



PROPOSAL PROYEK

SISTEM PENDETEKSI LAJUR BERBASIS KAMERA DENGAN KALIBRASI MANDIRI UNTUK OUTDOOR AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)

DIBUAT SEBAGAI AWAL PERANCANGAN PROYEK
MATA KULIAH TF30001 TUGAS PERANCANGAN TERINTEGRASI 1

PRESENTED BY:

REGU 109



MIRANDA ASMI N. F.
13322021



FEODORA C. T.
13322041



M. GUINNOT RAID N.
13322075



FRANSISKA X. D. A. P.
13322091



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	2
DAFTAR GAMBAR.....	4
DAFTAR TABEL.....	5
BAB I: PENGANTAR.....	6
1.1 Latar Belakang.....	6
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Proyek.....	7
1.4 Manfaat Proyek.....	7
BAB II: DOMAIN MASALAH.....	8
2.1 Akar Permasalahan.....	8
2.2 Identifikasi Kebutuhan.....	8
2.3 Analisis SWOT.....	10
BAB III: ARSITEKTUR SISTEM.....	12
3.1 Gambaran Umum Arsitektur Sistem.....	12
3.2 Deskripsi Komponen Arsitektur.....	13
3.2.1 Perangkat Mekanik.....	13
3.2.2 Perangkat Elektrikal.....	14
BAB IV: LINGKUP KERJA.....	15
4.1 Define The Scope.....	15
4.2 Rincian Aktivitas (Work Breakdown Structure).....	16
4.3.1. Brainstorming dan Studi Literatur.....	16
4.3.2. Proses Perancangan dan Pembuatan Casing Pelindung.....	16
4.3.3. Integrasi Sistem Vision: Kamera, Raspberry Pi, Lux Sensor, dan Antarmuka Grafis.....	17
4.3.4. Pengambilan Data Video dan Intensitas Cahaya.....	17
4.3.5. Pengolahan Data Video dengan Koreksi Gamma dan Machine Learning.....	17
4.3.6. Pemrosesan Hasil Citra untuk Pendekripsi Jalur.....	18
4.3.7. Pengujian Alat 1.....	19
4.3.8. Evaluasi dan Penyempurnaan Alat.....	19
4.3.9. Pengujian Alat 2.....	19
4.3.10. Pembuatan Laporan Akhir.....	19
BAB V: MATERIALS.....	20
5.1 Hardware.....	20
5.1.1 Raspberry Pi 4.....	20
5.1.2 Kamera Pi (PiCam).....	20
5.1.3 Lux Sensor.....	21
5.1.4 Catu Daya dan Pendingin.....	21
5.1.5 MicroSD & Logging System.....	22
5.1.6 Monitor.....	22
5.2 Software.....	22
BAB VI: MANAJEMEN PROYEK.....	24
6.1 Rencana Jadwal Proyek.....	24
6.2 Manajemen Risiko.....	25
BAB VII: PROYEKSI FINANSIAL.....	26



7.1 Financial Projection.....	26
BAB VII: PENUTUP.....	28
LAMPIRAN.....	29
LAMPIRAN 1. Hasil Survey dengan Klien.....	29
LAMPIRAN 2. Dasar Teori.....	29
1. Sistem Navigasi Berbasis Deteksi Lajur.....	29
2. Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Kualitas Gambar.....	30
LAMPIRAN 3. Data Sheet.....	30
LAMPIRAN 4. Tim Pelaksana.....	31



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Gambaran Umum Arsitektur Sistem.....	12
Gambar 3.2 Perangkat Mekanik Sistem.....	13
Gambar 3.3 Perangkat Elektrikal Sistem.....	14
Gambar 5.1 Raspberry Pi 4.....	20
Gambar 5.2 PiCam.....	21
Gambar 5.3 Lux Sensor BH1750.....	21



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Identifikasi Kebutuhan dengan metode MoSCow.....	9
Tabel 3.2 Analisis TOWS.....	10
Tabel 4.1 Definisi Ruang Lingkup.....	15
Tabel 5.1 Kegunaan Software yang digunakan.....	22
Tabel 6.1 Rencana Linimasa Proyek.....	24
Tabel 6.2 Manajemen Risiko Proyek.....	25
Tabel 7.1 Rencana Anggaran Biaya.....	26
Tabel 7.2 Rencana Anggaran Pemasukan.....	26

BAB I: PENGANTAR

1.1 Latar Belakang

Dalam era otomatisasi industri dan transportasi cerdas, penggunaan Autonomous Ground Vehicle (AGV) semakin meluas untuk menunjang efisiensi dan keselamatan kerja, khususnya di lingkungan luar ruangan seperti pelabuhan dan area industri terbuka. AGV berperan penting dalam mengangkut barang secara otomatis tanpa intervensi manusia. Namun, salah satu tantangan utama dalam pengoperasian AGV di lingkungan outdoor adalah sistem navigasi yang handal dan ekonomis.

Selama ini, banyak sistem navigasi AGV bergantung pada teknologi mahal seperti LiDAR dan GPS presisi tinggi yang tidak selalu efisien dari segi biaya maupun ketersediaan perangkat. Selain itu, sistem berbasis kamera yang lebih terjangkau kerap menghadapi kendala teknis, terutama pada kondisi pencahayaan yang tidak menentu seperti siang terik, senja, atau malam hari. Perubahan intensitas cahaya secara drastis dapat mempengaruhi kualitas citra yang ditangkap kamera, sehingga menurunkan akurasi deteksi jalur.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkanlah sistem pendekripsi lajur berbasis kamera dengan kemampuan kalibrasi mandiri menggunakan lux meter. Sistem ini memungkinkan penyesuaian otomatis parameter kamera terhadap kondisi pencahayaan di sekitarnya, sehingga AGV tetap dapat mengenali lajur dengan akurat dalam berbagai situasi. Teknologi ini mengandalkan pemrosesan citra digital menggunakan OpenCV, serta memanfaatkan perangkat keras yang sudah tersedia seperti kamera Raspberry Pi.

Melalui pendekatan ini, diharapkan tercipta sebuah sistem deteksi lajur yang efisien, adaptif, dan ekonomis, yang dapat memperluas adopsi AGV di lingkungan industri luar ruangan, tanpa ketergantungan pada perangkat navigasi mahal. Pengembangan ini juga menjadi solusi potensial terhadap kebutuhan industri akan sistem cerdas yang tahan terhadap dinamika lingkungan operasional di lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, terdapat sejumlah permasalahan yang perlu dikaji lebih lanjut. Untuk itu, penulis merumuskan beberapa rumusan masalah berikut.

1. Bagaimana merancang sistem pendekripsi lajur berbasis kamera yang dapat beroperasi secara andal pada kondisi pencahayaan yang berubah-ubah di lingkungan semi-outdoor?
2. Bagaimana memanfaatkan informasi intensitas cahaya (lux) untuk menentukan pengaturan kamera yang sesuai guna memperoleh citra yang optimal?
3. Bagaimana mengembangkan prototipe sistem vision yang efisien dari segi biaya namun tetap mampu menggantikan peran sensor LiDAR dalam mendekripsi lajur pada AGV?

1.3 Tujuan Proyek

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dirumuskan, tujuan dilakukannya dari proyek ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang dan mengembangkan sistem pendekripsi lajur berbasis kamera untuk AGV yang mampu beradaptasi terhadap kondisi pencahayaan yang berubah-ubah.
2. Menggunakan OpenCV sebagai pustaka utama untuk akuisisi, pemrosesan, dan analisis citra secara real-time dalam sistem pendekripsi lajur
3. Mengimplementasikan teknik machine learning untuk mempelajari hubungan antara intensitas cahaya dan pengaturan parameter kamera, agar sistem dapat menyesuaikan pengaturan secara otomatis
4. Merancang sistem pencahayaan tambahan yang dikontrol berdasarkan data lux untuk memastikan pencahayaan tetap stabil selama pengambilan gambar
5. Membangun antarmuka pengguna grafis (GUI) yang memungkinkan pengguna memantau hasil tangkapan kamera, menampilkan deteksi lajur, serta mengakses pengaturan sistem secara intuitif.
6. Mewujudkan prototipe sistem vision yang efisien dan ekonomis untuk menggantikan sensor LiDAR pada kendaraan AGV.

