

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Pengenalan Masalah

Keselamatan lalu lintas merupakan isu global yang hingga saat ini masih menjadi perhatian serius baik di negara maju maupun negara berkembang. Kecelakaan lalu lintas tercatat sebagai salah satu penyebab utama kematian tidak alami di dunia, di mana menurut laporan *World Health Organization* (WHO), setiap tahun sekitar 1,19 juta orang meninggal akibat kecelakaan di jalan raya, dan lebih dari 50 juta orang lainnya mengalami cedera serius[1]. Kondisi ini tidak hanya menimbulkan korban jiwa, tetapi juga kerugian sosial dan ekonomi dalam jumlah besar, termasuk biaya pengobatan, kehilangan produktivitas, hingga dampak psikologis terhadap keluarga korban. Di Indonesia sendiri, kecelakaan lalu lintas terus mengalami peningkatan, dengan kontribusi terbesar berasal dari pengendara sepeda motor. Data dari Kementerian Perhubungan menyebutkan bahwa sekitar 76–79% kecelakaan lalu lintas di Indonesia melibatkan sepeda motor sebagai moda transportasi utama [2]. Hal ini menunjukkan bahwa pengendara motor merupakan kelompok pengguna jalan yang paling rentan sekaligus paling membutuhkan perhatian dalam upaya peningkatan keselamatan berkendara.

*Blind spot* atau keberadaan area buta merupakan salah satu faktor yang sering terabaikan tetapi memiliki pengaruh signifikan terhadap kecelakaan sepeda motor. *Blind spot* pada pengendara sepeda motor adalah area di sekitar kendaraan yang tidak dapat terpantau, meskipun pengendara telah menggunakan kaca spion[3]. Pada sepeda motor, *blind spot* menjadi lebih berbahaya dibandingkan mobil karena keterbatasan ukuran kaca spion dan posisi duduk pengendara yang tidak memberikan cakupan pandangan luas[4].

Permasalahan *blind spot* terbukti berkontribusi langsung terhadap kecelakaan lalu lintas, baik di level nasional maupun internasional. Penelitian yang dilakukan oleh Universitas Atma Jaya Yogyakarta menemukan bahwa seluruh responden pengendara motor pernah mengalami kondisi *blind spot* ketika berkendara [3]. Dari pengendara yang tidak melakukan antisipasi, sebanyak 44,4% mengalami kecelakaan akibat *blind spot*, sedangkan pada pengendara yang melakukan

antisipasi, angka kecelakaan turun menjadi 23,1% [3].

Dengan semakin meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia, khususnya sepeda motor, urgensi penanganan masalah *blind spot* menjadi semakin nyata. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat bahwa jumlah sepeda motor di Indonesia mencapai lebih dari 120 juta unit pada tahun 2022, yang berarti mayoritas pengguna jalan adalah pengendara motor [5]. Besarnya populasi kendaraan roda dua tersebut membuat potensi terjadinya kecelakaan akibat *blind spot* semakin besar apabila tidak ada intervensi teknologi maupun edukasi bagi pengendara. Selain itu, fenomena urbanisasi dan padatnya lalu lintas di kota besar memperparah situasi, karena interaksi antar kendaraan semakin intens dan jarak antar kendaraan semakin dekat. Hal ini membuat pengendara motor lebih sering berada di area blind spot kendaraan lain maupun *blind spot* mereka sendiri. Oleh karena itu, tanpa adanya solusi yang memadai, *blind spot* akan tetap menjadi ancaman yang terabaikan bagi keselamatan pengendara motor di Indonesia.

#### **1.1.1. Informasi Pendukung Masalah**

*Blind spot* pada sepeda motor umumnya berada di sisi kiri dan kanan bagian belakang dengan sudut sekitar  $\pm 45^\circ$  serta area kurang lebih  $2,4 \text{ m}^2$  yang tidak dapat dijangkau oleh kaca spion. Posisi ini membuat pengendara sulit mengetahui adanya kendaraan lain yang melintas, terutama ketika mereka hanya mengandalkan spion bawaan motor. Kondisi ini diperkuat oleh temuan pada jurnal yang menegaskan bahwa area tersebut memang tidak sepenuhnya dapat dipantau hanya dengan menggunakan spion standar[6]. Dengan kata lain, setiap pengendara motor memiliki area buta alami yang melekat pada posisi duduk dan pandangan mereka. Semakin tinggi kecepatan berkendara, semakin berbahaya pula risiko yang ditimbulkan karena pengendara hanya memiliki waktu yang sangat terbatas untuk bereaksi. Hal ini menunjukkan bahwa *blind spot* bukan sekadar keterbatasan pandangan, melainkan faktor yang dapat langsung meningkatkan potensi kecelakaan lalu lintas.

Selain itu, keterbatasan jangkauan spion standar semakin memperbesar risiko blind spot. Spion bawaan motor umumnya hanya mampu memberikan cakupan pandang sekitar  $15^\circ$ – $20^\circ$  ke samping, sehingga area belakang-samping motor tetap tidak terlihat tanpa menoleh langsung[7]. Situasi ini menyebabkan banyak pengendara yang tidak sadar ketika ada kendaraan lain berada sangat dekat dengan

mereka di sisi kiri atau kanan. Dalam kondisi jalan yang padat, ketidakmampuan melihat area ini dapat berujung fatal karena pengendara dapat berpindah jalur secara tiba-tiba tanpa menyadari adanya kendaraan lain. Keterbatasan spion juga membuat pengendara lebih sering mengandalkan insting atau kebiasaan, bukan informasi visual yang jelas. Ketika kecepatan lalu lintas meningkat, insting ini sering tidak cukup cepat untuk menghindari potensi tabrakan. Hal ini membuktikan bahwa masalah blind spot tidak dapat diatasi hanya dengan spion standar bawaan motor.

Faktor lain yang memperburuk kondisi *blind spot* adalah aspek ergonomi, terutama penggunaan helm yang secara tidak langsung membatasi pandangan. Studi internasional *Effect of Full-Face and Half-Face Helmet on Functional Vision and Visual Reaction Time* menunjukkan bahwa pemakaian helm dapat memengaruhi stereopsis serta waktu reaksi visual pengendara[8]. Helm *full-face*, meskipun memberikan perlindungan lebih baik, ternyata dapat mempersempit bidang pandang perifer sehingga pengendara lebih sulit mendeteksi gerakan di sisi kiri maupun kanan. Sementara helm *half-face* memberikan pandangan yang sedikit lebih luas, namun tetap memiliki keterbatasan dalam persepsi visual terhadap objek di sekitar. Kondisi ini membuat pengendara sering kali bergantung penuh pada spion, yang pada dasarnya juga memiliki keterbatasan. Kombinasi antara blind spot alami, jangkauan spion terbatas, dan faktor ergonomi helm semakin memperbesar potensi terjadinya kecelakaan lalu lintas[8].

