

PERANCANGAN SISTEM ASISTEN BERKENDARA BERBASIS KAMERA SMARTPHONE UNTUK DETEKSI OBJEK JALAN

Bryan Meyvaldo Kangsadiputra, Agus Budi Dharmawan
Teknik Informatika, Universitas Tarumanagara, Jakarta, Indonesia
bryan.535220065@stu.untar.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini merancang sistem asisten berkendara berbasis kamera *smartphone* untuk mendeteksi objek jalan, mengestimasi jarak, dan memberikan peringatan dini secara *real-time* tanpa memerlukan sensor mahal. Aplikasi dikembangkan berbasis website menggunakan React 19, TypeScript, Vite, Tailwind CSS, dan MediaPipe Tasks Vision. Metode yang diterapkan meliputi deteksi objek menggunakan SSD MobileNet v2, estimasi jarak berbasis geometri monokular melalui analisis *bounding box*, dan mekanisme *Distance Threshold Based Warning*. Pemrosesan *real-time* pada *browser smartphone* didukung oleh WebAssembly dan akselerasi GPU WebGL. Hasil pengujian pada dataset mobil, motor, truk, dan orang menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi objek serta mengestimasi jarak dengan performa yang baik langsung di perangkat *mobile*. Objek motor dan orang memberikan akurasi deteksi yang lebih baik berkat variasi data yang lebih besar. Sistem juga sukses memberikan peringatan visual melalui perubahan warna *bounding box* sesuai tingkat risiko jarak. Penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi metode tersebut dapat menjadi solusi ADAS yang ekonomis, portabel, dan mudah diakses.

Kata kunci: Sistem Asisten Berkendara, SSD Mobilenet, Geometri Monokular, Deteksi Objek, Distance Threshold Warning.

1. PENDAHULUAN

Keselamatan berkendara semakin bergantung pada kemampuan sistem untuk mendeteksi objek dan memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya di jalan. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam sistem Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) adalah Single Shot MultiBox Detector (SSD) MobileNet, karena mampu menghasilkan deteksi objek secara cepat dan akurat pada perangkat dengan sumber daya terbatas seperti *smartphone* dan sistem *embedded*. Algoritma ini efektif mendeteksi kendaraan, pejalan kaki, serta rambu lalu lintas secara *real-time* sehingga sesuai untuk aplikasi bantuan berkendara berbasis kamera tunggal [1].

Selain deteksi objek, estimasi jarak merupakan komponen penting dalam mencegah tabrakan dan menjaga jarak aman kendaraan. Pendekatan berbasis kamera monokular menjadi alternatif yang lebih ekonomis dibandingkan penggunaan sensor LiDAR atau radar. Dengan memanfaatkan geometri kamera dan ukuran relatif objek dalam citra, sistem dapat memperkirakan jarak objek terhadap kendaraan secara *real-time* [2]. Metode geometri monokular memungkinkan transformasi informasi dua dimensi menjadi estimasi posisi tiga dimensi melalui pemodelan perspektif dan parameter kamera, meskipun akurasinya masih dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan karakteristik objek [3].

Integrasi deteksi objek dan estimasi jarak memungkinkan sistem memperoleh informasi yang lebih kontekstual mengenai kondisi lalu lintas di depan kendaraan. Untuk meningkatkan keandalan estimasi, beberapa penelitian menggabungkan deteksi objek dengan pemrosesan lintas frame guna mengurangi fluktuasi ukuran *bounding box* dan meningkatkan stabilitas hasil pengukuran jarak [2].

Sebagai tindak lanjut dari proses deteksi dan estimasi jarak, sistem peringatan berbasis *distance threshold* digunakan untuk memberikan notifikasi ketika objek berada pada jarak yang berpotensi membahayakan. Pendekatan ini memungkinkan pengemudi memperoleh peringatan visual maupun audio secara proaktif sehingga dapat mengurangi risiko kecelakaan lalu lintas [4].

