

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Secara geografis, Kota Padang memiliki karakteristik topografi yang beragam, terdiri dari wilayah dataran rendah yang menjadi pusat aktivitas perkotaan hingga kawasan perbukitan di pinggiran kota. Kondisi alam ini memengaruhi pola pembangunan infrastruktur jalan, di mana pusat kota didominasi oleh jalan-jalan yang lebar dan persimpangan padat, sementara kawasan permukiman yang mengikuti kontur alamnya sering kali membentuk jalan atau gang yang sempit dan berliku. Pertumbuhan permukiman yang pesat di kedua area ini menghadirkan tantangan lalu lintas, baik terkait kedisiplinan di jalan perkotaan maupun keterbatasan di jalan permukiman. [1]

Permasalahan pertama ditemukan di perkotaan, khususnya pada area persimpangan yang diatur oleh lampu lalu lintas. Meskipun rambu dan aturan telah ditetapkan aparat dan pemerintah demi keselamatan, fenomena pelanggaran lalu lintas masih sangat marak terjadi di Kota Padang. Pelanggaran yang paling sering ditemui adalah perilaku pengendara terutama pengguna sepeda motor yang dengan sengaja melewati garis pembatas (*stop line*) saat menunggu lampu merah. Perilaku ini umumnya didasari oleh ketidaksabaran dan rasa egois pengendara untuk mendapatkan posisi terdepan agar dapat melaju lebih dulu saat lampu berganti hijau. [2]

Tindakan melewati garis pembatas (*stop line*) ini bukan sekadar masalah etika berkendara, melainkan menjadi ancaman keselamatan bagi pengendara lain. Posisi kendaraan yang terlalu maju dapat memasuki area konflik di tengah persimpangan, meningkatkan resiko tabrakan dengan kendaraan dari arah yang berlawanan. Selain membahayakan diri sendiri, pelanggaran ini juga mengganggu pejalan kaki karena menghalangi area *zebra cross*, memaksa pejalan kaki untuk menyeberang di luar jalur aman yang berisiko.

Dari sisi infrastruktur, kondisi garis jalan yang mulai pudar atau tidak terlihat jelas dapat turut menyumbang pada ketidaksengajaan pelanggaran. Namun, pengamatan di lapangan seringkali menunjukkan bahwa pelanggaran tetap terjadi bahkan di lokasi dengan garis yang jelas. [3]

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di beberapa titik persimpangan, masih terdapat beberapa pengendara yang melakukan pelanggaran di lampu merah



Gambar 1.1 Simpang Lampu Merah

Dapat dilihat pada gambar diatas, sejumlah pengendara motor yang melewati garis pembatas dan tiang lampu merah. Meskipun hari sudah gelap, pengendara masih melanggar aturan/ketentuan yang ada, hal ini mencerminkan rendahnya kepatuhan pengendara karena kurangnya sistem pengawasan yang tegas, sehingga hal ini bisa menjadi kebiasaan dan meningkatkan risiko kecelakaan.

Solusi yang umum seperti rambu atau cermin tikungan sering kali tidak efektif atau diabaikan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan terintegrasi untuk membangun sistem keamanan berbasis teknologi yang mampu mendeteksi pelanggaran di lampu merah secara *real-time* demi terciptanya keamanan dan kenyamanan berlalu lintas di Kota Padang. Dengan adanya jawaban untuk masalah ini, diharapkan akan lebih meningkatkan keamanan dan kenyamanan dalam berlalu lintas serta penggunaan waktu untuk kendaraan lewat selama lampu hijau akan lebih efisien karna orang terdepan akan otomatis maju saat lampu hijau menyala

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Untuk memperkuat analisis mengenai pentingnya sistem keselamatan ini, dilakukan observasi pada kedua lokasi dengan karakteristik masing-masing, mencakup infrastruktur, kendala teknis, hingga persepsi masyarakat pengguna jalan.

1.1.1.1 Kondisi pada Persimpangan Lampu Merah

Observasi pertama dilakukan pada persimpangan jalan raya, terutama di kawasan Simpang Bypass Unand. Lokasi ini diidentifikasi memiliki kondisi infrastruktur yang cukup lebar namun rawan pelanggaran. Persimpangan ini memiliki lebar total sekitar 14 meter. Lebar ini terdiri dari dua jalur jalan, dimana setiap jalannya memiliki lebar sekitar 3,5 meter ditambah dengan bahu jalan di kedua sisinya. [5]

Meskipun ruang jalan memadai, pelanggaran pada batas henti (*stop line*) sering terjadi karena keinginan pengemudi untuk mendahului saat lampu hijau menyala. Sistem pemantauan yang dirancang harus mampu mencakup seluruh area tersebut secara efektif, akan tetapi tantangannya terletak pada ketersediaan energi, sistem ini memerlukan daya kelistrikan yang stabil dan kontinu dari infrastruktur lampu merah. Untuk menghidupkan perangkat tersebut, diperlukan daya minimal sebesar 11 Watt, berdasarkan tantangan seperti keterbatasan atau bahkan ketiadaan sumber daya listrik (colokan) yang mudah diakses di persimpangan, sehingga pengadaan catu daya (*power supply*) menjadi kebutuhan yang harus dipenuhi agar sistem dapat bekerja secara optimal. [6]