Kondisi jalan di Indonesia juga menjadi faktor signifikan yang memperparah masalah blind spot. Jalan yang padat dengan arus lalu lintas tinggi sering membuat sepeda motor harus berjalan berdampingan dengan kendaraan besar seperti bus atau truk. Kehadiran kendaraan besar ini menutup pandangan ke sisi samping, sehingga pengendara motor tidak dapat melihat kondisi jalan dengan jelas. Ketika motor berada terlalu dekat, pengendara dapat kehilangan kesadaran situasional karena pandangan terhalang sepenuhnya. Hal ini tidak hanya berbahaya bagi pengendara motor, tetapi juga meningkatkan risiko tabrakan bagi kendaraan lain yang berada di sekitarnya. Situasi lalu lintas di kota-kota besar Indonesia, yang cenderung padat dan semrawut, membuat masalah *blind spot* semakin sulit dihindari. Dengan demikian, *blind spot* pada motor bukan hanya persoalan teknis, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi jalan dan budaya lalu lintas di Indonesia[9].

Beberapa solusi sederhana sebenarnya telah diterapkan untuk membantu mengurangi risiko *blind spot*. Berikut adalah beberapa solusi yang sudah ada beserta kelebihan dan kekurangannya:

1. Kaca Spion Tambahan (*Wide View Mirror*)

Penggunaan spion cembung merupakan solusi paling sederhana dan murah untuk memperluas sudut pandang pengendara. Kelebihan dari spion ini adalah mudah dipasang, tidak membutuhkan daya listrik, serta harganya terjangkau. Namun, kekurangannya adalah distorsi visual yang membuat pengendara kesulitan memperkirakan jarak kendaraan lain, sehingga dapat menimbulkan kebingungan terutama pada kondisi lalu lintas padat [10].

2. Kamera Mini atau Action Cam

Beberapa pengendara mulai menggunakan kamera kecil yang dipasang di helm atau badan motor untuk memberikan sudut pandang tambahan. Kelebihan solusi ini adalah dapat menambah cakupan visual yang lebih luas dibandingkan hanya mengandalkan spion. Akan tetapi, kekurangannya cukup signifikan, yaitu pengendara tetap harus melihat layar kecil atau rekaman kamera, yang berarti perhatian dapat teralihkan dari jalan. Selain itu, perangkat ini juga membutuhkan daya tambahan dan tidak selalu dapat bekerja secara *real-time* [11]

3. *Blind Spot Monitoring* (BSM) pada Kendaraan Bermotor

\. Kelebihan sistem ini adalah bekerja otomatis dan *real-time*, sehingga tidak membebani konsentrasi pengendara. Namun, teknologi ini masih jarang diaplikasikan pada sepeda motor karena keterbatasan ruang, biaya produksi yang tinggi, serta tuntutan akan perangkat keras yang tahan terhadap kondisi ekstrem seperti getaran, hujan, dan debu [12].

### 1.1.2 Analisis Masalah dan Konstrain

1. Aspek Lingkungan

Blind spot merupakan salah satu faktor utama yang meningkatkan risiko terjadinya tabrakan samping, terutama ketika sepeda motor berpindah jalur atau berada di sekitar kendaraan lain. Sepeda motor sering kali tidak terlihat oleh kendaraan di sekitarnya, sehingga pengendara berada pada kondisi yang sangat rawan kecelakaan. Situasi ini semakin berbahaya pada lalu lintas padat, di mana jarak antar kendaraan sangat dekat dan waktu reaksi menjadi lebih singkat.

## 2. Aspek Teknis

Kaca spion standar pada sepeda motor memiliki sudut pandang yang terbatas yaitu  $15^{\circ}$ - $20^{\circ}$  sehingga tidak mampu menutup seluruh area di sekitar kendaraan. Keterbatasan ini diperparah oleh desain sepeda motor yang ringkas serta posisi duduk pengendara yang bervariasi, sehingga area tertentu di sisi kendaraan tidak dapat dipantau secara optimal. Akibatnya, pengendara sangat bergantung pada persepsi visual yang terbatas.

## 3. Aspek Manusia (*human factor*)

Kemampuan pengendara dalam mendeteksi keberadaan kendaraan lain sangat dipengaruhi oleh faktor usia, tingkat konsentrasi, kondisi mata, serta jenis helm yang digunakan. Selain itu, kebiasaan pengendara yang tidak melakukan pengecekan bahu (*shoulder check*) sebelum berpindah jalur semakin memperbesar kemungkinan tidak menyadari kendaraan lain yang berada di area blind spot. Faktor kelelahan dan distraksi juga berkontribusi terhadap menurunnya kewaspadaan pengendara.

## 4. Aspek Lingkungan Jalan

Kondisi lalu lintas yang padat dan jalan yang sempit menyebabkan sepeda motor lebih sering berada di area *blind spot* kendaraan besar seperti mobil dan truk. Faktor cuaca buruk, seperti hujan dan kabut, serta minimnya penerangan jalan juga semakin mengurangi jarak pandang pengendara dan meningkatkan risiko kecelakaan.

## 5. Aspek Regulasi dan Teknologi.

Hingga saat ini, regulasi di Indonesia belum mengatur secara rinci standar sudut pandang spion sepeda motor, serta belum mewajibkan penggunaan sistem pendeteksi blind spot pada kendaraan roda dua. Meskipun teknologi pendeteksi blind spot telah banyak diterapkan pada kendaraan roda empat menggunakan sensor radar atau kamera, penerapannya pada sepeda motor masih terbatas akibat keterbatasan ruang, biaya, dan konsumsi daya. Namun demikian, peluang pengembangan solusi berbasis sensor sederhana dan teknologi IoT masih sangat terbuka.

## 6. Aspek Standar dan Regulasi

Sistem dapat mematuhi standar keselamatan jalan raya misalnya Peraturan

UNECE R151 tentang *Blind Spot Information System* (BSIS) yang menetapkan syarat minimal kinerja sistem *blind spot*, seperti jarak deteksi minimum, tingkat keandalan alarm, serta respon waktu peringatan yang harus berada pada ambang batas tertentu [23].