1.4 Manfaat Proyek

Proyek ini diharapkan membawa berbagai manfaat signifikan, baik langsung maupun tidak langsung, bagi bidang teknologi AGV, *computer vision*, dan aplikasi praktis. Dengan integrasi kalibrasi visual berbasis lux meter, sistem ini secara substansial akan meningkatkan keandalan navigasi AGV di lingkungan luar ruangan yang dinamis, memungkinkannya mengatasi tantangan variasi intensitas cahaya (seperti silau matahari atau kondisi gelap) untuk deteksi lajur yang lebih akurat dan konsisten. Hal ini secara langsung berkontribusi pada peningkatan otonomi dan efisiensi operasional, karena AGV dapat beroperasi tanpa intervensi manusia di berbagai kondisi cahaya, memperluas waktu operasional dan produktivitas dalam aplikasi industri. Lebih lanjut, pemanfaatan Raspberry Pi 4 sebagai platform komputasi *edge* yang efisien dan terjangkau membuktikan kelayakan implementasi sistem visi kompleks dengan biaya rendah dan latency minimal. Secara akademis, proyek ini berkontribusi pada pengembangan ilmu *computer vision* dengan menyediakan studi kasus implementasi visi adaptif dan metodologi kalibrasi baru, yang dapat menjadi dasar untuk penelitian lanjutan. Terakhir, akurasi dan ketahanan deteksi lajur yang meningkat secara signifikan akan meningkatkan keamanan operasional AGV, meminimalkan risiko kecelakaan dan deviasi jalur.

BAB II: DOMAIN MASALAH

2.1 Akar Permasalahan

Terdapat urgensi yang semakin meningkat terhadap pengembangan sistem navigasi yang handal dan ekonomis untuk kendaraan tanpa awak seperti *Automated Guided Vehicle* (AGV). Kebutuhan ini didorong oleh meningkatnya adopsi otomasi di berbagai sektor industri, termasuk pelabuhan dan manufaktur, yang menuntut efisiensi operasional lebih tinggi. Sistem navigasi yang ideal dibutuhkan untuk dapat memberikan data akurat secara *real-time* tanpa harus bergantung pada kondisi pencahayaan yang stabil atau sinyal GPS yang terkadang tidak konsisten di lingkungan industri. Oleh karena itu, tantangan utamanya adalah mengembangkan teknologi yang mampu bekerja secara optimal di lingkungan yang kompleks dan bervariasi.

Saat ini, terdapat kesenjangan yang signifikan antara solusi navigasi yang tersedia. Di satu sisi, banyak teknologi canggih menawarkan akurasi yang sangat tinggi bahkan di lingkungan yang kompleks. Namun, solusi ini memiliki kendala biaya perangkat keras dan komputasi yang sangat mahal, sehingga tidak efisien untuk adopsi skala luas. Di sisi lain, sistem berbasis kamera yang diintegrasikan dengan platform *open-source* menawarkan alternatif yang jauh lebih terjangkau dan fleksibel.

Meskipun ekonomis, sistem berbasis kamera memiliki kelemahan fundamental seperti, performanya sangat bergantung pada kualitas pencahayaan lingkungan. Perubahan drastis pada intensitas cahaya, mulai dari paparan sinar matahari langsung yang menyebabkan *overexposure* hingga kondisi bayangan atau senja yang menyebabkan *underexposure*, secara langsung menurunkan kualitas citra yang ditangkap. Degradasi kualitas citra ini mengakibatkan algoritma *computer vision* gagal mendeteksi lajur secara akurat, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kegagalan sistem navigasi.

Dengan demikian, akar permasalahan yang sebenarnya adalah adanya trade-off antara biaya dan keandalan dalam teknologi navigasi AGV saat ini. Belum ada solusi yang dapat memberikan keandalan operasional di lingkungan *outdoor* yang dinamis dengan biaya yang efisien. Oleh karena itu, pengembangan sistem navigasi AGV perlu mempertimbangkan aspek keandalan, adaptabilitas terhadap lingkungan, serta efisiensi biaya untuk dapat menjawab tuntutan industri masa kini. Inti dari tantangan teknis yang harus dipecahkan adalah membuat sistem berbasis kamera menjadi tangguh dan adaptif terhadap variabilitas pencahayaan.

2.2 Identifikasi Kebutuhan

Berdasarkan analisis permasalahan dan tujuan proyek, teridentifikasi beberapa kebutuhan utama yang harus dipenuhi oleh sistem yang akan dikembangkan. Kebutuhan tersebut adalah sebagai berikut.

- **Navigasi Adaptif di Lingkungan Luar Ruangan:** Sistem harus mampu melakukan deteksi lajur dan navigasi secara konsisten di lingkungan *outdoor* dengan kondisi pencahayaan yang berubah-ubah, termasuk dalam kondisi cahaya rendah.
- **Antarmuka Pengguna dan Monitoring:** Sistem wajib terintegrasi dengan sebuah *Graphical User Interface* (GUI) yang intuitif. GUI ini harus mampu menampilkan *feed* video dari kamera secara *real-time*, *overlay* hasil deteksi lajur, serta data monitoring penting seperti nilai intensitas cahaya (lux) saat ini.
- **Manajemen Rute Fleksibel:** Sistem perlu menyediakan opsi untuk melakukan perekaman ulang atau pemodelan rute, sehingga memberikan fleksibilitas dalam penentuan jalur operasional AGV.
- **Efisiensi Biaya (Ekonomis):** Solusi yang dikembangkan harus memiliki biaya perangkat keras yang rendah dan terjangkau, sehingga dapat menjadi alternatif yang ekonomis dibandingkan teknologi navigasi mahal seperti LiDAR.
- **Keandalan Operasional:** Sistem harus dapat berfungsi secara andal dan stabil meskipun terdapat gangguan visual dari lingkungan, terutama fluktuasi cahaya, untuk menjamin keselamatan dan efisiensi operasional AGV.
- **Skalabilitas:** Arsitektur dan metodologi yang dikembangkan dalam prototipe ini harus dapat diimplementasikan dan dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi dalam skala yang lebih besar, seperti pada lingkungan industri pelabuhan yang sesungguhnya.

Aspek-aspek ini juga diprioritaskan menggunakan metode MoSCoW (Must Have, Should Have, Could Have, Won't Have) sehingga dapat mempermudah analisis-analisis selanjutnya sebagai berikut.

Tabel 2.1 Identifikasi Kebutuhan dengan metode MoSCoW

Kategori	Needs	Alasan
Must Have	Navigasi Adaptif di Lingkungan Luar Ruangan	Ini adalah fungsi inti dan tujuan utama dari proyek. Tanpa kemampuan ini, sistem gagal mengatasi akar permasalahan yaitu ketidakandalan navigasi kamera pada perubahan cahaya.
	Keandalan Operasional & Efisiensi Biaya	Sistem harus stabil dan terjangkau untuk menjadi alternatif yang lebih unggul dan ekonomis dibandingkan teknologi mahal seperti LiDAR, yang merupakan motivasi utama proyek.
	Antarmuka Pengguna (GUI) untuk Monitoring Dasar	Diperlukan untuk melakukan pengujian, debugging, dan demonstrasi hasil deteksi lajur serta data lux secara real-time. Tanpa ini, evaluasi kinerja sistem tidak dapat dilakukan secara efektif.

Should Have	Manajemen Rute Fleksibel	Fitur perekaman dan pemodelan ulang rute sangat penting untuk aplikasi AGV yang sesungguhnya, namun tidak esensial untuk membuktikan keberhasilan konsep inti yaitu deteksi lajur adaptif pada prototipe awal.
Could Have	Desain yang <i>Scalable</i> & GUI dengan Fitur Lanjutan	Ini akan meningkatkan nilai dan potensi pengembangan produk di masa depan, namun tidak esensial untuk fungsionalitas dasar prototipe dan dapat dikembangkan pada tahap selanjutnya.

