

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Lingkungan atau *environment indoor*, utamanya dalam ruang lingkup *industrial environment* seperti pada kawasan riset, *power plant*, dan laboratorium memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan lingkungan *indoor* pada ruang lingkup yang ada di lingkungan sekitar. Peristiwa yang disebut dengan “oklusi” atau tumpang tindihnya benda satu sama lain sering terjadi oleh benda-benda yang variatif seperti kursi, meja, kardus, tas, botol, laptop, sampai rambu berhenti yang terkadang sering dipasang di dalam area *research facility* sering menjadi penghalang dan mengganggu sebagian bidang pandang. Sebagaimana ditunjukkan oleh Sun dkk. (2020) melalui *Waymo Open Dataset*, “... *highly diverse and challenging scenarios* ...” menyatakan bahwa akurasi deteksi sering turun pada lingkungan yang padat dan dinamis karena tumpang tindih objek dan perubahan kondisi visual yang sering terjadi (Sun dkk., 2020). Kondisi ini didorong oleh objek yang saling menutupi dan membentuk variasi tekstur. Sehingga, dibutuhkan pengembangan robot mobile atau robot *companion* yang tidak hanya memiliki sensor yang sifatnya tunggal atau hanya memiliki satu sensor saja, dan dibutuhkannya pengembangan sebuah sistem deteksi objek atau persepsi lingkungan yang dapat menggabungkan beberapa sensor kamera sekaligus untuk membentuk *Field of View* (FoV) yang lebih luas dan sekaligus juga dapat mengukur seluruh jarak dan posisi dari setiap objek yang ada di sekitarnya.

Selanjutnya, berbagai studi sistem pengawasan berbasis *computer vision* di laboratorium, ruang tertutup, ataupun di dalam *research facility* pun sudah dilakukan, tetapi mayoritas masih mengandalkan kamera statis sehingga tidak dapat dilakukan manuver untuk mengurangi titik buta atau *blind spot* pada saat oklusi terjadi. Sebagai contoh, Jahromi dkk. (2024) merancang pemantauan ruang tertutup berbasis *YOLOv8* untuk mendeteksi kepadatan dan perilaku yang “berisiko” di lingkungan *indoor*, namun arsitekturnya bertumpu pada aliran video kamera yang sifatnya statis dan tidak bisa memposisikan ulang sudut pandang ketika bidang pandang terhalang (Jahromi dkk., 2024). Tinjauan mutakhir tentang sistem deteksi

Alat Pelindung Diri (APD) atau *Personal Protective Equipment (PPE)* berbasis *computer vision* di kawasan industri oleh Alizadeh dkk. (2024) juga menegaskan tantangan *practical* pada sistem kamera statis masih sering terjadi seperti di antaranya oklusi, variasi pencahayaan, dan *blind spot* di area kerja yang kompleks. Sehingga, mereka juga menyarankan arsitektur pemantauan yang bisa lebih adaptif dan bisa dikembangkan lagi nantinya agar bisa lebih dinamis dan *mobile* (Alizadeh dkk., 2024). Bahkan rancangan sistem pemantauan keselamatan laboratorium berbasis pembelajaran mesin yang lebih baru oleh Sahare dan Kshirsagar (2024) juga masih menggunakan posisi kamera yang statis, sehingga jangkauan dan kemampuan respon terhadap dinamika ruangnya masih terbatas (Sahare & Kshirsagar, 2024). Dengan demikian, pendekatan kamera tunggal sudah tidak lagi memadai untuk melakukan pengawasan 360 derajat dan tidak menyediakan informasi jarak serta koordinat yang dibutuhkan oleh operator.

Di sisi lain, dalam hal robot *companion* dan robot pengawasan bergerak, cukup banyak prototipe yang masih mengandalkan satu kamera untuk deteksi objek. Contohnya adalah implementasi *human-follower* berbasis *MobileNet-SSD* yang diteliti oleh Xiang dkk. (2024). Pada penelitian mereka, mereka mengatakan bahwa penelitian mereka masih memiliki keterbatasan bidang pandang yang sempit serta kerentanan terhadap oklusi dan perubahan pencahayaan. Hal itu disebabkan karena hanya ada satu sudut pandang visual yang aktif (Xiang dkk., 2024). Tinjauan Liu dkk. (2024) di jurnal *Sensors* tahun 2024 juga secara eksplisit menekankan bahwa penggunaan sensor tunggal di lingkungan *indoor* akan rentan dalam menurunkan *robustness*. Sehingga, mereka pun menyarankan untuk dikembangkannya penggabungan *multi sensor* atau yang biasa disebut dengan istilah “*sensor fusion*” untuk mengatasi keterbatasan bidang pandang dan oklusi yang terjadi (Liu dkk., 2024).