Adapun konstrain untuk permasalahan bahaya blind spot pada sepeda motor yang terdapat pada sistem ini yaitu:

1. Sistem harus berukuran ringkas dan tidak mengganggu ergonomi pengendara.  
Konstrain ini dirumuskan untuk memastikan bahwa pemasangan sistem pendeteksi blind spot dan pemantauan kelelahan tidak mengganggu posisi duduk, gerak tubuh, maupun kenyamanan pengendara. Sepeda motor memiliki ruang pemasangan yang terbatas, sehingga sistem harus dirancang dengan dimensi yang kompak dan penempatan yang tepat agar tidak menimbulkan kelelahan tambahan atau distraksi selama berkendara.
2. Sistem hanya berfungsi sebagai alat bantu keselamatan, bukan pengganti kewaspadaan pengendara.  
Konstrain ini menegaskan bahwa sistem yang dirancang bersifat *advanced rider assistance system* (ARAS) yang bertujuan untuk meningkatkan kewaspadaan pengendara terhadap kondisi blind spot dan indikasi kelelahan. Sistem tidak dirancang untuk menggantikan pengambilan keputusan pengendara sepenuhnya, sehingga tanggung jawab keselamatan tetap berada pada pengendara.
3. Sistem memiliki konsumsi daya rendah dan kompatibel dengan kelistrikan sepeda motor.  
Konstrain ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat dioperasikan tanpa membebani sistem kelistrikan sepeda motor. Penggunaan sensor, mikrokontroler, dan aktuator harus mempertimbangkan efisiensi daya agar sistem dapat bekerja secara stabil dalam jangka waktu lama tanpa menyebabkan gangguan pada fungsi kelistrikan utama kendaraan.
4. Sistem mampu memberikan peringatan yang sederhana, jelas, dan tidak menimbulkan distraksi.  
Konstrain ini dirumuskan untuk mengakomodasi keterbatasan faktor manusia, khususnya pada kondisi lalu lintas padat dan saat pengendara mengalami

kelelahan. Peringatan blind spot dan kelelahan harus disampaikan melalui indikator visual atau audio dengan intensitas yang cukup untuk dikenali, namun tidak berlebihan sehingga tidak mengganggu konsentrasi atau meningkatkan risiko kecelakaan.

5. Sistem deteksi blind spot dibatasi pada jarak dan sudut tertentu sesuai kemampuan sensor.

Konstrain ini menegaskan bahwa sistem tidak dirancang untuk mendeteksi seluruh area di sekitar sepeda motor secara menyeluruh. Jarak dan sudut deteksi disesuaikan dengan spesifikasi sensor yang digunakan serta keterbatasan pemasangan pada sepeda motor. Oleh karena itu, sistem hanya difokuskan pada area kritis *blind spot* yang paling berisiko terhadap tabrakan samping.

6. Sistem dirancang dengan mengacu pada standar internasional yang relevan tanpa kewajiban pemenuhan penuh.

Konstrain ini dirumuskan mengingat belum adanya regulasi nasional yang mewajibkan sistem pendeteksi *blind spot* dan kelelahan pada sepeda motor. Oleh karena itu, perancangan sistem mengacu pada standar internasional seperti UNECE R151 untuk *blind spot*.

### 1.1.3 Kebutuhan Yang Harus Dipenuhi

1. Sistem harus mampu mengenali kendaraan yang masuk ke area *blind spot* sepeda motor dengan akurasi tinggi agar tidak terjadi kesalahan deteksi.
2. Proses pengolahan data dari sensor perlu dilakukan dengan minim *delay*
3. Diperlukan mekanisme peringatan yang dapat langsung dirasakan pengendara, misalnya lampu indikator, bunyi alarm, atau getaran.
4. Konsumsi daya efisien, dengan kebutuhan energi tidak membebani kelistrikan sepeda motor
5. Perangkat harus dirancang tahan terhadap kondisi jalan seperti hujan, debu, getaran, dan perubahan suhu agar tetap berfungsi pada berbagai situasi berkendara.

### 1.1.4 Tujuan

Tujuan dari pengangkatan permasalahan ini adalah menghasilkan alat yang mampu mendeteksi keberadaan kendaraan pada area *blind spot* sepeda motor dengan dukungan sistem komputasi yang dapat mengolah data sensor secara

cepat dan akurat. Selain itu, pengangkatan permasalahan ini juga bertujuan untuk menyediakan peringatan yang efektif bagi pengendara agar risiko kecelakaan dapat diminimalkan, sekaligus merancang perangkat keras yang tahan terhadap kondisi jalan dan cuaca. Alat yang dikembangkan diharapkan memiliki konsumsi daya rendah, serta dapat diwujudkan sebagai solusi yang praktis, mudah dipasang, dan terjangkau sehingga dapat digunakan secara luas oleh masyarakat.

## 1.2. Solusi

### 1.2.1. Karakteristik Produk

#### 1. Fitur dasar

- a. Kemampuan Sensor (*Sensor Capability*): Sistem harus dilengkapi dengan sensor yang mampu mendeteksi kendaraan atau objek lain pada area blind spot. Jenis sensor dapat berupa sensor radar (untuk mengukur jarak objek), sensor inframerah (untuk deteksi berbasis pancaran panas atau pantulan cahaya), maupun kamera digital (untuk deteksi visual menggunakan pemrosesan citra). Jangkauan deteksi minimal 0,5m–4m agar sesuai dengan kebutuhan blind spot pengendara sepeda motor.
- b. Kinerja Komputasi (*Computing Performance*): Perangkat wajib menggunakan mikrokontroler atau prosesor tertanam yang mampu mengolah data sensor secara *real-time* dengan latensi <200 ms. Sistem yang digunakan juga dapat menjalankan algoritma pengolahan sinyal atau citra yang ringan, efisien, dan hemat daya, misalnya filter data sensor, algoritma komputasi yang sesuai, atau deteksi objek berbasis pembelajaran mesin sederhana.
- c. Mekanisme Peringatan (*Output Mechanism/Actuator*): Sistem harus menyediakan mekanisme peringatan yang langsung dirasakan pengendara. Jenis aktuator dapat berupa indikator visual (lampu LED), indikator audio (buzzer/speaker kecil), atau indikator getaran (vibration motor). Respon harus muncul kurang dari 500 ms sejak objek terdeteksi untuk memastikan keselamatan berkendara.
- d. Metode Komputasi: Sistem membutuhkan metode komputasi yang

berperan penting dalam bagaimana sistem mendeteksi dan memahami data dari sensor secara cerdas. Fitur ini memastikan proses pengolahan data berjalan dengan logika yang tepat agar sistem mampu membedakan antara kendaraan yang benar-benar berada di area blind spot dan objek lain di luar zona bahaya. Dengan komputasi yang baik, sistem dapat memberikan hasil deteksi yang akurat, efisien, dan konsisten meskipun kondisi lingkungan berkendara berubah-ubah.

