

BAB III

METODE PENELITIAN

Berdasarkan analisis-analisis pada pembahasan sebelumnya, penelitian dengan judul “Implementasi Sistem Deteksi Objek Berbasis Kamera 360 Derajat dan 3D LiDAR pada Husky A200” ini terstruktur untuk dapat mencapai empat komponen dan target utama yang harus bisa dicapai, dihasilkan, dan diselesaikan selama penelitian. Empat target utama tersebut yaitu deteksi objek halangan dengan *object segmentation*, algoritma estimasi pengukuran jarak, algoritma estimasi penghitungan koordinat posisi, dan gabungan tampilan semuanya di satu *bounding box* yang sama dengan menggunakan *multicam display grid OpenCV 2×3*. Untuk dapat mencapai keempat target tersebut, maka akan dipilih dan digunakan metode penelitian *Design and Development Research* dari rujukan buku “*Design and Development Research: Methods, Strategies, and Issues*” karya Rita C. Richey dan James D. Klein (Richey & Klein, 2007).

Seperti yang dikatakan oleh Richey dan Klein (2007) dalam bukunya, mereka mengatakan bahwa: “*We are defining design and development research here as the systematic study of design, development and evaluation processes with the aim of establishing an empirical basis for the creation of instructional and noninstructional products and tools and new or enhanced models that govern their development.*” [Di sini, kami mendefinisikan penelitian desain dan pengembangan sebagai kajian sistematis atas proses desain, pengembangan, dan evaluasi, dengan tujuan membangun dasar empiris bagi penciptaan produk dan alat, baik instruksional maupun non-instruksional, serta model-model baru atau yang disempurnakan yang menjadi acuan dalam pengembangannya.] (Richey & Klein, 2007). *Design and Development Research* adalah pendekatan riset yang secara sistematis mempelajari proses analisis, desain, pengembangan, dan evaluasi untuk menghasilkan pengetahuan tentang produk, alat, program, atau model desain dan pengembangannya (Richey & Klein, 2007). Dengan demikian, *Design and Development Research* dipilih karena tujuan dari skripsi ini adalah merancang, membangun, dan mengevaluasi sistem persepsi pada robot mobile yang berwujud produk atau alat teknis dan juga prosedur implementasinya. Oleh karena itu, *Design*

and Development Research memberikan landasan yang kuat dan cocok untuk dapat melakukan analisis, desain, pengembangan, dan evaluasi secara terstruktur sebagaimana yang dipaparkan dalam literatur *developmental research* yang menjadi fondasi dari *Design and Development Research* modern yang dibahas pada buku “*Design and Development Research: Methods, Strategies, and Issues*” karya Rita C. Richey dan James D. Klein itu sendiri (Richey & Klein, 2007).

Selanjutnya, Tabel 3.1 (diadaptasi dari Richey & Klein, 2007, hlm. 8) menggambarkan “*Representative Clusters of Design and Development Research*” yang merangkum garis besar dan tipe dari klaster penelitian *Design and Development Research* dari buku “*Design and Development Research: Methods, Strategies, and Issues*” karya Rita C. Richey dan James D. Klein. Hal itu mencakup tipe pertama yakni tipe “*Product and Tool Research*” yang terdiri dari proyek pengembangan komprehensif, studi fase spesifik seperti analisis, desain, pengembangan, evaluasi, serta penelitian pengembangan alat. Lalu, juga untuk tipe kedua yakni dari tipe “*Model Research*” yang terdiri dari pengembangan model, validasi internal dan eksternal, serta kajian penggunaan model.

Tabel 3.1 *Representative Clusters of Design and Development Research*
(diadaptasi dari Richey & Klein, 2007, hlm. 8)

<i>Design & Development Research</i>	
<i>Product & Tool Research</i>	<i>Model Research</i>
<i>Comprehensive Design and Development Projects</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Instructional Products & Programs</i> • <i>Non-instruction Products & Programs</i> 	<i>Model Development</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Comprehensive Model Development</i> • <i>Development of Model Component Processes</i>
<i>Specific Project Phases</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Analysis</i> • <i>Design</i> • <i>Development</i> 	<i>Model Validation</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Internal Validation of Model Components</i>

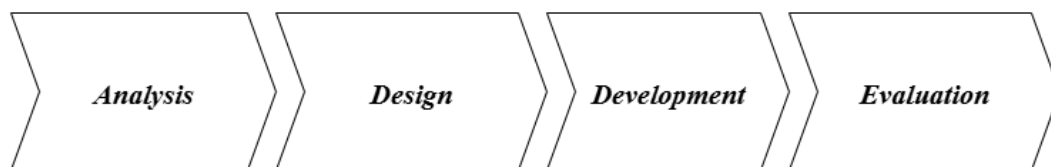
<i>Design & Development Research</i>	
<i>Product & Tool Research</i>	<i>Model Research</i>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Evaluation</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>External Validation of Model Impact</i>
<i>Design & Development Tools</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Tool Development</i> • <i>Tool Use</i> 	<i>Model Use</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Study of Conditions Impacting Model Use</i> • <i>Designer Decision-Making Research</i> • <i>Designer Expertise & Characteristic Research</i>

Pada penelitian ini, akan dipilih tipe pertama yakni “*Product and Tool Research*”. Alasannya adalah karena berdasarkan fokus keluaran yang berupa artefak teknis yang dapat dijalankan pada platform *Clearpath Husky A200*, tipe “*Product and Tool Research*” lebih kompatibel dan cocok karena jenis ini memang dirancang untuk meneliti dan mendokumentasikan proses perancangan, pengembangan, dan evaluasi sebuah produk atau alat hingga menghasilkan temuan yang terkait langsung dengan kerja produk. Serta, karena alurnya sejajar dengan fase proyek spesifik *Analysis, Design, Development, dan Evaluation*. Selain itu, pilihan ini selaras juga dengan definisi *Design and Development Research* sebagai studi sistematis atas proses desain, pengembangan, dan evaluasi untuk membangun dasar empiris bagi penciptaan produk dan alat, sehingga relevan dengan tujuan penelitian yang berorientasi pada sistem persepsi kamera 360 derajat dan *3D LiDAR* yang dapat dioperasikan di lingkungan atau kawasan *indoor* di *research facility*. Sementara itu, alasan untuk kenapa tidak memilih tipe kedua yakni “*Model Research*” adalah karena tipe tersebut lebih berfokus pada pengembangan, validasi internal dan eksternal, serta studi penggunaan model konseptual, sehingga lebih tepat bila tujuan risetnya adalah merumuskan atau menguji model dan proses, bukan yang untuk menghasilkan rancangan dan bukti kinerja dari sebuah sistem

perangkat keras dan perangkat lunak. Oleh karena itu, penelitian ini secara eksplisit lebih cocok untuk mengikuti alur dan berada pada kategori pertama.