Lebih jauh, pendekatan deteksi objek dua dimensi pada robot *companion* dan robot pengawasan, seringkali tidak menyediakan estimasi jarak secara langsung. Tinjauan Liu dkk. (2024) di jurnal *Sensors* juga menegaskan bahwa kamera tunggal tidak mampu memberikan informasi jarak yang akurat tanpa modul tambahan, sehingga tugas interaksi atau pengawasan jarak dekat menjadi tidak stabil pada

kondisi nyata (Liu dkk., 2024). Bukti eksperimental terbaru oleh Wang dkk. (2024) di jurnal *Electronics* juga mendukung dan menunjukkan bahwa *pipeline* deteksi objek perlu ditambahkan dengan estimasi jarak karena “... *object detection alone cannot fully perceive the environment without distance information ...*” [... deteksi objek saja tidak cukup untuk memahami lingkungan tanpa informasi jarak ...], sehingga desain yang hanya mengandalkan deteksi objek tanpa deteksi jarak akan sulit untuk memenuhi kebutuhan keselamatan operasional saat ini (Wang dkk., 2024).

Menjawab tantangan tersebut, riset mutakhir yang mengarah ke *sensor fusion* atau gabungan sensor antara kamera dan *LiDAR* pun bermunculan. Salah satunya adalah Vora dkk. (2020) yang memperkenalkan teknik *PointPainting* yang di mana mereka melakukan “... *paints point clouds with segmentation masks...*” [... mewarnai *point cloud* dengan *mask* segmentasi ...] sehingga sistem deteksi objek ke titik *LiDAR* menjadi lebih bersih ketika objek saling menutupi atau *overlapping* satu sama lain (Vora dkk., 2020). Lebih lanjut, Bai dkk. (2022) juga memformulasikan *TransFusion* berbasis transformer dan melaporkan bahwa penelitian mereka bisa menjadi “... *state-of-the-art performance for camera–LiDAR fusion*” [... kinerja terbaik di kelasnya untuk fusi kamera dan *LiDAR* ...] yang cukup berhasil (Bai dkk., 2022). Kemudian, Liu dkk. (2023) melalui penelitian *BEVFusion*-nya menunjukkan bahwa penyatuan fitur lintas sensor dapat membuat asosiasi sensor lebih stabil. Mereka menulis “... *unified Bird’s-Eye View (BEV) representation improves robustness of multi-sensor fusion*” [... representasi *Bird’s-Eye View (BEV)* yang terpadu membuat fusi multi-sensor lebih andal ...] (Liu dkk., 2023). Secara konsisten, ketiga karya ini memperlihatkan keunggulan dalam penggabungan multi sensor dan penurunan *error* dibandingkan dengan penggunaan sensor tunggal. Oleh karena itulah, di dalam penelitian ini, akan digunakan gabungan multi sensor yang terdiri dari enam buah kamera dan satu *LiDAR*.

Selain itu, berdasarkan kebutuhan persepsi *indoor* yang bebas *blind spot* dan tetap akurat pada jarak, terdapat beberapa penelitian yang membuktikan bahwa akan sangat baik bila sensor kamera 360 disatukan dengan *3D LiDAR*. Contohnya pada penelitian Kim dan Park (2020) yang menyatakan secara eksplisit bahwa “a

360-degree LiDAR sensor and multi-view vision cameras are commonly used to acquire omnidirectional shape and color information,” dan mereka mewujudkannya pada rig enam kamera heksagonal plus LiDAR untuk 360 derajat, yang menegaskan kebutuhan dua modalitas sekaligus untuk persepsi omnidirectional. Mereka menunjukkan bahwa konfigurasi enam kamera pada pelat heksagonal yang dipadukan dengan LiDAR 3D untuk memperoleh informasi bentuk dan warna secara omnidireksional akan memiliki cakupan yang lebih menyeluruh sehingga platform bergerak dapat melakukan persepsi lingkungan dan deteksi objek dengan lebih baik (Kim & Park, 2020). Selanjutnya, Tran, Carballo, dan Takeda (2024) juga menyoroti *blind spot* kamera standar akibat bidang pandang yang terbatas dan mengusulkan registrasi simultan LiDAR dengan kamera 360 derajat dalam kondisi dinamis, sehingga kebutuhan menggunakan keduanya hadir sebagai solusi langsung terhadap masalah tersebut (Tran, Carballo, & Takeda, 2024). Dengan demikian, penyatuan kamera 360 derajat dan LiDAR terbukti meningkatkan ketahanan pelacakan serta pemetaan pada platform bergerak yang lebih andal, sebagaimana ditunjukkan juga oleh *PVL-Cartographer* pada sistem *mobile mapping* (Zhang, Kang, & Sohn, 2023). Pada akhirnya, kombinasi enam kamera 360 derajat dan LiDAR sebagai konfigurasi dasar sensor suite untuk persepsi bergerak, sebagaimana dirumuskan dalam nuScenes, akan sangat baik untuk menyediakan cakupan penuh 360 derajat untuk penginderaan multimodal pada kendaraan dan robot bergerak (Caesar dkk., 2020).