## 2. Fitur Tambahan

- a. *Konsumsi Daya Rendah (Low Power Consumption)*: memastikan sistem dapat beroperasi dalam waktu lama dengan penggunaan daya yang efisien, terutama karena sumber energi berasal dari baterai atau *powerbank*, bukan dari aki motor. Desain rangkaian dan pengendalian daya harus dioptimalkan agar konsumsi energi tetap rendah tanpa mengurangi kecepatan deteksi maupun akurasi sistem. Penggunaan komponen berdaya rendah menjadi pertimbangan utama agar alat tetap praktis, ringan, dan dapat diisi ulang dengan mudah oleh pengguna.
- b. *Biaya Terjangkau (Low Cost)*: Total biaya perancangan dan pembuatan perangkat diperkirakan tidak melebihi Rp1.500.000 agar dapat diadopsi luas oleh masyarakat.
- c. *Ketahanan Perangkat (Device Robustness)*: Perangkat harus dirancang tahan terhadap kondisi jalan yang beragam. Housing alat perlu memiliki ketahanan terhadap air hujan, debu, getaran, dan perubahan suhu. Standar minimal yang disarankan adalah perlindungan setara IP65, agar alat tetap dapat berfungsi dengan baik di kondisi jalan ekstrim.
- d. *Mudah di Instalasi (Ease of Installation)*: Pemasangan alat tidak membutuhkan modifikasi besar pada bodi sepeda motor atau bentuk asli sebuah sepeda motor, cukup dengan metode plug and play atau baut standar.
- e. *Standar dan Aturan (Standards and Regulations)*: Sistem dapat mematuhi standar keselamatan jalan raya misalnya Peraturan UNECE R151 tentang *Blind Spot Information System (BSIS)* yang menetapkan syarat minimal kinerja sistem *blind spot*, seperti jarak deteksi minimum, tingkat keandalan

alarm, serta respon waktu peringatan yang harus berada pada ambang batas tertentu [13].

- f. Target Waktu Pengembangan (*Development Timeline*): Sistem diharapkan dapat selesai dalam kurun waktu 6 bulan sejak tahap perancangan hingga pengujian awal.

### 1.2.2. Usulan Solusi

1. “Sistem Monitoring Blindspot Menggunakan modul Radar dengan Sistem Algoritma Filtering”

Pengendara sepeda motor, khususnya pengemudi ojek online, sering menghadapi kondisi kerja dengan durasi berkendara yang panjang dan tingkat konsentrasi tinggi. Penghasilan yang bergantung pada jumlah order mendorong pengendara untuk terus berkendara tanpa menyadari meningkatnya risiko dari lingkungan sekitar kendaraan. Permasalahan utama yang muncul dari kondisi ini adalah keterbatasan penglihatan pada area blind spot. Faktor tersebut berkontribusi signifikan terhadap peningkatan risiko kecelakaan lalu lintas.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diusulkan suatu Sistem Monitoring Blind Spot yang mengintegrasikan sensor radar dengan algoritma filtering dalam suatu sistem pemantauan keselamatan berkendara. Sistem ini dirancang untuk bekerja secara otomatis, *real-time*, dan tidak memerlukan interaksi manual dari pengendara, sehingga tetap efektif digunakan dalam kondisi berkendara sehari-hari.

Sistem Deteksi *Blind Spot* menggunakan teknologi modul radar dengan algoritma filtering. teknologi modul radar bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik ke lingkungan sekitar dan menerima sinyal pantulan dari objek yang terdeteksi. Berdasarkan karakteristik sinyal pantulan tersebut, sistem dapat memperkirakan posisi, jarak, serta kecepatan relatif objek yang berada di sekitar pengendara. Untuk meningkatkan akurasi pembacaan jarak dan menyaring noise dari data mentah sensor, sistem ini menggunakan algoritma *Filtering*. *Filtering Algorithm* digunakan karena memungkinkan untuk menghasilkan estimasi posisi objek yang lebih stabil meskipun data sensor mengalami gangguan. Dengan memanfaatkan prediksi dari algoritma ini dapat meminimalkan kesalahan pembacaan dan menjaga konsistensi data. Proses ini terjadi secara *real-time*, sehingga sistem dapat memantau pergerakan objek secara

stabil.

Data hasil pembacaan radar bersifat dinamis dan dapat mengalami fluktuasi dan banyak terjadi noise akibat pergerakan objek, interferensi lingkungan, maupun keterbatasan modul. Oleh karena itu, sistem tidak hanya mengandalkan nilai pengukuran sesaat, tetapi juga menerapkan algoritma filtering dengan mengombinasikan data pengukuran baru dari radar dengan hasil prediksi sebelumnya menggunakan rata rata tertimbang (*weight average*). Algoritma filtering ini memungkinkan sistem menghasilkan estimasi posisi dan kecepatan objek yang lebih stabil meskipun data radar mengandung noise, serta mampu mengikuti perubahan kondisi lingkungan secara konsisten.

Dalam menilai potensi bahaya, sistem tidak menggunakan keputusan biner seperti “bahaya” atau “tidak berbahaya”. Sebaliknya, sistem menggunakan pendekatan sistem cerdas dalam menilai situasi lalu lintas dengan mengklasifikasikan tingkat risiko ke dalam beberapa kategori, seperti aman, waspada, dan bahaya. Penilaian risiko dilakukan berdasarkan jarak dan kecepatan relatif objek terhadap pengemudi. Nilai risiko yang dihasilkan bersifat kontinu dan diterjemahkan menjadi bentuk keluaran yang intuitif, seperti peringatan getaran atau bunyi dengan intensitas yang disesuaikan dengan tingkat risiko yang terdeteksi.