Tabel 1.1 Solusi yang sudah ada

Solusi	Kelebihan	Kekurangan
Kamera ETL (Electronic Traffic Law Enforcement) [10]	1. Dapat mendeteksi pelanggaran lalu lintas seperti tidak memakai helm dan lainnya. 2. dapat melakukan tilang otomatis	Tidak adanya peringatan kepada para pengemudi di lampu merah agar tidak melewati pembatas yang telah ditetapkan agar tetap dalam zona

	terhadap Kendaraan yang melakukan pelanggaran. 3. Terhubung dengan pihak-pihak terkait untuk langkah tingkat lanjut. [10]	aman sehingga lebih minim kecelakaan. [10]
Lampu Merah Adaptif (<i>Adaptive Traffic Signal Control</i>) [11]	1. Mengurangi waktu tunggu yang tidak perlu dengan menyesuaikan durasi lampu hijau berdasarkan volume kendaraan secara <i>real-time</i>. 2. Dengan aliran lalu lintas yang lebih lancar, kemacetan berkurang, yang juga berujung pada penurunan emisi gas buang dari kendaraan. 3. Dengan mengurangi frustrasi akibat menunggu terlalu lama di lampu merah, sistem ini dapat menekan perilaku mengemudi yang tidak sabar dan berisiko. [11]	Sistem memerlukan sistem yang terkalibrasi dengan status hampir sempurna agar tidak ada kesalahan saat pengolahan data [11]

<i>Countdown Timer</i> (Penghitung Waktu Mundur) [12]	1. Memberikan informasi yang jelas mengenai sisa waktu 2. Dapat mengurangi kecenderungan pengemudi untuk berakselerasi secara mendadak saat lampu kuning atau mengerem keras. 3. Dibandingkan dengan kamera tilang, biaya pemasangan <i>countdown timer</i> jauh lebih terjangkau. [12]	Sebagian pengemudi mungkin justru mempercepat laju kendaraan saat melihat sisa waktu lampu hijau tinggal sedikit, atau lebih dikenal sebagai "dilema zona kuning". [12]
--	---	---

Pada umumnya, beberapa solusi yang sudah ada, telah diterapkan di berbagai titik di Kota Padang, namun efektivitasnya dalam mencegah risiko kecelakaan secara langsung masih terbatas. Kamera ETLE, meskipun canggih, lebih berfokus pada penindakan hukum pasca kejadian dan tidak memberikan peringatan langsung kepada pengemudi. Sementara itu, penggunaan *countdown timer* terkadang justru memicu kendaraan untuk memacu kendaraan saat waktu tinggal sedikit, menciptakan risiko baru di persimpangan. Di sisi lain, pada infrastruktur jalan sempit, cermin tikungan hanya membantu visibilitas jarak pendek dan menjadi tidak berguna pada jalan berliku panjang atau saat kondisi malam hari tanpa penerangan cukup. Rambu lalu statis maupun sistem peringatan manual juga sering kali diabaikan karena tidak adanya respons aktif terhadap kondisi *real-time* di lapangan.

Dengan demikian, solusi yang ada saat ini masih cenderung bersifat *pasif* dan manual, sehingga tidak mampu memberikan upaya keselamatan secara instan saat bahaya terdeteksi. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem yang cerdas dan

adaptif, yaitu sistem yang mampu mendeteksi pelanggaran di lampu merah serta keberadaan kendaraan di jalan sempit secara otomatis, kemudian memberikan peringatan dini berupa sinyal *visual* atau *audio* secara langsung, bekerja secara *real-time* untuk mengatur prioritas jalan dan mencegah pelanggaran, serta tetap mampu beroperasi di berbagai kondisi lingkungan, baik saat cuaca buruk, maupun pencahayaan minim pada malam hari.

1.1.2 Analisis Masalah

Permasalahan kurangnya fasilitas keselamatan dan pengamanan otomatis, baik pada persimpangan lampu merah maupun jalan sempit berliku, tidak hanya berdampak pada kelancaran arus kendaraan saja. Masalah ini menimbulkan akibat lain yang saling berkaitan pada aspek keselamatan, hukum, sosial, ekonomi, dan lingkungan. Analisis dampak dipisahkan berdasarkan karakteristik lokasi kejadian, yaitu pada persimpangan jalan raya dan jalan sempit di kawasan pemukiman.

1.1.2.1 Analisis masalah pada Persimpangan Lampu Merah

1. Aspek Keselamatan: Pelanggaran lampu merah merupakan salah satu tindakan paling berbahaya di jalan raya karena secara langsung menciptakan potensi konflik fatal antar kendaraan. Saat seorang pengemudi menerobos lampu merah, ia memasuki persimpangan tepat pada saat arus lalu lintas dari arah lain sedang melaju dengan anggapan bahwa jalur mereka aman. Hal ini sering kali berujung pada tabrakan samping (*T-bone collision*), yang merupakan salah satu jenis tabrakan paling mematikan. [16]
2. Aspek Hukum : Permasalahan ini merupakan bentuk pelanggaran terhadap UU Nomor 22 Tahun 2009 yang mengatur tata tertib berlalu lintas. Pelanggaran lalu lintas jalan adalah perbuatan atau tindakan yang bertentangan dengan ketentuan-ketentuan peraturan perundang-undangan lalu lintas. Pelanggaran yang dimaksud adalah pelanggaran yang sebagaimana diatur dalam Pasal 105 Undang-undang Nomor 22 Tahun 2009 yang berbunyi:
 - a. Berperilaku tertib dan/atau