2.3 Analisis SWOT

Setelah memahami domain permasalahan serta mengidentifikasi kebutuhan-kebutuhan pada bab sebelumnya, tahap selanjutnya adalah melakukan evaluasi mendalam terhadap berbagai alternatif solusi teknologi yang dapat diterapkan. Untuk membedah setiap pendekatan secara komprehensif dan terstruktur, digunakan kerangka analisis SWOT. Analisis ini akan menguraikan faktor-faktor internal yang melekat pada setiap solusi, yaitu Kekuatan (*Strengths*) dan Kelemahan (*Weaknesses*), serta faktor-faktor eksternal yang dapat mempengaruhinya, yaitu Peluang (*Opportunities*) dan Ancaman (*Threats*).

Tabel 2.2 Analisis TOWS

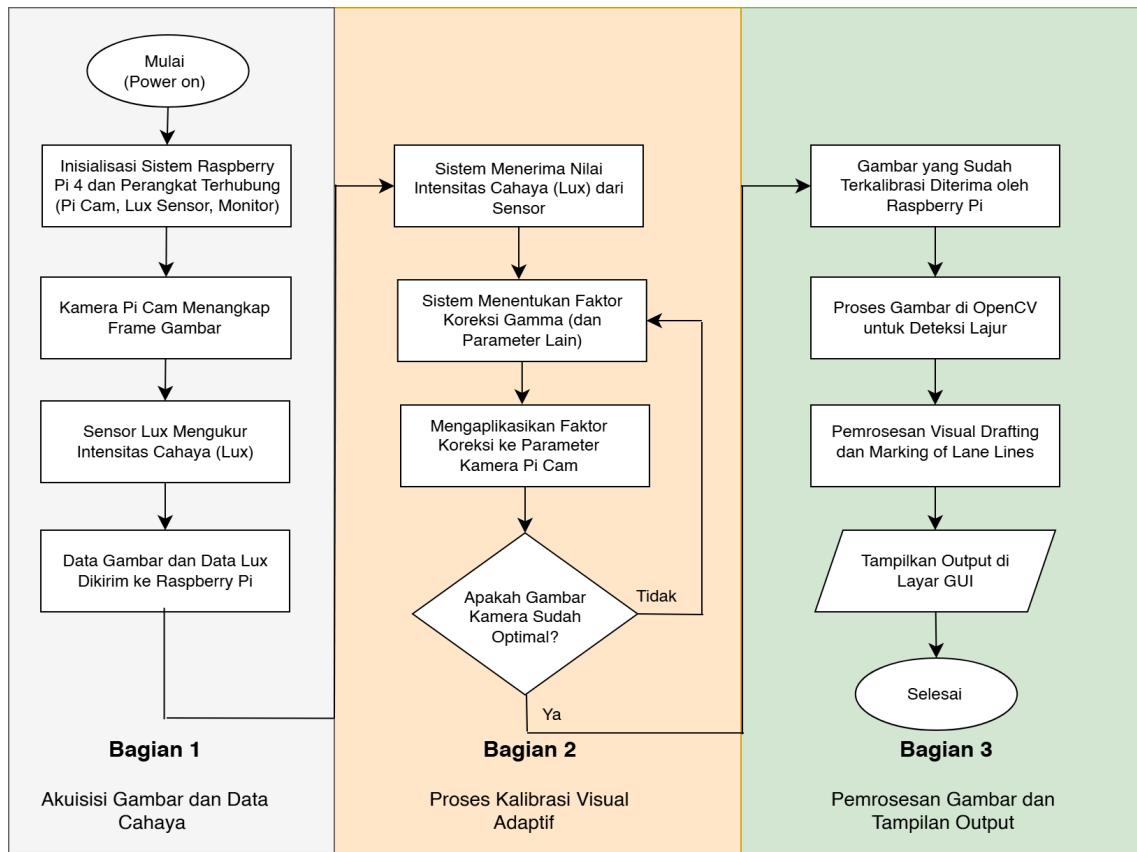
Kategori	Strengths	Weaknesses
Opportunities	<ul style="list-style-type: none"> • Manfaatkan biaya rendah dan kualitas citra untuk mengembangkan sistem otonom • Integrasi dengan AI untuk meningkatkan kemampuan adaptive lighting control 	<ul style="list-style-type: none"> • Gunakan teknologi AI untuk memperbaiki adaptasi terhadap perubahan pencahayaan • Kembangkan sistem kalibrasi luxmeter yang lebih canggih dan otomatis
Threats	<ul style="list-style-type: none"> • Kembangkan teknologi redundansi untuk mengatasi ketergantungan pada kalibrasi yang akurat • Fokus pada pengembangan kalibrasi luxmeter yang lebih andal dan dapat 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementasikan sistem yang lebih fleksibel dalam menghadapi pencahayaan yang berubah-ubah • Gunakan sensor tambahan untuk mengurangi ketergantungan pada

	mengurangi kesalahan	kalibrasi dan memitigasi gangguan pada navigasi
--	----------------------	---

Solusi ini terpilih karena menawarkan keseimbangan terbaik antara keandalan teknis, efisiensi biaya, dan kemudahan operasional, yang sangat sesuai untuk kebutuhan AGV di lingkungan *outdoor*. Kekuatan utama dari pendekatan ini adalah kemampuannya untuk menjaga kualitas citra yang ditangkap kamera tetap optimal melalui pengkalibrasian parameter berdasarkan data intensitas cahaya dari luxmeter. Dengan input visual yang konsisten, akurasi deteksi lajur dapat dipertahankan meskipun kondisi pencahayaan di lingkungan terus berubah-ubah. Selain itu, sistem ini juga dinilai unggul karena kemudahannya untuk diintegrasikan dengan antarmuka grafis pengguna (GUI), mendukung perekaman ulang rute, serta memiliki potensi untuk diimplementasikan dalam skala yang lebih besar di masa depan. Oleh karena itu, pendekatan ini direkomendasikan sebagai pilihan utama untuk dikembangkan menjadi prototipe sistem navigasi AGV yang efektif, ekonomis, dan adaptif.

BAB III: ARSITEKTUR SISTEM

3.1 Gambaran Umum Arsitektur Sistem



Gambar 3.1 Gambaran Umum Arsitektur Sistem

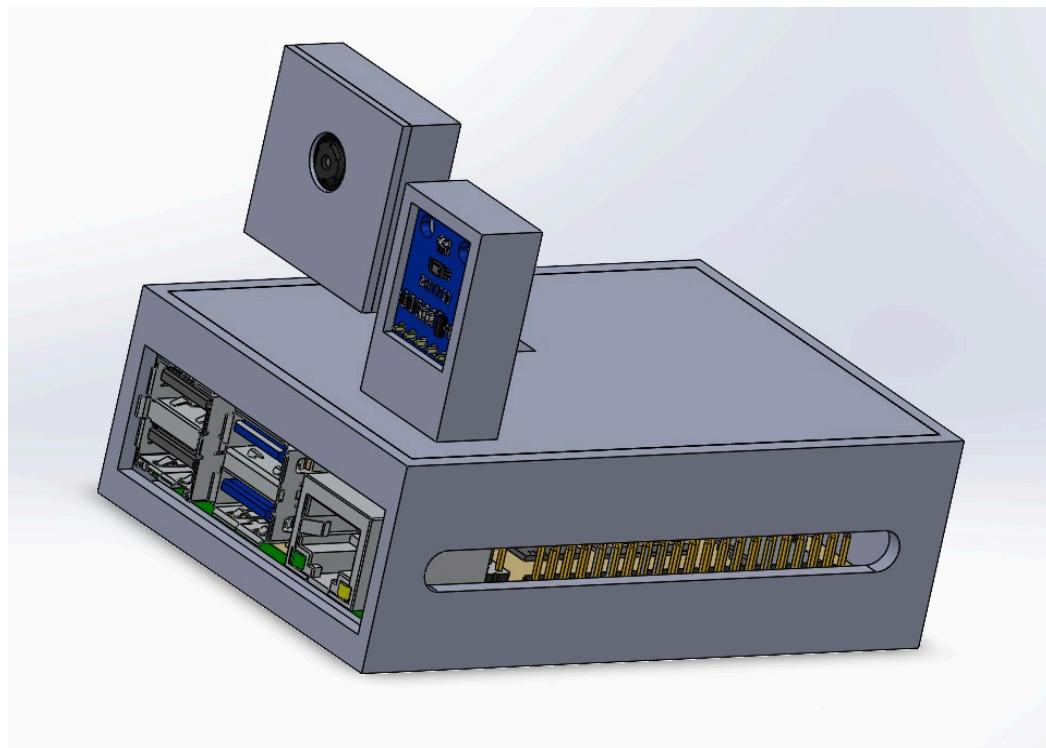
Sistem deteksi lajur ini diawali dengan tahap inisialisasi seluruh komponen utama, yaitu Raspberry Pi 4, Pi Camera, sensor lux, dan monitor GUI. Setelah sistem aktif, Pi Camera akan secara terus-menerus menangkap frame gambar, yang merupakan input visual utama bagi sistem. Secara bersamaan dengan akuisisi gambar ini, sensor lux akan bekerja secara *real-time* untuk mengukur intensitas cahaya di lingkungan sekitar dalam satuan lux. Kedua jenis data, yaitu gambar dan nilai lux, kemudian dikirimkan ke Raspberry Pi 4 untuk diproses lebih lanjut.

