

DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM *OBJECT TRACKING* PADA *BALANCING ROBOT* MENGGUNAKAN *HOUGH TRANSFORM*

DESIGN AND IMPLEMENTATION OBJECT TRACKING SYSTEM ON BALANCING ROBOT USING HOUGH TRANSFORM

Tidar Haryo Sularso¹, Agung Nugroho Jati, S.T., M.T.², Unang Sunarya, S.T., M.T.³

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

³Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹tidar@students.telkomuniversity.ac.id, ²ANG@telkomuniversity.ac.id, ³USA@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Salah satu tujuan pengembangan esensial yang diharapkan dari ilmu robotika adalah menciptakan robot yang memiliki kemampuan otonom semakin tinggi pada masing-masing bidang pemanfaatannya. Tujuan ini didekati dengan mengembangkan pengaplikasian sensor pembantu dan metode tertentu.

Pada penelitian ini robot didesain untuk memiliki kemampuan *tracking* pada objek dan melakukan navigasi. Dilengkapi dengan media input sebuah kamera dan pemrograman *image processing* pada *processing unit*, sistem ini akan memberi output berupa koordinat keberadaan objek pada sistem kontroler navigasi melalui komunikasi serial. Sistem pada penelitian ini berfokus pada kemampuan *tracking* objek dan integrasi dengan sistem navigasi robot, sedangkan sistem navigasi dan kontrol *balancing* dilakukan pada penelitian lain yang akan menghasilkan satu robot *balancing* dilengkapi sistem *object following* yang bekerja secara otonom. Sistem *moving object tracking* pada penelitian ini harus mampu melakukan pengolahan terhadap input video yang didapatnya menggunakan teorema *Hough transform* pada pemrograman *image processing*. Data keberadaan objek setiap saat pada video adalah output sistem yang akan diterjemahkan berupa koordinat bagi sistem navigasi untuk mengolahnya dan mengambil keputusan.

Sistem dapat melakukan *tracking* pada objek secara tepat dengan teorema *Hough transform*, mampu berintegrasi dengan sistem navigasi robot melalui komunikasi serial, dan mengatasi situasi di mana objek tidak terdapat dalam wilayah observasi sistem pada permulaan jalannya sistem.

Kata kunci: *object tracking, Hough transform, computer vision*

Abstract

One of the essential development goal from robotic science is to create a robot with higher autonomous capability on their respective fields. This could be achieved by developing applied sensors and certain methods.

On this research the robot designed to have an object tracking and navigation capabilities. Applied with a camera as a media input and image processing program on processing unit, the system will produce detected object coordinate and send them to navigation controller over serial communication. System on this research will only focused on object tracking and integration with navigation system capabilities—while system navigation and balancing control capabilities will be done by fellow research that will produce an autonomous object following balancing robot. Moving object tracking system on this research will have to be able to video input processing with Hough transform theory on image processing programming. Real-time object location data extracted from the video is the output of this system, it will be interpreted to a coordinate for navigation system for further processing and decision making.

System able to track the object with Hough transform theory, able to integrate with navigation system seamlessly through serial communication, and handle the situation where it cannot recognize any object on the environment.

Keyword: *object tracking, Hough transform, computer vision*

1. Pendahuluan

Bidang ilmu robotika pada masa ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Pada perkembangan awalnya yang dimanfaatkan untuk melakukan pekerjaan berulang-ulang dengan ketelitian konstan. Sekarang perkembangannya menyebar pesat merambah bidang lain seperti hiburan, dan keamanan. Namun tetap pengembangan esensial yang diharapkan dari ilmu robotika adalah menciptakan robot yang memiliki kemampuan

otonom semakin tinggi pada masing-masing bidang pemanfaatannya. Tujuan ini didekati dengan mengembangkan pengaplikasian sensor pembantu dan metode tertentu. Robot dengan kemampuan navigasi berdasarkan object tracking adalah contoh arah pengembangan robot yang semakin otonom.

Pada penelitian ini akan didesain dan diimplementasikan kemampuan robot untuk melakukan moving object tracking secara otonom di dalam ruangan. Untuk membuat robot mampu melakukan itu dibutuhkan sensor dan penerapan metode kontrol yang khusus. Robot harus dapat melakukan pengolahan citra untuk mengenali objek apa yang harus dia ikuti dan menghasilkan keputusan mengikuti objek dari keadaan yang didapat dari kamera secara otonom.