- b. Mencegah hal-hal yang dapat merintang, membahayakan keamanan dan keselamatan lalu lintas dan angkutan jalan atau yang dapat menimbulkan kerusakan jalan. [17]

3. Aspek Sosial : Masalah ini juga menyebabkan terganggunya kenyamanan orang lain dan disisi lain para pejalan kaki juga tidak dapat menggunakan zebracross dengan semestinya. Akibatnya, hak pejalan kaki untuk menyeberang di area yang aman menjadi terabaikan. Pengguna jalan terpaksa harus berjalan di luar jalur *zebra cross*, menyelina di antara kendaraan, yang secara signifikan meningkatkan risiko tertabrak. Dengan demikian, pelanggaran garis henti bukanlah isu sepele, melainkan masalah serius yang berakar pada perilaku para pengendara, kesadaran hukum, dan efektivitas penegakan aturan di lapangan. [18]

1.1.3 Kebutuhan yang harus dipenuhi

Berdasarkan analisis masalah, solusi yang dirancang harus mampu menerapkan dua fungsi utama, yaitu sebagai sistem pengaman di persimpangan lampu merah dan pengatur lalu lintas di jalan sempit. Agar sistem dapat beroperasi secara efektif, stabil, dan berkelanjutan di kedua lokasi tersebut, terdapat sejumlah kebutuhan teknis spesifik yang harus dipenuhi.

1.1.3.1 Kebutuhan pada Persimpangan Lampu Merah

Pada sistem pengamanan persimpangan lampu merah, berikut kebutuhan yang harus dipenuhi oleh sistem :

1. Solusi yang dimiliki harus mampu mendeteksi Kendaraan yang melewati garis pembatas secara realtime
2. Solusi harus mampu mendeteksi sejauh 3,5 Meter agar dapat mencakup satu jalur dikarenakan persimpangan tersebut menggunakan mekanisme 2Line2Ways (2L/2W)
3. Solusi harus memiliki daya minimal 11 Watt agar dapat menghidupkan sistem secara optimal tanpa terkendala walaupun sudah memasuki daya puncak
4. Solusi harus tahan dalam segala cuaca agar tidak memakan biaya *maintenance* untuk penggunaan secara kontinu

5. Solusi harus dapat memberikan peringatan audio yang jelas

1.1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengembangkan sebuah sistem pengamanan serta keselamatan terintegrasi yang mampu bekerja secara otomatis dan *real-time* untuk mengatasi risiko di persimpangan lampu merah. Sistem ini dirancang untuk dapat mendeteksi dan memberikan peringatan dini kepada Kendaraan yang melewati garis pembatas jalan (*stop line*) saat menunggu lampu merah.

1.2 Solusi

Solusi yang akan dikembangkan juga harus mempertimbangkan beberapa batasan dari sisi biaya, teknologi, dan kondisi lapangan, sehingga dapat diterapkan secara efektif di lingkungan masyarakat.

1.2.1 Karakteristik Solusi

Karakteristik produk yang akan dikembangkan harus mencerminkan kebutuhan utama baik pada persimpangan lampu merah maupun jalan atau gang sempit satu arah. Berikut beberapa karakteristik dari produk yang diharapkan antara lain :

1.2.1.1 Fitur Dasar

1. *Sensing Capability*

Sistem memiliki kemampuan untuk mendeteksi kendaraan yang melewati garis pembatas secara *real-time* dengan menggunakan kamera atau komponen *input* untuk memastikan kendaraan berada di belakang garis pembatas, serta mampu mendeteksi objek atau kondisi di sekitar lingkungan jalan. Fitur ini mencakup kemampuan memahami situasi aktual di kedua arah jalan, baik dalam kondisi siang maupun malam, serta pada berbagai situasi cuaca.

2. *Computation Method*

Sistem memiliki mekanisme komputasi yang mampu mengolah data dari perangkat *input* menjadi keputusan yang logis secara *realtime*. Pemrosesan ini dilakukan secara sistematis untuk menentukan kondisi lalu lintas, status prioritas kendaraan, serta memberikan instruksi yang relevan kepada

pengendara. Algoritma yang digunakan harus efisien, adaptif terhadap perubahan kondisi, dan mendukung pemrosesan waktu nyata (real-time).

3. *Notification Capability*

Sistem memiliki kemampuan untuk memberikan output berupa notifikasi atau alarm peringatan yang sesuai dengan keputusan yang diperoleh melalui metode komputasi, serta mampu menyampaikan peringatan atau informasi tersebut kepada pengguna jalan secara jelas dan tepat waktu. Peringatan ini dapat berupa sinyal visual, audio, atau kombinasi keduanya agar mudah dipahami dalam berbagai kondisi, dengan tujuan untuk mencegah potensi tabrakan dan membantu pengguna mengambil keputusan dengan cepat.

4. *Computing Performance*

Sistem memiliki kemampuan komputasi yang sesuai dengan beban pemrosesan data yang diperlukan. Yang bergantung pada spesifikasi perangkat keras seperti prosesor, memori, dan efisiensi energi yang digunakan. Memastikan sistem tetap mampu beroperasi dalam waktu nyata tanpa keterlambatan, sekaligus mendukung skalabilitas dan peningkatan performa seiring perkembangan teknologi.

