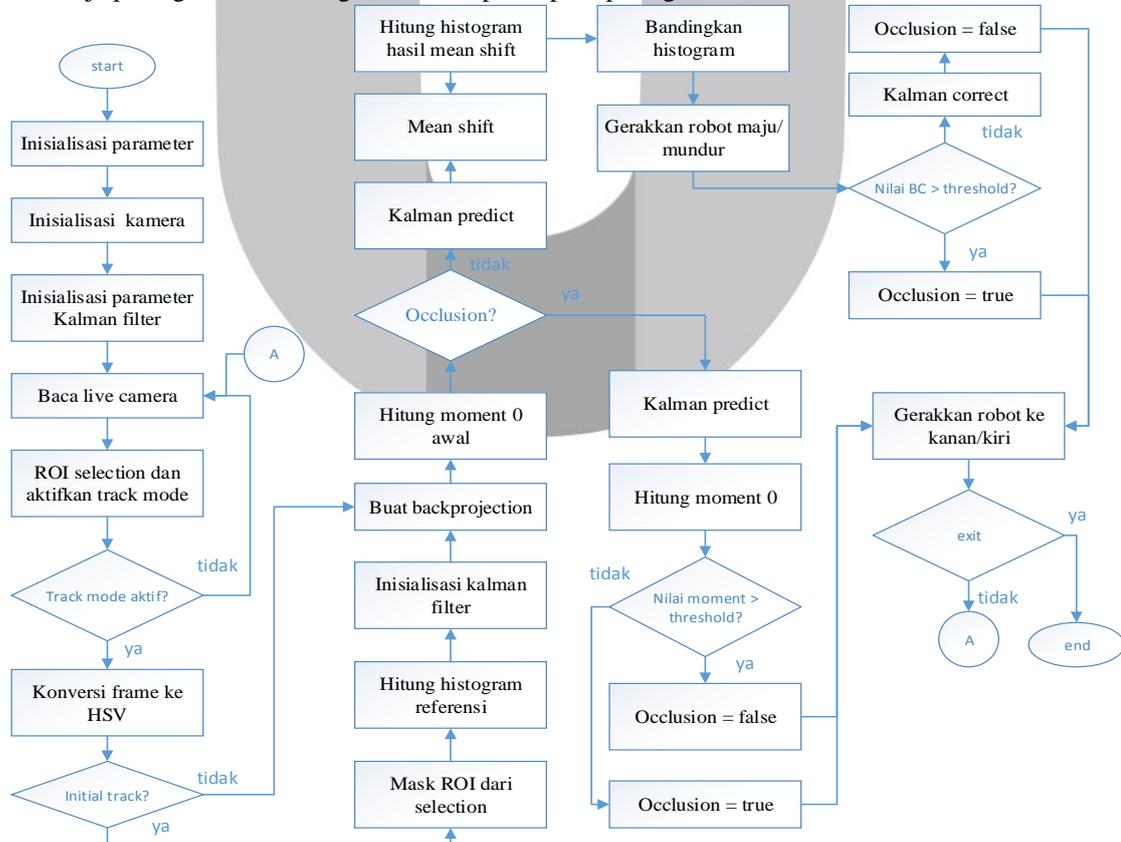
Robot yang digunakan pada penelitian ini dibuat dari bahan aluminium dengan tebal 2 milimeter. Dengan lebar rangka tanpa roda yaitu 30 cm, tinggi 127 cm, dan lebar rangka dengan roda terpasang yaitu 169 cm.



Gambar 3. Rangka Robot yang Digunakan.

3.2 Perangkat Lunak

Alur kerja perangkat lunak dibagi dalam tahapan seperti pada gambar 4



Gambar 4. Flowchart Perangkat Lunak

Tahap-tahap dalam perangkat lunak adalah:

1. Tahap inisialisasi parameter program dan parameter Kalman filter

Transition matrix (A) berisi $\begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, measurement matrix (H) berisi $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$.

process noise covariance matrix (Q) berisi $\begin{bmatrix} 0,005 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,005 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, measurement noise covariance matrix

(R) berisi $\begin{bmatrix} 0,1 & 0 \\ 0 & 0,1 \end{bmatrix}$, a posteriori estimate error covariance (P_k) berisi $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