Hough transform adalah metode feature extraction dari citra. Pada penelitian ini Hough transform digunakan untuk melakukan object tracking. Ada beberapa metode lain untuk feature extraction yang dapat dilakukan dalam sistem tracking seperti RANSAC (random sampling and consensus) namun Hough transform adalah proses yang lebih optimal tanpa mengorbankan beban performansi yang signifikan^[11].

2. Landasan Teori

A. Video Digital

Video pada dasarnya merupakan array tiga dimensi. Dua dimensi digunakan untuk menggambarkan ruang pergerakan citra (spatial), dan satu dimensi lainnya menggambarkan waktu. Video digital tersusun atas serangkaian frame yang ditampilkan dalam durasi waktu tertentu sehingga dikenal sebuah satuan fps (frame per second). Tinggi atau rendahnya nilai fps akan mempengaruhi kelajuan frame. Jika laju frame cukup tinggi, maka mata manusia akan melihatnya sebagai rangkaian yang kontinu.

Video digital juga memiliki beberapa karakteristik seperti citra, yaitu terdapat piksel yang menentukan dimensi atau resolusi, selain itu terdapat karakteristik yang lain berupa kuantisasi dan frame rate.

B. Algoritma Hough transform

Pada proses ini dilakukan metode Hough transform untuk mengenali posisi dari sebuah area atau bidang dengan mengenali garis dari perbedaan warna. Dalam penelitian ini bidang yang dikenali berbentuk bulat berwarna putih. Maka dilakukan pendeteksian objek berbasis Hough circle, lalu diimplementasikan algoritma untuk melakukan object tracking.

1. Edge detection

Deteksi tepi umumnya adalah langkah awal melakukan segmentasi citra. Segmentasi citra adalah salah satu bagian dari analisis citra yang digunakan untuk mengelompokkan piksel-piksel tertentu ke dalam wilayah atau region untuk menentukan komposisi citra.

2. Hough circle

Karena pada penelitian ini objek yang akan dideteksi berupa lingkaran maka digunakan transformasi lingkaran Hough. Parameter proses ini adalah X_0 , Y_0 , dan r dengan X_0 dan Y_0 merepresentasikan titik pusat lingkaran dan r adalah jari-jari lingkaran.

3. Accumulator space

Accumulator space adalah ruang hitung dalam mesin Hough transform untuk melakukan voting.

3. Perancangan dan Implementasi Sistem

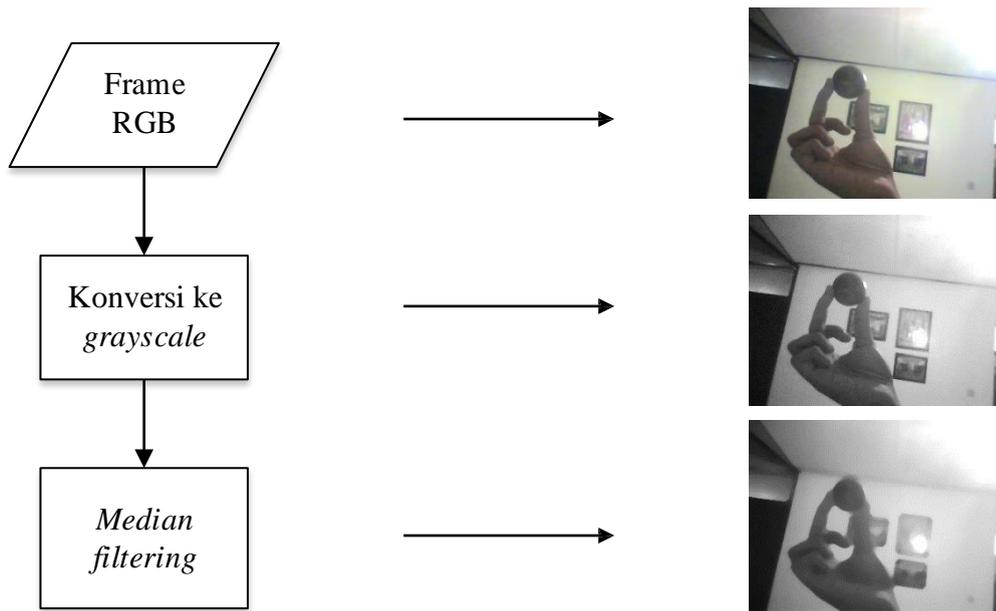
Dengan menggunakan Hough transform dirancang balancing robot yang dapat melakukan tracking terhadap benda dan melaksanakan tugas yang telah diberikan.