1.2.1.2 Fitur Tambahan

1. Integrasi dengan IoT

Sistem bisa memantau data kondisi jalan dari jarak jauh untuk evaluasi dan pengawasan lalu lintas.

2. Hemat Daya

Solusi yang ditawarkan harus dapat memaksimalkan penggunaan energi sekecil mungkin untuk menghemat penggunaan energi ditempat yang minim listrik berupa single power generated yang dapat menjalankan semua komponen alat yang akan digunakan

3. Kokoh

Sistem harus kokoh, sehingga mampu beroperasi dengan kondisi lingkungan yang ekstrem seperti hujan, kabut, panas, atau debu. Serta ketahanan fisik terhadap getaran, kelembapan, dan perubahan suhu.

4. *Low Cost*

Solusi yang ditawarkan dirancang dengan mempertimbangkan biaya produksi yang rendah dengan menggunakan komponen-komponen yang ekonomis tapi tetap berkualitas. Biaya yang dikeluarkan untuk membeli komponen harus lebih kecil dari Rp 5.000.000. biaya maintenance yang harus dikeluarkan juga harus kecil mengingat tempat yang minim listrik

5. Waktu Pengembangan Singkat

Solusi yang ditawarkan harus dapat diselesaikan dalam waktu kurang dari 6 bulan.

6. Sesuai Standarisasi dan Regulasi yang Berlaku

Sistem yang dikembangkan harus memenuhi regulasi dan standar teknis yang berlaku. Memastikan sistem aman digunakan di ruang publik, tidak menimbulkan gangguan terhadap pengguna jalan lain, serta melindungi data dan privasi masyarakat. Secara spesifik, regulasi dan standar yang relevan dijelaskan pada Tabel 1.3 berikut.

Tabel 1.2 Standar dan Regulasi Terkait

Standar/Regulasi	Sumber
Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas adalah perangkat elektronik yang menggunakan isyarat lampu yang dapat dilengkapi dengan isyarat bunyi untuk mengatur Lalu Lintas orang dan/atau Kendaraan di persimpangan atau pada ruas Jalan.	UU No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan. [23]
Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas yang bersifat perintah atau larangan harus diutamakan daripada Rambu Lalu Lintas dan/atau Marka Jalan	UU No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan. [23]
Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) berfungsi memberikan	Peraturan Menteri No. 49 Tahun 2014 tentang Alat Pemberi Isyarat Lalu

pengaturan, peringatan, dan petunjuk kepada pengguna jalan dalam melaksanakan kegiatan lalu lintas.	Lintas. [24]
Alat Pengendali dan Pengaman Pengguna Jalan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 digunakan untuk mendukung kegiatan pengendalian lalu lintas serta meningkatkan keselamatan dan ketertiban pengguna jalan.	Peraturan Menteri No. 14 Tahun 2021 tentang Alat Pengendali dan Pengaman Pengguna Jalan. [25]
Berdasarkan undang-undang perlindungan data pribadi : 1. Diperbolehkan mengambil data yang bukan data biometrik di ruang publik 2. Data biometrik yang didapatkan tidak boleh disimpan	UU No. 27 Tahun 2022 tentang Pelindungan Data Pribadi. [26]
Pengendali Data Pribadi wajib melindungi dan memastikan keamanan Data Pribadi yang diprosesnya	UU No. 27 Tahun 2022 tentang Pelindungan Data Pribadi. [26]

1.2.2 Usulan Solusi

1.2.2.1 Solusi Permasalahan di Lampu Merah

1. Solusi 1 : Sistem Deteksi Menggunakan Kamera dengan menggunakan Algoritma YOLO

You Only Look Once (YOLO) adalah salah satu metode yang digunakan untuk deteksi objek. Berbeda dari metode deteksi objek lain seperti sliding window dan region proposal-based, YOLO mengubah deteksi objek menjadi masalah regresi tunggal. Secara umum, YOLO membagi gambar input menjadi grid dengan ukuran $S \times S$. Setiap cell pada grid tersebut menghasilkan satu set prediksi yang terdiri dari dua komponen utama: koordinat bounding box dan skor kelas. Setelah itu,

dilakukan proses non-maximum suppression untuk menghilangkan prediksi yang memiliki skor keyakinan (*confidence score*) rendah di sekitar prediksi dengan skor keyakinan tinggi. Metode ini sering dipakai karena memiliki keunggulan kecepatan deteksi yang lebih cepat dibanding metode lain yang seperti Faster RCNN dan SSD

Mekanisme kerja YOLO dapat diuraikan sebagai berikut. Pertama, gambar input dibagi menjadi sebuah grid imajiner berukuran . Setiap sel di dalam grid ini bertanggung jawab untuk mendeteksi objek yang titik pusatnya jatuh di dalam sel tersebut. Untuk setiap sel grid, jaringan akan memprediksi beberapa komponen utama: sejumlah *bounding box* beserta empat nilai koordinatnya, yang masing-masing merepresentasikan posisi pusat, lebar, dan tinggi kotak; sebuah skor keyakinan (*confidence score*) untuk setiap kotak, yang mengindikasikan seberapa yakin model bahwa kotak tersebut benar-benar berisi sebuah objek dan seberapa akurat prediksi lokasinya; dan probabilitas kelas kondisional untuk setiap kelas objek yang telah dilatih. Setelah semua prediksi dihasilkan, sebuah langkah pasca-pemrosesan yang disebut *Non-Maximum Suppression* (NMS) diterapkan. NMS berfungsi untuk menyaring dan menghilangkan prediksi kotak yang tumpang tindih untuk objek yang sama dengan cara mempertahankan kotak yang memiliki skor keyakinan tertinggi dan menekan yang lainnya, sehingga menghasilkan deteksi akhir yang bersih dan akurat.