2. Tahap ROI selection dan pengaktifan track mode

3. Tahap konversi frame ke HSV

4. Mask ROI dan hitung histogram objek

5. Inisialisasi Kalman filter

6. Membuat backprojection

7. Hitung zeroth moment awal dan area awal

8. Penentuan keadaan occlusion (terhalang atau tidak)

9. Blok program non-occlusion (tidak terjadi halangan)

9.1. Update waktu (Kalman prediksi)

9.2. Tahap Mean Shift sebagai algoritma pelacakan warna objek

9.3. Tahap menghitung histogram hasil meanshift

9.4. Tahap perbandingan histogram

9.5. Tahap pergerakan robot pada sumbu z

9.6. Tahap penentuan terjadinya occlusion (halangan)

10. Blok program occlusion (terjadi halangan)

10.1. Tahap Kalman Prediksi

10.2. Tahap menghitung zeroth moment dari kalman prediksi

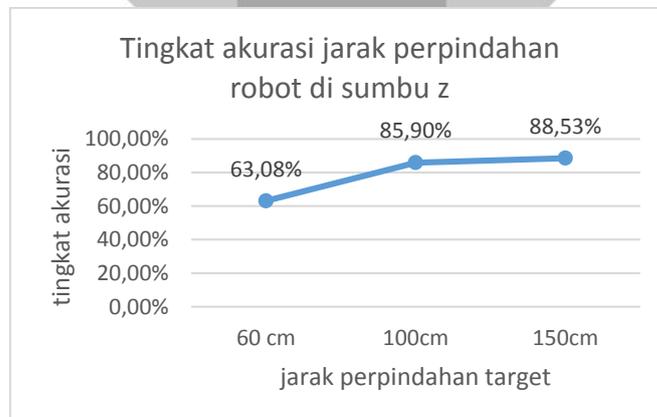
10.3. Tahap pergerakan robot pada sumbu x

4. Pengujian dan Analisis Sistem

4.1 Akurasi Perpindahan Robot Pada Sumbu Z

Pengujian dilakukan untuk mengukur tingkat akurasi jarak perpindahan robot berdasarkan perpindahan target pada sumbu z. Robot dan target akan berada pada jarak awal yang sudah ditentukan yaitu ±1m. Kemudian ketika target berpindah sejauh ±60cm, ±1m dan ±1,5m akan diukur berapa jarak perpindahan robot. Robot mulai bergerak dari keadaan diam. Untuk tiap jarak perpindahan, pengujian akan dilakukan sebanyak 10 kali. Akurasi jarak perpindahan sumbu Z dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Rata-rata jarak perpindahan robot}}{\text{Jarak perpindahan target}} \times 100\% \quad (8)$$



Gambar 5. Grafik tingkat akurasi jarak perpindahan robot di sumbu z

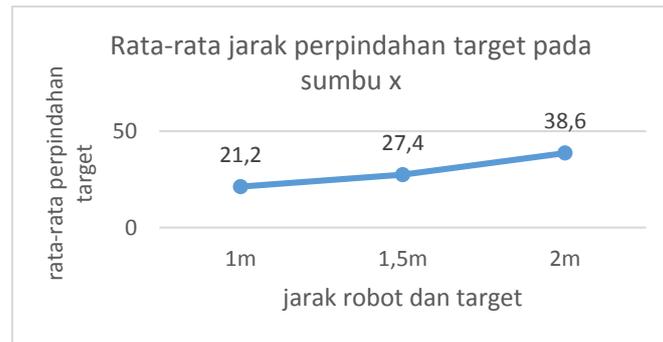
Dari grafik dapat dilihat hasil akurasi lebih dari 80% diperoleh ketika target bergerak dengan jarak lebih dari 1m.

4.2 Jarak Perpindahan Target Pada Sumbu X Sebelum Robot Mulai Berbelok

Pengujian dilakukan untuk mencari nilai rata-rata jarak perpindahan target pada sumbu x sebelum robot mulai berbelok. Robot dan target akan berada pada jarak awal yang sudah ditentukan yaitu $\pm 1m$, $\pm 1,5m$, dan $\pm 2m$. Kemudian target akan berpindah secara perlahan-lahan pada sumbu x sampai robot mulai berbelok arah. Robot mulai bergerak dari keadaan diam. Untuk tiap skenario, pengujian akan dilakukan sebanyak 10 kali. Nilai rata-rata jarak perpindahan target pada sumbu x dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Nilai rata - rata} = \frac{\text{total jarak perpindahan robot}}{\text{total percobaan}} \quad (9)$$

Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan grafik nilai rata-rata jarak perpindahan seperti dibawah ini



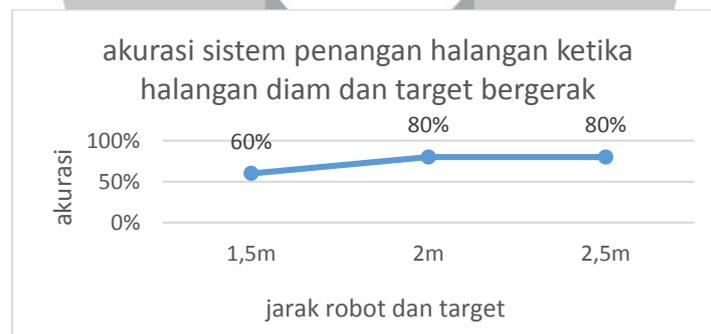
Gambar 6. Grafik rata-rata jarak perpindahan target pada sumbu x