Dalam implementasinya, penelitian ini memanfaatkan MediaPipe, sebuah framework open-source yang mendukung pemrosesan multimedia dan machine learning secara *real-time* pada perangkat *mobile*. MediaPipe memungkinkan integrasi proses akuisisi citra, deteksi objek, estimasi jarak, dan pemberian peringatan dalam satu pipeline yang efisien sehingga sesuai untuk aplikasi ADAS berbasis *smartphone* [5], [6].

Perkembangan kualitas kamera dan kemampuan komputasi *smartphone* membuka peluang pengembangan sistem asisten berkendara yang lebih murah dan mudah diakses dibandingkan ADAS konvensional. Namun demikian, tantangan seperti variasi pencahayaan, ukuran objek, akurasi estimasi jarak, dan kebutuhan pemrosesan *real-time* masih menjadi perhatian utama dalam pengembangan sistem berbasis visi komputer [7], [8].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini merancang sistem peringatan dini berbasis kamera *smartphone* yang mengintegrasikan SSD MobileNet untuk deteksi objek, geometri monokular untuk estimasi jarak, dan *distance threshold based warning* untuk menghasilkan peringatan otomatis ketika objek berada pada jarak yang tidak aman. Sistem difokuskan pada deteksi kendaraan, pejalan kaki, dan penghalang jalan yang berada di depan kendaraan dengan tujuan

meningkatkan kewaspadaan pengemudi serta mendukung keselamatan berkendara secara real-time.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Pengembangan sistem keselamatan berkendara berbasis visi komputer (*computer vision*) pada perangkat dengan sumber daya terbatas (*resource-constrained devices*) telah menjadi fokus utama dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian oleh Bouazizi dkk. [2] menunjukkan bahwa implementasi arsitektur deteksi objek seperti SSD-MobileNet mampu memproses objek jalan secara *real-time* untuk aplikasi ADAS dengan efisiensi yang tinggi. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada fungsi deteksi umum tanpa pemodelan jarak yang spesifik.

Tantangan *scale ambiguity* dalam estimasi jarak menggunakan satu kamera (*monocular vision*) dipecah oleh Gąsienica-Józkowy dkk. [4] dengan memanfaatkan pendekatan estimasi kedalaman (*depth estimation*) pada perangkat *edge*. Guna menjaga

konsistensi spasial dan meminimalkan fluktuasi ukuran objek, beberapa pendekatan modern kini beralih memanfaatkan teknik estimasi berbasis *self-supervised* yang mempertimbangkan konsistensi temporal antar-bingkai citra (*inter-frame temporal consistency*) [7], [8], [26].

Di sisi lain, mengenai mekanisme logika peringatan keselamatan kendaraan, pemanfaatan ambang batas multi-level (*multi-level distance thresholding*) terbukti efektif memberikan respons yang adaptif terhadap jarak aman berkendara dibandingkan dengan *single-threshold* [12], [22]. Berdasarkan peta literatur tersebut, penelitian ini mengisi celah penelitian (*research gap*) dengan mengintegrasikan model deteksi SSD MobileNet v2, pendekatan kalkulasi jarak geometri monokular klasik yang ringan, serta *distance threshold logic* ke dalam pipeline MediaPipe [5], [6] yang dieksekusi secara lokal di sisi klien (*client-side*) melalui *web browser smartphone*. Perbandingan posisi penelitian ini dengan studi terdahulu dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

Peneliti & Referensi	Metode Deteksi	Estimasi Jarak	Platform	Karakteristik / Keterbatasan
Bouazizi dkk. [2]	SSD-MobileNet	Tidak ada	ADAS General	Fokus hanya pada performa deteksi objek jalan.
Gąsienica-Józkowy dkk. [4]	Deep Learning	Monocular Depth	Edge Devices	Estimasi tinggi dan jarak baik, beban komputasi tinggi.
Shahzad dkk. [21]	CNN	Jarak (Model ADAS)	Mobile ADAS	Mengoptimalkan efisiensi modul jarak pada perangkat mobile.