Sistem ini nantinya akan mendeteksi pelanggaran yang dilakukan di lampu merah yang beresiko besar terjadi tabrakan, implementasi ini dilakukan dengan membunyikan alarm/suara peringatan yang nantinya akan aktif secara otomatis ketika ada Kendaraan yang melakukan pelanggaran

Komponen yang dibutuhkan :

1. Kamera : kamera digital dengan kemampuan resolusi gambar cukup tinggi untuk pendeteksian yang akurat
2. Prosesor : perangkat yang memiliki kemampuan untuk menjalankan algoritma YOLO secara efisien.
3. Algoritma YOLO : untuk deteksi objek secara *real-time* dan identifikasi jenis jenis kendaraan dan garis jalan

4. Alarm/suara peringatan untuk memberikan peringatan extra kepada para pengendara yang nekat untuk melanggar

Solusi pertama ini menggunakan metode Computer Vision dengan algoritma YOLO untuk mendeteksi dan mengidentifikasi kendaraan dan berdasarkan gambar yang diambil oleh kamera. Setelah mengenali bentuk bentuk kendaraan dan garis, sistem akan mendeteksi kendaraan yang melakukan pelanggaran atau lebih spesifiknya melewati garis pembatas di lampu merah [27]

Solusi ini merupakan sebuah sistem pengawasan lalu lintas yang terintegrasi, yang akan ditempatkan pada titik-titik krusial di dekat persimpangan jalan. Sistem ini bekerja menggunakan sensor visual atau kamera beresolusi tinggi yang secara konstan memonitor sinyal lampu lalu lintas. Kamera dibagi menjadi 2 objek pembacaan yaitu kamera ke arah lampu dan juga kamera ke area jalan yang terdeteksi melakukan pelanggaran. Untuk angle dari kamera sendiri, kamera pertama akan diarahkan ke arah lampu dan kamera kedua akan membaca ke arah kendaraan yang melakukan pelanggaran. Ketika kamera mendeteksi perubahan sinyal ke warna merah, sistem secara otomatis akan mengaktifkan mode pengawasan pada area garis henti (stop line). Jika ada objek kendaraan yang terdeteksi melintasi garis batas virtual tersebut selama lampu merah masih aktif, unit pemrosesan akan secara instan memicu aktuator suara, seperti alarm atau pengeras suara, untuk membunyikan alarm peringatan yang tegas dan jelas. Tujuan utamanya adalah untuk menambah kewaspadaan pengendara yang melanggar peraturan lalu lintas dan membahayakan keselamatan pengendara beserta pengendara lain yang ada disekitarnya. Ketika alat dipindahkan pun, Hanya perlu sedikit penyesuaian seperti letak alat, dan arah kamera

2. Solusi 2 : Sistem Deteksi Berbasis Jarak Menggunakan Sensor Ultrasonik dan Kamera dengan Open CV

Pada Solusi Kedua Ini akan menggunakan sensor untuk pendeteksi kendaraan dengan memakai sensor ultrasonic dan juga digunakan kamera yang dilengkapi dengan algoritma OpenCV yang nantinya akan digunakan untuk mendeteksi warna lampu pada saat itu

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) sebenarnya bukanlah sebuah algoritma tunggal, melainkan sebuah pustaka (library) perangkat lunak yang berisi kumpulan besar algoritma dan fungsi yang dirancang untuk menyelesaikan berbagai masalah dalam bidang *computer vision* (visi komputer) secara *real-time*. Secara sederhana, OpenCV adalah kotak peralatan bagi para developer untuk membuat aplikasi yang bisa "melihat" dan memahami dunia visual seperti manusia. [28]

Sensor ultrasonik beroperasi berdasarkan prinsip ekolokasi, sebuah metode yang juga digunakan oleh hewan seperti kelelawar dan lumba-lumba untuk navigasi. Sensor ini terdiri dari dua komponen utama: sebuah pemancar (*transmitter*) yang memancarkan serangkaian gelombang suara berfrekuensi tinggi dan sebuah penerima (*receiver*) yang mendeteksi gema yang dipantulkan kembali oleh objek di sekitarnya. Mekanisme ini memungkinkan pengukuran jarak ke objek secara non-kontak dan dengan akurasi yang relatif baik.

Proses pengukuran jarak dimulai ketika sebuah sinyal pemicu (*trigger pulse*) singkat dikirim ke sensor. Sebagai respons, pemancar mengeluarkan semburan gelombang ultrasonik. Sebuah timer internal kemudian diaktifkan untuk mengukur durasi waktu hingga penerima mendeteksi kembalinya gelombang pantulan (gema). Durasi waktu ini, yang dikenal sebagai *time-of-flight* (ToF).