A. Input Video

Input sistem adalah video *real-time*, dengan format warna RGB. Video menangkap keadaan lingkungan yang dihadapi robot. Resolusi yang dianjurkan adalah 320x240 piksel untuk lebih mengoptimalkan proses komputasi. Seperti yang sudah disebutkan pada poin 4 sub bab 1.4, pengambilan input video bersifat MCMO (*moving camera moving object*) atau sistem di mana kamera bergerak dan objek bergerak. Objek bergerak berupa bola yang memiliki warna kontras dengan lingkungan observasi.

B. Preprocessing

Proses *preprocessing* pada penelitian adalah mengolah *frame* asli dengan format RGB untuk menghasilkan *frame* dengan karakteristik yang lebih ideal untuk proses utama sistem (*Hough Transform*). Hal pertama yang dilakukan adalah mengubah *frame* ke dalam sistem ruang warna *grayscale*. Selanjutnya *frame* difilter menggunakan *median filtering* agar dapat menghilangkan *noise* yang tidak diperlukan. Penggambaran proses *preprocessing* dapat dilihat pada gambar 3.1.



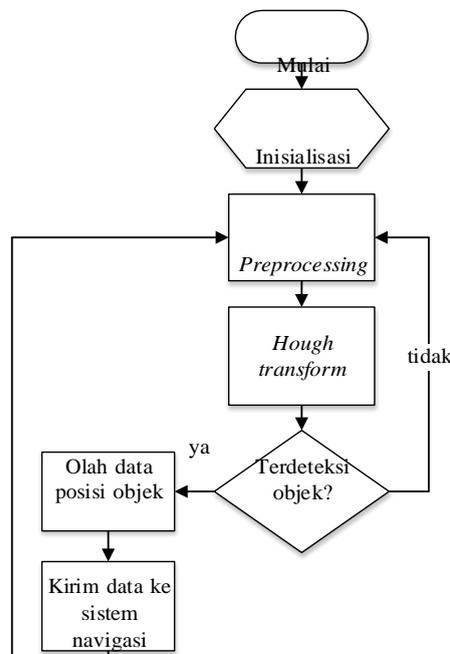
Gambar 3.1 penggambaran proses preprocessing

C. Object Detection & Tracking

Metode *Hough transform* bukan merupakan *dedicated tracking machine* (metoda *object tracking* murni, lihat pembahasan 2). *Hough transform* pada dasarnya digunakan untuk mengenali (*recognition*) bentuk-bentuk geometri dasar seperti garis lurus dan kurva (biasa disebut metode *feature extraction*). Lalu dikembangkan fungsi pengenalan lingkaran (*Hough circle*). Namun tetap, fungsi asli metoda ini adalah *feature extraction*. Karena itu, dibutuhkan sedikit pemrograman lanjut untuk melakukan fungsi *tracking*. Fungsi *Hough transform* pada penelitian ini diulang-ulang untuk setiap *frame* pada video input dan menghasilkan fungsi *tracking*.

Metode *dedicated tracking machine* (seperti CAMShift dan MEANShift) memiliki pola proses yaitu *preprocessing*, *training*, *recognition*, dan *tracking* sangat baik untuk diimplementasikan pada sistem dengan objek yang berubah-ubah bentuk (seperti manusia berjalan, mobil melintas, pengenalan dan penghitungan wajah di kerumunan). Namun membutuhkan *resource* perangkat yang relatif besar dibandingkan metode *feature extraction* seperti *Hough transform* dengan pola proses yang hanya meliputi *preprocessing*, *recognition* dan pengulangan untuk simulasi *tracking*.