Masuk ke bagian proses kalibrasi visual adaptif, Raspberry Pi akan menerima nilai intensitas cahaya (lux) dari sensor. Berdasarkan nilai lux ini, sistem akan menentukan faktor koreksi yang optimal untuk parameter kamera. Proses ini melibatkan pemetaan nilai lux ke parameter kalibrasi seperti gamma yang mungkin telah ditentukan sebelumnya melalui *lookup table* atau model matematis hasil pra-kalibrasi. Faktor koreksi ini kemudian diaplikasikan pada Pi Camera, yang akan menyesuaikan cara Pi Cam menangkap gambar agar kualitas visual tetap optimal, tidak terlalu gelap atau terlalu terang, dan minim noise. Tahap ini bersifat iteratif, di mana sistem akan memeriksa apakah kualitas gambar sudah optimal; jika belum, proses penentuan faktor koreksi dan penyesuaian kamera akan diulang hingga tercapai hasil yang diinginkan.

Setelah gambar yang ditangkap kamera memiliki kualitas yang optimal, gambar tersebut akan diproses lebih lanjut di OpenCV untuk deteksi lajur. Dalam tahap ini, berbagai algoritma visi komputer akan diterapkan, seperti konversi warna (misalnya dari BGR ke HSV atau Grayscale), thresholding adaptif untuk memisahkan area terang dan gelap, Canny Edge Detection untuk mengidentifikasi tepi-tepi lajur, dan kemudian Hough Transform atau metode kurva lainnya untuk mengekstraksi garis lajur yang jelas. Hasil dari deteksi ini adalah visual drafting dan marking dari garis lajur yang terdeteksi, yang juga dapat mencakup perhitungan posisi dan arah gerak AGV relatif terhadap lajur. Akhirnya, seluruh output ini akan ditampilkan secara real-time di layar GUI, yang tidak hanya menunjukkan gambar mentah dengan overlay garis lajur yang terdeteksi, tetapi juga arah gerak yang disarankan untuk AGV, serta nilai lux lingkungan saat itu sebagai informasi tambahan. Sistem ini terus beroperasi dalam siklus ini selama AGV berjalan, memungkinkan navigasi yang dinamis dan adaptif terhadap perubahan kondisi pencahayaan di luar ruangan.

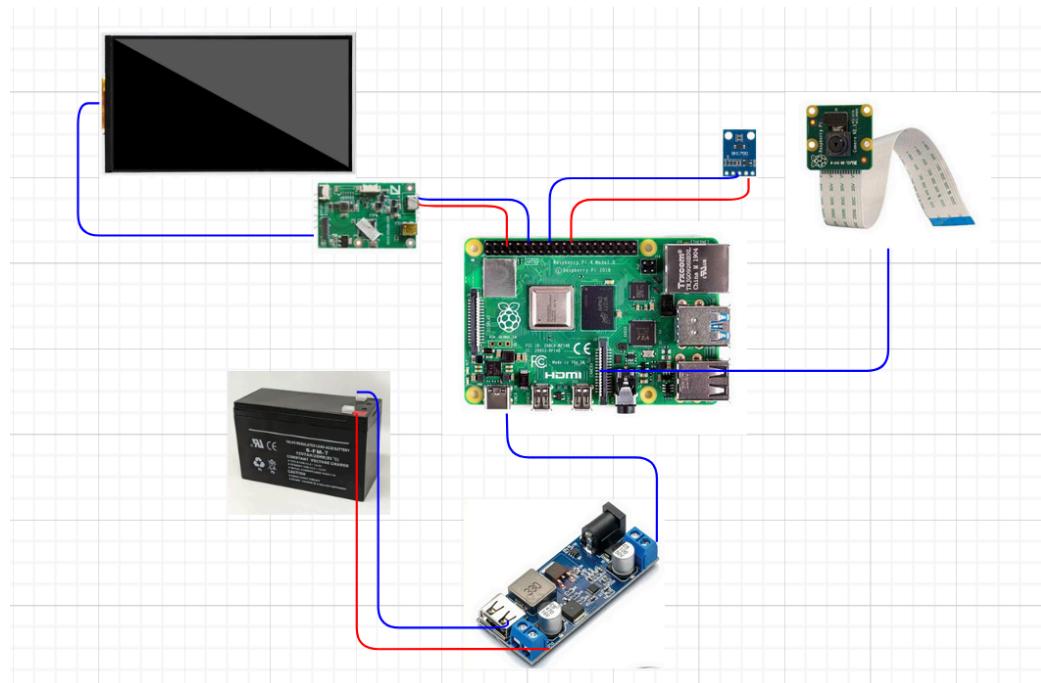
3.2 Deskripsi Komponen Arsitektur

3.2.1 Perangkat Mekanik



Gambar 3.2 Perangkat Mekanik Sistem

3.2.2 Perangkat Elektrikal



Gambar 3.3 Perangkat Elektrikal Sistem

Pada sistem ini akan digunakan aki 12V 20Ah sebagai sumber daya utama. Diperlukan step-down converter untuk mengubah tegangan dari aki sebesar 12V menjadi 5V agar sesuai dengan kebutuhan tegangan Raspberry Pi 4. Output dari converter tersebut selanjutnya digunakan sebagai catu daya dari Raspberry Pi 4.

Setelah mendapatkan daya yang stabil, Raspberry Pi 4 digunakan sebagai pusat kendali sistem. Didapatkan input visual dari Pi Cam melalui CSI port dan menerima data intensitas cahaya (lux) dari sensor BH1750 yang terhubung melalui protokol I2C. Data tersebut akan digunakan sebagai dasar pengkalibrasian cahaya yang ditangkap oleh kamera agar sistem dapat menyesuaikan parameter visual secara otomatis terhadap kondisi lingkungan.

Hasil pengolahan data dari kamera dan sensor akan ditampilkan melalui antarmuka pengguna (GUI) pada display monitor berukuran 7 inci. Layar ini terhubung langsung ke Raspberry Pi melalui konektor DSI (Display Serial Interface) serta jalur GPIO untuk catu daya 5V dan ground (GND). GUI juga menampilkan informasi seperti nilai lux, status deteksi lajur, serta kesalahan (error) apabila sistem gagal mendeteksi jalur dalam kondisi pencahayaan ekstrem.

Keseluruhan sistem dirancang untuk bekerja secara otomatis dan portabel, sehingga ideal digunakan dalam aplikasi monitoring outdoor atau pengujian visual di lingkungan industri dengan kondisi pencahayaan bervariasi.

BAB IV: LINGKUP KERJA

4.1 Define The Scope

Batasan penelitian dan ruang lingkupnya didefinisikan dengan tabel berikut.