Berdasarkan keputusan tadi, skripsi ini secara eksplisit akan mengikuti langkah-langkah atau “*Specific Project Phases*” pada kluster tipe pertama yakni *Product and Tool Research*, sebab fokus utama pada penelitian ini adalah pengembangan dan pengujian sistem deteksi objek berbasis kamera 360 derajat dan 3D LiDAR pada platform *Clearpath Husky A200*, dengan tahapan operasional *Analysis, Design, Development, dan Evaluation* sebagaimana lazimnya pada studi *Design and Development Research*. Oleh karena itu, struktur subbab pada Bab III ini akan ditetapkan untuk mengikuti alur dari empat tahapan tersebut.

Seperti dari apa yang sudah dijelaskan, penelitian akan menerapkan metode *Design and Development Research*, yang menurut Richey dan Klein (2007) didefinisikan sebagai studi sistematis mengenai proses desain, pengembangan, dan evaluasi untuk membangun dasar empiris bagi penciptaan produk dan model baru atau yang disempurnakan. Metode ini sangat sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu mengembangkan sistem deteksi objek halangan berbasis kamera 360 derajat dan 3D LiDAR untuk robot mobile, karena mencakup serangkaian tahapan sistematis yang terdiri dari *Analysis, Design, Development, dan Evaluation*. Pada Gambar 3.1 diperlihatkan bahwa setiap tahapan sudah mengadaptasi tahapan dari “*Specific Project Phases*” pada klaster *Product and Tool Research* dan tahapan juga memiliki fokus dan keluaran yang spesifik, namun saling terkait untuk memastikan bahwa pengembangan sistem dilakukan secara terstruktur dan berkelanjutan.



Gambar 3.1: Tahapan metode *Design and Development Research*

Berikut adalah penjelasan masing-masing tahapan dalam konteks penelitian ini.

3.1. Analysis

Sesuai dengan panduan pada buku *Design and Development Research* dari Richey dan Klein (2007), tahap “*Analysis*” pada penelitian ini berfungsi untuk menetapkan tujuan dan pertanyaan penelitian, konteks implementasi, mendefinisikan kebutuhan fungsional dan nonfungsional, serta merancang rencana data dan mekanisme penjaminan mutu data sebelum tahap *design*, *development*, dan *evaluation*. Dengan demikian, bagian analisis pada penelitian ini akan memetakan tujuan, ruang lingkup, kebutuhan fungsional, kebutuhan nonfungsional, konteks implementasi, rencana data, serta penjaminan keabsahan untuk sistem deteksi objek berbasis multi-kamera 360 derajat dan 3D LiDAR pada *Clearpath Husky A200* yang dioperasikan dengan cara teleoperasi di lingkungan *indoor* di Laboratorium Mekatronika dan Kecerdasan Buatan, BRIN KST Samaun Samadikun.

3.1.1. Tujuan, Pertanyaan Penelitian, dan Kriteria Keberhasilan

Sebagai pendahuluan, tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem pendeteksian halangan berbasis kamera 360 derajat yang terdiri atas enam kamera *Arducam IMX477* dan 3D LiDAR *Velodyne VLP-32C* pada platform *Clearpath Husky A200* yang dikendalikan secara teleoperasi dengan *joystick Logitech* di lingkungan *indoor* laboratorium. Selanjutnya, keluaran sistem yang ditargetkan adalah *object segmentation* untuk 10 kelas *COCO* terpilih yaitu *person*, *stop sign*, *backpack*, *handbag*, *suitcase*, *bottle*, *cup*, *chair*, *cell phone*, dan *laptop* beserta estimasi jarak dan koordinat objek dengan perangkat lunak *Ubuntu 22.04*, *ROS 2 Humble Hawksbill*, *PyTorch* dan *OpenCV* dengan akselerasi *GPU*, serta *TensorRT* untuk *inference* model *YOLOv11-seg*. Selain itu, pertanyaan penelitian pertama difokuskan pada kinerja *object segmentation* dari multi kamera dengan penilaian menggunakan *precision*, *recall*, *mAP@0.5* dan *mAP@[0.5:0.95]* sebagaimana praktik evaluasi *COCO* modern yang sering digunakan, sehingga metrik tersebut menjadi acuan kuantitatif utama untuk menilai kemampuan deteksi dan segmentasi. Dengan demikian, pertanyaan penelitian kedua dan ketiga diarahkan pada akurasi estimasi jarak dan estimasi koordinat posisi terhadap acuan pengukuran fisik dengan pengukuran *Mean Absolute Error (MAE)* dan *Root Mean Square Error (RMSE)* agar deviasi estimasi dapat dinilai secara numerik. Berikutnya, pertanyaan

penelitian keempat menilai konsistensi fungsi tampilan grid 2×3 multi-kamera dengan *overlay* informasi deteksi melalui pengujian fungsional berbasis pendekatan *black box*. Selanjutnya, kriteria keberhasilan pada tingkat operasional ditetapkan berupa kemampuan sistem menghasilkan keluaran “*Class:...* , *Confidence: ...*, *Distance:...m*, *Coordinate: (... , ... , ...)*” per *instance* pada enam kamera secara serempak. Semua tujuan, pertanyaan, dan kriteria keberhasilan dari penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tujuan, Pertanyaan, dan Kriteria Keberhasilan dari Penelitian