Skenario penerapan sistem ini melibatkan pemasangan modul radar pada sisi belakang kendaraan dengan sudut tertentu untuk mencakup area blind spot. Selama kendaraan melaju, sistem secara terus-menerus memantau area tersebut. Ketika objek memasuki zona pemantauan dan menunjukkan peningkatan tingkat risiko, sistem akan memberikan peringatan dalam waktu respons yang singkat. Ketika kondisi kembali aman, peringatan akan dinonaktifkan secara otomatis tanpa memerlukan intervensi pengemudi.

Pendekatan berbasis radar ini efektif karena tidak bergantung pada pencitraan visual yang sensitif terhadap kondisi cahaya. Sensor radar mampu bekerja secara konsisten pada kondisi pencahayaan rendah maupun cuaca kurang mendukung. Dengan adanya proses estimasi berbasis prediksi, sistem dapat menjaga kestabilan informasi dan menurunkan kemungkinan kesalahan deteksi. Berbagai studi dalam bidang sistem transportasi cerdas menunjukkan bahwa radar telah banyak

digunakan pada aplikasi keselamatan kendaraan, khususnya untuk pemantauan blind spot dan deteksi potensi tabrakan.

## 2. Sistem Deteksi Blind-Spot Menggunakan Sensor Inframerah Pasif dengan Sistem Kontrol Cerdas

Seorang kurir logistik yang setiap hari melakukan pengiriman barang dengan rute yang beragam, mulai dari jalan tol yang mulus hingga jalan perumahan yang berlubang, harus menempuh perjalanan dalam durasi yang panjang untuk mengantarkan sejumlah paket ke berbagai lokasi. Kondisi berkendara yang bervariasi ini menuntut kewaspadaan terhadap lingkungan sekitar kendaraan. Keterbatasan pandangan pada area *blind spot* tetap menjadi risiko keselamatan yang signifikan, terutama pada kondisi minim cahaya atau lingkungan lalu lintas yang padat.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, diusulkan suatu sistem terpadu yaitu Sistem Deteksi Blind-Spot Menggunakan Sensor Inframerah Pasif dengan Sistem Kontrol Cerdas. Sistem ini dirancang untuk memantau lingkungan sekitar kendaraan secara simultan, adaptif, dan real-time, tanpa membebani pengendara dengan interaksi manual yang kompleks.

Sistem ini didasarkan pada prinsip bahwa setiap objek dengan suhu di atas nol mutlak memancarkan radiasi termal. Sensor inframerah mendeteksi perubahan intensitas panas dari kendaraan atau objek lain di sekitar pengendara. Dengan menggunakan metode komputasi tertentu, sistem mampu membedakan radiasi termal dari objek bergerak dengan latar belakang lingkungan, sehingga tidak bergantung pada pencahayaan visual dan tetap efektif digunakan pada malam hari atau kondisi cahaya rendah.

Dalam skenario penggunaan, sensor inframerah dipasang pada sisi kiri dan kanan sepeda motor dengan sudut pandang sekitar 30°–60° untuk mencakup area blind spot. Ketika kendaraan lain memasuki zona pemantauan, terjadi peningkatan perubahan temperatur relatif ( $\Delta T$ ) yang terdeteksi oleh sensor. Data ini diproses secara real-time oleh mikrokontroler low-power yang menjalankan algoritma ringan dengan latensi rendah. Ketika nilai  $\Delta T$  melewati ambang batas tertentu, sistem memberikan peringatan melalui indikator LED, alarm suara, atau getaran dengan waktu respons kurang dari 500 ms untuk menjaga keselamatan pengendara.

Sistem kontrol cerdas pada deteksi blind spot tidak menggunakan keputusan biner seperti “aman” atau “berbahaya”. Sebaliknya, sistem meniru pola penalaran manusia dengan mengelompokkan data sensor ke dalam tingkat kedekatan seperti dekat, sedang, dan jauh. Setiap nilai sensor dapat memiliki tingkat keterlibatan pada lebih dari satu kategori secara bersamaan, misalnya 60% dekat dan 40% sedang. Berdasarkan pengelompokan ini, sistem menerapkan seperangkat aturan untuk menentukan tingkat risiko secara bertahap. Hasil akhirnya berupa nilai risiko kontinu yang menjadi dasar penentuan intensitas peringatan kepada pengendara melalui indikator visual dan haptic.

Pendekatan berbasis inframerah ini mampu menutup keterbatasan spion konvensional yang memiliki sudut pandang terbatas. Sistem tetap berfungsi optimal pada kondisi minim cahaya, memiliki konsumsi daya yang sangat rendah, serta dapat dioperasikan menggunakan baterai kecil tanpa membebani sistem kelistrikan sepeda motor. Desain perangkat dibuat ringkas, tahan cuaca dengan housing berstandar IP65, serta relatif murah sehingga mendukung implementasi low-cost dan pemasangan tanpa modifikasi besar.

Tantangan utama sistem inframerah adalah sensitivitas terhadap panas matahari langsung atau permukaan jalan yang memantulkan panas, yang berpotensi menimbulkan false positive. Untuk mengatasi hal ini, digunakan algoritma komputasi yang mampu menafsirkan data sensor secara adaptif, serta penempatan sensor yang dilengkapi shading guna menghindari paparan langsung sinar matahari. Dengan mitigasi ini, reliabilitas dan konsistensi sistem dapat ditingkatkan dalam berbagai kondisi lingkungan.

### 3. “Sistem Pemantauan Visual Tepi (*Edge Vision*) untuk deteksi jenis objek pada area Blind-Spot”

Sistem Deteksi Blind-Spot Kamera berbasis *Computer Vision* memanfaatkan citra dari kamera *wide-angle* untuk mendeteksi kendaraan lain di area buta. Sistem menggunakan algoritma yang mampu mengenali objek secara *real-time*. Landasan teori *computer vision* memungkinkan klasifikasi objek, sehingga sistem tidak hanya mendeteksi tetapi juga mengenali jenis kendaraan. Hal ini penting untuk memahami ancaman, misalnya membedakan motor dan mobil. Mikrokontroler atau mini-komputer dengan NPU dapat

digunakan untuk mempercepat inferensi. Dengan pipeline komputasi yang efisien, latensi bisa ditekan hingga di bawah 200 ms [18].