Karena pada penelitian ini objek berupa bola (bentuk geometri tetap) dan ketersediaan *resource* perangkat yang minim untuk pengolahan citra (*single board Raspberry pi*) maka metode *feature extraction Hough transform* digunakan untuk fungsi *object tracking*. Gambar 3.2 adalah *flowchart* dari sistem *object tracking* yang dirancang:

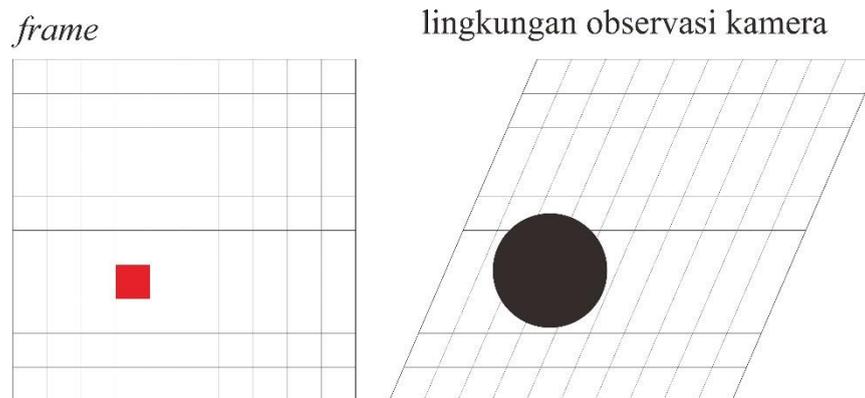


Gambar 3.2 flowchart sistem object tracking

Pada penelitian ini, digunakan enam parameter untuk mengontrol kinerja mesin *feature extraction Hough circle*.

D. Koordinat Objek

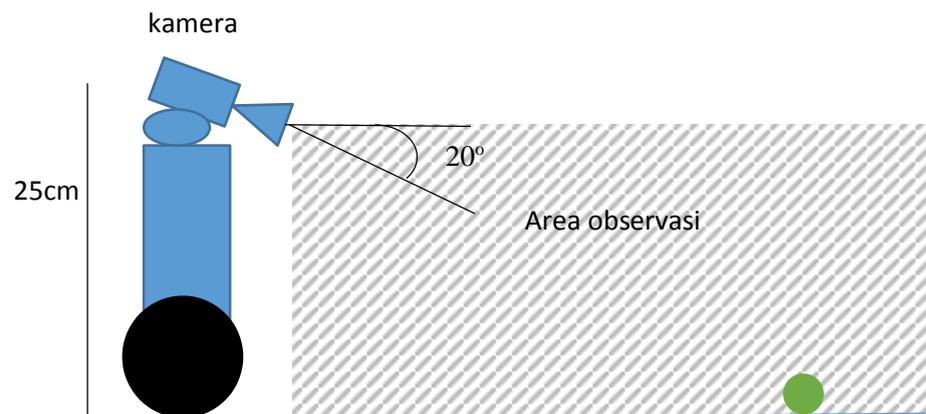
Koordinat objek yang diambil dan menjadi output sistem adalah titik tengah dari lingkaran yang terdeteksi oleh *Hough transform*. Koordinat letak objek pada *frame* merupakan representasi letak objek pada lingkungan observasi sistem. Gambar 3.3 adalah ilustrasi pemetaan *frame* terhadap lingkungan observasi sistem.



Gambar 3.3 ilustrasi pemetaan frame

E. Pengambilan Video

Pengambilan video pada sistem keseluruhan dilakukan dari ketinggian 25cm dan sudut depresi kamera sebesar 20 derajat. Gambar 3.4 menunjukkan simulasi saat pengambilan video.



Gambar 3.4 simulasi pengambilan video input pada sistem keseluruhan

4. Pengujian dan Analisis

Pengujian sistem dilakukan terkait dengan proses observasi parameter pada skenario-skenario yang dirancang untuk mengetahui pengaruh parameter tersebut terhadap performansi, responsivitas dan ketepatan sistem. Tak hanya itu saja, pengujian juga dilakukan terkait dengan sistem secara keseluruhan termasuk juga permasalahan pengiriman data ke sistem navigasi. Pengujian sistem dilakukan untuk melihat keberhasilan sistem terhadap tujuan penelitian pada sub bab 1. Berikut adalah tujuan pengujian:

1. Menganalisis parameter-parameter pada Hough transform. Dari percobaan akan terlihat nilai parameter yang efektif dan efisien untuk ketepatan tracking dan kecepatan komputasi.
2. Melakukan pengujian responsivitas sistem dengan melihat pengaruh Median filtering, nilai parameter accumulator space inverse ratio terhadap waktu komputasi sistem. Responsivitas sistem sangat penting dalam sistem keseluruhan robot balancing. Jika sistem memiliki responsivitas yang baik maka rata-rata waktu komputasi tiap frame tidak akan terlalu besar (sistem dapat menghasilkan output dengan waktu yang relatif cepat).
3. Melakukan pengujian komunikasi serial sistem dengan sistem navigasi. Pengujian ini dilakukan untuk melihat kemampuan integrasi dua sistem terkait sebelum menguji kemampuan keseluruhan sistem. Dua sistem terkait adalah sistem tracking dan sistem navigasi robot. Komunikasi antar sistem ini juga menjadi salah satu pokok keberhasilan integrasi sistem yang dirancang dalam penelitian ini.