Tujuan	Pertanyaan Penelitian/Research Question (RQ)	Kelas COCO yang Dinilai	Metrik Evaluasi
Menilai kinerja <i>object segmentation</i> di multi-kamera	<i>RQ-Seg</i> : Seberapa baik performa segmentasi <i>YOLOv11-seg</i> (<i>TensorRT</i>) pada domain <i>indoor</i> untuk mendeteksi objek halangan?	10 kelas: <i>person, stop sign, backpack, handbag, suitcase, bottle, cup, chair, cell phone</i> , dan <i>laptop</i>	<i>Precision, Recall, F1-Score, mAP@0.5, mAP@[0.5:0.95]</i>
Mengukur <i>error</i> estimasi jarak objek	<i>RQ-Dist</i> : Berapa <i>error</i> jarak hasil deteksi terhadap jarak sebenarnya?	Sama seperti baris pertama	<i>MAE, RMSE</i> jarak
Mengukur <i>error</i> estimasi koordinat objek	<i>RQ-Coord</i> : Berapa <i>error</i> koordinat deteksi terhadap koordinat asli?	Sama seperti baris pertama	<i>MAE, RMSE</i> koordinat

Tujuan	Pertanyaan Penelitian/ <i>Research Question (RQ)</i>	Kelas <i>COCO</i> yang Dinilai	Metrik Evaluasi
Memastikan fungsi <i>Multicam Display 2×3</i>	<i>RQ-UI</i> : Apakah tampilan grid 2×3 berfungsi?	Mengacu pada seluruh <i>instance</i> yang muncul	Uji <i>black box</i>

3.1.2. Konteks Implementasi dan Lingkup Proyek

Sebagai konteks, seluruh kegiatan penelitian dilaksanakan di ruang *indoor* Laboratorium Mekatronika dan Kecerdasan Buatan pada kawasan *Research Facility* BRIN KST Samaun Samadikun dengan pengoperasian robot secara teleoperasi dan tanpa mode otonom. Selanjutnya, ruang lingkup penerapan diarahkan pada skenario industri *indoor* seperti koridor fasilitas riset yang ada di Laboratorium Mekatronika dan Kecerdasan Buatan pada kawasan *Research Facility* BRIN KST Samaun Samadikun, sehingga pemilihan kelas objek dan rancangan uji disesuaikan dengan karakteristik lingkungan tersebut. Selain itu, pemilihan *3D LiDAR Velodyne VLP-32C* didasarkan pada bidang pandang horizontal 360 derajat dan bidang pandang vertikal sekitar 40 derajat, sehingga memadai untuk estimasi jarak serta proyeksi koordinat yang disatukan dengan kamera 360 derajat. Dengan demikian, parameter-parameter tersebut akan menjadi landasan pada fase berikutnya.

3.1.3. Analisis Kebutuhan dan Spesifikasi Awal

Sebagai kebutuhan fungsional, sistem harus bisa nantinya melakukan segmentasi *instance* model *YOLOv11-seg* pada enam aliran video secara simultan dan mengeluarkan *mask* serta nilai *confidence* untuk setiap *instance* yang termasuk dalam 10 kelas target yang akan dideteksi, sehingga informasi bentuk objek yang lebih presisi dapat digabungkan dengan *PointCloud2 LiDAR* untuk estimasi jarak dan koordinat. Selanjutnya, sistem harus menampilkan seluruh aliran kamera pada grid 2×3 dengan *overlay* informasi kelas, skor, jarak, dan koordinat agar operator dapat memperoleh gambaran situasi yang dapat dipakai untuk melakukan

pengawasan di area yang diawasi. Kebutuhan nonfungsional ditetapkan berupa keselarasan versi perangkat lunak di *Jetson AGX Orin 32 GB* yang meliputi *Ubuntu 22.04*, *ROS 2 Humble*, *CUDA*, *cuDNN*, *PyTorch*, *OpenCV* dengan *CUDA*, dan *TensorRT* sehingga model dan komponen *computer vision* dapat berjalan dengan konsisten. Serta, penerapan eksekusi sistem akan paralel berbasis *multithreading* per kamera untuk menghindari *bottleneck* atau penumpukan antrian proses pada jalur pemrosesan.

3.1.4. Partisipan, Setting, dan Pertimbangan Etik

Sebagai penjelasan tentang *setting*, subjek utama penelitian adalah sistem robot dan objek-objek fisik di lingkungan *indoor*, sedangkan kehadiran manusia sebagai kelas *person* diperlakukan sebagai bagian dari skenario operasional tanpa memfokuskan identitas individu. Selanjutnya, perizinan lokasi dan prosedur keselamatan laboratorium juga nantinya akan dipenuhi sebelum pengambilan data, sehingga aktivitas perekaman visual dan *LiDAR* dapat direncanakan dan dilakukan. Selain itu, rekaman yang berpotensi memuat wajah atau ciri pribadi akan diperlakukan sebagai data nonidentitas dan dianonimkan pada contoh visual yang dipublikasikan agar kerahasiaan tetap terjaga. Dengan demikian, perekaman dilakukan tanpa paksaan, dengan penjelasan tujuan perekaman kepada pihak yang terlibat, dan dengan kontrol akses ke berkas mentah pada repositori penelitian, sehingga tata kelola data sejalan dengan praktik etis umum pengumpulan data visual pada penelitian sistem robotik.

3.1.5. Rencana Data dan Instrumen Pengumpulan Data

Rencana data dalam penelitian ini dapat dikategorikan menjadi dua kategori, yakni data primer dan data sekunder. Data primer dalam penelitian ini diperoleh dengan memanfaatkan *dataset COCO (Common Objects in Context)* sebagai sumber utama untuk melatih dan menguji model deteksi objek. *Dataset COCO* dikembangkan dengan mengumpulkan gambar-gambar dari berbagai situasi sehari-hari yang kompleks, di mana objek-objek umum ditampilkan dalam konteks alami untuk mendukung tugas deteksi objek, segmentasi, dan pengenalan. Secara keseluruhan, *dataset* ini mencakup lebih dari 328.000 gambar dengan total label 2,5 juta untuk 91 jenis objek (Lin dkk., 2015). Dalam penelitian ini, hanya beberapa

kategori yang dianggap relevan dengan skenario uji (*indoor* di dalam *research facility*), yaitu *person*, *stop sign*, *backpack*, *handbag*, *suitcase (toolbox)*, *bottle*, *cup*, *chair*, *cell phone*, dan *laptop*. Pemilihan kategori ini didasarkan pada relevansinya dengan lingkungan uji di Kawasan Sains dan Teknologi Badan Riset dan Inovasi Nasional Samaun Samadikun, sehingga model dapat dievaluasi dalam mendeteksi dan mengenali objek di sekitarnya. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan melalui studi literatur dari berbagai sumber tepercaya, seperti jurnal ilmiah, prosiding konferensi, artikel daring, serta publikasi resmi di bidang kecerdasan buatan dan robot mobile. Proses pengumpulan data sekunder difokuskan pada metode fusi sensor (kamera 360 derajat dan *3D LiDAR*), algoritma deteksi objek berbasis *YOLO*, serta pendekatan pengukuran jarak dan koordinat posisi. Literatur-literatur ini memberikan landasan teoretis dan empiris yang penting dalam merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi sistem deteksi objek halangan yang diusulkan. Dan untuk instrumen penelitian yang akan digunakan, akan menggunakan tabel-tabel dan aplikasi olah data menggunakan *tools* seperti *Microsoft Excel*.