Berdasarkan pemetaan literatur tersebut, beberapa penelitian berfokus secara terpisah pada aspek deteksi objek, estimasi jarak, maupun optimasi platform perangkat keras. Penelitian oleh Bouazizi dkk. (2024) [2] berfokus pada performa deteksi objek jalan menggunakan algoritma SSD-MobileNet untuk aplikasi ADAS umum, namun belum mengintegrasikan fungsi perhitungan jarak objek. Sementara itu, Gąsienica-Józkowy dkk. (2024) [4] mengusulkan pendekatan *deep learning* untuk estimasi tinggi dan jarak berbasis *monocular depth* pada *edge devices*. Meskipun metode ini menghasilkan akurasi estimasi yang baik, beban komputasi yang dibutuhkan tergolong tinggi untuk perangkat dengan sumber daya terbatas. Di sisi lain, upaya optimasi efisiensi komputasi dilakukan oleh Shahzad dkk. (2024) [21] melalui perancangan modul jarak berbasis CNN yang dioptimalkan khusus untuk arsitektur *mobile* ADAS guna menghindari risiko tabrakan.

Penelitian ini mengisi celah penelitian (*research gap*) tersebut dengan mengintegrasikan model deteksi objek SSD MobileNet v2, pendekatan kalkulasi jarak geometri monokular klasik yang ringan, serta *distance threshold logic* ke dalam satu *pipeline* pemrosesan yang utuh. Berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu yang membutuhkan komputasi tinggi atau platform spesifik, sistem yang dirancang dalam penelitian ini (2026) berjalan sepenuhnya di sisi klien (*client-side*) melalui *web browser smartphone*.

Dukungan teknologi WebAssembly dan WebGL membuat sistem ini memiliki keunggulan utama berupa karakteristik pemrosesan lokal yang ringan, responsif secara *real-time*, portabel, serta ekonomis tanpa memerlukan perangkat keras tambahan.

2.2. Sistem yang Dirancang

Sistem yang dirancang merupakan sistem asisten berkendara berbasis visi komputer yang memanfaatkan kamera *smartphone* sebagai sensor utama dan framework MediaPipe sebagai pengelola pipeline pemrosesan secara real-time. Sistem bekerja melalui tahapan akuisisi citra, deteksi objek menggunakan SSD MobileNet, estimasi jarak berbasis geometri monokular, analisis ambang batas jarak, dan pemberian peringatan kepada pengemudi. Objek yang menjadi fokus deteksi meliputi kendaraan, sepeda motor, dan pejalan kaki. Hasil deteksi berupa bounding box digunakan untuk menghitung jarak objek terhadap kendaraan sehingga sistem dapat memberikan peringatan dini ketika objek berada pada jarak yang berpotensi membahayakan. Sistem dirancang ringan, efisien, dan dapat berjalan pada perangkat *smartphone* dengan tetap mempertahankan akurasi dan kecepatan pemrosesan.



Gambar 1. Rancangan Sistem

Secara fungsional, sistem menerapkan mekanisme distance threshold based warning yang membandingkan hasil estimasi jarak dengan ambang batas keselamatan tertentu. Ketika objek berada pada zona berisiko, sistem akan mengaktifkan peringatan visual maupun audio secara bertingkat sesuai tingkat bahaya yang terdeteksi. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan dapat meningkatkan kewaspadaan pengemudi serta menjadi alternatif ADAS yang lebih ekonomis dan mudah diimplementasikan.