4. Melakukan pengujian sistem secara keseluruhan dengan menjalankan sistem pada penelitian ini dengan sistem navigasi dan balancing pada robot.

Berikut ini adalah hasil pengujian parameter pada mesin *tracking Hough transform*. Karena pengujian yang khusus pada sistem ini bertujuan untuk mengetahui responsivitas sistem, pengujian dilakukan menggunakan video satu objek bola yang bergerak tanpa meninggalkan *frame*. Hal ini merupakan kondisi ideal pada sistem keseluruhan yaitu robot yang mampu melakukan *balancing* sambil melakukan *object tracking*. Analisis dilakukan dengan cara mengamati tiap *frame* saat *tracking* objek. Jumlah *frame* saat satu kali percobaan dalam pengujian adalah 50 *frame*.

Kemudian dihitung persentase kesalahan untuk masing-masing skenario pengujian. Nilai *Error* didapatkan dengan menjumlahkan semua *frame* yang mengalami kesalahan *tracking*, kemudian hasilnya dibagi dengan jumlah total *frame* yang berhasil *tracking*. Lebih jelasnya perhatikan persamaan berikut:

$$Error = \frac{\text{Jumlah frame yang mengalami kesalahan tracking}}{\text{Jumlah total frame}} \times 100\%$$

$$(4.1)$$

Sedangkan untuk menghitung akurasi menggunakan persamaan berikut:

$$Akurasi = (1 - Error) \times 100\% \quad (4.2)$$

A. Pengaruh proses nilai parameter accumulator inverse ratio terhadap waktu komputasi sistem.

Inverse ratio dari accumulator space. Karena ukuran frame input hanya sebesar 320x240 piksel, maka nilai maksimal untuk parameter ini adalah 3 (ukuran accumulator space = 320x240 dibagi 3). Secara teori semakin kecil ukuran accumulator space maka komputasi mesin Hough transform akan semakin cepat. Pada percobaan error yang sangat sering terjadi jika nilai parameter ini melebihi 3 adalah jenis error-2 dan error-3 karena ukuran accumulator space yang terlalu kecil (mesin Hough transform tidak dapat bekerja dengan baik). Pada percobaan selanjutnya akan digunakan nilai sebesar 3.

B. Pengaruh proses nilai parameter jarak minimum terhadap akurasi sistem.

Parameter jarak minimum. Karena ukuran frame input hanya sebesar 320x240 piksel, dan sistem yang diinginkan hanya akan melakukan tracking pada satu objek maka nilai jarak minimal antar pusat objek adalah 320. Setelah satu objek bola terdeteksi pada frame tidak diperbolehkan pendeteksian bola lain dalam jarak antar pusat kurang dari 320 piksel, dengan kata lain secara teori tidak mungkin terdeteksi 2 objek bola pada saat bersamaan dalam satu frame. Untuk melihat pengaruh rentang nilai parameter jarak minimum pada algoritma Hough circle, maka dilakukan pengujian dengan rentang nilai antara 106 sampai dengan 320.

Pada jarak minimum 320 tidak mungkin terjadi error-2 karena ukuran frame 320 x 240 dan tidak menyediakan kemungkinan untuk dua lingkaran terdeteksi dengan jarak titik tengah sebesar 320. Hal ini secara otomatis mempengaruhi hasil akurasi dengan cukup signifikan.

C. Pengaruh proses nilai edge threshold terhadap akurasi sistem.

Edge threshold. Semakin tinggi nilai parameter ini, sistem akan semakin terhindar dari false detection (terdeteksi objek yang tidak diinginkan, karena noise yang dianggap sebagai tepi). Namun jika nilai parameter ini terlalu besar, maka objek sesungguhnya juga akan gagal terdeteksi (karena banyak piksel tepi objek yang gagal dikenali).

Setelah dilakukan percobaan, nilai parameter sebesar 250 paling jarang menghasilkan error-2 dan error-3. Jika nilai lebih besar dari 250 maka lost tracking atau error-3 sangat banyak terjadi. Seperti pada percobaan lain, nilai yang dijadikan variabel kontrol merupakan hasil estimasi setelah menganalisis fungsi dan kriteria penelitian sistem yang sedang dilakukan. Seperti bisa dilihat, perubahan signifikan terhadap hasil percobaan hanya terjadi pada perbedaan nilai parameter yang besar.

D. Pengaruh proses nilai voting threshold terhadap akurasi sistem.

Voting threshold. Nilai parameter ini memberi efek yang hampir sama dengan edge threshold, terlalu besar maka akan banyak terjadi lost tracking dan terlalu kecil maka kemungkinan terjadinya false detection akan meningkat. Nilai parameter di bawah 100 akan digunakan, karena pada percobaan nilai di atas 100 akan menghasilkan lost tracking yang cukup sering terjadi.

Nilai 60 pada parameter voting threshold memberi hasil akurasi yang tinggi. Hal ini dapat diartikan pada sistem pengujian, nilai-nilai matriks pada frame tidak memiliki hasil yang besar ketika dilakukan proses voting. Maka nilai 100 untuk voting threshold terlalu besar. Karena banyak terjadi error-2 pada nilai parameter sebesar 30, maka nilai ini dihindari karena sangat melenceng dari tujuan utama sistem keseluruhan. Selain itu dengan menentukan nilai parameter sebesar 30, resiko terjadinya false detection sangat besar jika sistem menangkap input dengan banyak noise.

E. Pengaruh proses nilai parameter radius minimum terhadap akurasi sistem.

Radius minimum. Radius minimal yang harus dimiliki objek terdeteksi adalah 10 (untuk objek bola berukuran kecil atau terletak jauh dari kamera).

F. Pengaruh proses nilai parameter radius maksimum terhadap akurasi sistem.

Radius maksimum. Radius maksimal yang harus dimiliki objek terdeteksi adalah 120. Sebuah objek bola yang sangat besar dekat dengan kamera dan berhasil terdeteksi tidak mungkin memiliki radius lebih dari 120 piksel, karena ukuran tinggi frame saja hanya 240. Objek terdeteksi dengan radius 120 piksel akan tampak memenuhi frame secara vertikal.

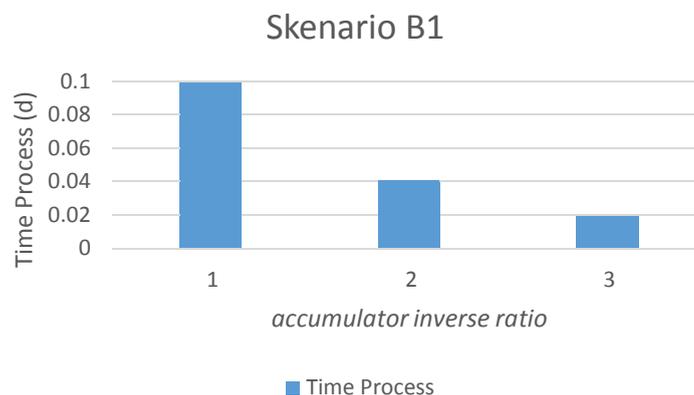
G. Pengaruh proses nilai parameter accumulator inverse ratio terhadap waktu komputasi sistem.

Pada skenario A1 telah diketahui bahwa nilai parameter melebihi 3 tidak dapat menjalankan fungsi Hough transform dengan baik karena ukuran accumulator space yang terlalu kecil. Maka pengujian dilakukan pada nilai parameter sebesar 1, 2, dan 3. Perbedaan skenario B1 dengan A1 adalah, di sini akan dilihat juga akurasi yang dipengaruhi nilai karena sudah didapat nilai optimal untuk parameter lain dari hasil percobaan pada skenario A.

Tabel 4.1 pengaruh nilai accumulator inverse ratio terhadap waktu komputasi sistem

nilai	Total <i>frame tracking</i>	Total <i>tracking error</i>	akurasi	Rata-rata <i>process time</i>
3	50	9	82%	0.018035 d
2	50	7	86%	0.043281 d
1	50	4	92%	0.103875 d

Tabel 4.1 menunjukkan perubahan rata-rata waktu komputasi berdasarkan nilai parameter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai accumulator inverse ratio = 3 memiliki rata-rata waktu komputasi paling cepat tanpa terlalu banyak mengorbankan akurasi. Grafik 4.1 menunjukkan ilustrasi hasil pengujian.



Grafik 4.1 pengaruh perubahan nilai parameter accumulator inverse ratio terhadap waktu komputasi sistem

Karena video input sistem bersifat live maka sistem tidak dapat mengontrol laju fps, oleh karena itu dibutuhkan kecepatan yang besar untuk komputasi tiap frame dengan akurasi yang baik. Selain itu pada sistem keseluruhan akan memiliki delay lain pada saat integrasi dan komputasi yang belum diukur seberapa besarnya.

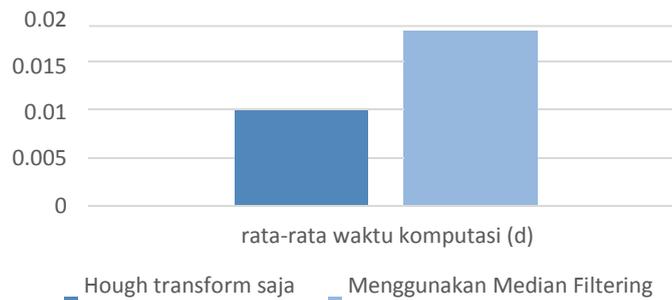
H. Pengaruh proses Median filtering terhadap waktu komputasi sistem.

Pada pengujian ini akan dibandingkan waktu komputasi algoritma Hough transform dengan Median filtering dan waktu komputasi tanpa Median filtering. Pengujian dilakukan dengan nilai parameter optimal hasil skenario A dan nilai accumulator inverse ratio optimum dari hasil pengujian skenario B1, dengan cara pengambilan video yang sama dengan skenario A. Selain melihat pengaruh penerapan Median filtering terhadap waktu komputasi sistem, akan dilihat juga pengaruh proses tersebut terhadap akurasi sistem. Lalu akan dilakukan analisis terhadap hasilnya.

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian skenario B1

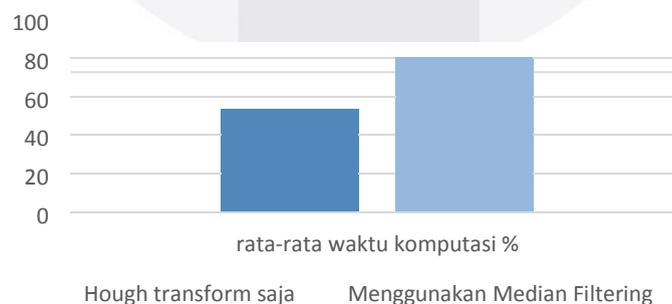
	Total <i>frame tracking</i>	Total <i>tracking error</i>	akurasi	Rata-rata <i>process time</i>
<i>Hough transform</i>	450	212	52,88%	0.009785 d
<i>Hough transform & Median filtering</i>	450	81	82%	0.018035 d

Hasil pengujian menunjukkan, meskipun waktu komputasi sistem berubah dengan signifikan menjadi lebih cepat, akurasi sistem juga Manurung dengan sangat drastis ketika tidak menerapkan Median filtering pada preprocessing. Kebanyakan error yang terjadi adalah jenis error-1. Meskipun pendeteksian ganda (error-2) dapat dihindari dengan nilai parameter jarak minimum yang optimal, namun banyaknya noise pada input yang ikut diolah dalam mesin Hough transform menyebabkan sangat banyak terjadi false detection. Banyaknya noise terjadi karena input tidak mengalami proses smoothing oleh Median filter. Data pada tabel 4.2 juga menunjukkan pada sistem penelitian ini penerapan Median filter memperlambat waktu komputasi Hough transform sampai sebesar 45,74% namun memberi peningkatan akurasi sampai dengan 29,12%. Grafik 4.2 menunjukkan perbedaan rata-rata waktu komputasi secara visual.



Grafik 4.2 perbedaan rata-rata waktu komputasi

Grafik 4.3 menunjukkan perbedaan tingkat akurasi secara visual.



Grafik 4.3 perbedaan rata-rata tingkat akurasi

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa performa Hough transform sangat dipengaruhi selain oleh parameter-parameternya tetapi oleh karakteristik input juga.

5. Penutup

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil proses simulasi dan analisis maka dapat ditarik kesimpulan berikut.

1. Nilai parameter accumulator inverse ratio, jarak minimum, edge threshold, dan voting threshold berkorelasi terhadap performansi mesin tracking dengan Hough transform.
2. Nilai parameter Hough circle yang tidak sesuai dapat mengakibatkan kegagalan tracking, dan waktu komputasi yang terlalu lambat.
3. Ketika nilai parameter accumulator inverse ratio = 1 mesin tracking Hough transform dapat mencapai akurasi hingga 92% namun sistem bekerja dengan sangat lambat. Hal ini dianggap tidak ideal atau optimum bagi penelitian karena sangat mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan saat berintegrasi.
4. Dengan memanfaatkan Median filtering sebagai salah satu filter dalam preprocessing, tingkat akurasi sistem dapat mencapai 82%. Kebanyakan error yang terjadi adalah lost tracking.
5. Pada sistem penelitian ini penerapan Median filter memperlambat waktu komputasi Hough transform sampai sebesar 45,74% namun memberi peningkatan akurasi sampai dengan 29,12%. Menunjukkan bahwa kinerja Hough transform sangat dipengaruhi oleh perubahan karakteristik input yang diberikan.
6. Sistem keseluruhan belum dapat melakukan tugasnya seperti tujuan awal penelitian secara umum. Hal ini dapat disebabkan oleh responsivitas sistem tracking yang belum cukup cepat, kemampuan integrasi sistem navigasi dan balancing yang belum optimal, dan atau penggunaan perangkat keras yang tidak memenuhi kebutuhan standar penelitian.

B. Saran

Saran yang dapat diajukan untuk penelitian lebih lanjut mengenai topik penelitian ini:

1. Menggunakan metode lain untuk mendeteksi objek secara detail. Metode berbasis artificial intelligence bisa dijadikan acuan untuk mendeteksi satu objek yang spesifik.
2. Mencoba studi kasus lain selain object tracking untuk sistem yang serupa.
3. Melakukan sistem tracking dengan Hough transform atau metodis lain pada robot untuk fungsi lain seperti penghitungan benda.
4. Menerapkan sistem preprocessing yang lebih baik untuk mendapatkan hasil kinerja Hough transform yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dian, M. M. (2013). *Implementasi dan Analisis Ketahanan Object Tracking Melalui Occlusion Menggunakan Algoritma Hybrid Camshift – Kalman Filter*.
- [2] Godec, M., Roth, P. M., & Bischof, H. (2013). Hough-based Tracking of Non-Rigid Objects. Austrian FFG project MobiTrick.
- [3] Greenspan, M., Shang, L., & Jasiobedzki, P. (2013). Efficient Tracking with the Bounded Hough Transform.
- [4] <http://informatika.web.id/deteksi-tepi.htm>. (2014, November 30).
- [5] <http://informatika.web.id/transformatasi-hough.htm>. (2014, November 30).
- [6] <http://luckyhermanto.dosen.narotama.ac.id/files/2011/10/konsep-komunikasi-serial.pdf>. (2014, November 30).
- [7] <http://ryanmessina.wordpress.com/2013/06/10/performance-of-raspberry-pi-with-opencv/>. (2014, November 30).
- [8] http://www.cse.unr.edu/~cip/i/index.php/Aodel_for_Intent_Understanding. (2014, November 30). [9] <http://www.lirtex.com/robotics/fast-object-tracking-robot-computer-vision>. (2014, November 30). [10] LEAVERS, V. (2013). *Shape Detection in Computer Vision Using the Hough Transform*. Springer-Verlag.
- [11] Ng, K. K., & Delp, E. J. (2010). *Fast and Robust Object Detection and Tracking*. IEEE.

- [12] Nurichsan, A. T. (2014). *ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM PENGENALAN IRIS MATA MANUSIA BERBASIS JAVA*.
- [13] Sinev, N. (2002). Tracker algorithm based on Hough. Santa Cruz Linear Collider Retreat.
- [14] Sýkora, D., Sedláček, D., & Riege, K. (2008). Real-time Color Ball Tracking for Augmented Reality. EGVE Symposium.