Sensor ultrasonik memiliki karakteristik operasional yang unik. Salah satu keunggulan utamanya adalah ketahanannya terhadap kondisi lingkungan yang dapat mengganggu sensor optik; kinerjanya tidak terpengaruh oleh warna, transparansi, atau tingkat kecerahan objek, serta dapat berfungsi dengan andal di lingkungan yang gelap, berasap, atau berkabut. Namun, sensor ini juga memiliki keterbatasan. Akurasinya dapat menurun secara signifikan ketika berhadapan dengan permukaan yang sangat lembut atau bertekstur seperti kain atau busa, karena permukaan tersebut cenderung menyerap energi suara alih-alih memantulkannya. Selain itu, permukaan yang memiliki sudut tajam relatif terhadap sensor dapat menyebabkan fenomena yang disebut *specular reflection*, di mana gelombang suara dipantulkan menjauh dari penerima, sehingga objek tidak

terdeteksi. Sensor ini juga memiliki kecepatan respons yang secara inheren lebih lambat dibandingkan dengan sensor berbasis cahaya seperti inframerah. [29]

Komponen yang dibutuhkan antara lain :

1. Prosesor : perangkat yang memiliki kemampuan untuk memproses data yang akan dikirimkan dari sensor
2. Alarm/suara peringatan untuk memberikan peringatan extra kepada pengendara yang nekat untuk melanggar
3. Sensor Ultrasonik : untuk mendeteksi apakah ada kendaraan yang berada di hadapan sensor/tidak
4. Kamera : untuk mendeteksi keadaan (kondisi lampu apakah merah/tidak)

Kamera ini nantinya ditujukan untuk mendeteksi keadaan apakah kondisi saat itu Adalah Ketika lampu merah hidup/tidak. Hal ini ditujukan agar kondisi lebih pasti dan tidak terjadi *miss trigger* pada alarm. Nantinya system akan mendeteksi terlebih dahulu keadaan pada saat itu kemudian jika keadaan lampu merah, sistem akan hidup secara otomatis untuk melakukan operasi

Sistem ini nantinya akan diletakkan setelah garis pembatas agar dapat menentukan apakah ada kendaraan yang sejajar/lewat dari sistem atau tidak. Jika ada objek yang melewati sistem maka alarm akan di *trigger* secara otomatis

Cara kerjanya yaitu pada tahap awal kamera yang diletakkan akan mendeteksi warna lampu yang berada pada lampu merah, jika warna yang terdeteksi adalah merah, maka sistem akan secara otomatis hidup dan akan mendeteksi para pengendara yang berusaha untuk melanggar peraturan lalu lintas, sensor yang berada pada sistem ini nantinya akan memberikan nilai berupa 0 atau 1 yang akan diproses pada prosesor untuk membunyikan alarm/peringatan jika nilai sensor yang terdeteksi adalah 1, sebaliknya jika nilai yang dikirim adalah 0 maka sistem tidak akan membunyikan alarm karena tidak ada kendaraan yang terdeteksi melakukan pelanggaran

3. Solusi 3 : Sistem deteksi dengan menggunakan Sensor tekanan dan Kamera menggunakan algoritma Open CV

Pada Solusi terakhir secara sistematis mirip dengan Solusi ke 2, namun pada Solusi ketiga ini menggunakan sensor yang berbeda untuk menentukan objek yang akan di

akan di deteksi yaitu dengan menggunakan sensor tekanan yang akan dibuat sepanjang jalan, Dimana nantinya data yang dideteksi/didapat oleh sensor ini akan dikirimkan ke prosesor yang dapat memproses data untuk melakukan Tindakan selanjutnya yang akan dilakukan system berupa alarm atau peringatan lainnya.

Proses OpenCV dimulai dengan akuisisi gambar dari kamera menggunakan fungsi `cv2.VideoCapture`, yang kemudian langsung memasuki tahap pra-pemrosesan untuk memastikan kualitas data. Gambar mentah pertama-tama dikonversi menjadi format *grayscale* melalui `cv2.cvtColor` untuk menyederhanakan analisis dan mempercepat komputasi. Selanjutnya, untuk menghilangkan gangguan visual atau *noise* yang dapat mengganggu deteksi, filter Gaussian Blur (`cv2.GaussianBlur`) diterapkan untuk menghaluskan gambar. Setelah gambar bersih dan siap dianalisis, sistem memanfaatkan modul *Deep Neural Network* (`cv2.dnn`) pada OpenCV untuk memuat model deteksi objek canggih seperti YOLO. Model ini secara efisien memindai gambar untuk melokalisasi kendaraan dan menghasilkan koordinat kotak pembatas (*bounding box*) yang presisi di sekelilingnya, sekaligus memberikan label kelas "mobil" dengan tingkat kepercayaan tertentu. [28]

Sensor tekanan adalah sebuah perangkat transduser yang berfungsi untuk mengukur besaran tekanan dari suatu fluida (gas atau cairan) dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan diinterpretasikan. Prinsip kerjanya bervariasi, namun yang paling umum adalah piezoresistif, di mana perubahan tekanan menyebabkan deformasi pada diafragma internal sensor, yang kemudian mengubah nilai resistansi listriknya. Perubahan resistansi ini sebanding dengan tekanan yang diberikan, sehingga menghasilkan output tegangan atau arus yang terukur. Sensor ini dapat mengukur berbagai jenis tekanan, termasuk tekanan absolut (terhadap vakum), tekanan gauge (terhadap tekanan atmosfer), dan tekanan diferensial (perbedaan antara dua titik). Karena kemampuannya yang presisi dan andal, sensor tekanan sangat vital dalam berbagai aplikasi, mulai dari sistem pengereman otomotif dan pemantauan tekanan darah di bidang medis, hingga kontrol proses di industri manufaktur dan pemantauan cuaca.