Dengan dasar-dasar yang sudah dibahas tadi, fokus penelitian ini pun akhirnya sudah bisa dikatakan cukup tergambar. Pada penelitian ini, akan dirumuskan penelitian untuk membuat sebuah sistem deteksi objek dengan fitur tambahan *mask* segmentasi yang akan ditambahkan juga dengan deteksi jarak dan juga deteksi koordinat posisi objek di sekeliling, yang akan mengimplementasikan teknik *sensor fusion* atau gabungan sensor dari enam buah kamera yang disusun secara heksagonal dan juga *3D LiDAR Velodyne VLP-32C*, yang dapat menjangkau bidang x dan y pada *view* 360 derajat, yang akhirnya diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan dan kebutuhan global maupun nasional untuk robot *mobile*, *auditor*, ataupun *companion* yang dapat mengawasi dan juga mengurangi angka kecelakaan

kerja serta kebutuhan pengawasan jarak jauh oleh operator pada kawasan *industrial indoor* seperti *power plant, factory*, ataupun *research facility*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, penelitian ini difokuskan pada dua rumusan masalah utama, yaitu:

1. Bagaimana rancangan dan implementasi sistem deteksi objek berbasis kamera 360 derajat dan *3D LiDAR* pada *Husky A200*?
2. Bagaimana kinerja dari sistem hasil implementasi sistem deteksi objek berbasis kamera 360 derajat dan *3D LiDAR* pada *Husky A200*?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah terdapat tujuan dari penelitian ini, sebagai berikut.

1. Membuat rancangan dan implementasi sistem deteksi objek berbasis kamera 360 derajat dan *3D LiDAR* pada *Husky A200*.
2. Melakukan uji kinerja sistem implementasi sistem deteksi objek berbasis kamera 360 derajat dan *3D LiDAR* pada *Husky A200*.

1.4. Manfaat Penelitian

Pada tahap ini disajikan manfaat penelitian yang akan terbagi menjadi dua, yakni manfaat secara teoritis dan manfaat secara praktis.

1.4.1. Manfaat Teoritis

Berikut ini adalah beberapa kontribusi teoritis yang telah dilakukan dalam pengembangan ilmu pengetahuan terkait.

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan mengenai integrasi sensor kamera 360 derajat dan sensor *3D LiDAR* dalam sistem deteksi objek halangan, yang dapat menjadi acuan bagi studi-studi lanjutan dalam domain gabungan sensor pada robot mobile.
2. Dengan mengoptimalkan model *YOLOv11* untuk mendeteksi objek halangan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan dan evaluasi algoritma deteksi objek yang efisien pada sistem multi-kamera dan gabungan sensor.

3. Penelitian ini akan mendalami teknik-teknik optimasi perangkat keras seperti penggunaan *Nvidia Jetson AGX Orin 32 GB* dan perangkat lunak untuk pengolahan data simultan dari enam kamera dan sensor *LiDAR*. Kontribusi ini diharapkan dapat memperkaya teori tentang pengolahan data multi sensor dalam aplikasi pada robot mobile.

1.4.2. Manfaat Praktis

Penelitian ini memiliki manfaat praktis yang signifikan dalam konteks pengembangan dan penerapan teknologi robot mobile sebagai berikut.

1. Dengan sistem deteksi objek halangan yang dibuat, robot mobile diharapkan dapat memberikan pengawasan penuh di dalam area *research facility, power plant*, maupun area industrial lainnya, yang berpotensi mengurangi kecelakaan kerja serta meningkatkan keselamatan dalam operasional di lingkungan industri.
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan praktis bagi pengembang teknologi robot mobile, khususnya dalam hal pemilihan dan optimasi algoritma deteksi dan segmentasi objek seperti *YOLOv11* serta integrasi gabungan sensor untuk aplikasi robot mobile.
3. Penerapan perangkat keras seperti *Nvidia Jetson AGX Orin 32 GB* untuk pemrosesan data multi sensor dalam penelitian ini dapat memberikan contoh nyata bagaimana teknologi komputasi tinggi dapat mendukung sistem yang relevan untuk implementasi sistem pengawasan ataupun navigasi otomatis di masa depan.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Berikut ini terdapat ruang lingkup penelitian yang dilakukan:

1. Lokasi pengujian hanya dilakukan di ruang *indoor* Laboratorium Mekatronika dan Kecerdasan Buatan di kawasan riset BRIN KST Samaun Samadikun. Tidak ada pengambilan data di luar ruangan dan tidak ada skenario lingkungan publik atau jalan raya.
2. Mode operasi robot adalah teleoperasi penuh dengan *joystick Logitech*. Tidak ada navigasi otonom, tidak ada perencanaan lintasan, tidak ada pengereman otomatis, dan keputusan gerak berada pada operator.