Dalam skenario penggunaan, kamera ditempatkan di samping atau belakang motor dengan sudut pandang lebar. Kamera mengalirkan data citra ke prosesor untuk dianalisis secara *real-time*. Jika kendaraan terdeteksi memasuki zona blind spot, sistem segera memicu indikator visual atau *haptic*. Respon cepat ini memberi waktu pengemudi untuk menunda manuver berisiko. Kamera juga dapat merekam data untuk analisis pasca kejadian. Sistem bekerja siang dan malam dengan tambahan modul inframerah untuk kondisi minim cahaya [18].

Sistem ini menyelesaikan masalah blind spot dengan memberikan informasi visual langsung dari lingkungan sekitar. Sistem ini juga memiliki kelebihan yaitu kemampuan mengidentifikasi jenis objek. Hal ini memungkinkan pengemudi membuat keputusan lebih tepat, misalnya membedakan motor yang cepat mendekat dengan mobil yang lambat [19]. Sistem ini juga mendukung aspek penelitian computer vision dalam Teknik Komputer. Dengan respon *real-time*, solusi kamera dapat menjadi alat bantu keselamatan yang modern. Implementasi ini relevan dengan tren integrasi AI di kendaraan pintar.

Fitur dasar sistem ini mencakup kemampuan kamera menangkap citra dengan resolusi cukup tinggi untuk deteksi objek. *Computing performance* dijawab dengan dukungan algoritma ringan berbasis saraf tiruan yang dirancang khusus untuk mengenali pola pada citra visual. Algoritma ini terdiri atas beberapa lapisan komputasi yang secara bertahap mengekstraksi ciri-ciri penting dari gambar yang ditangkap oleh kamera. Metode komputasi mengatur cara sistem mengolah dan menafsirkan data sensor agar mampu membedakan objek di area blind spot dengan akurat. Mekanisme peringatan dipenuhi dengan indikator visual dan getaran. Proses dimulai ketika kamera wide-angle mengambil citra dari area di sekitar kendaraan. Setiap gambar yang masuk kemudian diubah menjadi susunan piksel dengan nilai intensitas tertentu. Algoritma akan memproses susunan piksel ini melalui lapisan pertama yang disebut lapisan konvolusi. Pada tahap ini, sistem menerapkan sejumlah filter kecil yang bergerak melintasi seluruh gambar untuk mendeteksi pola sederhana seperti tepi, garis, atau sudut. Setiap filter berfungsi seperti mata manusia yang

fokus pada aspek tertentu dari gambar. Hasil dari tahap awal ini kemudian diteruskan ke lapisan berikutnya, di mana pola yang lebih kompleks mulai dikenali. Sistem secara bertahap membangun pemahaman yang lebih tinggi terhadap objek di dalam gambar dari pola sederhana menjadi bentuk yang lebih spesifik, seperti siluet kendaraan, roda, atau lampu. Setelah beberapa tahap ekstraksi ciri, sistem akan melakukan proses pengenalan atau klasifikasi. Pada tahap ini, seluruh informasi yang telah dipelajari dari lapisan sebelumnya digunakan untuk memutuskan apakah objek yang terdeteksi merupakan sepeda motor, mobil, atau jenis kendaraan lainnya.

Untuk menjaga kecepatan dan efisiensi, hasil pengenalan ini diproses dalam *pipeline* komputasi yang teroptimasi. Mikrokontroler atau mini-komputer dengan unit pemroses neural (NPU) dapat digunakan untuk mempercepat perhitungan pada setiap lapisan jaringan. Dengan cara ini, sistem mampu mendeteksi dan mengenali objek di area *blind-spot* secara *real-time*, dengan waktu respons yang sangat cepat, biasanya di bawah 200 ms. Melalui pendekatan ini, sistem tidak hanya mampu mengetahui keberadaan objek di area buta, tetapi juga memahami jenisnya. Kemampuan tersebut membuat peringatan yang diberikan kepada pengemudi menjadi lebih kontekstual dan akurat, sehingga dapat meningkatkan kewaspadaan dan keselamatan selama berkendara [19]. Fitur tambahan mencakup konsumsi daya yang dioptimalkan dengan NPU hemat energi. Desain perangkat disesuaikan agar tahan terhadap cuaca dengan housing IP65. Hal ini menjaga keandalan sistem di kondisi nyata. Biaya perangkat kamera lebih tinggi dibanding sensor radar atau IR, namun masih dapat ditekan dengan modul kamera komersial.

Tantangan utama sistem kamera adalah ketergantungan pada pencahayaan. Kondisi malam atau hujan dapat menurunkan akurasi deteksi. Untuk mengatasi, sistem dapat menggunakan *preprocessing* citra seperti modul iluminasi tambahan agar sistem dapat mengenali objek lebih awal dan lebih akurat [19]. Algoritma juga bisa dilengkapi tracking seperti untuk prediksi pergerakan objek. Dengan strategi ini, akurasi sistem tetap terjaga. Penelitian terkini melaporkan latensi inferensi algoritma ringan tetap di bawah 200 ms bahkan di perangkat *low-power* [19]. Hal ini menunjukkan kelayakan implementasi di

lapangan.

Berdasarkan analisa sebelumnya, menekankan bahwa sistem visi *real-time* pada sepeda motor dapat menurunkan potensi kecelakaan signifikan. Dengan dukungan studi ini, solusi kamera menjadi solusi yang berguna untuk mengatasi blind-spot. Implementasi sistem akan mengintegrasikan kamera dan algoritma komputasi. Hal ini menjawab kebutuhan fitur dasar dan tambahan secara komprehensif. sistem ini menjadi representasi penerapan AI dalam meningkatkan keselamatan pengendara.