Dalam sistem deteksi hibrida ini, sensor tekanan berfungsi sebagai pemicu (trigger) utama yang andal dan efisien, memberikan konfirmasi fisik adanya suatu objek

sebelum sistem visi komputer yang lebih kompleks diaktifkan. Bayangkan sebuah aplikasi sistem parkir pintar: sebuah sensor tekanan (seperti *load cell* atau alas piezoresistif) ditanam di permukaan setiap slot parkir. Saat slot kosong, sensor akan melaporkan nilai tekanan yang mendekati nol. Namun, ketika sebuah mobil masuk dan berhenti di atasnya, berat kendaraan akan memberikan gaya yang signifikan pada sensor.

Perubahan tekanan yang drastis ini akan melewati ambang batas (threshold) yang telah ditentukan, dan seketika mengirimkan sinyal "event" ke unit pemroses utama. Sinyal inilah yang mengaktifkan kamera yang terhubung dengan OpenCV. Alih-alih kamera harus terus-menerus menganalisis gambar untuk mencari mobil (sebuah proses yang memakan banyak daya komputasi), sistem ini bekerja lebih cerdas. Kamera baru aktif setelah sensor tekanan mengonfirmasi secara fisik bahwa ada beban berat di slot tersebut. [30]

Komponen yang dibutuhkan :

1. Prosesor : perangkat yang memiliki kemampuan untuk memproses data yang akan dikirimkan dari sensor
2. Alarm/suara peringatan untuk memberikan peringatan extra kepada pengendara yang nekat untuk melanggar
3. Sensor Tekanan : untuk mendeteksi apakah ada kendaraan memijak sensor atau tidak
4. Kamera : untuk mendeteksi keadaan (kondisi lampu apakah merah/tidak)

Kamera ini nantinya akan dilengkapi dengan algoritma SSD (Single Shot Detector) untuk mendeteksi keadaan lampu di jalanan pada saat itu, Untuk Solusi ketiga ini digunakan metode komputasi Computer Vision dan algoritma SSD untuk mendeteksi dan mengidentifikasi lampu merah dan sensor yang digunakan untuk mendeteksi pengendara yang melewati batas tunggu lampu merah [28]

Solusi ini nantinya akan diletakkan disepanjang jalan sesuai dengan lebar jalan, cara kerjanya mirip dengan solusi kedua yang dimana pada tahap awal kamera yang dipasangkan akan mendeteksi keadaan lampu yang ada dipersimpangan tersebut, kemudian kamera yang sudah menggunakan algoritma Open CV tersebut akan memproses warna lampu pada keadaan saat itu, jika lampu menunjukkan warna

merah, sistem akan hidup secara otomatis dan sensor tekanan akan mendeteksi kendaraan jika menginjak sensor yang diletakkan, jika nilai sensor 1 makan alarm/suara peringatan akan dibunyikan secara otomatis

Ketika keadaan lampu sudah menunjukkan warna oren/hijau maka sistem akan otomatis mati dan sistem akan terus mengulangi cara kerja yang serupa ketika kamera mendeteksi warna lampu yang berada di persimpangan tersebut

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

Berdasarkan usulan solusi yang sudah ditawarkan untuk masing-masing permasalahan, penulis perlu melakukan analisis agar solusi yang akan dipilih dapat membantu dalam proses masing-masing masalah. Analisis dapat dilakukan dengan menggunakan metode *House Of Quality* untuk membandingkan setiap solusi yang ditawarkan berdasarkan dua parameter, yaitu fitur dasar dan fitur tambahan,

1.2.3.1 Analisis usulan solusi Permasalahan di lampu merah

Berikut merupakan hasil analisis berdasarkan Tabel HOQ :

Tabel 1.3 House Of Quality 1

Fitur Dasar Fitur Tambahan Priority			▲	▲	▲	▼			
			Sensing Capability	Accurate data processing	Computation Capability	Output Capability	Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3
Low Cost	5	17,86%	○		●	○	●	●	△
Low Energy	5	17,86%	○	●	●	○	●	○	△
Safety	4	14,29%				●	●	○	●
Completed In Less Than 6 Month	5	17,86%	○	○	○	△	○	○	○
IOT Integration	4	14,29%	●	○	●	○	○	○	○
Standard	5	17,86%	●	△	●	○	○	○	○
Jumlah	28	100%							
Importance Rating			90	57	110	82	339	112	94
Percentage Rating			25,55%	16,81%	32,45%	24,19%	100%	40,29%	33,81%
Solusi 1 (Kamera+YOLO)			●	○	●	○	4,13	3,999	3,357
Solusi 2 (Ultrasonik+kamera)			●	○	○	○	3,481		
Solusi 3 (Tekanan+Kamera)			○	●	○	○	3,306		

Tabel 1.4 Keterangan Simbol *House Of Quality* 1

Simbol	Nilai	Hubungan
	5	Berhubungan erat
	3	Berhubungan normal
	1	Berhubungan jauh
Kosong	0	Tidak berhubungan

Berikut merupakan perhitungan menggunakan *House Of Quality* dari ketiga solusi yang ditawarkan terhadap fitur dasar, yaitu :