Tabel 4.1 Definisi Ruang Lingkup

Kategori	Deskripsi
Product Description	Sebuah sistem pendekripsi lajur (lane detection system) yang dirancang untuk kendaraan Automated Guided Vehicle (AGV) di lingkungan outdoor. Sistem ini menggunakan kamera sebagai sensor visual utama yang didukung oleh sensor lux untuk melakukan kalibrasi parameter kamera secara mandiri terhadap perubahan intensitas cahaya. Seluruh proses komputasi dijalankan pada Raspberry Pi 4 dan hasilnya ditampilkan melalui sebuah antarmuka pengguna grafis (GUI). Output utama dari sistem ini adalah data posisi dan orientasi AGV terhadap lajur yang terdeteksi.
Benefit Proposition	Menyediakan solusi navigasi AGV yang andal dan ekonomis, secara spesifik untuk mengatasi tantangan operasional di lingkungan outdoor dengan kondisi pencahayaan yang dinamis. Sistem ini menawarkan alternatif yang jauh lebih terjangkau dibandingkan teknologi LiDAR, sekaligus meningkatkan keandalan deteksi lajur dibandingkan sistem berbasis kamera konvensional, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan keselamatan operasional di area industri seperti pelabuhan.
Key Project Goals	<ol style="list-style-type: none"> Merancang dan membangun prototipe sistem deteksi lajur berbasis kamera yang mampu beradaptasi secara otomatis terhadap perubahan intensitas cahaya. Mengimplementasikan algoritma computer vision menggunakan OpenCV untuk pemrosesan citra dan deteksi lajur secara real-time. Mengembangkan mekanisme kalibrasi, baik berbasis lookup-table maupun model machine learning sederhana, untuk memetakan data lux ke pengaturan kamera yang optimal. Membangun GUI fungsional untuk memantau feed video, data sensor, dan hasil deteksi lajur.
Primary Market	Pengguna utama dari teknologi ini adalah sektor industri yang memanfaatkan atau berencana mengadopsi AGV untuk logistik dan operasional di area luar ruangan, seperti: <ol style="list-style-type: none"> Operator Pelabuhan. Manufaktur dengan Area Penyimpanan Terbuka. Pusat Distribusi dan Pergudangan

Assumptions	1. Komponen elektronik yang dibutuhkan (Raspberry Pi, kamera, sensor) tersedia di pasaran dan dapat diperoleh sesuai dengan anggaran yang dioptimalkan. 2. Pengujian dalam lingkungan artifisial (test bench atau diorama) diasumsikan cukup untuk memvalidasi konsep inti dari kalibrasi adaptif terhadap cahaya. 3. Tim pelaksana memiliki kapabilitas teknis yang memadai untuk pengembangan sistem berbasis Linux, Python, OpenCV, dan elektronika dasar.
Stakeholders	1. Klien: Bapak Augie Widyotriatmo 2. Tim Pelaksana: Miranda Asmi N. F., Feodora C. T., M. Guinnot Raid N., Fransiska Dwi A. P. 3. Dosen Pembimbing: Bapak Augie Widyotriatmo 4. Dosen Pengawas: Bapak Faqihza Mukhlis 5. Pengguna Target: Industri yang menggunakan AGV

4.2 Rincian Aktivitas (*Work Breakdown Structure*)

4.3.1. Brainstorming dan Studi Literatur

Hal pertama yang dilakukan adalah mencari informasi lebih lanjut mengenai pendekripsi lajur AGV berbasis kamera melalui jurnal ataupun literatur lainnya. Dilakukan juga pencarian informasi secara langsung pada dosen-dosen pembimbing atau pihak lain yang berpengalaman untuk mendukung proses perancangan.

4.3.2. Proses Perancangan dan Pembuatan Casing Pelindung

Perancangan Sistem Pendekripsi Lajur Berbasis Kamera dengan Kalibrasi Mandiri untuk Outdoor Automated Guided Vehicle (AGV) dilakukan untuk mendapatkan pengganti dari sensor LiDAR yang mahal dalam AGV. Pada proses perancangan ini, langkah awal yang dilakukan adalah merancang dan membuat suatu bentuk yang kokoh untuk menampung komponen inti sistem (casing).

Casing ini berfungsi sebagai pelindung bagi komponen penyusun sistem, antara lain, Raspberry Pi 4, modul kamera Pi (*Pi Camera*), Lux Sensor, dan saluran daya. Dalam pembuatan casing, tidak hanya meninjau dari aspek kerapian, namun perlindungan komponen elektronik terhadap kondisi lingkungan luar ruangan juga harus diperhatikan. Desain casing harus mempertimbangkan pula pola sirkulasi udara untuk mencegah terjadinya *overheating* pada Raspberry Pi 4, terutama saat menjalankan tugas komputasi yang intensif. Selain itu, desain juga mempertimbangkan aksesibilitas untuk koneksi kabel dan *port* harus tetap terjaga untuk memudahkan perakitan dan pemeliharaan.

4.3.3. Integrasi Sistem *Vision*: Kamera, Raspberry Pi, Lux Sensor, dan Antarmuka Grafis

Pada langkah ini dilakukan pengintegrasian modul kamera Pi dan Lux Sensor dengan Raspberry Pi 4. Kamera Pi merupakan sensor visual utama yang dihubungkan melalui port Camera Serial Interface (CSI) pada Raspberry Pi. Pada sisi perangkat lunak, Raspberry Pi 4 akan diinstal dengan sistem operasi yang sesuai dan pustaka Open-source Computer Vision (OpenCV). OpenCV digunakan untuk melakukan pemrosesan citra dalam sistem ini. Selain itu digunakan juga Lux Sensor yang akan dihubungkan ke pin *General Purpose Input/Output* (GPIO) pada Raspberry Pi 4 yang umumnya menggunakan protokol komunikasi seperti I2C atau SPI. Integrasi ini memungkinkan Raspberry Pi untuk membaca data intensitas cahaya secara *real-time* dari lingkungan sekitar.

Untuk memfasilitasi pemantauan dan interaksi, Raspberry Pi 4 akan dihubungkan ke sebuah monitor. Melalui antarmuka pengguna grafis (GUI), pengguna dapat melihat secara langsung feed video yang ditangkap oleh kamera.

4.3.4. Pengambilan Data Video dan Intensitas Cahaya

Dengan sistem kamera, Raspberry Pi, lux sensor, dan monitor yang telah terintegrasi, tahap berikutnya adalah kalibrasi visual awal. Proses ini bertujuan untuk memahami bagaimana intensitas cahaya lingkungan mempengaruhi kualitas gambar yang ditangkap oleh kamera. Pada tahap ini, data intensitas cahaya akan diperoleh secara *real-time* langsung dari lux sensor yang terhubung ke Raspberry Pi yang berfungsi sebagai alat ukur pencahayaan yang objektif dan terotomatisasi serta digunakan bersamaan dengan pengambilan video oleh kamera.

Pengambilan video dilakukan pada berbagai kondisi pencahayaan (misalnya, gelap, redup, terang, sangat terang), gambar akan diambil menggunakan kamera dan ditampilkan secara *live* melalui OpenCV di monitor. Secara bersamaan, pembacaan intensitas cahaya dari lux sensor akan dicatat secara otomatis oleh Raspberry Pi untuk setiap *frame* atau interval waktu yang ditentukan.

Sebagai bagian dari pengujian lapangan, pengambilan video dan pengukuran intensitas cahaya akan dilakukan di area jalanan Kota Baru Parahyangan, mulai dari pagi hingga malam hari, untuk memperoleh variasi pencahayaan alami yang lebih luas. Lokasi ini dipilih karena terdapat jalur kendaraan yang sesuai untuk merepresentasikan kondisi nyata sistem pendekripsi lajur sehingga hasil kalibrasi lebih relevan terhadap lingkungan operasional sebenarnya. Proses ini dapat dilakukan secara berulang pada jarak dan kondisi cahaya yang berbeda untuk mengumpulkan dataset yang komprehensif.

4.3.5. Pengolahan Data Video dengan Koreksi Gamma dan Machine Learning

Setelah data gambar dan intensitas cahaya terkumpul, langkah selanjutnya adalah merelasikan penyesuaian hasil penangkapan citra secara otomatis sesuai

dengan intensitas cahaya dengan melakukan gamma correction. Gamma Correction adalah proses menyesuaikan kecerahan gambar secara non-linear agar tampilan citra lebih sesuai dengan persepsi visual manusia dan membantu meningkatkan visibilitas detail, khususnya pada area yang sangat gelap atau terang secara ekstrem.

Proses penyesuaian gamma correction ini dilakukan dengan bantuan coding dan machine learning untuk mencapai kualitas tangkapan citra yang optimal pada rentang lux yang berbeda. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa sistem visi komputer menerima input gambar yang konsisten dan berkualitas tinggi walaupun terjadi fluktuasi intensitas cahaya. Machine learning digunakan untuk mempelajari hubungan antara kondisi pencahayaan lingkungan (berdasarkan nilai lux) dan pengaturan gamma correction yang menghasilkan citra paling optimal. Dengan demikian, Pi Camera dapat secara otomatis menyesuaikan pengaturan kamera secara *real-time* ketika intensitas cahaya berubah-ubah di lingkungan luar ruangan. Pengaturan tersebut dilakukan melalui pustaka picamera untuk mengatur parameter kamera langsung dan didukung oleh pustaka OpenCV untuk pengolahan lanjutan dan visualisasi.

4.3.6. Pemrosesan Hasil Citra untuk Pendekripsi Jalur

Setelah sistem berhasil menyesuaikan gamma correction secara otomatis untuk menghasilkan citra yang optimal di berbagai kondisi pencahayaan, tahap selanjutnya adalah pemrosesan citra untuk mendeteksi jalur yang akan dilalui oleh AGV. Proses ini dilakukan dengan memanfaatkan pustaka OpenCV, khususnya dengan menerapkan metode *edge detection* untuk menyoroti batas-batas kontras dalam gambar yang menunjukkan tepi objek atau garis jalur.

Proses ini dilakukan dengan pendekatan dua tahap menggunakan kombinasi algoritma Canny Edge Detection dan Hough Line Transform yang tersedia dalam pustaka OpenCV. Canny digunakan untuk mendeteksi tepi-tepi dalam citra, yaitu area dengan perubahan intensitas cahaya yang tajam, yang biasanya menjadi indikator adanya batasan jalur. Namun, hasil dari deteksi tepi ini biasanya masih berupa titik-titik acak sehingga membutuhkan Hough Line Transform diterapkan untuk mengidentifikasi dan menghubungkan garis-garis lurus dari kumpulan titik tepi tersebut. Pendekatan ini sangat sesuai untuk kasus jalur di area seperti Kota Baru Parahyangan, dimana marka jalan umumnya berupa garis lurus berwarna terang di atas permukaan yang kontras. Dengan memanfaatkan kedua metode ini secara berurutan, sistem dapat secara efektif mengidentifikasi arah dan posisi jalur secara *real-time* dan dapat mewakilkan kondisi AGV di lingkungan semi-outdoor.

4.3.7. Pengujian Alat 1

Tahap selanjutnya adalah pengujian menyeluruh sistem. Dalam pengujian ini, monitor harus menampilkan dua *output* utama secara *real-time*:

1. Gambar langsung dari kamera: menunjukkan apa yang "dilihat" oleh AGV, dengan kualitas gambar yang telah dioptimalkan melalui kalibrasi.
2. Output arah lajur: Menampilkan hasil pemrosesan *computer vision*, yaitu garis-garis yang mengindikasikan lajur yang terdeteksi oleh algoritma. Ini bisa berupa garis yang digambar secara overlay di atas feed video asli, secara visual menunjukkan jalur yang akan diikuti oleh AGV. Lebih lanjut, sistem ini tidak hanya mengidentifikasi lajur, tetapi juga mampu mendeteksi dan menampilkan potensi kesalahan atau deviasi sudut AGV relatif terhadap lajur yang seharusnya. Deteksi ini melibatkan perhitungan sudut antara arah gerak AGV dengan orientasi lajur yang terdeteksi. Informasi mengenai deviasi sudut ini akan divisualisasikan, misalnya dalam bentuk indikator grafis atau nilai numerik pada GUI, yang memungkinkan sistem AGV untuk melakukan koreksi arah secara presisi dan *real-time*.

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi *robustness* sistem deteksi lajur dalam berbagai kondisi pencahayaan luar ruangan. Pengujian direncanakan dilakukan di tempat lain yang memiliki marka jalan lengkap seperti di Kota Baru Parahyangan untuk menguji apakah sistem sudah dapat melakukan kalibrasi pada intensitas cahaya (lux) yang berbeda-beda dan juga sudah bisa mendeteksi jalur dan batas marka dengan otomatis.

4.3.8. Evaluasi dan Penyempurnaan Alat

Tahap ini mengevaluasi dan meminimalisir kesalahan-kesalahan yang telah dibuat pada uji coba pertama. Penilaian evaluasi terhadap hasil desain dan kinerja alat akan dijadikan pedoman dasar dalam penyempurnaan alat.

4.3.9. Pengujian Alat 2

Penyempurnaan prototipe dilakukan dengan menemukan dan mengeksekusi solusi untuk memperbaiki prototipe sesuai dengan bahan evaluasi dari hasil pengujian.

4.3.10. Pembuatan Laporan Akhir

Tahap Pembuatan Laporan Akhir bertujuan untuk mendokumentasikan seluruh rangkaian proses, mulai dari analisis kebutuhan, perancangan, realisasi, hingga pengujian alat. Laporan ini mencakup hasil pengujian efektivitas alat, evaluasi performa, serta perbaikan yang dilakukan. Selain itu, laporan ini juga akan menyajikan kesimpulan mengenai keberhasilan sistem dalam mendeteksi lajur berbasis kamera di berbagai kondisi pencahayaan yang ekstrim.

BAB V: MATERIALS

5.1 Hardware

Bagian ini menguraikan komponen-komponen perangkat keras utama yang menjadi pondasi dalam perancangan dan implementasi sistem pendekripsi lajur adaptif. Setiap komponen memiliki peran spesifik yang saling terintegrasi untuk mencapai tujuan penelitian.

5.1.1 Raspberry Pi 4

Raspberry Pi 4 berperan sebagai unit pemrosesan utama atau pusat kendali dalam sistem ini. Sebagai platform komputasi *edge* yang efisien dan terjangkau, Raspberry Pi 4 memungkinkan implementasi sistem visi yang kompleks dengan latensi minimal dan biaya rendah. Perangkat ini bertanggung jawab untuk menjalankan seluruh tugas komputasi, termasuk mengendalikan modul kamera, memproses citra secara *real-time* menggunakan pustaka OpenCV, dan mengatur antarmuka pengguna grafis (GUI). Seluruh pemrosesan citra, mulai dari akuisisi hingga analisis, dapat dijalankan langsung di perangkat tanpa memerlukan komputer eksternal. Untuk mencegah *overheating* saat menjalankan tugas komputasi yang intensif, diperlukan desain sirkulasi udara yang memadai pada *casing* pelindungnya.



Gambar 5.1 Raspberry Pi 4

5.1.2 Kamera Pi (PiCam)

Kamera Pi (PiCam) merupakan sumber input visual utama yang menangkap lingkungan sekitar kendaraan secara kontinu. Modul kamera ini terhubung ke Raspberry Pi melalui port *Camera Serial Interface* (CSI). Integrasi antara PiCam dan OpenCV, yang difasilitasi oleh pustaka seperti picamera2, memungkinkan sistem untuk menangkap dan mengolah citra secara *real-time* dalam satu alur yang efisien. Kualitas gambar yang ditangkap oleh kamera sangat dipengaruhi oleh perubahan intensitas cahaya, yang dapat

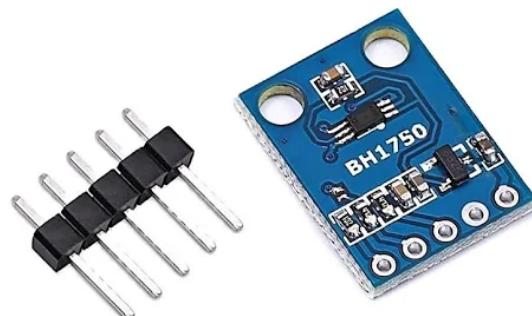
menurunkan akurasi deteksi. Oleh karena itu, parameter kamera seperti *Gamma Correction*, *Shutter Speed*, dan *Contrast* akan disesuaikan secara otomatis berdasarkan data dari sensor lux untuk memastikan kualitas gambar tetap optimal. Terdapat jeda waktu yang perlu diperhatikan saat kamera mengubah pengaturan internalnya (ISO, shutter) secara fisik.



Gambar 5.2 PiCam

5.1.3 Lux Sensor

Lux meter, yang juga dikenal sebagai *light meter* atau *illuminance meter*, adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang diterima pada suatu permukaan dalam satuan lux. Dalam sistem ini, lux meter (model BH1750) berfungsi sebagai alat bantu untuk kalibrasi pencahayaan secara objektif. Perangkat ini memanfaatkan elemen fotosensitif seperti fotodioda untuk mengubah energi cahaya menjadi sinyal listrik yang kekuatannya berbanding lurus dengan intensitas cahaya yang diterima. Data nilai lux dari sensor ini dikirim ke Raspberry Pi dan digunakan sebagai dasar untuk menyesuaikan parameter kamera secara otomatis, sehingga sistem dapat beradaptasi terhadap berbagai kondisi pencahayaan.



Gambar 5.3 Lux Sensor BHI750

5.1.4 Catu Daya dan Pendingin

Sumber energi utama untuk keseluruhan sistem disuplai oleh sebuah aki 12V 20Ah. Tegangan tinggi dari aki ini tidak dapat langsung digunakan oleh Raspberry Pi, sehingga sebuah *step-down converter* (buck converter) digunakan untuk menurunkan tegangan dari 12V menjadi 5V yang aman dan sesuai dengan kebutuhan Raspberry Pi 4. Catu daya yang stabil ini disalurkan

melalui port USB-C pada Raspberry Pi. Aspek pendinginan juga menjadi perhatian, di mana sirkulasi udara yang baik di dalam *casing* pelindung sangat penting untuk mencegah *overheating* pada Raspberry Pi saat beroperasi.

5.1.5 MicroSD & Logging System

MicroSD berfungsi sebagai media penyimpanan utama dalam sistem ini. Di dalamnya tersimpan sistem operasi Raspberry Pi, seluruh perangkat lunak yang dibutuhkan termasuk pustaka OpenCV, serta kode program untuk sistem deteksi lajur. Selain itu, MicroSD juga digunakan sebagai sistem pencatatan (*logging system*) untuk menyimpan data-data hasil pengujian. Data log ini sangat penting untuk tahap evaluasi dan penyempurnaan alat, karena berisi catatan kinerja sistem pada berbagai kondisi uji coba.

5.1.6 Monitor

Antarmuka Pengguna Grafis (GUI) dan sistem monitoring merupakan komponen krusial yang berfungsi sebagai jembatan antara pengguna dengan sistem pendekripsi lajur. Tujuan utamanya adalah membangun sebuah antarmuka yang intuitif untuk memantau hasil tangkapan kamera, menampilkan data deteksi lajur secara *real-time*, dan memungkinkan pengguna mengakses pengaturan sistem. Implementasi antarmuka ini akan dijalankan pada Raspberry Pi 4 dan ditampilkan melalui layar sentuh DSI 7 inci.

5.2 Software

Dalam proyek ini akan digunakan beberapa software untuk melakukan perancangan alat adalah sebagai berikut.

Tabel 5.1 Kegunaan Software yang digunakan

Icon	Software	Kegunaan
	OpenCV	Digunakan untuk pemrosesan citra dari kamera dalam pendekripsi jalur
	Python	Digunakan sebagai bahasa pemrograman utama untuk mengintegrasikan kamera, sensor lux BH1750, pemrosesan OpenCV, dan antarmuka GUI.

 Raspberry Pi OS	Raspberry Pi OS	Sistem operasi utama yang menjalankan semua perangkat lunak seperti Python, OpenCV, dan pengelolaan I/O Raspberry Pi.
---	------------------------	---

BAB VI: MANAJEMEN PROYEK

6.1 Rencana Jadwal Proyek

Tabel 6.1 Rencana Linimasa Proyek

No	Jenis Kegiatan	Bulan														Penanggung Jawab		
		September				Oktober				November				Desember				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Studi literatur dan finalisasi konsep prototipe																Fransiska, Feodora, Miranda, Guinnot	
2	Pembelian alat dan bahan																Guinnot	
3	Perakitan hardware & instalasi software																Miranda	
4	Pengambilan data untuk kalibrasi visual awal																Fransiska	
5	Melakukan kalibrasi visual awal manual (iteratif)																Fransiska	
6	Pelatihan model machine learning																Miranda	
7	Integrasi machine learning ke sistem kamera																Feodora	
8	Pengolahan gambar untuk pengembangan fitur deteksi lajur dengan OpenCV																Feodora	
9	Pembuatan dan integrasi GUI ke sistem																Guinnot	
10	Pengujian dan evaluasi prototipe																Fransiska, Feodora, Miranda, Guinnot	
11	Penyempurnaan prototipe dan perbaikan akhir																Fransiska, Feodora, Miranda, Guinnot	



6.2 Manajemen Risiko

Tabel 6.2 Manajemen Risiko Proyek

No.	Aspek	Risiko	Mitigasi
1.	GUI tidak responsif atau lag saat pemrosesan video	Sedang - tinggi	Optimasi kode OpenCV dan Python
2.	Hasil deteksi tidak akurat atau jalur tidak terbaca	Sedang-Tinggi	Tuning parameter Canny dan Hough Transform, uji coba pada variasi kontur dan pencahayaan
3	Kehilangan data hasil kalibrasi atau pelatihan model	Rendah	Backup rutin ke cloud/external drive dan dokumentasi hasil eksperimen secara sistematis
4.	Gambar tidak representatif, pengukuran lux tidak stabil	Rendah-sedang	Ulangi pengambilan data di waktu dan tempat berbeda, gunakan tripod dan pencatatan sistematis
5	Model gagal belajar pola hubungan lux-gamma karena data tidak cukup variatif	Sedang-tinggi	Tambah variasi pencahayaan saat ambil data, cek distribusi dataset sebelum training

BAB VII: PROYEKSI FINANSIAL

7.1 Financial Projection

Berikut adalah rincian estimasi biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan Sistem Pendekripsi Lajur Berbasis Kamera dengan Kalibrasi Mandiri.

Tabel 7.1 Rencana Anggaran Biaya

No	Nama Barang	Keterangan Tambahan	Jumlah	Harga Satuan	Total	
1	Raspberry Pi 4 (4GB RAM)	Komponen Utama & Display	1	Rp1,250,000	Rp1,250,000	
2	Pi Camera Module V2/V3		1	Rp400,000	Rp400,000	
3	Layar Sentuh DSI 7 Inch		1	Rp1,100,000	Rp1,100,000	
4	MicroSD Card 64 GB		1	Rp120,000	Rp120,000	
5	Aki 12V 20Ah		1	Rp550,000	Rp550,000	
6	Step-down Converter	Sistem Catu Daya	1	Rp35,000	Rp35,000	
7	Lux Sensor (Modul BH1750)		1	Rp25,000	Rp25,000	
8	Casing Pelindung		1	Rp75,000	Rp75,000	
9	Kabel & Connector		1	Rp100,000	Rp100,000	
10	Budget Subscription Software		1	Rp150,000	Rp150,000	
11	Budget Cetak Desain	Komponen Pendukung	1	Rp150,000	Rp150,000	
Sub TOTAL					Rp3,955,000	
Budget Lain-Lain (10% SubTotal Pengeluaran)					Rp395,500	
TOTAL					Rp4,350,500	

Adapun rencana anggaran pemasukan untuk menjalankan proyek Sistem Pendekripsi Lajur Berbasis Kamera dengan Kalibrasi Mandiri sebagai berikut.

Tabel 7.2 Rencana Anggaran Pemasukan

No	Sumber Pemasukan	Keterangan Tambahan	Total
1	Dana Program	Diberikan Program Studi Teknik Fisika ITB	Rp2,500,000



2	Dana Hibah/Sponsorship/ Beasiswa Penelitian	Sumber lainnya	pendapatan Rp1,850,000
TOTAL			Rp4,350,500

BAB VII: PENUTUP

Demikianlah proposal proyek "Sistem Pendekripsi Lajur Berbasis Kamera dengan Kalibrasi Mandiri untuk Outdoor Automated Guided Vehicle (AGV)" ini kami susun sebagai wujud dedikasi dan semangat kami dalam menghadirkan solusi teknologi yang inovatif, andal, dan berdampak positif. Kami telah berupaya merancang proyek ini secara optimal agar dapat menjadi sebuah langkah maju yang signifikan, sekaligus memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan teknologi robotika dan otomasi di lingkungan Institut Teknologi Bandung.

Penyusunan proposal ini tidak akan terwujud tanpa bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu, kami haturkan terima kasih yang tulus kepada Bapak Augie Widyonratmo selaku klien dan dosen pembimbing, Bapak Faqihza Mukhlis selaku dosen pengawas, serta seluruh pihak di Program Studi Teknik Fisika ITB. Besar harapan kami agar rencana yang telah tersusun ini dapat berjalan dengan lancar, mencapai hasil yang maksimal, dan sesuai dengan visi untuk menciptakan sistem navigasi AGV yang efisien, adaptif, dan ekonomis.

Kami percaya bahwa melalui kolaborasi yang solid dan komitmen bersama dari seluruh pihak yang terlibat, proyek ini tidak hanya akan berhasil memenuhi target akademis, tetapi juga mampu menginspirasi dan membawa pembaharuan dalam penerapan teknologi navigasi yang terjangkau di Indonesia. Atas perhatian, dukungan, dan kerja sama yang diberikan, kami ucapkan terima kasih.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Hasil Survey dengan Klien



Program Sarjana Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Bandung

TF3001 – Tugas Perancangan Terintegrasi I
TAHUN AJARAN 2024/2025

LEMBAR EVALUASI CONCEPT DEVELOPMENT

Regu	109	Tempat	Lok. Orientasi	Tanggal/Jam	21 Mei 2025 / 16.30
No	Aspek		Percentasi (0-100%)	Komentar / saran perbaikan / hal yang perlu diperhatikan	
1	Kebutuhan Pemakai: Apakah kebutuhan pemakai yang diajukan tim sudah sesuai harapan?		100		
2	Pilihan Konsep: Apakah tim mengajukan pilihan konsep yang cukup beragam dan kreatif?		100		
3	Pemilihan Terbaik: Apakah pemilihan konsep berhasil mendapatkan yang terbaik berdasarkan kriteria dan prosedur yang benar?		100		
4	Manfaat Konsep: Seberapa puas anda dengan konsep yang sudah dipilih bersama ini?		100		
5	Kelayakan Pembuatan: Berapa tingkat kepercayaan anda bahwa konsep yang dipilih ini bisa diwujudkan?		90	Perlu pendalaman lebih lanjut.	
6	Kelayakan Ekonomi Apakah konsep terpilih punya potensi ekonomis?		100		
7	Kelayakan Dampak Apakah konsep terpilih tidak memiliki dampak negatif pada lingkungan?		100		
8	Kelayakan Etika Apakah konsep yang dipilih memenuhi etika dan profesionalisme?		100		
Mahasiswa yang hadir					Klien
Miranda Asmi N.F. 13322021	Feodora C.T. 13322041	M. Guiznot Faiz M. 13322039	Franziska Yaverisa D.A.P. 13322031		Bapak Augie Wibyo Triyatmo

LAMPIRAN 2. Dasar Teori

1. Sistem Navigasi Berbasis Deteksi Lajur

Dalam navigasi robot otonom atau AGV diperlukan sistem deteksi lajur yang berperan penting sebagai sumber data sistem kontrol arah dan jalur gerak kendaraan. Pada lingkungan industri, jalur direpresentasikan menggunakan garis berwarna atau pola khusus yang ditempatkan pada lantai atau permukaan tanah.

Jalur harus dapat dikenali oleh sistem secara akurat untuk menjaga arah laju kendaraan sesuai dengan jalur yang telah ditentukan. Kamera mendeteksi pola atau garis tersebut dan sistem pengolahan citra mengidentifikasi posisi serta arah dari lajur terhadap sumbu kendaraan.

Tantangan utama dalam sistem navigasi ini adalah faktor pencahayaan dengan intensitas cahaya yang berubah-ubah pada lokasi *outdoor*, dapat disebabkan oleh perbedaan waktu ataupun cuaca. Hal ini tentu mempengaruhi kualitas penangkapan citra oleh kamera. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyesuaian parameter kamera berdasarkan kalibrasi pencahayaan dengan menggunakan lux sensor sebagai alat bantu pengukuran cahaya yang ditangkap oleh kamera. Kombinasi metode *threshold parameter*, *edge detection*, *hough transformation*, dan pengaturan pencahayaan dapat menjadi solusi yang sangat tepat untuk meningkatkan ketahanan sistem terhadap gangguan di lapangan.

2. Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Kualitas Gambar

Kualitas gambar yang ditangkap oleh kamera merupakan faktor penentu utama keberhasilan sistem visi komputer, terutama dalam aplikasi kritis seperti deteksi lajur pada AGV outdoor. Intensitas cahaya di lingkungan operasional memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap kualitas gambar ini, baik pada kondisi cahaya rendah maupun tinggi.

Pada kondisi intensitas cahaya yang terlalu rendah atau gelap, kualitas gambar yang ditangkap oleh kamera akan mengalami degradasi yang parah. Fitur-fitur penting seperti marker atau lajur menjadi sangat sulit, bahkan tidak mungkin, untuk dibaca atau dideteksi oleh kamera. Citra yang dihasilkan cenderung menjadi bising (*noisy*), gelap, dan mengalami kehilangan kontras yang signifikan, sehingga detail-detail penting pada lajur menjadi tidak terlihat atau kabur. Algoritma deteksi lajur yang sangat bergantung pada kontras dan deteksi tepi, seperti *Hough Transform* atau metode berbasis tepi lainnya, akan mengalami penurunan kinerja yang drastis, bahkan hingga kegagalan total dalam mendeteksi lajur.

Sebaliknya, intensitas cahaya yang terlalu tinggi, seperti sinar matahari langsung yang menyilaukan, juga dapat berdampak negatif pada kualitas gambar dan kemampuan deteksi lajur. Kondisi ini dapat menghambat pembacaan marker atau fitur oleh kamera, menyebabkan objek tidak terlihat atau deteksi lajur terganggu. Ini menghasilkan area terang yang menjadi "putih total" atau "*blooming*", yang secara efektif menutupi fitur lajur yang seharusnya dideteksi. Selain itu, pantulan specular (pantulan seperti cermin) dari permukaan basah atau sangat reflektif dapat menciptakan "titik panas" yang disalah artikan sebagai lajur atau mengganggu deteksi lajur yang sebenarnya. Fenomena "*dazzling light*" atau silau yang ekstrem juga dapat membuat lajur tidak dapat dideteksi dengan jelas.

LAMPIRAN 3. Data Sheet

Raspberry Pi 4: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>

Pi Cam:

<https://datasheets.raspberrypi.com/camera/camera-module-3-product-brief.pdf>

Lux Sensor BH1750:

<https://www.handsontec.com/dataspecs/sensor/BH1750%20Light%20Sensor.pdf>

LAMPIRAN 4. Tim Pelaksana

Peran	Nama dan NIM
Spesialis Hardware & Machine Learning Melakukan perakitan seluruh komponen perangkat keras dan instalasi perangkat lunak yang dibutuhkan dan Bertanggung jawab atas proses pelatihan model <i>machine learning</i>	Miranda Asmi Nur Faatihah - 13322021
Spesialis Computer Vision & Integrasi ML Mengintegrasikan model <i>machine learning</i> yang telah dilatih ke dalam sistem kamera dan Mengembangkan fitur utama deteksi lajur menggunakan algoritma pengolahan gambar dengan OpenCV	Feodora Clarissa Tampubolon - 13322041
Spesialis Antarmuka & Manajemen Proyek Bertanggung jawab atas perancangan, pembuatan, dan integrasi <i>Graphical User Interface</i> (GUI) ke sistem utama, Memastikan logistik dan <i>budgeting</i> proyek, termasuk pembelian alat dan bahan, berjalan sesuai jadwal dan perencanaan, Mengelola agenda konsultasi dengan dosen dan memimpin persiapan presentasi.	Muhammad Guinnot Raid Nabihfaloh - 13322075
Spesialis Kalibrasi dan Data Bertanggung jawab atas proses pengambilan data untuk kalibrasi visual awal dan Melakukan kalibrasi visual secara manual dan iteratif untuk menemukan parameter optimal	Fransiska Xaveria Dwi Anjani Putri - 13322091