### 1.2.2 Analisis Usulan Solusi

untuk mengetahui solusi mana yang terbaik maka kita perlu melakukan analisa terhadap solusi solusi yang telah diberikan. untuk metode analisa yang akan digunakan adalah metode House of Quality (HoQ). House of Quality atau yang biasa disingkat HoQ merupakan sebuah alat yang mendukung metode Quality Function Development. HoQ terdiri dari beberapa bagian yaitu *Customer Needs and Benefits*, *Planning Matrix*, *Technical Response*, *Relationship Matrix*, *Technical Correlations*, *Technical Matrix* [20]. Matriks HOQ ini adalah upaya untuk mengkonversikan *voice of customer* secara langsung terhadap karakteristik teknis atau spesifikasi teknis dari sebuah perencanaan yang dihasilkan.

| Fitur Dasar           |                                                                                               | Fitur              |                       |                         |                                      |                            |                       |                            |                  |                          |                               |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------------|
|                       |                                                                                               | House Of Quality   |                       |                         |                                      |                            |                       |                            |                  |                          |                               |
| KONSTRAN              |                                                                                               | Rank of Importance | Percent of Importance | ▲<br>Sending Capability | ▲<br>Notification/ Output Capability | ▲<br>Computing Performance | ▲<br>Computing Method | ▲<br>Low Power Consumption | ▲<br>Hemat Biaya | ▲<br>Ketahanan Perangkat | ▲<br>Waktu Pengerjaan 6 Bulan |
|                       | Sistem harus berukuran ringkas dan tidak mengganggu ergonomi pengendara                       | 4                  | 19,04%                | ○                       | ○                                    | ○                          |                       | ○                          | ○                | ○                        | ○                             |
|                       | Sistem hanya berfungsi sebagai alat bantu keselamatan, bukan pengganti kewaspadaan pengendara | 5                  | 23,80%                | ○                       | ○                                    | ○                          | ○                     | ○                          | ○                | ○                        | ○                             |
|                       | Sistem memiliki konsumsi daya rendah dan kompatibel dengan kelistrikan sepeda motor           | 3                  | 14,28%                | ○                       | ○                                    | ○                          |                       | ▲                          | ○                |                          |                               |
|                       | Sistem mampu memberikan peringatan yang sederhana, jelas, dan tidak menimbulkan distraksi     | 5                  | 23,80%                | ○                       | ○                                    | ○                          |                       | ○                          | ○                | ○                        | ○                             |
|                       | Sistem deteksi blind spot dibatasi pada jarak dan sudut tertentu sesuai kemampuan sensor.     | 4                  | 19,04%                | ○                       | ○                                    | ○                          | ○                     | ▲                          | ○                | ○                        | ○                             |
|                       | Importance Rating                                                                             | 21                 | 100%                  | 105                     | 105                                  | 105                        | 97                    | 57                         | 71               | 64                       | 54                            |
| Percent of Importance |                                                                                               |                    |                       | 17,55%                  | 17,55%                               | 17,55%                     | 6,36%                 | 9,33%                      | 11,87%           | 10,70%                   | 9,03%                         |
| Solusi 1              |                                                                                               |                    |                       | ○                       | ○                                    | ○                          | ○                     | ○                          | ○                | ○                        | ○                             |
| Solusi 2              |                                                                                               |                    |                       | ○                       | ○                                    | ○                          | ○                     | ○                          | ○                | ▲                        | ○                             |
| Solusi 3              |                                                                                               |                    |                       | ○                       | ○                                    | ○                          | ○                     | ○                          | ▲                | ○                        | ○                             |
|                       |                                                                                               |                    |                       |                         |                                      |                            |                       |                            |                  |                          | 3,24                          |

Gambar 1.1 *House of Quality*

Keterangan Simbol:

1.  $\odot$  = Hubungan Kuat (5)
2.  $\circ$  = Hubungan Sedang (3)
3.  $\triangle$  = Hubungan Lemah (1)
4. Kosong = Tidak Berhubungan (0)

Berdasarkan *House of Quality* pada gambar 1.1, dilakukan perhitungan skor untuk setiap solusi dengan mengalikan nilai hubungan (1, 3, atau 5) dengan bobot masing-masing fitur.

Berikut merupakan perhitungan menggunakan *House of Quality* dari ketiga solusi yang ditawarkan:

Perhitungan Fitur Dasar:

1. **Solusi 1:**  $(17,55\% \times 5) + (17,55\% \times 5) + (17,55\% \times 5) + (6,18\% \times 5) + (9,53\% \times 5) + (11,87\% \times 5) + (10,70\% \times 3) + (9,03\% \times 5) = 4,79$
2. **Solusi 2:**  $(17,55\% \times 3) + (17,55\% \times 5) + (17,55\% \times 5) + (6,18\% \times 5) + (9,53\% \times 5) + (11,87\% \times 5) + (10,70\% \times 1) + (9,03\% \times 3) = 4,03$
3. **Solusi 3:**  $(17,55\% \times 3) + (17,55\% \times 3) + (17,55\% \times 5) + (6,18\% \times 5) + (9,53\% \times 3) + (11,87\% \times 1) + (10,70\% \times 3) + (9,03\% \times 3) = 3,24$

Solusi 1 unggul dalam aspek *Notification Capability*, *Computing Performance*, dan *Computing Method* karena pendekatannya yang sederhana dan mudah dipahami oleh pengguna. Peringatan yang diberikan bersifat universal dan dapat diterapkan untuk semua jenis pengendara berdasarkan standar ergonomi yang telah ditetapkan. Algoritma berbasis *counter* sederhana memungkinkan pemrosesan yang ringan dan metode komputasi yang *straightforward*. kemampuan modul radar dalam mendeteksi objek dengan presisi tinggi, meskipun dalam kondisi lingkungan yang berubah serta radar mempunyai kemampuan yang baik untuk mengukur jarak absolut dan kecepatan relatif objek, yang merupakan data krusial untuk menentukan bahaya. Selain itu, metode komputasi yang digunakan dalam solusi ini dinilai efisien dan mendukung proses deteksi secara *real-time* karena sifat datanya yang sederhana dan menghasilkan metode komputasi yang ringkas dengan kinerja komputasi yang rendah, sehingga sesuai dengan kebutuhan utama sistem untuk memberikan peringatan cepat kepada pengendara sepeda motor

Solusi 2 menunjukkan keunggulan pada aspek *Sensing Capability* karena kemampuannya dalam mengambil data dari lingkungan sekitar. Sensor inframerah mampu mendeteksi keberadaan objek berdasarkan pantulan cahaya IR, namun sangat bergantung pada kondisi lingkungan. Intensitas sinar matahari, permukaan objek yang gelap, atau jarak lebih dari 1 meter dapat mengurangi akurasi deteksi. Karena itu kemampuan sensornya sedang, tidak sebaik radar dalam mendeteksi jarak pasti. Selanjutnya pada *computing performance*, Pengolahan data IR sederhana (logika digital *on/off*), namun sistem perlu filtrasi sinyal karena *noise* tinggi akibat cahaya luar. Mikrokontroler tetap mampu memproses, tetapi konsumsi daya meningkat sedikit jika harus menstabilkan pembacaan dengan filter digital. Pada aspek *output mechanism/actuator*, Output IR berbentuk logika biner (terdeteksi/tidak), sehingga cocok untuk memberi sinyal LED sederhana. Namun keterlambatan dapat terjadi jika kondisi cahaya berubah cepat, membuat output perlu waktu stabilisasi. Terakhir pada Aspek metode komputasi karena hanya mendeteksi keberadaan objek tanpa perhitungan jarak atau kecepatan, IR tidak memiliki cukup data untuk metode komputasi kompleks. Sistemnya lebih bersifat reaktif, bukan prediktif. Oleh sebab itu, hubungan metode komputasi dengan solusi ini lemah