2.3. Komponen Rancangan

Rancangan sistem terdiri atas enam komponen utama:

- MediaPipe, sebagai framework yang mengintegrasikan seluruh proses mulai dari pengambilan frame video, deteksi objek, estimasi jarak, hingga aktivasi sistem peringatan secara real-time.
- Akuisisi Data, menggunakan kamera smartphone dengan video streaming real-time, preprocessing citra, dan konfigurasi posisi kamera untuk mendukung estimasi jarak yang akurat.
- Deteksi Objek SSD MobileNet, yang menghasilkan bounding box, label objek, dan confidence score untuk kendaraan, bus, truk, sepeda motor, dan pejalan kaki. Hasil deteksi kemudian diteruskan ke modul estimasi jarak.
- Estimasi Jarak Geometri Monokular, yang memanfaatkan parameter intrinsik kamera, panjang fokus, tinggi objek, dan ukuran bounding box untuk memperkirakan jarak objek terhadap kendaraan. Kalibrasi kamera dilakukan menggunakan pola chessboard untuk memperoleh parameter geometrik yang akurat.
- Distance Threshold Logic, yang membandingkan hasil estimasi jarak dengan nilai ambang aman, waspada, dan bahaya guna menentukan tingkat risiko tabrakan.
- Warning System, yang memberikan peringatan visual dan audio kepada pengemudi sesuai tingkat risiko yang terdeteksi.
- Integrasi dan Optimasi Real-Time, yang memastikan seluruh proses berjalan efisien pada smartphone melalui optimasi model, resolusi input, dan akselerasi perangkat keras.

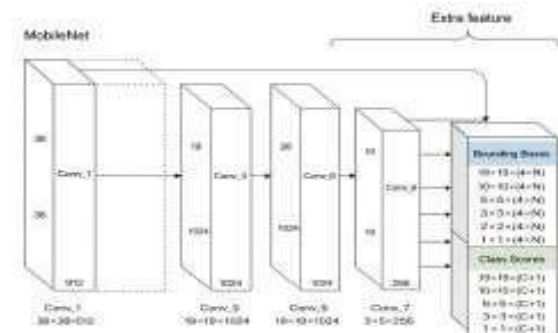
2.4. Spesifikasi Rancangan

Spesifikasi sistem meliputi penggunaan kamera smartphone minimal resolusi 1080p dan 30 fps, SSD MobileNet berbasis TensorFlow Lite dengan input

300×300 piksel, estimasi jarak menggunakan parameter panjang fokus dan ukuran objek, serta logika ambang batas dengan kategori aman, waspada, dan kritis. Sistem memberikan output berupa tampilan jarak, perubahan warna bounding box, indikator status, serta alarm suara dengan target latensi kurang dari 100 ms per frame agar tetap responsif dalam kondisi berkendara.

2.5. SSD MobileNet

SSD MobileNet merupakan model deteksi objek berbasis CNN yang menggabungkan SSD sebagai one-stage detector dan MobileNet sebagai feature extractor. Kombinasi ini menghasilkan model yang ringan, cepat, dan efisien untuk perangkat mobile, sekaligus mampu mempertahankan akurasi deteksi yang baik [7], [8]. SSD melakukan deteksi objek secara langsung tanpa tahap region proposal, sedangkan MobileNet memanfaatkan depthwise separable convolution untuk mengurangi kebutuhan komputasi secara signifikan [9], [10].



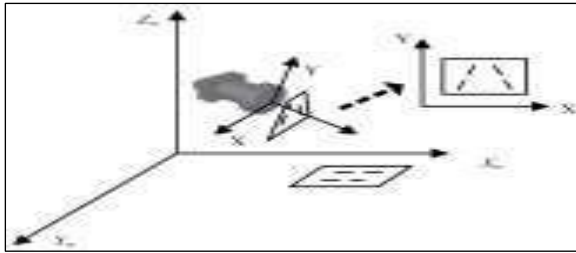
Gambar 2. Sistem SSD MobileNet

Proses kerja SSD MobileNet dimulai dengan ekstraksi fitur menggunakan MobileNet, dilanjutkan dengan prediksi bounding box dan klasifikasi objek pada berbagai skala feature map. Hasil prediksi kemudian disaring menggunakan Non-Maximum Suppression (NMS) untuk menghilangkan deteksi yang tumpang tindih [11], [12]. Keunggulan model ini terletak pada efisiensi komputasi, konsumsi daya rendah, dan kemampuan inferensi real-time sehingga cocok diterapkan pada smartphone dan sistem embedded [13]. