

**PENENTUAN TARGET TEMBAK OTOMATIS PADA SIMULASI ROBOT
SHOOTER TERHADAP OBJEK WAYANG MENGGUNAKAN METODE SIFT**

SKRIPSI

Oleh :
RIZAL ALIF NANDA MURIADI
NIM. 210605110107



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**PENENTUAN TARGET TEMBAK OTOMATIS PADA SIMULASI
ROBOT SHOOTER TERHADAP OBJEK WAYANG MENGGUNAKAN
METODE SIFT**

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :
RIZAL ALIF NANDA MURIADI
NIM. 210605110107

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENENTUAN TARGET TEMBAK OTOMATIS PADA SIMULASI ROBOT SHOOTER TERHADAP OBJEK WAYANG MENGGUNAKAN METODE SIFT

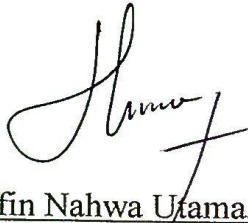
SKRIPSI

Oleh :

Rizal Alif Nanda Muriadi
NIM. 210605110107

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 16 Juni 2025

Pembimbing I,



Shoffin Nahwa Utama, M.T
NIP. 198607032020121003

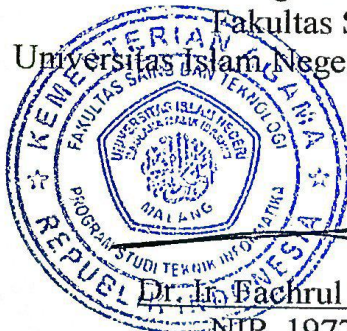
Pembimbing II,



Nurizal Dwi Priandani, M.Kom
NIP. 199208302022031001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Dr. H. Bachrul Kurniawan, M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

PENENTUAN TARGET TEMBAK OTOMATIS PADA SIMULASI ROBOT SHOOTER TERHADAP OBJEK WAYANG MENGGUNAKAN METODE SIFT

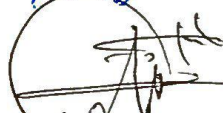
SKRIPSI

Oleh :
RIZAL ALIF NANDA MURIADI
NIM. 210605110107

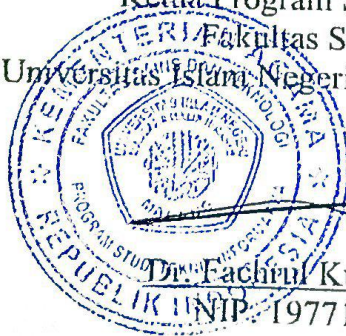
Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 18 Juni 2025

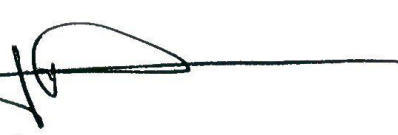
Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji	: <u>Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom</u> NIP. 19831213 201903 1 004
Anggota Penguji I	: <u>Ajib Hanani, M.T</u> NIP. 198407312023211013
Anggota Penguji II	: <u>Shoffin Nahwa Utama, M.T</u> NIP. 198607032020121003
Anggota Penguji III	: <u>Nurizal Dwi Priandani, M.Kom</u> NIP. 199208302022031001

()
()
()
()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Dr. Fachrul Kurniawan, M.MT, IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizal Alif Nanda Muriadi
NIM : 210605110107
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Penentuan Target Tembak Otomatis
Pada Simulasi Robot Shooter
Terhadap Objek Wayang Menggunakan Metode
SIFT.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 20 Juni 2025
Yang membuat pernyataan,



Rizal Alif Nanda Muriadi
NIM.210605110107

MOTTO

“Setiap tempat adalah sekolah, setiap orang adalah guru”

(Roem Topatimasang)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala, atas limpahan rahmat dan kasih, serta petunjuk – Nya. Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Saya persembahkan karya ilmiah ini kepada kedua orang tua saya Bapak Bambang Muriadi Santoso dan Ibu Linda Widyastuti yang telah mendidik, mendukung, mendoakan, dan memberikan pengorbanan tiada henti serta memberikan motivasi hingga saat ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala, hidayah, karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul “Penentuan Target Tembak Otomatis Pada Simulasi Robot Shooter Terhadap Objek Wayang Menggunakan Metode SIFT”. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallah ‘alaihi wasallam. Semoga kita semua mendapatkan syafaatnya di akhirat kelak.

1. Prof. Dr. H.M. Zainuddin, MA. , selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Sri Harini, M.Si. , selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Shoffin Nahwa Utama, M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, dan masukan dari proses pemilihan topik pembahasan, proses penelitian, hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
5. Nurizal Dwi Priandani, M.Kom selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, saran hingga masukan selama pengerjaan skripsi.
6. Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom selaku Dosen Penguji I yang telah mengkritisi, menguji, dan arahan terhadap penelitian ini.
7. Ajib Hanani, M.T selaku Dosen Penguji II yang telah mengkritisi, menguji, dan arahan terhadap penelitian ini.

8. Teman – teman satu bimbingan yaitu, Amirul, Asrul, Fuaidil, Haikal yang menjadi rekan diskusi dan bertukar informasi selama pengerjaan skripsi.
9. Teman – teman kontrakan yaitu Adnan, Adyatma, Arsha, Didi, Hamzah, Hasan, Jemmy, Roihan, Salman, Zea yang menjadi teman diskusi, dan memberikan semangat dari awal perkuliahan hingga saat ini.
10. Teman – teman seperjuangan akademis Teknik Informatika'21 yang telah menjadi rekan diskusi, bertukar informasi, serta pengarahan selama proses penelitian skripsi hingga pemberkasan administrasi.

Malang, 17 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
البحث مستخلص	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II STUDI PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Robot <i>Shooter</i>	13
2.3 Wayang	14
2.4 Algoritma SIFT (<i>Scale Invariant Feature Transform</i>)	15
2.5 <i>Robot Operating System (ROS)</i>	17
2.6 Simulasi <i>Gazebo</i>	19
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Desain dan Implementasi	20
3.2 Pengumpulan Data	20
3.3 Desain Sistem.....	21
3.4 Implementasi Metode <i>SIFT</i>	22
3.5 Perancangan Simulasi Robot <i>Shooter</i>	31
3.5.1 Perangkat Perancangan	33
3.5.2 Perangkat Lunak	34
3.5.3 Skenario Uji Coba.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Lingkungan Simulasi <i>Gazebo</i>	36
4.2 Model Robot	37
4.3 Pengenalan Target.....	39
4.4 Integrasi <i>ROS2</i> Dan <i>Gazebo</i>	40
4.5 Skenario Uji Coba	41
4.5.1 Akurasi deteksi target.....	41
4.5.2 Akurasi deteksi dengan variasi jarak	42
4.5.3 Kombinasi pergerakan robot	44
4.6 Pembahasan.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	51

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi pertunjukan wayang	14
Gambar 2.2 Pembukaan kontes JRC 2023	15
Gambar 2.3 Logo ROS.....	17
Gambar 2.4 Ilustrasi Gazebo workspace.....	19
Gambar 3.1 Desain Sistem	21
Gambar 3.2 Flowchart Algoritma SIFT	22
Gambar 3.3 Proses Grayscale	23
Gambar 3.4 Ilustrasi Pembentukan ruang skala	26
Gambar 3.5 Ilustrasi pencarian titik extrema pada citra DoG.....	27
Gambar 3.6 Keypoint citra Referensi.....	28
Gambar 3.7 Deskriptor citra referensi.....	29
Gambar 3.8 Visualisasi Fitur Cocok	31
Gambar 3.9 Ilustrasi perancangan robot	31
Gambar 3.10 Flowchart mekanisme gerak robot	32
Gambar 4.1 Lingkungan Simulasi Gazebo	36
Gambar 4.2 Model Robot.....	37
Gambar 4.3 Keypoint citra frame gazebo	39
Gambar 4.4 Pengenalan target	40
Gambar 4.5 Perbandingan pencocokan fitur citra referensi	46
Gambar 4.6 Distribusi kecocokan fitur terhadap rasio jarak euclidian	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	11
Tabel 3.1 Hardware Perancangan	33
Tabel 3.2 Skenario uji	35
Tabel 4.1 Komponen Link	38
Tabel 4.2 Komponen Joint	38
Tabel 4.3 Hasil percobaan deteksi	41
Tabel 4.4 Hasil deteksi variasi jarak terhadap target sengkuni	42
Tabel 4.5 Hasil deteksi variasi jarak terhadap citra petruk	43
Tabel 4.6 Hasil uji coba kombinasi sudut	45

ABSTRAK

Muriadi, Rizal Alif Nanda. 2025. **Penentuan Target Tembak Otomatis Pada Simulasi Robot Shooter Terhadap Objek Wayang Menggunakan Metode SIFT**. Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Shoffin Nahwa Utama.M.T (II) Nurizal Dwi Priandani, M.Kom.

Kata kunci: Pengenalan citra, Robot otonom, ROS, SIFT, Wayang.

Penguncian target adalah proses yang krusial pada sistem robot *shooter*. Agar dapat melakukan tugas tersebut sistem memerlukan informasi posisi dari target yang telah ditentukan. Pada penelitian ini penulis menerapkan metode *Scale Invariant Feature Transform* untuk mendapatkan informasi karakteristik objek di sekitar robot menggunakan kamera. *Scale Invariant Feature Transform* berfungsi untuk mengekstrak *keypoint* dan *deskriptor* yang merepresentasikan karakteristik dari objek yang ditargetkan. Sistem diintegrasikan pada *Robot Operating System* dan disimulasikan pada lingkungan simulasi *Gazebo*. Fitur yang dihasilkan dari citra yang ditangkap secara kontinu, dicocokkan dengan fitur citra objek yang telah ditentukan menggunakan *Lowe ratio test* dengan nilai *threshold* rasio 0.6 dan dikatakan cocok jika fitur yang cocok berjumlah lebih dari 15. Pengujian dilakukan dengan mengukur akurasi *confusion matrix* dengan variasi jarak 4 hingga 13 meter terhadap citra *petruk* dan *sengkuni*. Pada pengenalan citra *sengkuni* rata – rata akurasi yang diperoleh adalah 86% dan pada pengenalan citra *petruk* diperoleh rata – rata akurasi sebesar 96%.

ABSTRACT

Muriadi, Rizal Alif Nanda. 2025. **Automatic Shooting Target Determination in Robot Shooter Simulation Against Puppet Objects Using the SIFT Method. Thesis.** Department of Informatics Engineering, Faculty of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Shoffin Nahwa Utama.M.T (II) Nurizal Dwi Priandani, M.Kom.

Keywords: Autonomous robot, Object recognition, Puppets, ROS, SIFT.

Target locking is a crucial process in robot shooter systems. To perform the task, the system requires position information of the predetermined target. In this research, the author applies the Scale Invariant Feature Transform method to obtain information on the characteristics of objects around the robot using a camera. *Scale Invariant Feature Transform* function to extract *keypoints* and descriptors that represent the characteristics of the targeted object. The system is integrated with the Robot Operating System and simulated in the Gazebo simulation environment. Features generated from continuously captured images are matched with predefined object image features using the Lowe ratio test with a threshold ratio value of 0,6. They are said to match if the matching features total more than 15. Testing is done by measuring the accuracy of the confusion matrix with a distance variation of 4 to 13 meters from the image of *Petruk* and *Sengkuni*. In *Sengkuni's* image recognition, the average accuracy is 86%, and in *Petruk's* image recognition, the average accuracy is 96%.

البحث مستخلص

مريادي، ريزال أليف ناندا. 2025. **تحديد هدف التصويب التلقائي في محاكاة الروبوت الرامي ضد الأجسام الدمية باستخدام طريقة SIFT**. الأطروحة. قسم هندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم مالانج الإسلامية الحكومية. المشرف: (الأول) شوفين نھوا أوتاما (الثانينوريال دوي بريانداني، م.كوم.

الروبوت المستقل، SIFT التعرف على الأشياء، نظام تشغيل الروبوت : **الكلمات المفتاحية**

يعد تحديد الهدف عملية حاسمة في أنظمة الروبوتات التي تطلق النار. لتنفيذ المهمة، يتطلب النظام معلومات عن موقع الهدف المحدد مسبقاً. في هذا البحث، يطبق المؤلف طريقة "تحويل الميزات الثابتة بالمقياس" للحصول على معلومات عن خصائص الأجسام المحيطة بالروبوت باستخدام الكاميرا. وظيفة تحويل الميزات الثابتة بالمقياس لاستخراج النقاط الرئيسية والوصفات التي تمثل خصائص الجسم المستهدف. تم دمج النظام مع نظام تشغيل الروبوت ومحاكاته في بيئة محاكاة Gazebo. تتم مطابقة الميزات التي تم إنشاؤها من الصور الملتقطة باستمرار مع ميزات الصورة الكائن المحددة مسبقاً باستخدام اختبار نسبة لوي مع قيمة نسبة عتبة 0.6. يقال إنها متطابقة إذا كان مجموع الميزات المطابقة أكثر من 15. يتم الاختبار عن طريق قياس دقة مصفوفة الخلط مع تباين المسافة من 4 إلى 13 مترًا من صورة بتروك وسنغكوني. في التعرف على صورة بيتروك يبلغ متوسط الدقة 86%، وفي التعرف على صورة سنغكوني يبلغ متوسط الدقة 96%.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi robotika telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir terutama dalam kategori robot otonom. Robot otonom adalah sebuah robot yang dirancang untuk melakukan tugas tanpa campur tangan manusia (Olszewska dkk., 2017) . Pelacakan target adalah salah satu aspek penting dalam pengaplikasian robot otonom dalam bidang pengawasan keamanan, militer dan lingkungan pemantauan, penyelamatan bencana, perawatan di rumah untuk orang tua dan penyandang cacat (Ghorpade dkk., 2021). Namun tidak hanya dalam bidang tersebut, pelacakan target juga digunakan dalam pengaplikasian *robot shooter*. *Robot shooter* adalah robot yang dirancang untuk dapat menargetkan dan menembak objek. Aplikasi *robot shooter* tidak hanya digunakan dalam bidang militer saja, tetapi juga dalam bidang kompetisi robot, seperti Java Robot Contest (JRC) tahun 2023 yang diselenggarakan oleh Politeknik Negeri Surabaya pada tahun 2023 (2023). Dikutip dari laman resmi *website* PENS yang diunggah oleh Editor PENS, JRC merupakan Kompetisi robot tahunan yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Elektronika. Tujuannya sebagai wadah bagi peserta untuk mengembangkan kemampuan dan wawasan di bidang robotika sekaligus memperkenalkan Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektronika kepada masyarakat luas.

Kompetisi tersebut bertemakan “SWASA” yang terinspirasi dari Pewayangan Mahabharata yang memberikan nuansa keunikan tersendiri pada setiap kategori kompetisi. Dalam lomba JRC 2023 terdapat beberapa kategori kontes robot salah satunya adalah kategori Robot *Transporter Shooter*. Robot tersebut dikendalikan untuk mengambil bola dan menembakkan bola tersebut ke target tembak. Sesuai dengan tema kompetisi tersebut, beberapa tokoh wayang menjadi objek target tembaknya. Robot tersebut dikendalikan menggunakan *remote control* yang memerlukan keterampilan operator untuk mengarahkan tembakan secara manual. Namun, dalam penelitian ini, penulis mengusulkan untuk pengembangan robot *shooter* yang mengatur arah tembak secara otomatis berdasarkan gambar wayang.

Dalam konteks modernisasi teknologi, sebagai generasi muda yang dibekali dengan ragam ilmu pengetahuan dan teknologi harus mampu menjawab tantangan dalam era digital, sebagaimana dijelaskan dalam QS. *Al-Anbiya*: 80 :

وَعَلَّمْنَاهُ صَنْعَةَ لَبُوسٍ لَّكُمْ لِنُخَصِّنْكُمْ مِّنْ بِأَسْكُنْتُمْ فَهَلْ أَنْتُمْ شَاكِرُونَ -الانبياء

"Dan Kami ajarkan (pula) kepada Dawud cara membuat baju besi untukmu, guna melindungi kamu dalam peperangan. Apakah kamu bersyukur (kepada Allah)?" (QS. *Al – Anbiya* : 80).

Berdasarkan tafsir *Tahlili*, bahwa pada ayat ini Allah menyebutkan karunia yang diberikan kepada Nabi Daud as yaitu bahwa Nabi Daud as telah diberi Allah pengetahuan dan keterampilan dalam kepandaian menjadikan besi lunak di tangannya tanpa dipanaskan. Karena keterampilan ini nabi Daud as bisa membuat

baju – baju besi yang dapat digunakan dalam peperangan pada zaman itu. Kepandaian itu dimanfaatkan pula oleh umat-umat yang datang kemudian berabad – abad lamanya. Pengetahuan dan keterampilan yang dikaruniakan Allah kepada Nabi Daud a.s. itu telah tersebar luas dan bermanfaat bagi orang-orang dari bangsa lain. Dari tafsir ini bahwa Islam menganjurkan untuk memanfaatkan pengetahuan dan keterampilan dalam mendukung modernisasi teknologi yang dapat bermanfaat dikemudian hari (*Tafsir Tahlili*, t.t.).

Untuk memungkinkan robot melakukan navigasi dan mengarahkan terhadap sasarannya secara otomatis, diperlukan pendekatan *Computer Vision*. Dengan melakukan teknologi ini robot dapat mengarahkan arah sasaran tembak secara otomatis dari informasi yang diterima dari proses pengenalan gambar. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengolahan citra dalam mengenali objek target wayang adalah algoritma *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT). SIFT merupakan metode yang efektif untuk mendeteksi fitur – fitur unik pada suatu objek yang bersifat *invariant* terhadap skala, rotasi, dan perubahan pencahayaan (Lowe, 2004).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana algoritma *SIFT* digunakan untuk mengenali objek sasaran pada robot shooter?
2. Bagaimana tingkat akurasi algoritma *SIFT* dalam mengenali objek wayang berdasarkan referensi citra yang telah ditentukan ?

1.3 Batasan Masalah

Terdapat beberapa aspek yang menjadi batasan penelitian agar konteks dalam penelitian ini hanya di lingkup tertentu dan terkendali.

1. Data yang digunakan adalah gambar *sengkuni* dan gambar *petruk* yang bersumber dari *Kaggle*.
2. Penelitian hanya menganalisis hasil pengenalan target, tidak untuk mengukur hasil ketepatan tembak.

1.4 Tujuan Penelitian

Mengimplementasikan metode *SIFT* dan mengukur akurasi metode *SIFT* dalam mendeteksi objek sasaran pada sistem kontrol robot *shooter*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut :

1. Memanfaatkan hasil dari penelitian ini sebagai dasar untuk dilakukan penelitian lebih lanjut pada lingkup pengembangan teknologi khususnya robotika.
2. Meningkatkan kreativitas dalam pengembangan sistem robotika. Sehingga dapat diimplementasikan pada kompetisi yang akan datang.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Muharom (2022) berfokus pada pengembangan robot penembak otomatis berbasis deteksi objek menggunakan kamera. Sistem yang dikembangkan menggunakan pendekatan pemrosesan citra dengan metode segmentasi *HSV (Hue, Saturation, Value)* untuk mendeteksi target berdasarkan warna dan bentuk. Dalam implementasinya, kamera digunakan untuk menangkap gambar target yang kemudian diproses menggunakan *Raspberry Pi*. Setelah objek dikenali, sistem mengontrol gerakan robot melalui algoritma PID (*Proportional-Integral-Derivative*) untuk memastikan pergerakan yang stabil dan akurat menuju target. Koordinat target dikirimkan ke *Arduino Uno*, yang bertugas mengendalikan aktuator motor DC serta *servo* yang berfungsi untuk mengatur sudut laras senjata dan menembakkan proyektil ke target. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keberhasilan sebesar 83,3% dalam mendeteksi dan menembak target. Parameter PID optimal yang diperoleh adalah $K_p = 10$, $K_i = 0.9$, dan $K_d = 0.5$, yang memberikan keseimbangan terbaik antara respons cepat dan akurasi tembakan. Uji coba sistem menunjukkan bahwa robot dapat menemukan dan menembak target dalam waktu tercepat 17 detik, dengan rentang deteksi maksimal 290 cm. Selain itu, penelitian ini juga mengidentifikasi bahwa sistem memiliki keterbatasan dalam kondisi pencahayaan tertentu, di mana tingkat keberhasilan deteksi warna terbaik berada dalam rentang 75–95 *lux*. Jika

pencahayaannya terlalu rendah atau terlalu tinggi, akurasi deteksi menurun, yang menyebabkan kesalahan dalam pengenalan target. Perbedaan nya dengan penelitian yang akan dilakukan adalah metode yang diimplementasikan untuk mendeteksi target. Penelitian ini menggunakan metode *SIFT (Scale Invariant Feature Transform)*.

Penelitian yang dilakukan oleh Muharom dkk. (2021) berfokus pada pengembangan robot pencari ruangan yang mampu mendeteksi pintu dan mengenali nomor ruangan untuk aplikasi robot penembak otomatis. Robot ini dirancang untuk menelusuri koridor dengan menggunakan metode kontrol PID, dengan parameter $K_p = 5$, $K_i = 2$, dan $K_d = 0,4$, yang menghasilkan pergerakan robot yang stabil pada kecepatan 55 RPM. Untuk mendeteksi pintu, sistem memanfaatkan metode Hough Transform untuk mengenali bingkai pintu, yang kemudian diproses lebih lanjut sebagai parameter identifikasi pintu ruangan. Setelah mendeteksi pintu, sistem mengambil gambar ruangan dan memprosesnya menggunakan metode *Optical Character Recognition (OCR)* dan pencocokan *template* untuk mengenali nomor ruangan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa robot memiliki tingkat keberhasilan 81,8% dalam mengenali pintu ruangan dan 84,6% dalam mendeteksi nomor ruangan. Tingkat keberhasilan keseluruhan dalam menemukan ruangan adalah 88,8%, dengan waktu yang dibutuhkan antara 43 hingga 65 detik dari titik awal robot. Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil ini termasuk perubahan tingkat pencahayaan di koridor dan ukuran nomor ruangan yang mempengaruhi kemampuan pengenalan robot. Perbedaan utama antara penelitian ini dan penelitian saya terletak pada metode deteksi dan pengenalan yang

digunakan. Penelitian ini menggunakan metode *Hough Transform* untuk mendeteksi bingkai pintu dan *OCR* untuk mengenali nomor ruangan, yang berfokus pada deteksi objek berbasis bentuk geometris dan teks. Sebaliknya, penelitian saya menggunakan metode *Scale Invariant Feature Transform (SIFT)* untuk mendeteksi dan mengenali objek berdasarkan fitur-fitur kunci yang invariant terhadap skala dan rotasi, memungkinkan deteksi objek yang lebih kompleks dan beragam.

Penelitian yang dilakukan oleh Li dkk. (2023) berfokus pada pengembangan metode deteksi dan penggantian logo menggunakan algoritma *Scale Invariant Feature Transform (SIFT)*. Dalam penelitian ini, deskriptor SIFT digunakan untuk mengenali keberadaan atau ketiadaan logo dalam sebuah gambar. Setelah logo terdeteksi, proses penggantian dilakukan dengan menyisipkan logo baru pada posisi yang sesuai dalam gambar asli. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi dan manipulasi logo secara efektif, bahkan dalam kondisi di mana logo mengalami transformasi skala, rotasi, atau perubahan perspektif. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode yang diusulkan mampu mendeteksi dan mengganti logo dengan akurasi tinggi. Penggunaan deskriptor SIFT digunakan sistem untuk mengenali logo meskipun terdapat variasi dalam skala, rotasi, dan perspektif, sehingga meningkatkan fleksibilitas sistem. Penelitian Li dan Wang berfokus pada deteksi dan penggantian logo dalam gambar statis, dengan tujuan utama untuk manipulasi citra. Sedangkan, pada penelitian ini menerapkan algoritma SIFT untuk mendeteksi dan mengenali dalam lingkungan dinamis.

Penelitian yang dipresentasikan pada *2020 Chinese Automation Congress (CAC)* berjudul "*Robot Laser Shooting Game Based on Object Recognition*" yang

dilakukan oleh Ji dkk (2020) berfokus pada pengembangan sistem robot yang mampu mengenali objek dan menembakkan laser secara otomatis pada objek *tank*. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi target menggunakan teknik pengenalan objek, memungkinkan robot untuk secara akurat mengidentifikasi dan menargetkan sasaran dalam konteks permainan menembak laser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil dalam mendeteksi dan menembak target *tank* dengan akurasi 86% pada 200 kali percobaan, menunjukkan potensi untuk aplikasi lebih lanjut dalam bidang hiburan dan pelatihan. Penelitian tersebut berfokus pada pengembangan robot untuk permainan menembak laser dengan menggunakan HOG dalam proses ekstraksi fitur dan model SVM untuk mendeteksi kendaraan musuh. Pada penelitian saya menggunakan metode *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT) untuk ekstraksi fitur objek.

Penelitian yang dilakukan oleh Thohari dan Adhitama (2019) berfokus pada pengembangan sistem deteksi objek *real-time* untuk identifikasi tokoh wayang Punakawan menggunakan teknologi *deep learning*. Wayang Punakawan terdiri dari empat karakter utama: *Semar, Gareng, Petruk, dan Bagong*.. Metode yang digunakan adalah *Single Shot MultiBox Detector (SSD)* dengan lapisan *MobileNet*, yang dikenal efisien dalam klasifikasi data berstruktur tiga dimensi seperti video *real-time*. Proses pelatihan model memakan waktu 28 jam dengan 100.000 iterasi, menghasilkan model yang mampu mengidentifikasi objek wayang *Punakawan* secara akurat. Hasil pengujian menunjukkan akurasi deteksi sebesar 98,86%, membuktikan bahwa sistem ini efektif dalam mengoptimalkan deteksi objek secara *real-time*. Penelitian Thohari dan Adhitama berfokus pada identifikasi tokoh

wayang dalam konteks pelestarian budaya, menggunakan metode SSD dengan *MobileNet* untuk deteksi objek. Pada penelitian saya berfokus pada kontrol arah sasaran pada robot penembak menggunakan metode *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT).

Pada penelitian yang dilakukan Susanto dan Mulyono (2019) yang berjudul “*Rekognisi Wayang Kulit Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan*” telah mengembangkan sistem pengenalan wayang kulit dengan teknologi pengolahan citra berbasis Jaringan Syaraf Tiruan. Pada penelitian tersebut model dibangun menggunakan dataset wayang kulit seperti Arjuna, Srikandi, Gatotkaca, dan Hanoman dengan 100 data trainig dan 30 data testing. Sistem yang dikembangkan pada penelitian tersebut berhasil mengklasifikasi jenis wayang kulit dengan akurasi sebesar 96% pada 100 kali percobaan. Perbedaan dengan penelitian saya terletak pada metode yang digunakan, pada penelitian saya menggunakan metode *Scale Invariant Feature Transform* dan juga pada penelitian saya sistem diimplementasikan pada robot *shooter*.

Penelitian yang dilakukan Ady Saputro (2022) tentang penggunaan metode *Scale Invariant Feature Transform* untuk menganalisis kecocokan objek dalam citra digital dalam lingkup forensika digital. Dalam penelitian tersebut pengujian dilakukan dengan membandingkan citra suspek dengan reka citra orang yang sama dan berbeda. Citra diambil dari kamera CCTV. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat kecocokan antara citra referensi dan reka citra orang yang sama menghasilkan nilai kecocokan *keypoint* yang tinggi. Pada penelitian tersebut, peneliti menggunakan 8 data citra, 4 citra sebagai citra suspek dan sisanya citra

reka. Hasil dari penelitian tersebut pada uji cobanya mencocokkan 2 citra dengan mencocokkan orang yang sama dari rekaman *cctv* dan citra referensi cocok dengan *keypoint* yang cocok berjumlah 24 *keypoint*. Dan ketika mencoba dengan orang yang berbeda tidak ada *keypoint* yang cocok. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode *SIFT* dapat diimplementasikan secara efektif untuk mendeteksi kecocokan objek pada citra digital dengan akurasi 80%, khususnya dalam konteks forensik citra digital. Perbedaan dengan penelitian saya adalah pada data yang digunakan dan juga pada media implementasi sistem.

Penelitian dengan mekanis robot serupa juga dilakukan oleh (Septiyanda dkk., 2022). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pendeteksian dan penguncian target secara otomatis berdasarkan warna pada sistem senjata berbasis robot otonom, yang dikenal sebagai *ARO-GUN*. Motivasi utama penelitian ini adalah langkah mitigasi dalam penembakan yang disebabkan oleh *human error*. Metode utama yang digunakan pada sistem ini adalah deteksi warna *HSV*. Sistem ini memanfaatkan perangkat *Raspberry Pi 3b+*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mendeteksi dengan akurasi 100% dalam pencahayaan optimal, yaitu pada rentang 750 – 1000 *lux*. Namun sistem mengalami penurunan akurasi apabila target memiliki warna yang terlalu mirip dengan latar belakang atau jika intensitas cahaya di luar rentang optimal. Penelitian tersebut melakukan pendeteksian berdasarkan warna sedangkan penelitian saya menggunakan metode *SIFT* yang mengenali objek berdasarkan fitur uniknya.

Penelitian yang berjudul Implementasi Algoritma *SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)* Dan Algoritma *Kalman Filter* Dalam Mendeteksi Objek Bola”

yang dilakukan oleh Saputra (2023) mengimplementasikan algoritma *SIFT* untuk mengekstraksi fitur utama dari objek bola, dan *Kalman Filter* digunakan untuk memprediksi pergerakan dari bola berdasarkan data sebelumnya. Dengan kombinasi ini, sistem dapat mengenali dan melacak bola dalam berbagai kondisi pencahayaan dan rotasi tanpa kehilangan akurasi secara signifikan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi *SIFT* dan *Kalman Filter* mampu meningkatkan efisiensi pelacakan objek objek bergerak. Uji coba yang dilakukan dalam berbagai skenario pencahayaan menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan akurasi deteksi 90%, dalam kondisi pencahayaan yang bervariasi.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Perbedaan
1	(Muharom, 2022)	Automatics Detect and Shooter Robot Based on Object Detection Using Camera	Segmentasi <i>HSV</i> dan <i>Shape Recognition</i>	- Menggunakan segmentasi warna <i>HSV</i> dan pengenalan bentuk. - Berfokus pada deteksi dan pelacakan objek sedangkan penelitian yang akan dilakukan berfokus pada deteksi objek menggunakan algoritma <i>SIFT</i>
2	(Muharom dkk., 2021)	<i>Room Searching Robot Based on Door Detection and Room Number Recognition for Automatic Target Shooter Robot Application</i>	<i>Hough Transform</i>	- Menggunakan metode <i>Hough Transform</i>. - Berfokus pada deteksi dan pelacakan objek pintu ruangan, sedangkan penelitian yang akan dilakukan berfokus pada

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Perbedaan
				deteksi objek wayang.
3	(Septiyanda dkk., 2022)	SISTEM PENDETEKSI TARGET BERDASARKAN WARNA PADA AUTONOMOUS ROBOT GUN (ARO-GUN)	Segmentasi Warna <i>HSV</i>	- Objek yang digunakan adalah target berbentuk lingkaran hijau, sedangkan objek yang digunakan peneliti adalah objek wayang. - Menggunakan metode <i>SIFT</i>
4	(Li dkk., 2023)	Logo detection and replacement method based on SIFT algorithm	<i>Scale Invariant Feature Transform (SIFT)</i> .	- Objek yang di deteksi adalah logo. - Mendeteksi logo dan mengganti dengan logo baru. Pada penelitian yang akan dilakukan bertujuan mendeteksi target tembak berupa objek wayang
5	(Ji dkk., 2020)	Robot laser shooting game based on object recognition	<i>HOG</i> dan <i>SVM</i>	- Ekstraksi fitur menggunakan <i>HOG</i> dan permodelan menggunakan <i>SVM</i>. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan <i>SIFT</i>. - Objek yang dideteksi adalah robot tank. Penelitian yang akan dilakukan untuk mendeteksi wayang.
6.	(Thohari & Adhitama, 2019)	<i>Real-Time Object Detection For Wayang Punakawan Identification Using Deep Learning</i>	<i>Single Shot Multiple Detector</i>	- Penelitian ini menggunakan metode <i>Single Shot Multiple Detector</i>.

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Perbedaan
7.	(Susanto & Mulyono, 2019)	REKOGNISI WAYANG KULIT MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN	<i>Jaringan Syaraf Tiruan</i>	- Penelitian ini menggunakan metode <i>Jaringan Syaraf Tiruan</i> .
8.	(Ady Saputro, 2022)	Forensika Citra Digital Untuk Menganalisis Kecocokan Objek Menggunakan Metode <i>SIFT</i>	<i>SIFT</i>	- Implementasi metode pada forensika digital pada input CCTV.
9.	(Saputra, 2023)	Implementasi Algoritma <i>SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)</i> Dan Algoritma <i>Kalman Filter</i> Dalam Mendeteksi Objek Bola	<i>SIFT dan Kalman Filter</i>	- Objek yang digunakan adalah bola basket

2.2 Robot Shooter

Robot *shooter* adalah robot yang dirancang untuk melakukan tindakan menembak secara otomatis, baik dalam konteks olahraga, permainan, maupun aplikasi militer. Dalam bidang olahraga, misalnya penembak bola basket telah dikembangkan untuk meniru kemampuan manusia dalam melakukan tembakan dengan presisi tinggi (Zhang & Tao, 2023). Dalam bidang militer, robot penembak otomatis telah dikembangkan dengan menggunakan teknologi deteksi objek berbasis kamera. Sistem ini memungkinkan robot untuk mendeteksi dan menembak target secara otomatis, yang dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam operasi militer.

Kontes robot *shooter* juga menjadi ajang kompetisi yang menarik bagi para penggemar robotika dan pengembang *game*, terutama pada kalangan pelajar dan juga mahasiswa. Salah satu contohnya adalah Kontes Robot Indonesia yang memiliki sejarah panjang sejak pertama kali diadakan pada tahun 1993. KRI terdiri

dari beberapa divisi, termasuk Kontes Robot ABU Indonesia (KRAI) dan Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI), yang menantang peserta untuk merancang dan mengembangkan robot dengan kemampuan menembak dan strategi pertempuran tertentu.

2.3 Wayang



Gambar 2.1 Ilustrasi pertunjukan wayang

Wayang adalah bentuk teater boneka tradisional yang berasal dari pulau Jawa, Indonesia. Istilah “wayang” mengacu pada seluruh pertunjukan drama, sementara boneka kulit datar yang digunakan dalam pertunjukan disebut sebagai wayang kulit. Pertunjukan wayang kulit biasanya diiringi oleh orkestra dan menceritakan kisah – kisah epik seperti Ramayana dan Mahabharata. Wayang telah diakui oleh UNESCO sebagai *Masterpiece of the Oral and Intangible Heritage of Humanity* pada 7 November 2003.

Kontes yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Elektronika Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), mengangkat tema "*The Spectacular of Pewayangan Indonesia (SWASA)*". Kompetisi ini diikuti oleh 192

tim dari berbagai jenjang pendidikan, mulai dari SD hingga umum. Salah satu kategori dalam kompetisi ini adalah Robot Transporter Shooter untuk jenjang SMA yang di beri nama “*Pasupati*”, terinspirasi dari senjata dalam kisah pewayangan.



Gambar 2.2 Pembukaan kontes JRC 2023

Dalam konteks penelitian ini, penggunaan wayang sebagai target untuk robot *shooter* memiliki korelasi yang kuat dengan tema JRC XI 2023. Implementasi ini tidak hanya mendukung pelestarian budaya tradisional melalui teknologi modern, tetapi juga sejalan dengan upaya mengintegrasikan elemen budaya dalam pengembangan robotika. Dengan menjadikan wayang sebagai target, penelitian ini berkontribusi pada inovasi di bidang robotika yang menghormati dan mempromosikan warisan budaya Indonesia.

2.4 Algoritma SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*)

Scale Invariant Feature Transform (SIFT) adalah algoritma yang digunakan untuk mendeteksi dan mendeskripsikan fitur lokal dalam gambar, yang diperkenalkan oleh David Lowe pada tahun 1999. Algoritma ini bertujuan untuk mengekstraksi fitur – fitur yang bersifat invarian terhadap skala, rotasi, dan

sebagian invarian terhadap perubahan iluminasi serta transformasi. SIFT telah diterapkan dalam berbagai aplikasi, termasuk pengenalan objek, pencocokan gambar dan rekonstruksi 3D (Lowe, 2004).

Berikut merupakan tahap yang dilakukan untuk mendapatkan fitur yang dihasilkan dari metode SIFT :

1. Representasi skala ruang

Tahap awal dari algoritma ini yaitu membangun representasi multi skala dari gambar menggunakan filter *Gaussian* dengan tingkat *blur* berbeda. Proses ini dilakukan untuk mengidentifikasi titik – titik kandidat potensial yang tidak bergantung pada skala dan orientasi. Mendeteksi lokasi yang tidak berubah terhadap perubahan skala gambar dapat dilakukan dengan mencari fitur yang stabil di semua skala yang memungkinkan, menggunakan fungsi skala kontinu yang dikenal sebagai *Scale Space*. Deteksi lokasi *keypoint* dalam yang stabil maka akan digunakan *scale space extrema* pada fungsi *difference of gaussian* (DoG) yang dikonvolusikan pada gambar.

2. *Keypoint Localization*

Setelah pembentukan *DoG* dari proses sebelumnya, dicari titik yang dianggap sebagai *local maxima* atau *minima* dengan membandingkan intensitas piksel dengan tetangganya, untuk mendapatkan kandidat *keypoint*. Pada tahap ini titik *ekstrema* dilakukan penyaringan piksel dengan kontras rendah.

3. *Orientation Assignment*

Setelah mendapatkan *keypoint*, tahap selanjutnya adalah menentukan orientasi dari titik tersebut dengan mencari nilai *magnitude* dan arah gradien dari titik tersebut.

4. *Keypoint Descriptor*

Nilai *magnitude* dan pola gradien di sekitar *keypoint* dibuat sebuah histogram terhadap nilai dan pola tersebut. Orientasi tersebut dibagi ke dalam 8 arah. *Histogram* dari *descriptor* akan dibentuk menjadi sebuah vektor yang mengandung nilai nilai dari semua masukan histogram. Sedangkan percobaan menunjukkan bahwa hasil terbaik didapatkan dengan menggunakan 4 x 4 dengan *histogram* arah gradien adalah 8. Elemen fitur yang dihasilkan adalah 4 x 4 x 8 elemen dari setiap *keypoint* (Saputra, 2023).

2.5 *Robot Operating System (ROS)*



Gambar 2.3 Logo ROS

Robot Operating System (ROS) adalah kerangka kerja perangkat lunak yang dikembangkan untuk memfasilitasi pengembangan aplikasi robotika dalam pengembangan sistem robotika yang bersifat *open source*. ROS lebih tepat dikategorikan sebagai *middleware*, karena berfungsi sebagai lapisan abstraksi yang

memungkinkan komunikasi antara berbagai komponen robotika tanpa bergantung pada perangkat keras tertentu (Fresnillo dkk., 2022).

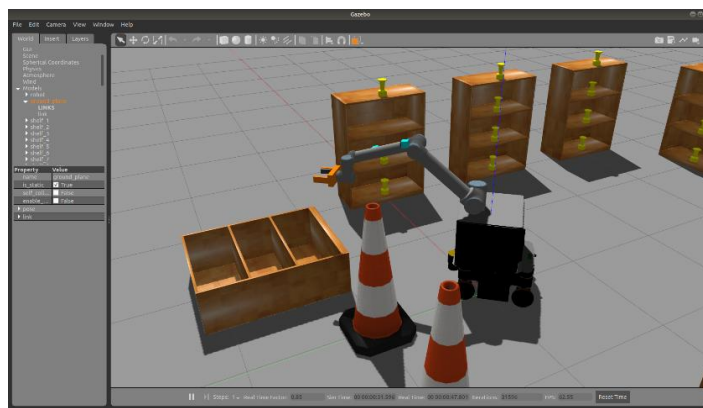
ROS menyediakan layanan dasar seperti komunikasi antar proses, manajemen *hardware*. Dan berbagai pustaka seperti penggunaan untuk pemrosesan citra. Dengan begitu *ROS* banyak digunakan dalam penelitian akademik dan industri untuk membangun sistem robotika yang fleksibel dan modular (Chaaban, 2022).

Arsitektur terbaru *ROS* saat ini adalah *ROS 2*. Arsitektur *ROS 2* berbasis sistem terdistribusi untuk melakukan komunikasi antar *nodes* menggunakan *Data Distribution Service (DDS)*, yang merupakan protokol standar konektivitas perangkat lunak yang dapat bertukar informasi secara *real-time*, modular, dan integrasi yang cepat dalam sistem terdistribusi. Setiap komponen pada *ROS* disebut *node*, yang berfungsi sebagai unit pemrosesan independen yang dapat berkomunikasi melalui *topics*, *services*, dan *actions*. *Topics* digunakan dalam model komunikasi *publish-subscribe*, di mana *nodes* dapat mengirim dan menerima pesan secara asinkron.

Komunikasi *DDS* juga diterapkan dalam integrasi dengan *Gazebo* untuk memastikan pertukaran data yang efisien antara model simulasi dan komponen perangkat lunak robot. *Gazebo* menyediakan model dunia virtual yang mendukung berbagai sensor seperti kamera, *LiDAR*, dan *IMU (Inertial Measurement Unit)*, yang dapat dikontrol melalui *nodes ROS 2* menggunakan *topics*, *services*, dan *actions* (Chikurtev, 2020).

2.6 Simulasi *Gazebo*

Gazebo adalah simulator *open-source* yang digunakan untuk menguji dan mengembangkan sistem robotika dalam lingkungan virtual yang realistis. Simulator ini digunakan untuk pengujian berbagai algoritma kontrol, navigasi, dan pemrosesan sensor tanpa memerlukan perangkat keras nyata, sehingga mengurangi biaya dan risiko kerusakan pada perangkat robot fisik.



Gambar 2.4 Ilustrasi Gazebo workspace

Gazebo dirancang terintegrasi dengan *ROS*, sebagai dunia virtual yang menyediakan lingkungan simulasi 3D. Beberapa penelitian menggunakan *Gazebo* sebagai media simulasi dalam berbagai bidang, seperti pada penelitian yang dilakukan (Wright dkk., 2021), yang menggunakan *Gazebo* pada simulasi robot inspeksi nuklir, hal tersebut merupakan langkah mengurangi risiko terhadap pekerja radiasi dalam skenario rutin dan darurat di sektor rutin. Dalam bidang pengajaran dan pendidikan juga digunakan untuk pengenalan robotika dan pemrograman *ROS* kepada mahasiswa (Pietrzik dan Chandrasekaran, 2019).

BAB III

METODE PENELITIAN

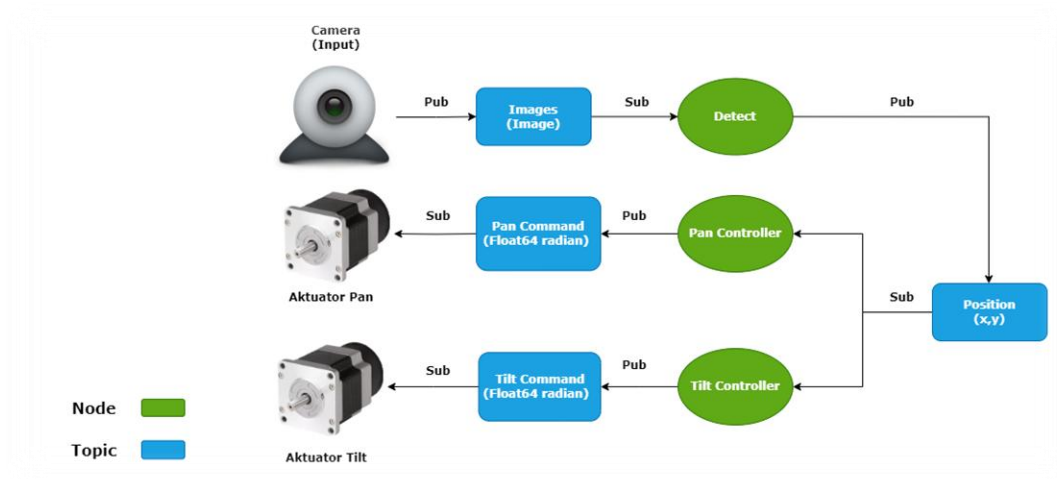
3.1 Desain dan Implementasi

Desain dan Implementasi pada penelitian ini meliputi pengumpulan data kemudian dilanjutkan dengan perancangan desain sistem. Setelah merancang desain sistem, rancangan tersebut diimplementasikan pada sistem agar sistem mendapatkan informasi hasil dari pencocokan fitur. Beberapa uji coba dari berbagai skenario agar dapat diketahui faktor apa saja yang mempengaruhi kinerja sistem. Setelah mendapatkan hasil dari rangkaian eksperimen dilakukan analisis dari hasil dari rangkaian eksperimen tersebut.

3.2 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini peneliti menggunakan data yang didapatkan dari *Kaggle* yang bernama *Indonesian Wayang (Traditional Puppet Show)*. Data yang digunakan sebagai acuan pencocokan berupa 2 tokoh wayang dari cerita Mahabharata.

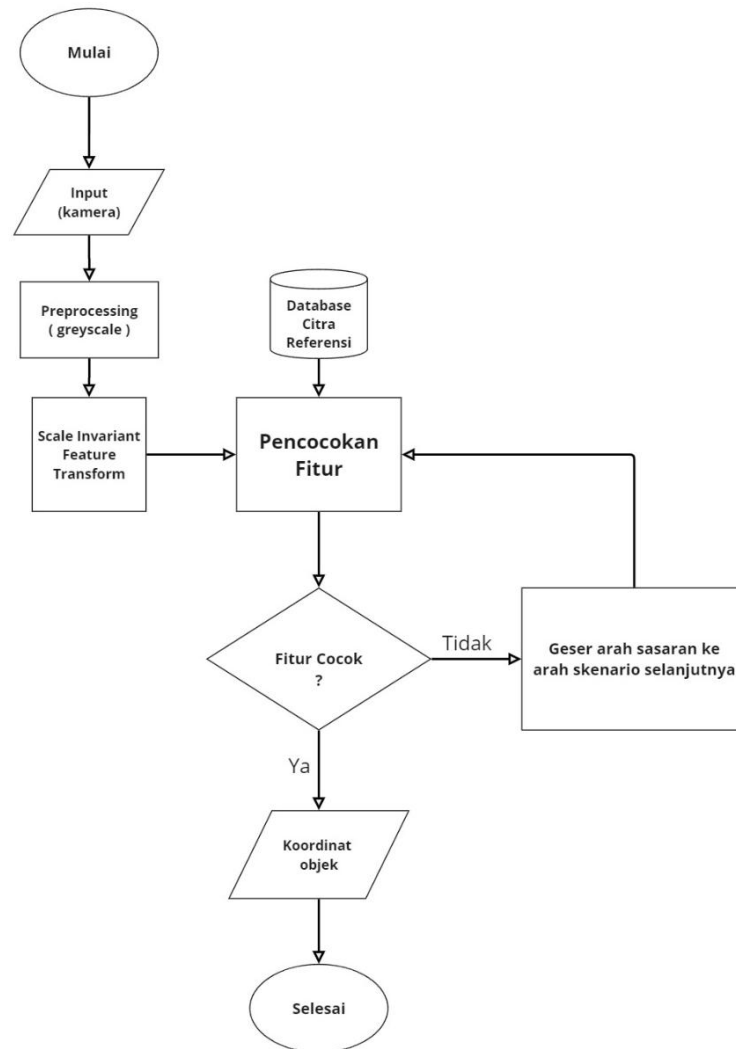
3.3 Desain Sistem



Gambar 3.1 Desain Sistem

Desain sistem pada Gambar 3.1, terdiri dari komponen dari *Gazebo* yang terintegrasi dengan *node* pada *ROS*. Input pada sistem ini diambil menggunakan kamera citra tersebut kemudian di *publish* ke *topic Images* dan *node Detect* sebagai *subscriber* pada *topic Images* membaca data citra dan dilakukan pengolahan citra menggunakan algoritma *Scale Invariant Feature Transform* untuk mendapatkan fitur dari citra. Fitur tersebut berupa *keypoints* dan *descriptor* nya, yang setelahnya dilakukan proses pencocokan dengan fitur citra referensi. Ketika fitur sudah memenuhi kriteria pencocokan maka sistem akan menandai titik tengah dari objek yang cocok. Koordinat posisi objek tersebut yang kemudian dikirim ke *topic Position*. *Node Pan Controller* dan *Tilt Controller* mengonversi posisi piksel x dan y ke dalam radian untuk mengontrol aktuator, agar mengarahkan sasaran ke objek terdeteksi, dan mengirimkan sinyal ke motor dc untuk menembak.

3.4 Implementasi Metode *SIFT*



Gambar 3.2 Flowchart Algoritma SIFT

Gambar 3.2 menjelaskan tahap implementasi *SIFT* pada sistem ini, algoritma SIFT digunakan untuk mendeteksi fitur lokal berupa *keypoint* dan deskriptor nya pada citra input yang ditangkap oleh kamera dan mencocokkannya dengan fitur diekstraksi dari *dataset* citra referensi yang telah dikumpulkan

sebelumnya. Berikut adalah langkah – langkah proses implementasi algoritma *SIFT* pada sistem ini.

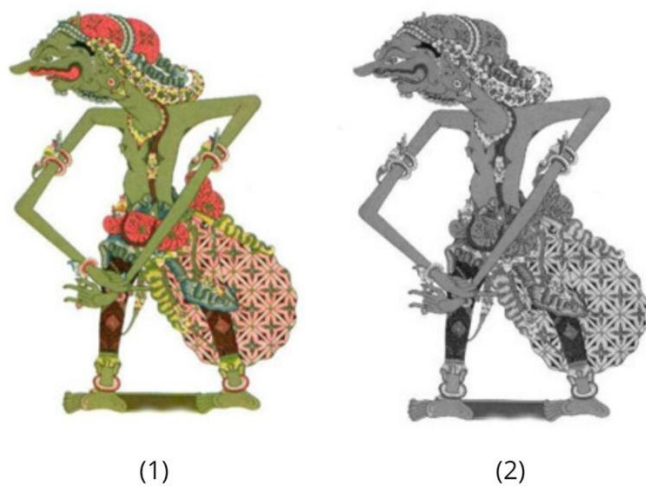
3.4.1. Input Citra

Pada tahap ini citra ditangkap dari kamera pada lingkungan *Gazebo*. Tiap *frame* nya dikirimkan ke *topic Images* untuk diproses ke tahap selanjutnya. Proses ini dilakukan secara kontinu agar pada proses selanjutnya sistem dapat mengetahui informasi dari citra yang diperoleh tiap *frame* nya.

3.4.2. Preprocessing Data

Hasil dari proses *input* merupakan citra yang memiliki 3 channel warna yaitu *Red*, *Green*, dan *Blue*. Pada tahap ini transformasi citra ke *grayscale* digunakan untuk mendapatkan nilai intensitas piksel.

3.4.2.1. Konversi *Grayscale*



Gambar 3.3 Proses *Grayscale*

Pada Gambar 3.3 citra 1 adalah citra referensi dan citra 2 adalah hasil citra yang telah dilakukan proses *grayscale*. Setiap pixel pada citra berwarna, setiap piksel terdiri dari 3 komponen warna yaitu *Red*, *Green*, *Blue* atau biasa dikenal dengan format *RGB*. Untuk mengubah dalam format *grayscale*, digunakan transformasi linear yang menghitung rata – rata tertimbang dari nilai R,G,B berdasarkan persepsi mata manusia terhadap warna. Pada persamaan (3.1), merupakan persamaan yang digunakan untuk mengonversi citra ke grayscale (Saravanan, 2010). Dengan melakukan proses *grayscale* maka akan mendapatkan nilai intensitas piksel dari citra.

$$I_{grayscale} = 0.2989 * R + 0.5870 * G + 0.1140 * B \quad (3.1)$$

Keterangan :

R = Nilai *Red*,
 G = Nilai *Green*.
 B = Nilai *Blue*.

3.4.3. *Scale Invariant Feature Transform*

Metode ini merupakan pendekatan yang digunakan untuk mendapatkan *keypoints* dan mendeteksi fitur deskriptor dalam berbagai skala, rotasi, dan pencahayaan. Berikut adalah tahapan ekstraksi fitur *keypoints* dan deskriptor:

3.4.3.1. Representasi skala ruang

$$L_{(x,y,\sigma)} = G_{(x,y,\sigma)} * I_{(x,y)} \quad (3.2)$$

Keterangan :

$L_{(x,y,\sigma)}$ = Citra *blur*,

$G_{(x,y,\sigma)}$ = Fungsi *Gaussian*.

$I_{(x,y)}$ = Citra input.

Proses awal ekstraksi fitur adalah pembangunan representasi ruang skala. Tujuannya agar fitur yang terdeteksi bersifat *invariant* terhadap perubahan ukuran objek. Pada tahap ini, citra di konvolusi dengan menerapkan filter *Gaussian* dengan berbagai skala di tiap dimensi citra dengan menerapkan persamaan 3.2. Dan untuk fungsi gaussian sendiri dijelaskan pada persamaan 3.3.

$$G_{(x,y,\sigma)} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.3)$$

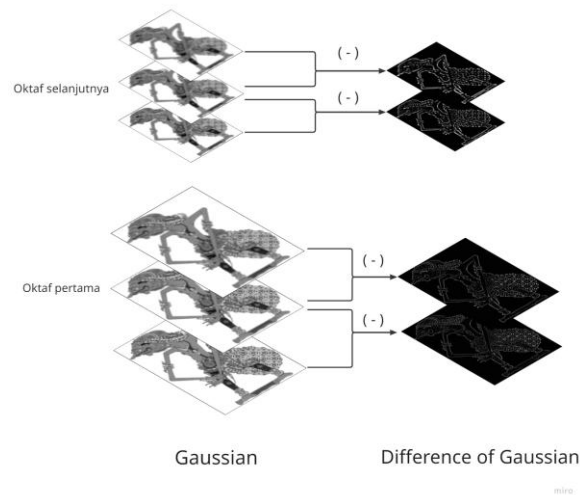
Keterangan :

$G_{(x,y,\sigma)}$ = Fungsi *Gaussian*.

σ = standar deviasi (skala *blur*).

Proses ini dibangun atas beberapa oktaf, setiap oktaf merepresentasikan ukuran dimensi citra dengan tingkat *blur* berbeda, ditentukan dari nilai *standar deviasi* (σ). Pada penelitian yang dilakukan Zhong dan Li (2019), nilai *standar deviasi* pertama untuk tiap oktaf adalah 1,6 dan akan terus bertambah nilainya untuk membentuk satu oktaf dengan tingkat *blur* yang berbeda. Pada oktaf

selanjutnya, citra di *resize* setengah dari dimensi citra di oktaf sebelumnya. Hasil dari setiap peningkatan nilai *standar deviasi* pada 1 oktaf dan oktaf selanjutnya, seperti gambar 3.4 bagian kiri.



Gambar 3.4 Ilustrasi Pembentukan ruang skala

Setelah ruang skala terbentuk, proses selanjutnya adalah mendeteksi keypoint melalui perhitungan *Difference of Gaussian (DoG)*. Proses *DoG* dihitung dengan mengurangi nilai piksel citra pada dimensi ukuran yang sama, dengan tingkat *blur* yang berbeda (pengurangan piksel pada skala $k^n\sigma - k^{n-1}\sigma$), Citra *DoG* dibentuk menggunakan persamaan 3.4. Pada Gambar 3.4 bagian kanan adalah ilustrasi hasil dari proses *DoG* dari citra level pertama dan kedua pada oktaf pertama (Tang dkk., 2022).

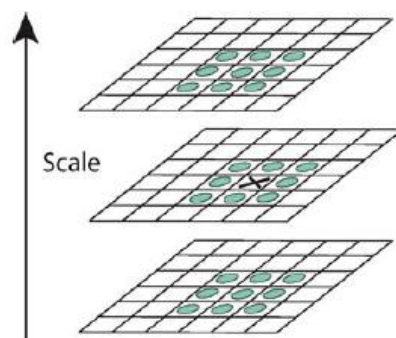
$$D_{(x,y,\sigma)} = L_{(x,y,k\sigma)} - L_{(x,y,\sigma)} \quad (3.4)$$

Keterangan :

$D_{(x,y,\sigma)}$ = Citra *Difference of Gaussian (DoG)*

3.4.3.2. Keypoint Localization

Proses dilanjutkan dengan mencari nilai *ekstrema* (maksimum atau minimum) dari citra *DoG* dengan membandingkan sebuah nilai piksel tengah dengan 8 piksel tetangganya dan 9 tetangga sebelum dan sesudah pada rangkaian citra *DoG* dalam satu oktaf, yang berarti titik tersebut akan di bandingkan dengan total 26 piksel tetangga nya. Hasil dari proses ini akan menghasilkan informasi posisi titik dan nilai sigma (σ) pada titik tersebut . Ilustrasi pencarian nilai *extrema* seperti pada Gambar 3.5.



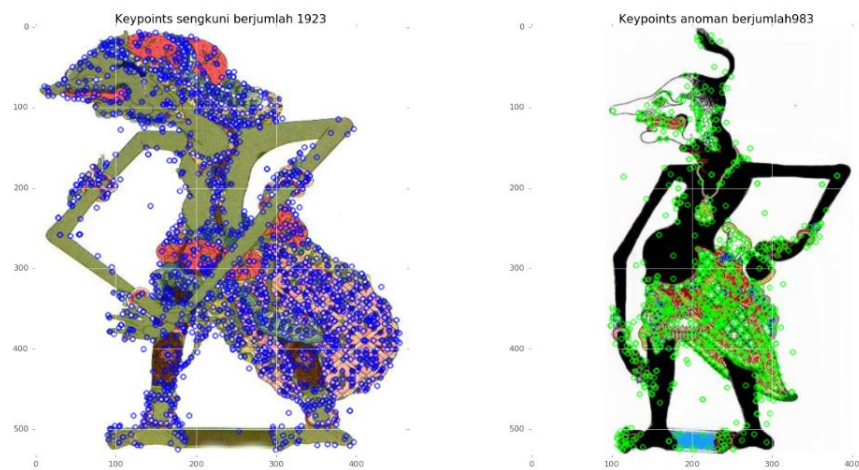
Gambar 3.5 Ilustrasi pencarian titik extrema pada citra DoG.

Pada tahap ini titik *ekstrema* dilakukan penyaringan piksel dengan kontras rendah, apabila nilai intensitas $< 0,04$ pada normalisasi intensitas piksel 0 hingga 1, maka titik tersebut akan dieliminasi.

3.4.3.3. Penentuan orientasi *keypoint*

Langkah pertama dalam tahap ini adalah menghitung gradien intensitas dan besaran gradien di sekitar *keypoint*. Setelah nilai

gradien dan orientasi dihitung untuk setiap piksel di sekitar *keypoint*, dibuatlah histogram orientasi yang membagi 360° ke dalam 36 bin. Setiap nilai tersebut ditambahkan ke histogram yang dibobot dengan besarnya gradien dan dengan pembobotan jendela *gaussian* dengan skala 1,5 kali dari skala (σ) *keypoint* tersebut (Lowe, 2004). Puncak pada orientasi histogram tersebut akan terdeteksi, setiap puncak yang berada dalam 80% dari puncak tertinggi akan di gunakan *keypoint* dengan orientasi itu. Hal tersebut yang membuat pada lokasi dengan beberapa puncak yang besarannya sama, akan ada beberapa *keypoints* yang dibuat pada lokasi dan skala yang sama dengan orientasi berbeda. Pada gambar 3.6 citra referensi dihasilkan *keypoint* berjumlah 1727 untuk *sengkuni* dan *petruk* berjumlah 983.



Gambar 3.6 Keypoint citra Referensi

3.4.3.4. Deskriptor *keypoint*

Pertama region yang didapatkan dari proses sebelumnya di putar sesuai dengan orientasi nya. Hal ini dilakukan agar fitur tahan terhadap *rotasi* ketika pencocokan. Pada tahap ini gradien dan besaran gradien di ukur pada area tiap *keypoint*. Pertama, area 16 x 16 sekitar *keypoint* diambil dan di bagi menjadi sub area berukuran 4 x 4. Setiap sub area tersebut arah gradien dan besaran gradiennya diukur serupa dengan proses penentuan orientasi dan di petakan dalam histogram yang merepresentasikan 8 bin dari total 360 derajat, yang berarti setiap binnya memiliki *range* 45 derajat. Proses pengukuran orientasi gradien dan besarannya di proses ke semua sub area 4 x 4 pada area tersebut. Semua peta histogram yang menggambarkan 8 bin (arah gradien) pada area tersebut akan digabungkan menjadi 1 vektor pada tiap *keypoint*. Oleh karena itu, hasil dari deskriptor untuk setiap *keypoint* adalah vektor dengan 128 elemen (4 x 4 x 8 bin) (Lowe, 2004). Bentuk deskriptor *keypoint* dari citra referensi pada gambar 3.7.

```
(array([ 1.,  2.,  1., 10., 16., 11.,  4.,  1., 59., 23.,  2.,
        0.,  0.,  2.,  7., 21., 206., 13.,  0.,  0.,  0.,  0.,
        0., 85., 101.,  1.,  0.,  0.,  0.,  0.,  0., 28.,  2.,
        4.,  1.,  3.,  3.,  3., 14.,  3., 114.,  1.,  0.,  0.,
        0.,  1., 17., 28., 206.,  2.,  0.,  0.,  0.,  0.,  0.,
       50., 103.,  0.,  0.,  0.,  0.,  0.,  0., 18., 11., 14.,
        2.,  2.,  0.,  0.,  1.,  1., 128., 16.,  6.,  2.,  1.,
        0.,  3.,  8., 206.,  3.,  0.,  0.,  0.,  0.,  0., 33.,
       87.,  1.,  0.,  0.,  0.,  0.,  0., 11.,  5., 15.,  3.,
        1.,  1.,  0.,  0.,  0., 105., 17.,  2.,  1.,  1.,  0.,
        3., 18., 206., 25.,  0.,  0.,  0.,  0.,  0., 12., 58.,
        7.,  0.,  0.,  0.,  0.,  0.,  2.], dtype=float32),
128)
```

Gambar 3.7 Deskriptor citra referensi

3.4.4. Pencocokan fitur citra dataset dan citra input

Fitur dari citra masukan fitur yang ada di *database* di cocokkan menggunakan *Lowe's ratio test*. Setiap keypoint yang terdeteksi pada 2 gambar yaitu pada citra referensi di *database* dan citra *input* dari robot, dibandingkan dari deskriptor pada setiap keypoint tersebut yang berbentuk vektor dengan panjang 128 bit. Vektor ini digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan antar *keypoint* melalui perhitungan jarak *euclidian*. Proses ini dilakukan dengan mencocokkan setiap deskriptor di citra referensi dengan semua deskriptor di citra *input*, kemudian memilih dua kandidat terdekat. Kemudian *Lowe's ratio test* di aplikasikan dengan membandingkan rasio antara jarak deskriptor terkecil ($d1$) dan jarak deskriptor kedua terkecil ($d2$) (Huang dkk., 2024) .dijelaskan pada persamaan 3.8.

$$r = \frac{d1}{d2} \quad (3.8)$$

dengan ,

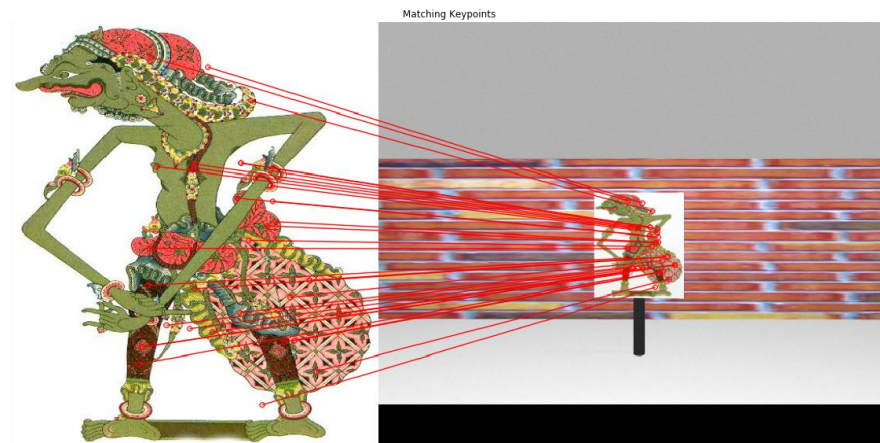
$$d = \sqrt{\sum_{i=0}^{128} (Da[i] - Db[i])^2} \quad (3.9)$$

Keterangan :

- r = Rasio tetangga terdekat.
- $d1$ = Tetangga dengan jarak terdekat.
- $d2$ = Tetangga dengan jarak kedua terdekat.
- Da = Elemen deskriptor pada vektor citra input.
- Db = Elemen deskriptor pada vektor citra referensi.

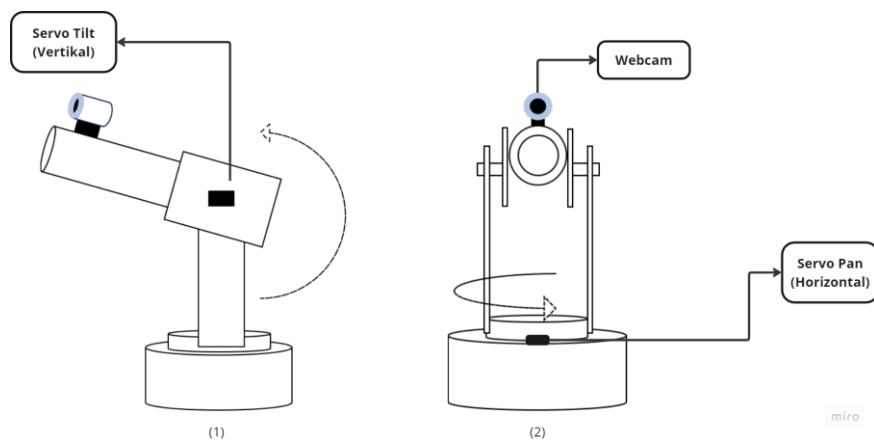
Pada persamaan di atas (d) memberikan ukuran kemiripan kedua deskriptor yang dicocokkan. Kecocokan dianggap valid jika rasio lebih kecil dari *threshold*, yang menunjukkan bahwa kecocokan terbaik jauh lebih unik

daripada kecocokan kedua dan mengurangi kemungkinan kesalahan pencocokan (Lowe, 2004). Pada penelitian ini *threshold* yang digunakan untuk menyaring pencocokan adalah 0,6. Pada gambar dibawah ini adalah hasil dari pencocokan fitur.



Gambar 3.8 Visualisasi Fitur Cocok

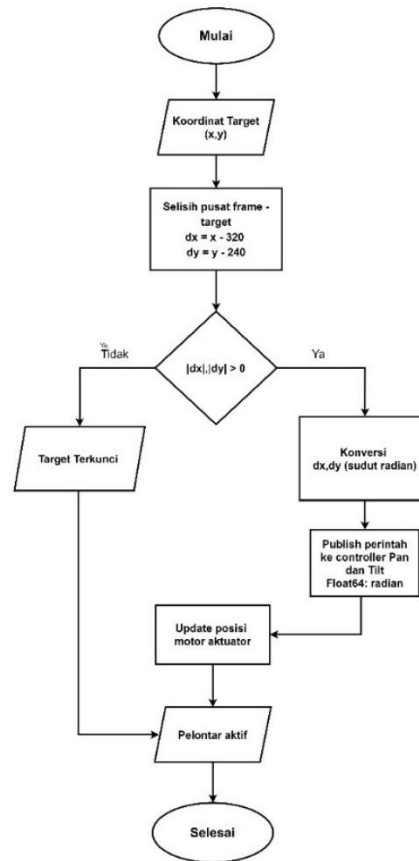
3.5 Perancangan Simulasi Robot *Shooter*



Gambar 3.9 Ilustrasi perancangan robot

Prototype robot shooter pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.9. Robot tersebut bergerak secara horizontal dan vertikal untuk mengarahkan bidikan berdasarkan informasi posisi dari target yang dikenali. Jika target terdeteksi pada

frame kamera, sistem akan mengarahkan aktuator *Pan* dan *Tilt* ke arah posisi tengah *frame*.



Gambar 3.10 *Flowchart* mekanisme gerak robot

Gambar 3.10 adalah *flowchart* yang menjelaskan mekanisme alur gerak robot sesuai dengan posisi dari target yang dikenali. Ukuran untuk *frame* input citra dari sensor kamera *gazebo* dengan *frame* berukuran 640 x 480 piksel. Dengan ukuran *frame* tersebut maka posisi tengahnya sebagai acuan penentuan arah atau titik pusatnya adalah (320,240). Proses pertama yang dilakukan adalah sistem membaca koordinat piksel (x,y) objek terdeteksi. Setelah mendapatkan posisi target, nilai dihitung selisih nya dari titik pusat *frame*. *dx* adalah selisih piksel titik

pusat *frame* terhadap sumbu x , dan dy adalah selisih piksel titik pusat *frame* terhadap sumbu y , Jika selisih tersebut bernilai -3 hingga +3 artinya target dalam pusat area *frame* maka lokasi target tersebut di kunci dan mengirimkan sinyal untuk mengaktifkan pelontar, Jika tidak memenuhi itu maka akan dilakukan koreksi posisi aktuator dengan menghitung pergeseran sudut terhadap selisih target dari pusat *frame*. Jika selisih tersebut bernilai $> |3|$ pada sumbu x maka aktuator *Pan* akan bergerak ke kiri. Setelah arah robot sesuai sasaran sistem memperbarui posisi aktuator.

3.5.1 Perangkat Perancangan

Tabel 3.1 Hardware Perancangan

Komponen	Spesifikasi
Tipe	HP 14s
Prosesor	AMD Ryzen 5 5500U
RAM	20 GB
GPU	AMD Radeon (integrated)
Sistem Operasi	Windows 11

Pada tabel 3.1 adalah perangkat yang digunakan pada pengembangan sistem penelitian ini. Laptop yang digunakan adalah HP 14s dengan prosesor AMD Ryzen 5 5500U dengan 6 *Core 12 Threads* dengan sistem operasi *Windows 11*. Memory yang digunakan sebesar 20 GB. Proses pengembangan sistem *ROS2* dan lingkungan simulasi *Gazebo* berjalan pada *Docker Container* yang dijalankan dengan sistem operasi *Ubuntu* pada Container tersebut.

3.5.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. ROS2 *Humble*
2. Docker Desktop
3. Gazebo 11

3.5.3 Skenario Uji Coba

Uji coba dilakukan untuk mengukur kinerja sistem dalam mendeteksi dan mencocokkan fitur menggunakan metode *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) pada kontrol arah tembak robot *shooter*. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi keakuratan deteksi objek serta kestabilan pencocokan fitur dalam berbagai kondisi. Pada persamaan 3.10 adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan akurasi dari hasil uji coba (Chicco & Jurman, 2022).

$$accuracy = \frac{TP+TN}{TN+TP+FP+FN} * 100\% \quad (3.10)$$

Keterangan :

<i>True Positive</i> (TP)	= Objek yang ada dalam <i>database</i> dan berhasil terdeteksi.
<i>False Positive</i> (FP)	= Objek yang tidak ada dalam <i>database</i> tetapi dideteksi sebagai objek yang valid.
<i>True Negative</i> (TN)	= Objek yang tidak ada dalam <i>database</i> dan benar-benar tidak terdeteksi.
<i>False Negative</i> (FN)	= Objek yang ada dalam <i>database</i> tetapi gagal dideteksi

Berikut adalah skenario uji yang dilakukan pada sistem ini :

- a. Akurasi deteksi target

Pada pengujian ini dilakukan serangkaian skenario untuk menguji sistem. Di katakan jika citra inputan adalah objek wayang yang sama dan dari sumber

yang sama maka pengujian dikatakan berhasil. Pengujian ini dilakukan meletakkan robot pada posisi berhadapan dengan target.

b. Akurasi deteksi dengan variasi jarak.

Objek ditempatkan pada jarak yang bervariasi dari kamera (4 hingga 13 meter). Tujuan dari skenario ini adalah untuk menentukan batas optimal sistem dalam mendeteksi objek.

c. Pergerakan robot

Pada gerakan *Pan* sistem akan terus bergerak ke kiri hingga target yang terdeteksi dan terkunci pada titik tengah *frame* kamera. Beberapa uji coba dilakukan untuk mendapatkan kombinasi pergerakan paling optimal untuk mendeteksi hingga mengunci target. Uji coba dilakukan dengan *Pan* awal robot pada posisi 0° dan target pada posisi 90° .

Dalam penelitian ini, sistem pendeteksian objek wayang pada robot shooter dievaluasi menggunakan perhitungan akurasi pada *Confusion Matrix*. *Confusion Matrix* digunakan untuk mengukur keakuratan sistem dalam mendeteksi objek berdasarkan data referensi dalam *database*.

Tabel 3.2 Skenario uji

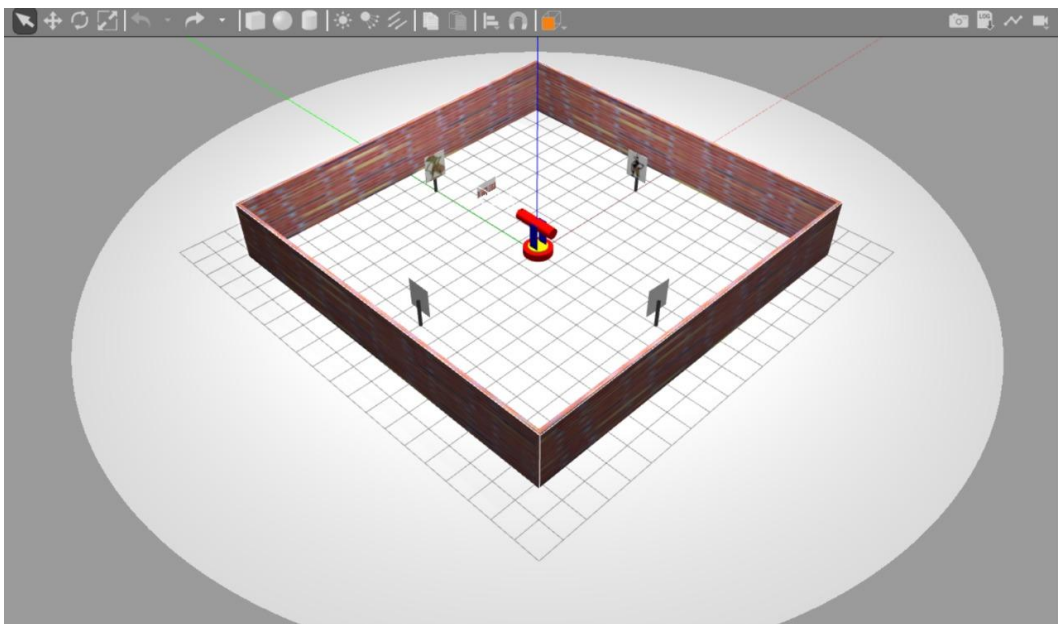
No	Aspek Pengujian	Skenario Uji	Metode Pengukuran
1	Akurasi deteksi objek wayang.	Menempatkan objek pada hadapan robot	<i>Confusion matrix (Accuracy)</i>
2	Akurasi deteksi dengan variasi jarak.	Menempatkan target pada jarak 5 – 13 meter	

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lingkungan Simulasi Gazebo

Penelitian ini dilakukan pada lingkungan *Gazebo* sebagai simulasi dan pengujian secara virtual. Pada lingkungan ini menyimulasikan fisika secara realistis serta kompatibilitas dengan *ROS2* untuk integrasi sensor dan aktuator. Model dirancang dengan file *URDF* yang berformat *xml*.



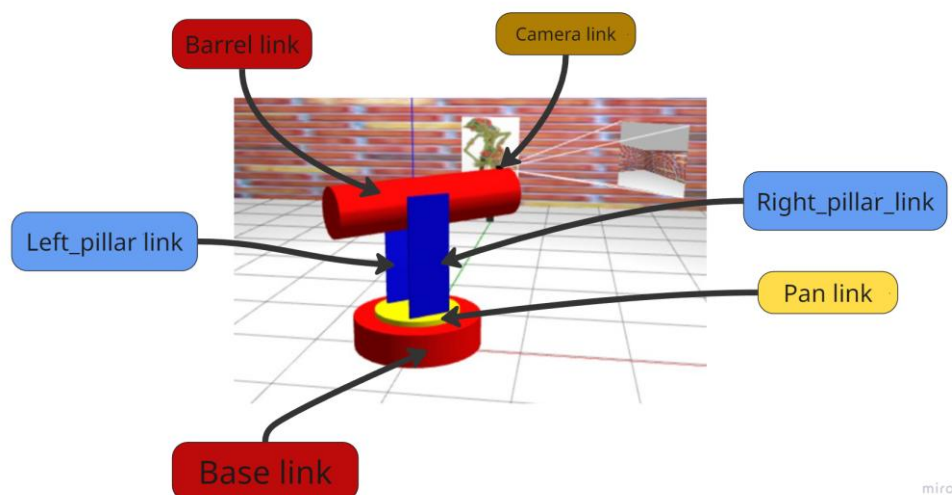
Gambar 4.1 Lingkungan Simulasi Gazebo

Pada gambar 4.1 adalah ruang simulasi yang digunakan untuk pengujian sistem. Ruang tersebut dikelilingi dinding yang berukuran 32 x 32 m. pada posisi tengah terdapat robot dan pada arah sumbu X dan Y terdapat 4 objek target yang digunakan sebagai pengujian 2 di antaranya adalah citra yang ada dalam referensi pencocokan. Citra menempel pada patok penyangga berukuran 1,2 meter x 1 meter

dan diberikan *image texture* berukuran 462 x 532 piksel. Setiap grid pada permukaan lantai gazebo berukuran 1 x 1 meter yang digunakan sebagai acuan pengujian jarak pengenalan target (Pietrzik & Chandrasekaran, 2019). Pada bagian tengah lingkungan terdapat *point light* sebagai sumber cahaya dengan tinggi 10 m dan *range* 20 m.

Pada ruang simulasi ini sensor kamera pada robot akan publish citra yang ditangkap ke topik */camera/image_raw*. Selanjutnya, *node detect* melakukan *Subscribe* ke topik */camera/image_raw* untuk dilakukan pencocokan dengan citra referensi. *Node detect* publish koordinat objek terdeteksi ke topik *pan_controller/commands* untuk memberikan perintah kepada aktuator untuk mengunci pada posisi tersebut.

4.2 Model Robot



Gambar 4.2 Model Robot

Pada gambar 4.2 adalah hasil dari model perancangan robot. Proses perancangan robot pada sistem ini dibangun dengan format *Unified Robot Description Format (URDF)*. Struktur robot disusun atas beberapa *link* yang merepresentasikan setiap komponen robot. Spesifikasi dimensi setiap komponen *link* dijelaskan pada tabel 4.1 dan untuk *joint* dijelaskan pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Komponen Link

No.	Komponen	Tipe	Dimensi (meter)
1	Base link	<i>Cylinder</i>	Radius : 0,6 Length : 0,15
2	Pan link	<i>Cylinder</i>	Radius : 0,4 Length : 0,1
3	Pillar link (Left, Right)	<i>Box</i>	X : 0,02 Y : 0,4 Z : 1,5
4	Barrel link	<i>Cylinder</i>	Radius : 0,22 Length : 0,5
5	Camera	<i>Box</i>	X : 0,05 Y : 0,05 Z : 0,05

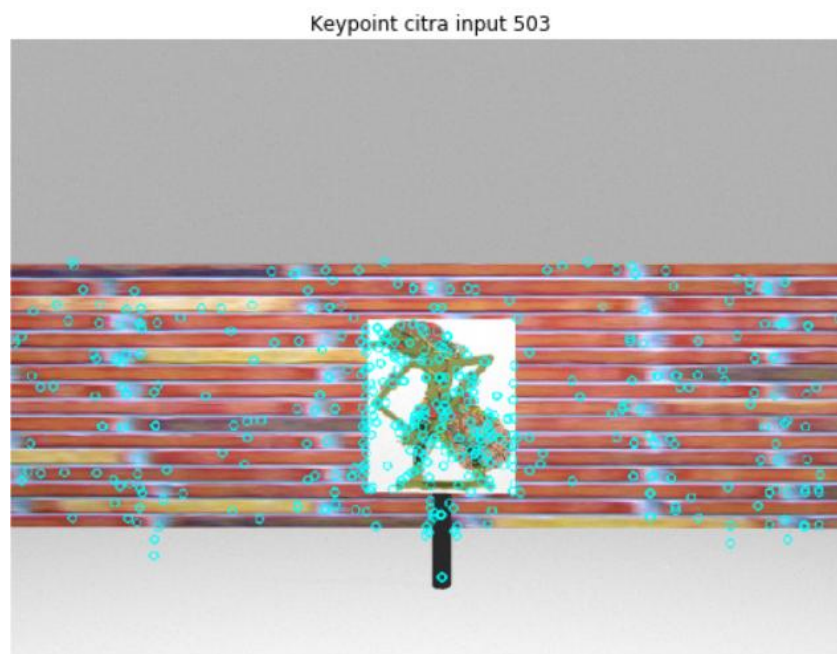
Tabel 4.2 Komponen Joint

No	Joint	Tipe	Penghubung (link)	
			Dari	Ke
1	base to pan	<i>Continuous</i>	Base	Pan
2	Pan to left	<i>Fixed</i>	Pan	left pillar
3	Pan to right	<i>Fixed</i>	Pan	right pillar
4	right pillar to barrel	<i>Revolute</i>	Right pillar	Barrel
5	Barrel to camera	<i>fixed</i>	Barrel	Camera

Pada tabel 4.2 adalah daftar komponen yang dibangun pada sistem ini pada bagian paling bawah terdapat *base link* berbentuk *cylinder* dengan radius 0.6 meter dan tinggi 0,15 meter, link tersebut dihubungkan dengan *pan link* dengan *joint* bertipe *continuous* agar dapat berputar 360°. *Pan link* tersebut menopang 2 pillar berukuran panjang 1,5 meter dan lebar 0,4 meter yang dihubungkan dengan *joint*

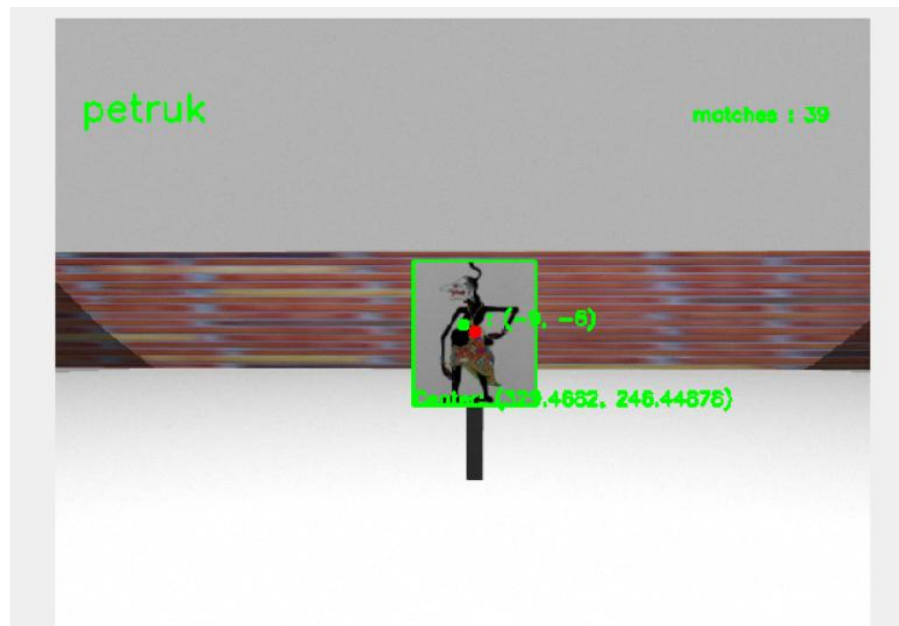
bertipe *fixed*. *Right_pillar* terhubung dengan *barrel link* bertipe *revolute joint* agar dapat berputar 45° sebagai representasi laras tembak. Pada bagian *barrel link* terdapat *camera link* dihubungkan dengan *fixed joint*, yang digunakan untuk merepresentasikan sensor kamera pada lingkungan gazebo. Sensor kamera tersebut beresolusi 640 x 480 piksel, dengan *horizontal field of view* 60° .

4.3 Pengenalan Target



Gambar 4.3 Keypoint citra frame gazebo

Pada gambar 4.3 adalah hasil dari ekstraksi fitur dari frame input sensor kamera pada lingkungan *Gazebo*. *Keypoint* yang dihasilkan berjumlah 503 *keypoint*, selanjutnya *deskriptor* setiap *keypoint* tersebut dicocokkan dengan *deskriptor* citra referensi.



Gambar 4.4 Pengenalan target

. Pada gambar 4.4 adalah ketika hasil pencocokan fitur citra input dan citra referensi petruk. Ketika, fitur yang cocok memenuhi *threshold* yaitu 20, maka sistem akan memberi *bounding box* pada daerah terdeteksi, dan membaca selisih dari titik tengah kotak tersebut dengan titik tengah *frame* untuk pergerakan *aktuator*.

4.4 Integrasi ROS2 Dan Gazebo

Pada sistem ini *Gazebo* sebagai ruang simulasi 3d dari gerakan robot. Komunikasi yang digunakan antara *Gazebo* dan *ROS2*, seperti *libgazebo_ros_camera.so* yaitu *plugin* yang terpasang pada *camera_link* untuk simulasi sensor kamera. Sensor tersebut menangkap citra dari lingkungan *Gazebo* dan mempublikasikan ke *topic /camera/image_raw* yang bertipe *sensor_msgs/Image* untuk node pengolahan citra mendapatkan input citra dari

lingkungan simulasi, dan memproses hingga mendapatkan posisi target. Agar *pan joint* dan *tilt joint* dapat dikontrol sesuai dengan hasil yang didapatkan.

4.5 Skenario Uji Coba

Pengujian dilakukan untuk mengukur akurasi deteksi objek, ketahanan terhadap perubahan kondisi, dan respons mekanis sistem terhadap hasil yang didapatkan dari pendeteksian objek target pada lingkungan simulasi Gazebo. Pengujian akurasi dilakukan dengan menggunakan 2 citra objek wayang citra referensi dan 2 lainnya di luar dari itu. Pada penelitian ini *threshold* rasio jarak diberikan 0.6 dan diberikan *threshold* 15 terhadap fitur yang cocok agar memenuhi kondisi bahwa objek tersebut adalah target yang sesuai.

4.5.1 Akurasi deteksi target

Pengujian dilakukan untuk mengukur akurasi dari robot dalam mengenali target. Percobaan dilakukan 16 kali pada jarak yang sama yaitu 5 meter. Pada tabel 4.3 adalah hasil dari pengukuran akurasi deteksi target.

Tabel 4.3 Hasil percobaan deteksi

Percobaan ke	Nama objek	Hasil deteksi	Keterangan
1	Petruk	Petruk	Berhasil
2	Durna	-	Berhasil
3	Anoman	-	Berhasil
4	Sengkuni	Sengkuni	Berhasil
5	Petruk	Petruk	Berhasil
6	Durna	-	Berhasil
7	Anoman	-	Berhasil
8	Sengkuni	Sengkuni	Berhasil
9	Durna	-	Berhasil
10	Anoman	-	Berhasil
11	Sengkuni	Sengkuni	Berhasil
12	Petruk	Petruk	Berhasil
13	Durna	-	Berhasil
14	Anoman	-	Berhasil

15	Sengkuni	Sengkuni	Berhasil
16	Petruk	Petruk	Berhasil

$$accuracy = \frac{TP + TN}{TN + TP + FP + FN} * 100\%$$

$$accuracy = \frac{8 + 8}{8 + 8 + 0 + 0} * 100\%$$

$$accuracy = 100\%$$

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari 16 kali percobaan deteksi target, pada percobaan target di hadapan robot adalah citra referensi *petruk*, sistem berhasil mengidentifikasi bahwa target tersebut adalah citra *petruk*. Ketika di hadapan robot adalah citra *sengkuni* berhasil mengidentifikasi bahwa target adalah citra *sengkuni*. Selain citra dalam referensi sistem mengidentifikasi tidak ada target terdeteksi. Pada skenario ini dari 16 kali percobaan, akurasi yang diperoleh pada pengujian ini 100 %.

4.5.2 Akurasi deteksi dengan variasi jarak

Pada pengujian variasi jarak percobaan dilakukan pada jarak 5 hingga 13 meter terhadap target yang ada pada citra referensi. Akurasi setiap target referensi dihitung menggunakan rumus 4.1 (Azimjonov & Özmen, 2022). Pada tabel 4.4 adalah hasil pengujian akurasi deteksi dengan variasi jarak.

Tabel 4.4 Hasil deteksi variasi jarak terhadap target *sengkuni*

Skenario ke	Jarak (m)	Jumlah percobaan	Rata rata Fitur cocok	Akurasi
1	4	5	65,2	100 %
2	5	5	45.8	100 %

3	6	5	35.8	100 %
4	7	5	28.8	100 %
5	8	5	22.4	100 %
6	9	5	18.2	100 %
7	10	5	16.0	80 %
8	11	5	15.2	80 %
9	12	5	10.6	60 %
10	13	5	7.6	40 %
Rata – rata akurasi				86 %

$$\text{Rata – rata akurasi} = \frac{\sum_i^n \text{akurasi}_i}{n}$$

$$\text{Rata – rata akurasi} = \frac{100+100+100+100+100+100+100+80+80+60+40}{n}$$

$$\text{Rata – rata akurasi} = 86\%$$

Hasil pengujian pada tabel 4.4 menunjukkan sistem berhasil mengidentifikasi target citra referensi *sengkuni* secara konsisten pada radius 5 meter hingga 11 meter. Terjadi perubahan ketika target diletakkan pada jarak 12 meter dan 13 meter. Pada sisi tertentu fitur yang cocok kurang dari nilai *threshold* yang diberikan, yang mengakibatkan sistem tidak dapat menandai lokasi target pada *frame* kamera. Rata – rata akurasi yang didapatkan yaitu 86%

Tabel 4.5 Hasil deteksi variasi jarak terhadap citra *petruk*

Skenario ke	Jarak (m)	Jumlah percobaan	Rata Rata Fitur Cocok	Akurasi
1	4	5	61,4	100 %
2	5	5	50,4	100 %
3	6	5	48.4	100 %
4	7	5	40,6	100 %
5	8	5	33,0	100 %
6	9	5	29,0	100 %
7	10	5	25,0	80 %
8	11	5	22,6	100 %
9	12	5	19,6	100 %
10	13	5	17,0	80 %
Rata – rata akurasi				96%

Pada tabel 4.5 adalah hasil dari pencocokan fitur dari target *petruk*. Hasil menunjukkan pencocokan fitur Pada citra referensi *petruk* menunjukkan kecocokan fitur yang tinggi pada jarak 4 hingga 13 meter. Semua percobaan rata – rata melebihi *threshold* kecocokan fitur. Pada citra referensi 2 hasil kecocokan lebih stabil daripada citra referensi 1. Rata – rata akurasi yang didapatkan yaitu 96 %.

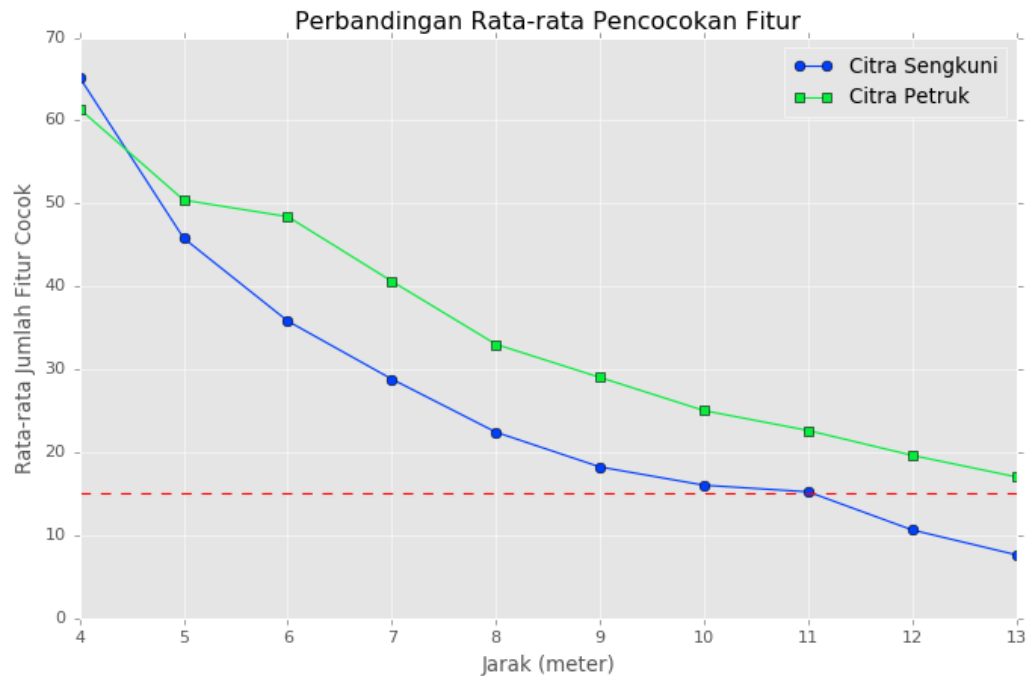
4.5.3 Kombinasi pergerakan robot

Pada tabel 4.6 adalah hasil uji coba kombinasi sudut ketika sistem mendeteksi dan mengunci target pada tengah *frame* kamera. Pengujian ini dilakukan dengan posisi awal pada 0 derajat dan target diletakkan pada 90 derajat posisi robot dan jarak kamera ke target sejauh 5 meter. Rata – rata waktu tercepat dihasilkan dari gerak sudut pencarian sebesar 10 derajat, sistem dapat mendeteksi adanya objek dengan waktu 9,65 detik. Pada penguncian target rata – rata waktu tercepat untuk mengunci adalah 27,3 detik pada kombinasi 10 derajat gerak sudut pencarian dan 0,4 derajat gerak sudut penguncian dengan 3 kali berhasil dan 2 kali gagal pada 5 kali percobaan. Pada kombinasi dengan gerak sudut pencarian 9 derajat, semua percobaan berhasil mengunci target dengan kedua kombinasi tersebut. Pada gerak sudut pencarian 9 derajat sistem dapat mengunci target dengan rata – rata tercepat dengan kombinasi sudut penguncian 0,4 derajat.

Tabel 4.6 Hasil uji coba kombinasi sudut

Percobaan ke -	Gerak sudut (derajat)		Waktu Pencarian (s)	Waktu Penguncian (s)	Rata-rata waktu (s)		Keterangan	
	Pencarian	Penguncian			Pencarian	Penguncian	Terdeteksi	Terkunci
1	9	0,3	18,75	43,25	11,95	36,548	Berhasil	Berhasil
2	9	0,3	10,36	39,88			Berhasil	Berhasil
3	9	0,3	10,03	40,09			Berhasil	Berhasil
4	9	0,3	9,59	38,34			Berhasil	Berhasil
5	9	0,3	11,02	21,18			Berhasil	Berhasil
6	9	0,4	11,08	22,12	11,582	30,954	Berhasil	Berhasil
7	9	0,4	12,02	30,12			Berhasil	Berhasil
8	9	0,4	12,29	40,48			Berhasil	Berhasil
9	9	0,4	11,42	32,05			Berhasil	Berhasil
10	9	0,4	11,1	30			Berhasil	Berhasil
11	10	0,3	9,72	39,83	9,65	36,23	Berhasil	Berhasil
12	10	0,3	10,23	-			Berhasil	Gagal
13	10	0,3	9,26	37,15			Berhasil	Berhasil
14	10	0,3	9,15	-			Berhasil	Gagal
15	10	0,3	9,89	31,71			Berhasil	Berhasil
16	10	0,4	10,28	28,76	9,992	27,3975	Berhasil	Berhasil
17	10	0,4	9,84	29,89			Berhasil	Berhasil
18	10	0,4	9,84	-			Berhasil	Gagal
19	10	0,4	10,1	28,73			Berhasil	Berhasil
20	10	0,4	9,9	22,21			Berhasil	Berhasil

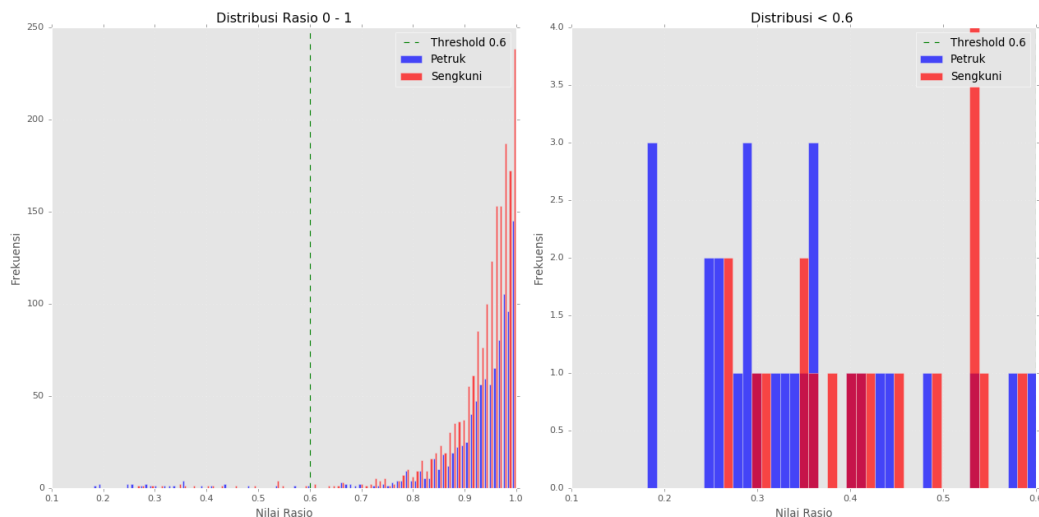
4.6 Pembahasan



Gambar 4.5 Perbandingan pencocokan fitur citra referensi

Hasil pengujian pada penentuan target menunjukkan bahwa metode *Scale Invariant Feature Transform* memiliki kemampuan baik dalam mendapatkan fitur yang sesuai berdasarkan citra *sengkuni* dan citra *petruk*. Berdasarkan skenario uji coba deteksi target yang telah ditentukan dengan citra referensi pada jarak 5 meter sistem dapat mengenali dan menyesuaikan posisi terhadap posisi target terdeteksi, pada 16 kali percobaan tingkat akurasi yang diperoleh adalah 100% . Pada gambar 4.5 adalah diagram hasil perbandingan jumlah fitur yang cocok terhadap citra referensi. Pada pengujian akurasi variasi jarak terhadap citra *sengkuni* sistem dapat mengenali dengan stabil hingga 8 meter dengan tingkat akurasi 100% dan menurun ketika jarak 10 meter menjadi 80%, dan dapat mengunci target. Pada jarak lebih dari 10 meter hanya pada posisi tertentu saja sistem dapat mengenali, hal tersebut dikarenakan fitur yang dicocokkan tidak cukup memenuhi *threshold* yang telah

diatur. Sedangkan pada target *petruk* akurasi deteksi target stabil hingga jarak 13 meter, dan jumlah kecocokan fitur stabil diatas *threshold*. Pada gambar 4.6 adalah distribusi rasio kecocokan fitur.



Gambar 4.6 Distribusi kecocokan fitur terhadap rasio jarak euclidian

Distribusi kecocokan fitur terhadap target *sengkuni* menghasilkan fitur yang cocok lebih banyak pada rasio $> 0,6$. Hal ini mengartikan fitur dari citra *sengkuni* banyak memiliki kemiripan satu sama lain, yang menyebabkan pencocokan *false positive*. Sedangkan pada rasio $< 0,6$ frekuensi kecocokan fitur terhadap citra *petruk* lebih banyak dari citra *sengkuni*. Faktor tersebut yang menyebabkan kecocokan fitur terhadap citra *petruk* lebih tinggi daripada citra *sengkuni*. Semakin besar rasio jarak pada pencocokan, maka akan banyak *false matching* atau fitur ambigu yang muncul.

Kombinasi gerak sudut pada pergerakan arah penentuan target rata – rata waktu tercepat untuk mengunci target adalah 27,3975 detik yang dihasilkan dari

kombinasi 10 derajat gerak sudut pencarian dan 0,4 derajat sudut penguncian dengan 4 kali berhasil dan 1 kali gagal pada 5 kali percobaan. Pada semua percobaan kombinasi gerak sudut pencarian 9 derajat sistem berhasil mengunci target, dengan rata – rata tercepat dihasilkan dari kombinasi dengan gerak sudut penguncian 0,4 derajat. Hasil uji coba tersebut menunjukkan kombinasi gerak sudut pencarian 9 derajat lebih optimal untuk mendapatkan momentum untuk memasuki fase penguncian dibandingkan dengan gerak sudut pencarian 10 derajat. waktu optimal dihasilkan dari kombinasi sudut pencarian 9 derajat dengan sudut penguncian 0,4 derajat. Sudut penguncian 0,4 lebih cepat sekitar 5,6 detik dibandingkan dengan sudut penguncian 0,3.

Implementasi metode *Scale Invariant Feature Transform* pada lingkungan simulasi *Gazebo* dan *ROS2* yang berjalan pada spesifikasi laptop penulis cukup berat jika sistem berjalan berbarengan. Penggunaan spesifikasi yang lebih tinggi akan memberikan pengalaman pengembangan yang lebih nyaman.

Penerapan *Scale Invariant Feature Transform* pada penelitian ini digunakan untuk mendeskripsikan fitur yang ada pada citra. Dalam perspektif islam, setiap objek di alam semesta adalah bagian dari ayat *kauniyah* atau tanda – tanda yang menunjukkan eksistensi, kekuasaan, kebijaksanaan dan keindahan ciptaan Allah SWT. Al - Quran berulang kali mendorong manusia untuk menggunakan akal dan pikirannya guna memperhatikan dan mempelajari ciptaan Allah SWT di alam semesta proses pemanfaatan fitur ini guna mengenali dan menganalisis karakteristik

suatu objek selaras untuk melakukan *tafakkur* (memikirkan) terhadap ciptaannya.

Al - Quran menjelaskan pada surah *Al – Ghashiyah* :17 – 20:

أَفَلَا يَنْظُرُونَ إِلَى الْإِبِلِ كَيْفَ خُلِقَتْ وَإِلَى السَّمَاءِ كَيْفَ رُفِعَتْ وَإِلَى الْجِبَالِ كَيْفَ نُصِبَتْ وَإِلَى الْأَرْضِ كَيْفَ سُطِحَتْ

“Maka apakah mereka tidak memperhatikan unta bagaimana dia diciptakan, dan langit, bagaimana ia ditinggikan? Dan gunung-gunung bagaimana ia ditegakkan? Dan bumi bagaimana dia dihamparkan?” (QS. Al – Ghashiyah : 17-20).

Pada ayat ini Allah SWT mengajak kita untuk mengamati alam ciptaan-Nya yang menakjubkan. Ajakan tersebut diikuti kata “ila” yang biasa diartikan “kepada” pada masing - masing ayat, menurut M.Quraish Shihab menunjukkan arti lebih dari sekedar melihat sesuatu, yakni merenung secara mendalam apa rahasia yang ada di baliknya.(Shihab & Shihab, 2012).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penerapan metode *Scale Invariant Feature Transform* pada robot shooter terhadap citra dua citra wayang (*sengkuni* dan *petruk*) pada lingkungan simulasi *Gazebo* yang terintegrasi dengan *ROS2* berhasil menjalankan seluruh rencana alur sistem. Sistem dapat mengekstrak fitur citra dan berhasil melakukan pencocokan sesuai dengan citra referensi yang ditentukan dan mempublikasikan koordinat target terdeteksi untuk pergerakan aktuator.

Berdasarkan hasil 16 kali percobaan kecocokan deteksi target dengan 4 citra dua di antaranya adalah citra referensi, sistem dapat mengenali sesuai dengan citra referensi dan sistem tidak mengenali ketika bukan citra referensi. Hasil akurasi yang didapatkan adalah 100%. Hasil uji coba deteksi berdasarkan variasi jarak 5 meter hingga 13 meter, pada citra *sengkuni* sistem mendapatkan rata - rata akurasi 86%. Sistem dapat mengenali secara optimal hingga jarak 11 meter dan menurun ketika jarak lebih dari 11 meter. Sedangkan pada citra *petruk* sistem dapat mengenali hingga jarak 13 meter dengan rata – rata akurasi 96%. Secara keseluruhan *Scale Invariant Feature Transform* berhasil digunakan dalam mendeteksi kecocokan citra target yang telah ditentukan dengan baik.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dan berbagai temuan selama proses penelitian, beberapa aspek dapat dipertimbangkan untuk dikembangkan lebih lanjut, antara lain :

1. Mengimplementasikan sistem penentuan target pada platform robot pada dunia nyata untuk memvalidasi performa dan melakukan perbandingan dari berbagai aspek pengembangan robot.
2. Menggunakan data yang memiliki variasi tekstur yang lebih beragam untuk menganalisis lebih dalam ketahanan fitur pada pengenalan citra.

DAFTAR PUSTAKA

- Ady Saputro, I. (2022). Forensika Citra Digital Untuk Menganalisis Kecocokan Objek Menggunakan Metode SIFT. *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, 9(4), 3170–3179. <https://doi.org/10.35957/jatisi.v9i4.2758>
- Azimjonov, J., & Özmen, A. (2022). Vision-based vehicle tracking on highway traffic using bounding-box features to extract statistical information. *Computers & Electrical Engineering*, 97, 107560. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107560>
- Chaaban, K. (2022). A Seamless Integration of Fault-Tolerant and Real-Time Capabilities for Robot Operating System (ROS). *2022 4th International Conference on Applied Automation and Industrial Diagnostics (ICAAID)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICAAID51067.2022.9799496>
- Chicco, D., & Jurman, G. (2022). An Invitation to Greater Use of Matthews Correlation Coefficient in Robotics and Artificial Intelligence. *Frontiers in Robotics and AI*, 9, 876814. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.876814>
- Chikurtev, D. (2020). Mobile Robot Simulation and Navigation in ROS and Gazebo. *2020 International Conference Automatics and Informatics (ICAI)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICAI50593.2020.9311330>
- Editor PENS. (2023, Desember 4). *JRC 2023* [Post].
- Fresnillo, P. M., Vasudevan, S., & Mohammed, W. M. (2022). An approach for the bimanual manipulation of a deformable linear object using a dual-arm industrial robot: Cable routing use case. *2022 IEEE 5th International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ICPS51978.2022.9816981>
- Ghorpade, S. V., Bhatt, V. S., & B P, A. R. (2021). AI based Armed Surveillance Robot. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 183–185. <https://doi.org/10.7753/IJCATR1007.1001>
- Huang, Q., Guo, X., Wang, Y., Sun, H., & Yang, L. (2024). A survey of feature matching methods. *IET Image Processing*, 18(6), 1385–1410. <https://doi.org/10.1049/ipr2.13032>
- Ji, Z., Wang, D., & Zhang, Z. (2020). Robot laser shooting game based on object recognition. *2020 Chinese Automation Congress (CAC)*, 2036–2041. <https://doi.org/10.1109/CAC51589.2020.9327318>
- Li, J., Wang, F., Zhao, Q. B., Wu, Y. B., & Tian, Y. B. (2023). Logo detection and replacement method based on SIFT algorithm. Dalam C. Zhao (Ed.),

International Conference on Mechatronics Engineering and Artificial Intelligence (MEAI 2022) (hlm. 45). SPIE.
<https://doi.org/10.1117/12.2671969>

Lowe, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91–110.
<https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>

Mardatillah, B, A., Dewi, E., & Anwar, K. (2024). Ayat-Ayat Kauniah dan Qur'aniyah dalam Perspektif Epistemologi Ilmu. *LANCAH: Jurnal Inovasi dan Tren*, 3(1). <https://doi.org/10.35870/ljit.v3i1.3511>

Muharom, S. (2022). Automatics Detect and Shooter Robot Based on Object Detection Using Camera. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 1(1), 52–56. <https://doi.org/10.15199/48.2022.01.07>

Muharom, S., Masfufiah, I., Purwanto, D., Mardiyanto, R., Prasetyo, B., & Asnawi, S. (2021). Room Searching Robot Based on Door Detection and Room Number Recognition for Automatic Target Shooter Robot Application. Dalam Triwiyanto, H. A. Nugroho, A. Rizal, & W. Caesarendra (Ed.), *Proceedings of the 1st International Conference on Electronics, Biomedical Engineering, and Health Informatics* (Vol. 746, hlm. 43–54). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-33-6926-9_4

Olszewska, J. I., Barreto, M., Bermejo-Alonso, J., Carbonera, J., Chibani, A., Fiorini, S., Goncalves, P., Habib, M., Khamis, A., Olivares, A., De Freitas, E. P., Prestes, E., Ragavan, S. V., Redfield, S., Sanz, R., Spencer, B., & Li, H. (2017). Ontology for autonomous robotics. *2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 189–194. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2017.8172300>

Pietrzik, S., & Chandrasekaran, B. (2019). Setting up and Using ROS-Kinetic and Gazebo for Educational Robotic Projects and Learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1207, 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1207/1/012019>

Saputra, C. (2023). Implementasi Algoritma SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) Dan Algoritma Kalman Filter Dalam Mendeteksi Objek Bola. *Jurnal PROCESSOR*, 18(1).
<https://doi.org/10.33998/processor.2023.18.1.791>

Saravanan, C. (2010). Color Image to Grayscale Image Conversion. *2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications*, 196–199. <https://doi.org/10.1109/ICCEA.2010.192>

- Septiyanda, Y., Muhtar, A., & Prasetyawan, P. (2022). SISTEM PENDETEKSI TARGET BERDASARKAN WARNA PADA AUTONOMOUS ROBOT GUN (ARO-GUN). *Injection: Indonesian Journal of Vocational Mechanical Engineering*, 2(2), 82–89. <https://doi.org/10.58466/injection.v2i2.1485>
- Susanto, A., & Mulyono, I. U. W. (2019). *REKOGNISI WAYANG KULIT MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN*.
- Tafsir Tahlili*. (t.t.). <https://quran.nu.or.id/al-anbiya/80>
- Tang, L., Ma, S., Ma, X., & You, H. (2022). Research on Image Matching of Improved SIFT Algorithm Based on Stability Factor and Feature Descriptor Simplification. *Applied Sciences*, 12(17), 8448. <https://doi.org/10.3390/app12178448>
- Thohari, A. N. A., & Adhitama, R. (2019). Real-Time Object Detection For Wayang Punakawan Identification Using Deep Learning. *JURNAL INFOTEL*, 11(4). <https://doi.org/10.20895/infotel.v11i4.455>
- Wright, T., West, A., Licata, M., Hawes, N., & Lennox, B. (2021). Simulating Ionising Radiation in Gazebo for Robotic Nuclear Inspection Challenges. *Robotics*, 10(3), 86. <https://doi.org/10.3390/robotics10030086>
- Zhang, J., & Tao, D. (2023). Research on deep reinforcement learning basketball robot shooting skills improvement based on end to end architecture and multi-modal perception. *Frontiers in Neurorobotics*, 17, 1274543. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2023.1274543>
- Zhong, B., & Li, Y. (2019). Image Feature Point Matching Based on Improved SIFT Algorithm. *2019 IEEE 4th International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)*, 489–493. <https://doi.org/10.1109/ICIVC47709.2019.8981329>