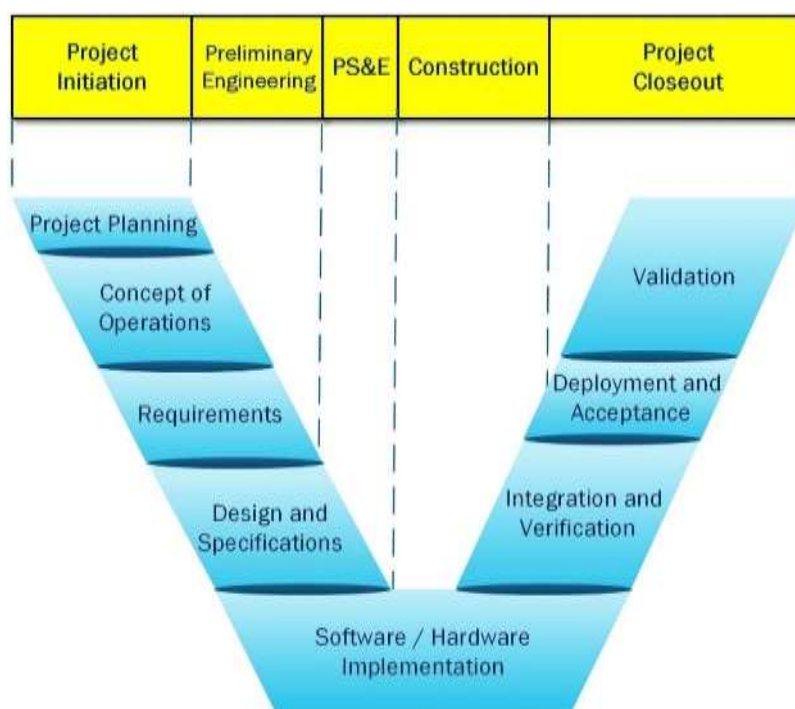
3.2. Design

Sesuai juga dengan buku dari Richey dan Klein (2007), bagian “*Design*” ini akan membahas metode-metode desain yang rencananya akan digunakan pada penelitian ini. Metode yang dipilih sebagai pedoman adalah kerangka-kerangka atau metode-metode yang sudah umum dan lazim dipakai dalam penelitian di industri robotika dan *AI*, yaitu *System Engineering Life Cycle (SELC)* untuk integrasi sistem, *Software Development Life Cycle (SDLC)* untuk pengembangan perangkat lunak, dan *Artificial Intelligence Life Cycle (AILC)* untuk komponen berbasis pembelajaran mesinnya. Kerangka tersebut menyediakan proses baku dari perumusan kebutuhan hingga verifikasi serta validasi yang dapat diterapkan nantinya sesuai dengan kebutuhan proyek.

3.2.1. System Engineering Life Cycle (SELC)

System Engineering Life Cycle (SELC) merupakan kerangka rekayasa sistem yang dirancang untuk mengelola keseluruhan daur hidup sistem mulai dari konsepsi, pengembangan, pemanfaatan, hingga penghentian, termasuk proses

akuisisi dan pemasokan dalam membangun sebuah produk di bidang teknologi. Kerangka ini sering divisualisasikan melalui *V-model* yang menegaskan keterkaitan antara definisi kebutuhan dan rancangan di sisi kiri dengan integrasi, verifikasi, serta validasi di sisi kanan, serta dapat diterapkan secara iteratif pada sistem maupun elemen penyusunnya. Dengan demikian, penelitian ini akan menggunakan *SELC* juga sebagai pedoman integrasi perangkat keras dan perangkat lunak pada platform *Clearpath Husky A200* dengan *Nvidia Jetson AGX Orin 32 GB*, $6 \times$ *Arducam IMX477*, dan *3D LiDAR Velodyne VLP-32C* sehingga alur kebutuhan, arsitektur, integrasi, serta rencana verifikasi dan validasi akan terdokumentasi sesuai standar. Gambar 3.2 menunjukkan model perancangan dari prinsip-prinsip dari *SELC*.



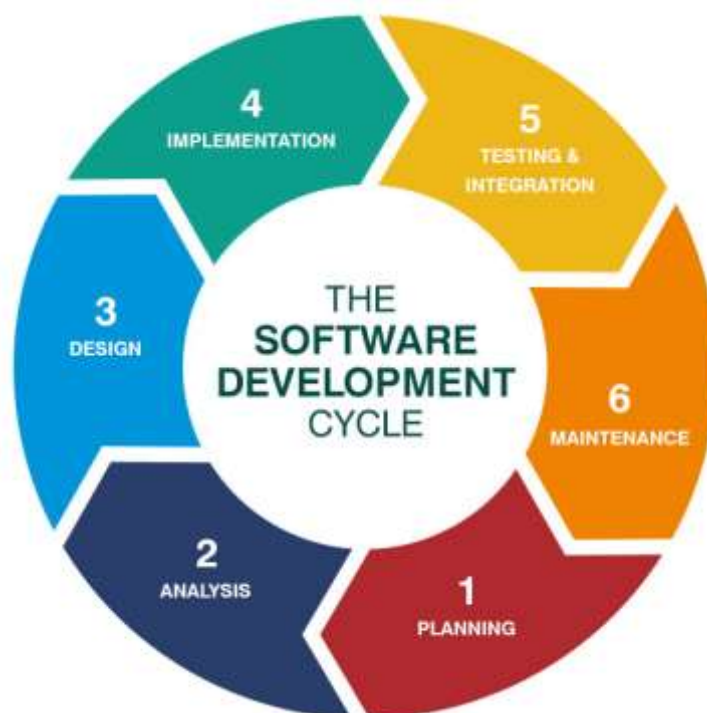
Gambar 3.2: Siklus *SELC* (Sumber:

https://ops.fhwa.dot.gov/seits/sections/section2/2_7.html)