4.3 Pengujian Akurasi Sistem Penanganan Halangan Ketika Halangan Diam dan Target Bergerak

Pengujian dilakukan untuk mencari nilai akurasi pendeteksian sistem penanganan halangan dalam mengestimasi posisi target dan menemukan kembali target untuk kondisi halangan diam dan target bergerak. Robot dan target akan berada pada jarak awal yang sudah ditentukan yaitu $\pm 1,5m$, $\pm 2m$, dan $\pm 2,5m$. Kemudian target akan bergerak sampai pandangan robot terhalang dan robot dapat menemukan kembali target. Robot mulai bergerak dari keadaan diam. Untuk tiap skenario, pengujian akan dilakukan sebanyak 20 kali. Percobaan dianggap berhasil jika robot dapat memprediksi posisi target dan menemukannya kembali. Akurasi sistem penanganan halangan dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{total percobaan berhasil}}{\text{total percobaan}} \times 100\% \quad (10)$$

Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan grafik akurasi sistem penanganan halangan seperti dibawah ini



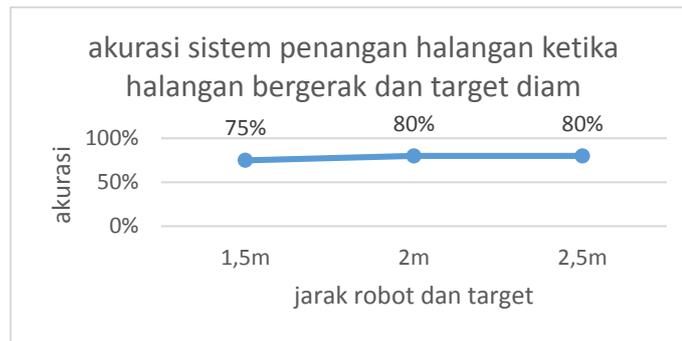
Gambar 7. Grafik akurasi sistem penanganan halangan

4.4 Pengujian Akurasi Sistem Penanganan Halangan Ketika Halangan Bergerak dan Target Diam

Pengujian dilakukan untuk mencari nilai akurasi pendeteksian sistem penanganan halangan dalam mengestimasi posisi target dan menemukan kembali target untuk kondisi halangan bergerak dan target diam. Robot dan target akan berada pada jarak awal yang sudah ditentukan yaitu $\pm 1,5m$, $\pm 2m$, dan $\pm 2,5m$. Target dalam kondisi diam dan penghalang akan bergerak di antara robot dan target dari kanan atau kiri. Untuk tiap skenario, pengujian akan dilakukan sebanyak 20 kali. Percobaan dianggap berhasil jika robot dapat memprediksi posisi target dan menemukannya kembali.

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{total percobaan berhasil}}{\text{total percobaan}} \times 100\% \quad (11)$$

Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan grafik akurasi sistem penanganan halangan seperti dibawah ini



Gambar 8. Grafik akurasi sistem penanganan halangan

5 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan analisis terhadap sistem penanganan halangan pandangan dan pelacakan warna objek pada robot beroda, didapatkan kesimpulan seperti berikut :

1. Dari data-data yang didapatkan pada pengujian akurasi perpindahan robot pada sumbu z, dapat diambil kesimpulan bahwa untuk jarak awal antara robot dan target sejauh 1m, tingkat akurasi perpindahan robot ketika target bergerak sejauh 60cm adalah 63,08%, sejauh 100 cm adalah 85,9%, sejauh 150 cm sejauh 88,53%. Hasil akurasi lebih dari 80% diperoleh ketika target bergerak dengan jarak lebih dari 1m.
2. Dari data-data yang didapatkan pada pengujian jarak perpindahan target pada sumbu x sebelum robot mulai berbelok, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem pelacakan objek dan pergerakan robot dalam tugas akhir ini akan membuat robot mulai berbelok ketika target bergerak pada sumbu x sejauh 21,2cm untuk jarak antara robot dan target 1m, sejauh 27,4cm untuk jarak antara robot dan target 1,5m, dan sejauh 38,6cm untuk jarak antara robot dan target 2m.
3. Dari data-data yang didapatkan pada sistem penanganan halangan, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem penanganan halangan pada tugas akhir ini bekerja seperti yang diharapkan. Robot bisa memprediksi perpindahan target ketika pandangan robot terhalang untuk waktu di bawah 3 detik. Tingkat akurasi sistem penanganan halangan pada tugas akhir ini untuk kondisi halangan diam dan target bergerak adalah 60% untuk jarak 1,5m, 80% untuk jarak 2 dan 2,5m. Untuk kondisi halangan bergerak dan target diam adalah 75% untuk jarak 1,5m, 80% untuk jarak 2 dan 2,5m..

Daftar Pustaka :

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/OpenCV> (diakses 21 Mei 2014)
- [2] Bradski, Garry dan Adrian Kaehler. 2008. *Learning OpenCV*. O'reilly
- [3] Welch, Greg, and Gary Bishop. 2006. "An Introduction to the Kalman Filter." <http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/>
- [4] Wilkason, TJ. 2009. "Robust Video Tracking Through Multiple Occlusions". <https://camshift-kalman-examples.googlecode.com/files/ISEF%20Research%20Paper%20-%20Copyright.pdf>
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Robot> (diakses 21 Mei 2014)