3. Pada penelitian ini, *platform* untuk implementasi dan pengujian yang digunakan adalah salah satu *robot mobile* yang bernama *Clearpath Husky A200*.
4. Sistem persepsi menggunakan enam kamera *Arducam IMX477* yang disusun melingkar untuk cakupan horizontal 360 derajat. Penelitian tidak menggunakan kamera bola 360 panorama atau *spherical* dan tidak melakukan *panorama stitching*.
5. Penelitian membatasi cakupan deteksi ke 10 kelas dari 80 kelas yang ada di *dataset COCO* yang umum ditemukan di lingkungan kerja *indoor*, yaitu *person, stop sign, backpack, handbag, suitcase (toolbox), bottle, cup, chair, cell phone, dan laptop*, mengacu pada *dataset COCO*.
6. Penelitian berfokus pada segmentasi objek per kamera, lalu pengambilan statistik jarak berbasis proyeksi *mask* ke *PointCloud2*.
7. Keluaran yang dievaluasi adalah *mask* segmentasi per bingkai, nilai jarak representatif per objek, serta indikator tampilan *grid*.
8. Keluaran *UI/UX* hanyalah tampilan *grid 2×3* dan log metrik yang muncul di terminal.

1.6. Struktur Organisasi Skripsi

Penulisan penelitian ini mengacu pada Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Universitas Pendidikan Indonesia Tahun 2024. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut.

1. Bab I: Pendahuluan

Bab ini memuat Latar Belakang Penelitian, yang menjelaskan alasan dan urgensi pengembangan sistem deteksi objek halangan berbasis kamera 360 derajat dan sensor *3D LiDAR* pada robot mobile; Rumusan Masalah Penelitian, yang merinci pertanyaan-pertanyaan penelitian yang akan dijawab; Tujuan Penelitian, yang menjelaskan apa yang ingin dicapai melalui penelitian ini; Manfaat Penelitian, yang mencakup manfaat teoritis dan praktis dari hasil penelitian; Ruang Lingkup Penelitian, yang menjelaskan ruang lingkup dan keterbatasan penelitian; serta Struktur

Organisasi Skripsi, yang memberikan gambaran tentang susunan dan isi setiap bab.

2. Bab II: Tinjauan Pustaka

Bab ini menyajikan Tinjauan Pustaka dari literatur yang relevan dengan topik penelitian. Subbab dalam bab ini mencakup teori-teori yang mendasari penelitian, metode-metode yang digunakan dalam penelitian sejenis, teknologi yang relevan, termasuk penggunaan kamera 360 derajat, sensor *3D LiDAR*, dan algoritma deteksi objek seperti *YOLOv11*, serta konsep-konsep penting yang berkaitan dengan robot mobile dan sistem *gabungan sensor*.

3. Bab III: Metode Penelitian

Bab ini membahas metode penelitian secara mendetail, termasuk jenis penelitian dan pendekatan yang digunakan. Selain itu, bab ini mencakup teknik pengumpulan data, perancangan sistem yang nantinya melibatkan integrasi enam kamera *Arducam IMX477*, sensor *3D LiDAR*, dan pemrosesan data menggunakan *Nvidia Jetson AGX Orin*, serta rancangan analisis data untuk mengolah dan mengevaluasi hasil deteksi objek halangan.

4. Bab IV: Hasil dan Pembahasan

Bab ini memaparkan hasil penelitian yang diperoleh dari proses analisis, meliputi desain sistem, implementasi sistem, dan pengujian sistem. Bab ini mencakup penerapan sistem deteksi objek halangan berbasis kamera 360 derajat dan sensor *3D LiDAR* pada robot mobile, penerapan algoritma deteksi objek untuk meningkatkan akurasi pengenalan halangan, serta evaluasi performa sistem dalam kondisi operasional yang berbeda.

5. Bab V: Simpulan dan Saran

Bab ini menyajikan simpulan dari hasil penelitian, yang merangkum temuan utama terkait efektivitas sistem deteksi objek halangan berbasis kamera 360 derajat dan sensor *3D LiDAR* pada robot mobile. Sedangkan sarana memberikan saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut serta penerapan praktis hasil penelitian dalam industri transportasi dan teknologi.