3.2.2. *Software Development Life Cycle (SDLC)*

Software Development Life Cycle (SDLC) merupakan kerangka proses untuk merencanakan, mengembangkan, memverifikasi, serta mengendalikan perubahan perangkat lunak sepanjang daur hidupnya. Dengan demikian, penelitian ini akan menerapkan *SDLC* sebagai pedoman kerja perangkat lunak *ROS 2 Humble*

Hawksbill pada *Nvidia Jetson AGX Orin 32 GB* agar perencanaan, analisis kebutuhan, perancangan modul, implementasi, verifikasi dan validasi, serta pengendalian konfigurasi akan berlangsung secara terstruktur dan terlacak. Selanjutnya, Gambar 3.3 menunjukkan model perancangan perangkat lunak yang mengadopsi prinsip-prinsip *SDLC* untuk konteks penelitian ini. Oleh karena itu, tahapan yang akan digunakan diringkas menjadi perencanaan, analisis kebutuhan, desain, implementasi, testing dan validasi, dan *maintenance*. Dengan demikian, penerapan akan dilakukan secara iterative dan juga inkremental mulai dari satu kamera menuju enam kamera, dari deteksi berbasis kotak pembatas menuju segmentasi, serta dari model berbasis *.pt/.onnx* menuju ke *TensorRT .engine*.



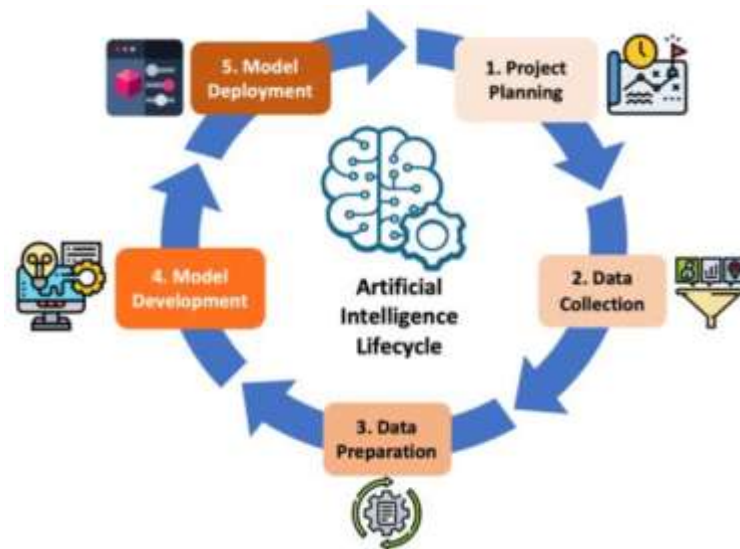
Gambar 3.3: Siklus *SDLC* (Sumber: <https://datarob.com/essentials-software-development-life-cycle/>)

3.2.3. *Artificial Intelligence Life Cycle (AILC)*

Siklus Hidup Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence Life Cycle/AILC*) merupakan sebuah kerangka kerja menyeluruh yang dirancang untuk mendukung proses perancangan, pengembangan, dan penerapan solusi AI. Kerangka ini melibatkan serangkaian tahapan penting mulai dari konsepsi awal, evaluasi risiko,

perancangan, pengembangan, hingga tahap implementasi. Pendekatan *AILC* dikembangkan guna mengatasi keterbatasan metode tradisional yang sering kali mengabaikan aspek risiko adopsi, etika, dan tata kelola, serta tidak dirancang khusus untuk kebutuhan AI, melainkan hanya sebagai adaptasi dari kerangka kerja umum (De Silva, & Alahakoon, 2022).

Gambar 3.4 menunjukkan model perancangan untuk deteksi objek yang mengadopsi prinsip-prinsip dari *AILC*. Siklus ini mencakup enam tahap utama, yaitu perencanaan, pengumpulan data, pengolahan data, pengembangan model, evaluasi model, dan implementasi. Dalam konteks penelitian ini, model yang digunakan adalah *YOLOv11m*, yang merupakan varian dari *YOLO (You Only Look Once)* yang menawarkan keseimbangan optimal antara kecepatan pemrosesan dan akurasi deteksi. Setiap tahap dalam siklus *AILC* diintegrasikan untuk memastikan bahwa sistem deteksi objek halangan yang dikembangkan dapat memenuhi kriteria keluaran pada Tabel 3.2 (*class, confidence, mAP@[0.5:0.95], MAE, dan RMSE*).



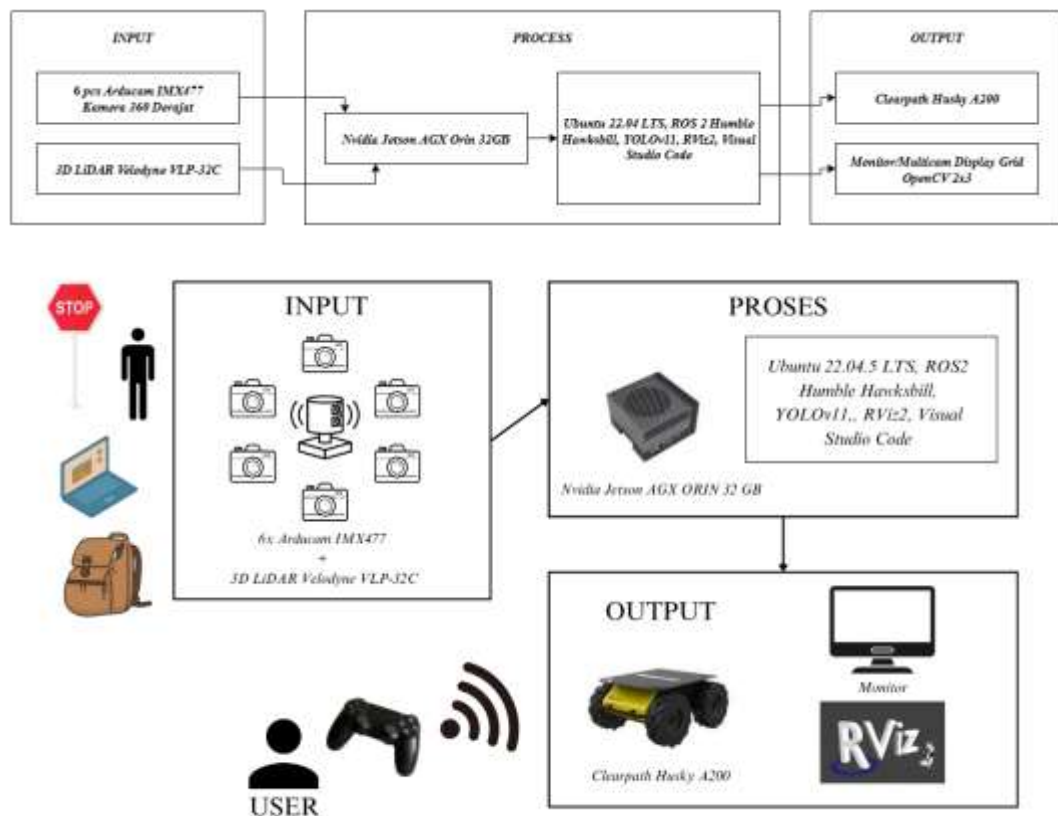
Gambar 3.4: Siklus *AILC* (Sumber:

https://www.researchgate.net/figure/Artificial-Intelligence-Life-Cycle_fig1_371713457)

3.2.4. Rancangan Diagram Arsitektur Sistem

Pada Gambar 3.5 diperlihatkan rancangan diagram arsitektur sistem yang menggunakan 6 pcs *Arducam IMX477* yang dipasang secara heksagonal dan 3D

LiDAR sebagai sumber *input* utama. Kamera-kamera tersebut menyediakan data visual 360 derajat, sedangkan sensor *LiDAR* memberikan informasi jarak dan kedalaman untuk lingkungan sekitar kendaraan. Data yang diperoleh dari kedua sensor ini kemudian diproses oleh *Nvidia Jetson AGX Orin 32 GB*, sebuah unit pemrosesan berperforma tinggi yang bertugas menjalankan algoritma kecerdasan buatan dan pemrosesan data gabungan sensor. Sistem operasi *Ubuntu 22.04.5 LTS* dan kerangka kerja *ROS 2 Humble Hawksbill* digunakan untuk memfasilitasi komunikasi antar modul, sedangkan model *YOLOv11* bertanggung jawab dalam mendeteksi objek dengan *object segmentation*. Sementara monitor dan *RViz2* berfungsi sebagai alat visualisasi yang menampilkan data sensor serta posisi objek dalam representasi UI/UX pada layar. Sistem ini juga memiliki platform uji berupa *Clearpath Husky A200*, yang menerima perintah kendali secara teleoperated menggunakan *joystick Logitech*.



Gambar 3.5: Rancangan Diagram Arsitektur Sistem

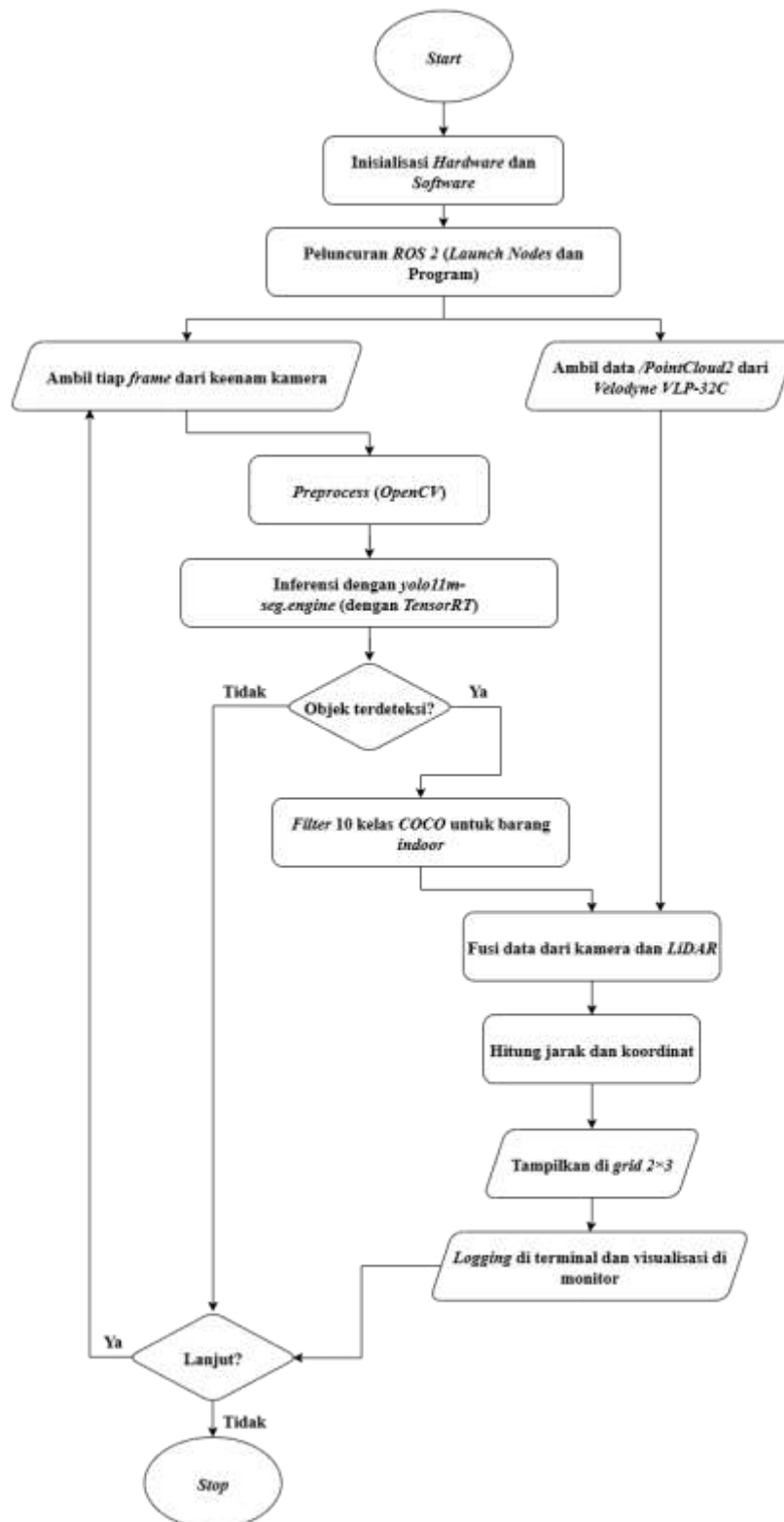
3.2.5. Rancangan *Flowchart* Sistem

Pada tahap ini dirancang alur algoritma sistem yang tertuang pada Gambar 3.6, yang menjelaskan cara kerja sistem secara keseluruhan, mulai dari pengambilan data sensor hingga eksekusi perintah. Alur ini diawali dengan *Start* (inisiasi sistem), di mana seluruh komponen perangkat keras yakni 6 kamera *Arducam IMX477*, *3D LiDAR Velodyne VLP-32C*, *Nvidia Jetson AGX Orin 32 GB*, *Clearpath Husky A200* dan perangkat lunak yakni *Ubuntu 22.04.5 LTS*, *ROS 2 Humble Hawksbill*, *YOLOv11*, *RViz2*, dan *Visual Studio Code* diaktifkan. Setelah inisialisasi, sistem melanjutkan ke tahap pengambilan data sensor, di mana kamera 360 derajat dan *LiDAR* secara simultan mengumpulkan data visual serta kedalaman.

Data tersebut kemudian ditransmisikan ke *Nvidia Jetson AGX Orin 32 GB* untuk dilakukan gabungan data sensor. Hasil deteksi objek yang berada di lingkungan sekitar selanjutnya diproses oleh *YOLOv11* untuk melakukan *object segmentation*. Jika sistem menemukan objek, maka tahap berikutnya adalah perhitungan jarak dan koordinat, yang memanfaatkan informasi *LiDAR* dan data visual untuk melihat seberapa dekat atau jauh jarak dan di mana objek tersebut berada.

Tahap akhir dari alur ini adalah visualisasi dan logging data melalui terminal dan monitor, di mana data posisi objek serta hasil deteksi ditampilkan dalam *multicam display grid OpenCV 2×3*. Proses ini berjalan secara berulang (siklus monitoring), memungkinkan sistem untuk selalu memperbarui data dan responsnya terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Dengan mengikuti alur pada Gambar 3.6, sistem bekerja secara responsif dalam mendeteksi objek atau halangan yang ada di sekitar objek. Perpaduan antara kamera 360 derajat dan *3D LiDAR* memastikan bahwa kendaraan memiliki pemahaman menyeluruh mengenai kondisi sekitar, sedangkan *Nvidia Jetson AGX Orin 32 GB* menjamin pemrosesan data yang cepat dan efisien. Kombinasi seluruh komponen ini menjadikan sistem dapat memonitor ataupun mengawasi berbagai situasi di lapangan.



Gambar 3.6: Rancangan *Flowchart Sistem*

3.3. Development

Bagian pada tahap “*Development*” ini akan memaparkan rancangan teknis yang meliputi daftar perangkat keras, daftar perangkat lunak, diagram arsitektur sistem, serta *flowchart* yang akan digunakan pada implementasi sistem deteksi objek halangan berbasis enam kamera dan *3D LiDAR* pada platform *Clearpath Husky A200*.

3.3.1. Rencana Perangkat Keras yang Akan Digunakan

Penelitian ini didukung oleh serangkaian perangkat keras yang dirancang untuk memastikan kelancaran eksperimen serta analisis data. Perangkat keras menyediakan infrastruktur komputasi dan sensor yang memadai. Rincian mengenai perangkat keras penunjang yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Perangkat Keras yang Akan Digunakan

No	Nama	Spesifikasi
1	<i>Nvidia Jetson AGX Orin</i>	Arsitektur <i>GPU Ampere</i> dengan kemampuan komputasi hingga 200+ <i>TOPS</i> , <i>CPU</i> berbasis <i>ARM</i> , memori <i>LPDDR5</i> , dan mendukung pemrosesan <i>AI real-time</i> .
2	<i>3D LiDAR Velodyne VLP-32C</i>	Sensor <i>LiDAR</i> untuk pemetaan lingkungan 3D dengan jarak deteksi hingga puluhan meter, beroperasi pada berbagai kondisi cuaca.
3	<i>6 pcs Arducam IMX477</i>	Sensor kamera resolusi 12,3 MP, dipasang secara heksagonal untuk cakupan 360°, mendukung frame rate tinggi, cocok untuk aplikasi <i>real-time</i> .
4	<i>Clearpath Husky A200</i>	Platform robotik beroda dengan kemampuan off-road, dilengkapi skid-steer drive, cocok untuk pengujian di lingkungan luar ruangan.

3.3.2. Rencana Perangkat Lunak yang Akan Digunakan

Penelitian ini juga didukung oleh serangkaian perangkat lunak yang memungkinkan pemrosesan, simulasi, dan visualisasi data secara *real-time*. Perangkat lunak menyediakan infrastruktur komputasi dan sensor yang memadai. Rincian mengenai perangkat lunak penunjang yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Perangkat Lunak yang Akan Digunakan

No	Nama	Fungsi
1	<i>Ubuntu 22.04.5 LTS</i>	Sistem operasi berbasis Linux yang stabil dan kompatibel dengan <i>ROS 2 Humble Hawksbill</i> , memfasilitasi pengembangan aplikasi robotik.
2	<i>RViz2</i>	Alat visualisasi dalam kerangka <i>ROS</i> untuk menampilkan data sensor, marker 3D, dan status robot dalam lingkungan virtual.
4	<i>Visual Studio Code</i>	Editor teks dan IDE yang digunakan untuk pengembangan perangkat lunak, integrasi <i>ROS</i> , dan pengelolaan kode sumber.
5	<i>ROS 2 Humble Hawksbill</i>	<i>Framework</i> robotik yang menyediakan infrastruktur komunikasi antar modul, memfasilitasi integrasi <i>sensor fusion</i> dan kontrol kendaraan.
6	<i>YOLOv11</i>	Model deteksi objek berbasis <i>Deep learning</i> yang mampu mendeteksi objek dengan akurasi dan kecepatan tinggi.

3.4. Evaluation

Tahap terakhir yakni tahap “*Evaluation*” pada penelitian ini akan menguji sistem deteksi objek halangan berbasis kamera 360 derajat dan *3D LiDAR* dengan empat metode pengujian utama, yaitu pengujian algoritma sistem deteksi objek halangan (*object segmentation*) yang sudah dibuat, pengujian sistem estimasi

penghitungan jarak, pengujian sistem estimasi penghitungan koordinat posisi, dan *black box testing* untuk *multicam display grid OpenCV 2×3* nya. Setiap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi secara komprehensif kinerja sistem yang telah dibuat guna memastikan bahwa sistem dapat beroperasi dan dapat menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian kedua yang sudah dirumuskan pada subbab 1.2. Rumusan Masalah dan 1.3. Tujuan Penelitian.

3.4.1. Metode Pengujian Algoritma Deteksi

Pengujian pendeteksi objek halangan bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan model *YOLOv11* dalam mendeteksi dan membuat segmentasi objek-objek yang berpotensi menjadi halangan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *dataset* yang relevan dari *website COCO*. Objek yang diuji meliputi kategori yang paling relevan untuk objek yang ada di dalam ruangan yakni *person, stop sign, backpack, handbag, suitcase, bottle, cup, chair, cell phone, dan laptop*. Sehingga nantinya akan dihitung *precision, recall, F1 score, mAP 0.5*, dan juga *mAP 0.5-0.95* nya.

3.4.2. Metode Pengujian Sistem Estimasi Penghitungan Jarak

Pada pengujian penghitungan jarak, sistem mengevaluasi akurasi dalam mengukur jarak antara kamera 360 derajat dan *3D LiDAR* dengan objek halangan. Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan objek target statis pada sekeliling *Clearpath Husky A200*. Selanjutnya, nilai jarak yang diukur dan terdeteksi oleh sistem dibandingkan dengan jarak aktual menggunakan metrik *Mean Absolute Error (MAE)* dan *Root Mean Square Error (RMSE)* untuk menilai seberapa mendekati hasil prediksi dengan kondisi nyata. Pengujian akan dilakukan sebanyak tiga kali di dalam di dalam ruangan di waktu yang berbeda.

3.4.3. Metode Pengujian Sistem Estimasi Koordinat Posisi

Pada pengujian penghitungan titik koordinat, sistem mengevaluasi akurasi dalam mengukur nilai *x, y, dan z* yang sebenarnya dengan yang dihasilkan oleh sistem deteksi yang telah dibuat. Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan objek target statis pada sekeliling *Clearpath Husky A200*. Selanjutnya, nilai koordinat yang diukur dan terdeteksi oleh sistem dibandingkan dengan koordinat aktual menggunakan metrik *Mean Absolute Error (MAE)* dan *Root Mean Square*

Error (RMSE) untuk menilai seberapa mendekati hasil prediksi dengan kondisi nyata. Pengujian akan dilakukan sebanyak satu kali di dalam di dalam ruangan di waktu yang berbeda. Untuk nilai *equivalent* x, y, dan z di keadaan sebenarnya, akan merujuk pada dokumentasi *ROS 2 (ROS REP-103)* dan juga dokumentasi *3D LiDAR Velodyne VLP-32C* di mana “1.0 pada x/y/z = 1 meter = 100 cm”.

3.4.4. Metode Pengujian *Black Box Testing* untuk *Multicam Display Grid*

OpenCV 2×3

Pada pengujian tampilan fitur *multicam display*, akan digunakan metode *black box testing*. Secara definisi, *black box testing* adalah metode pengujian yang menilai fungsi perangkat lunak dari spesifikasi dan keluaran yang tampak tanpa meninjau struktur internal atau kode, sehingga fokusnya berada pada kesesuaian perilaku sistem terhadap kebutuhan fungsional maupun nonfungsional yang terdefinisi. Oleh karena itu, pendekatan ini selaras untuk memverifikasi tampilan *multicam display grid 2×3* yang nantinya akan menampilkan enam kamera beserta keluaran deteksi dan segmentasi objek, karena seluruh bukti keberfungsian teramati langsung di layar melalui hasil visual dan respons sistem atas skenario uji yang dirancang. Selanjutnya, definisi ini sejalan dengan rujukan *International Software Testing Qualifications Board (ISTQB)* serta istilah baku *National Institute of Standards and Technology (NIST)* mengenai pengujian berbasis spesifikasi, sehingga rancangan kasus uji berikut disusun dari sudut pandang pengguna dan spesifikasi antarmuka tampilan. Dengan demikian, pengumpulan bukti hasil uji dapat dilakukan melalui observasi langsung, tangkapan layar, dan pencatatan metrik tampilan tanpa intervensi pada *source code*. Oleh karena itu, Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 dirancang untuk memverifikasi keberhasilan fitur tampilan *grid 2×3* yang menampilkan enam kamera dengan *overlay* hasil segmentasi, estimasi jarak, dan estimasi koordinat posisi.

Tabel 3.5 Format Tabel Hasil Uji *Black Box* Per Kamera (kamera 1 sampai 6)

Kamera	Feed Tampil	Overlay Segmentasi	Label	Estimasi Jarak	Koordinat Posisi	Status
<i>Rear Camera</i>						
<i>Left Rear Camera</i>						
<i>Left Front Camera</i>						
<i>Front Camera</i>						
<i>Right Front Camera</i>						
<i>Right Rear Camera</i>						

Tabel 3.6 Format Tabel Hasil Uji *Black Box* Multicam Display Grid 2×3 (tingkat sistem)

ID Kasus Uji	Deskripsi Singkat	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status	Bukti
BB-MD-01	Enam feed tampil serentak pada grid 2×3	Enam ubin aktif, tidak ada yang kosong			
BB-MD-02	Urutan ubin sesuai konfigurasi proyek	Posisi TL ke BR sesuai urutan yang ditetapkan			
BB-MD-03	Overlay segmentasi objek muncul di tiap feed	Mask dan kontur terlihat saat ada objek			
BB-MD-04	Label kelas dan confidence terbaca	Teks label dan confidence jelas, tidak menutup info penting			
BB-MD-05	Estimasi jarak ditampilkan, bila modul aktif	Nilai jarak muncul dan berubah saat jarak berubah			
BB-MD-06	Estimasi koordinat posisi tampil, bila modul aktif	Nilai koordinat berubah mengikuti perpindahan objek			