Solusi 3 memiliki keseimbangan pada *Sensing Capability* dengan integrasi *accelerometer* untuk mendeteksi intensitas kamera untuk deteksi *blind spot*. Meskipun menawarkan pendekatan yang paling komprehensif dengan mengintegrasikan data kemampuan *computer vision*, kompleksitas sistem yang tinggi ini berdampak pada beberapa aspek, terutama pada *Computing Performance* dan *Computing Method*. Sistem yang memerlukan kalibrasi multi-sensor dan algoritma *deep learning* untuk klasifikasi objek membutuhkan pemrosesan data yang sangat rumit dengan NPU dan *pipeline* komputasi teroptimasi. Kamera memiliki kemampuan mendeteksi objek dengan sangat detail, tetapi keandalannya tergantung pencahayaan dan cuaca. Di kondisi terang atau hujan, hasil citra bisa terganggu. Selain itu, sudut pandangnya lebar, namun membutuhkan algoritme tambahan untuk memastikan objek berada di area *blind spot*. Pada aspek kebutuhan *computing performance*, Pemrosesan citra memerlukan komputasi tinggi, seperti deteksi tepi (*edge detection*) atau segmentasi objek. Walaupun dapat

diimplementasikan dengan mikrokontroler kuat, hal ini meningkatkan konsumsi daya dan waktu pemrosesan, sehingga tidak cocok untuk sistem baterai kecil. Selanjutnya pada aspek *Output Mechanism / Actuator*, kamera menghasilkan data visual yang perlu diolah menjadi sinyal peringatan (LED, buzzer, atau tampilan visual). Proses konversi ini menambah *latency* dan kompleksitas. Jadi hubungan ke output mekanisme dianggap sedang. Terakhir pada metode komputasi, sistem kamera memerlukan metode komputasi berbasis visi komputer. Walaupun mampu menghasilkan informasi detail, tingkat kompleksitasnya tinggi, dan tidak semua metode efisien untuk perangkat *embedded* dengan daya terbatas.

Pada aspek Notification Capability, Solusi 1 memberikan peringatan bertingkat yang jelas dan intuitif berdasarkan interval waktu yang mudah dipahami dan dapat dirasakan langsung oleh pengendara. Solusi 2 dan Solusi 3 memberikan notifikasi yang lebih kontekstual namun memerlukan interpretasi data yang lebih kompleks dari Solusi 1

Untuk fitur Sensing Capability, Solusi 2 kurang optimal pada sistem pendeteksi objek untuk permasalahan *blindspot*, Solusi ini kurang optimal dibandingkan radar yang lebih dapat diandalkan untuk deteksi objek, jarak dan kecepatan dan stabil dalam berbagai kondisi lingkungan. Solusi 3 menawarkan sensing paling komprehensif dengan kamera, namun memerlukan sinkronisasi dan kalibrasi yang lebih rumit. Solusi 1 menggunakan pendekatan sensing yang lebih sederhana namun tetap efektif untuk tujuan *binary presence detection*.

Meskipun Solusi 2 dan Solusi 3 menawarkan kemampuan monitoring yang lebih canggih dan data yang lebih kaya, kompleksitas sistem tersebut membawa *trade-off* signifikan dalam hal kemudahan penggunaan dan implementasi komputasi. Dalam konteks target pengguna seperti driver ojek online, kurir, dan komunitas touring yang membutuhkan solusi praktis dan reliable, kesederhanaan Solusi 1 justru menjadi keunggulan utama.

Pendekatan *Kalman Filter* pada Solusi 1 telah terbukti efektif berdasarkan standar ergonomi internasional dan dapat memberikan peringatan yang konsisten untuk mencegah kelelahan berbahaya. Dengan skor tertinggi pada fitur dasar (4,79), Solusi 1 menunjukkan keseimbangan optimal antara efektivitas sensing, kemampuan notifikasi, performa komputasi, dan kesederhanaan metode yang

diterapkan.

### 1.2.3 Solusi Yang Dipilih

Berdasarkan hasil analisis menggunakan House of Quality dengan menganalisis seluruh hubungan usulan solusi terhadap fitur dan konstrain, diperoleh Solusi 1: Sistem Monitoring Blindspot Menggunakan modul Radar dengan Sistem Algoritma Filtering yang memperoleh nilai tertinggi dengan skor fitur dasar sebesar 4,79. Solusi ini menerapkan pendekatan algoritma filtering dengan sensor radar sebagai pendeteksi jarak dan kecepatan secara real-time melalui mikrokontroler.

Sistem deteksi blind spot menggunakan sensor radar yang memancarkan gelombang elektromagnetik ke lingkungan sekitar dan menerima sinyal pantulan dari objek yang terdeteksi. Sistem menerapkan pendekatan estimasi berbasis prediksi untuk menghasilkan estimasi posisi dan kecepatan objek yang stabil, serta mengklasifikasikan tingkat risiko ke dalam beberapa kategori seperti rendah, sedang, dan tinggi. Pendekatan berbasis radar ini efektif karena tidak bergantung pada pencitraan visual yang sensitif terhadap kondisi cahaya, sehingga mampu bekerja secara konsisten pada kondisi pencahayaan rendah maupun cuaca kurang mendukung.

Dengan kombinasi kesederhanaan sistem, konsumsi daya rendah, kemudahan implementasi, dan integrasi pemantauan kondisi pengendara dengan pemantauan lingkungan sekitar kendaraan, Solusi 1 mampu memberikan keseimbangan optimal antara efektivitas monitoring, efisiensi biaya, praktikalitas penggunaan, serta keandalan dalam berbagai kondisi operasional. Hal ini menjadikannya solusi paling tepat untuk meningkatkan kesadaran dan keselamatan pengendara sepeda motor, khususnya driver ojek online, kurir logistik, dan komunitas touring yang membutuhkan solusi praktis dan *reliable* dalam perjalanan jarak jauh maupun aktivitas harian.