1. Solusi 1

$$= (5 \times 25.55\%) + (3 \times 16.81\%) + (5 \times 32.45\%) + (3 \times 24.19\%)$$

$$= 4,13$$

2. Solusi 2

$$= (5 \times 25.55\%) + (3 \times 16.81\%) + (3 \times 32.45\%) + (3 \times 24.19\%)$$

$$= 3,481$$

3. Solusi 3

$$= (3 \times 25.55\%) + (5 \times 16.81\%) + (3 \times 32.45\%) + (3 \times 24.19\%)$$

$$= 3,306$$

Ketiga Solusi yang ditawarkan memenuhi setiap fitur dasar yang diinginkan, karna solusi yang dirancang harus dapat mendeteksi Kendaraan yang melewati garis batas pada lampu merah serta memberikan peringatan kepada pengendara terhadap pelanggaran yang dilakukan

Untuk ketiga solusi yang ditawarkan pada dasarnya memiliki fungsi yang sama, yaitu sama-sama menggunakan Machine Learning. Hanya saja yang membedakannya yaitu metode komputasinya dan pendekatan yang digunakan untuk setiap solusi. Untuk solusi 1 menggunakan algoritma YOLO untuk mendeteksi dan memantau kendaraan yang melewati garis tunggu lampu merah

(stop line). Solusi 1 menggunakan Machine Learning melalui YOLO untuk identifikasi objek secara real-time, Solusi 2 menggunakan sensor Ultrasonik untuk memantau kendaraan dan Kamera yang dapat mendeteksi keadaan lampu merah, sedangkan untuk Solusi ke 3 menggunakan sensor tekanan yang nantinya akan dipasang disepanjang jalan dan juga kamera yang digunakan untuk mendeteksi warna lampu pada saat itu. Solusi 2 dan Solusi 3 menggunakan algoritma Open CV, yang keduanya memanfaatkan sensor ultrasonik dan tekanan untuk mendeteksi kendaraan yang melewati batas Ketika sistem dihidupkan. Kedua solusi ini memerlukan komponen sensor untuk mendeteksi kendaraan yang melewati garis batas tunggu di lampu merah tersebut.

Dengan perhitungan HoQ terhadap fitur tambahan, Solusi 1 menunjukkan keunggulan karena lebih efisien, lebih mudah diimplementasikan, dan dapat dijalankan pada perangkat keras standar dengan konsumsi daya rendah. Solusi 2 dan Solusi 3 membutuhkan lebih banyak sumber daya dan lebih rumit dalam implementasinya, meskipun menggunakan sensor ultrasonik dan tekanan yang lebih akurat untuk mendeteksi objek yang berada didepannya

Karena perbedaan hubungan ketiga solusi dengan fitur dasar tidak mencapai 1, dibutuhkan perhitungan hubungan ketiga solusi dengan fitur tambahan. Berikut perhitungan menggunakan HoQ ketiga Solusi terhadap fitur tambahan :

1. Solusi 1

$$=(5 \times 17.86\%) + (5 \times 17.86\%) + (5 \times 14.29\%) + (3 \times 17.86\%) + (3 \times 14.26\%) + (3 \times 17.86\%) = 3,999$$

2. Solusi 2

$$=(5 \times 17.86\%) + (3 \times 17.86\%) + (3 \times 14.29\%) + (3 \times 17.86\%) + (3 \times 14.26\%) + (3 \times 17.86\%) = 3,357$$

3. Solusi 3

$$=(1 \times 17.86\%) + (1 \times 17.86\%) + (5 \times 14.29\%) + (3 \times 17.86\%) + (3 \times 14.26\%) + (3 \times 17.86\%) = 2,571$$

Hasil penjumlahan Fitur dasar + Fitur Tambahan

1. Solusi 1 = $3,999 + 4,13 = 8,129$
2. Solusi 2 = $3,481 + 3,357 = 6,838$
3. Solusi 3 = $3,306 + 2,571 = 5,877$

Dari hasil perhitungan menggunakan HoQ di atas dapat dilihat bahwa hubungan Solusi dengan fitur tambahan juga diunggulkan oleh Solusi 1. Yang mana untuk algoritma YOLO pada solusi 1 lebih efisien dan mudah diimplementasikan. Algoritma YOLO dapat dijalankan pada perangkat keras dengan prosesor standar atau daya rendah sehingga cocok diimplementasikan pada alat hemat energi. Sedangkan solusi 2 dan 3 yang menggunakan sensor dan juga kamera dengan algoritma open CV membutuhkan konsumsi biaya dan daya yang lebih tinggi.

1.2.4 Solusi yang Dipilih

Setelah melakukan analisis menggunakan *House of Quality*, didapatkan hasil bahwa Solusi pertama menjadi opsi terbaik untuk penerapan dilampu merah. Solusi pertama dan kedua ini memberikan keseimbangan optimal antara semua fitur yang akan disediakan. Algoritma yang memungkinkan deteksi objek secara real-time dengan konsumsi daya yang rendah, dan ideal untuk penggunaan pada tempat terbuka yang minim colokan seperti di persimpangan lampu merah. Selain itu, solusi ini memenuhi kebutuhan utama baik dalam fitur dasar maupun fitur tambahan yang diinginkan, tanpa menambah kompleksitas berlebih. Dengan ini diharapkan solusi 1 dapat menjawab semua permasalahan yang ada di lampu merah.

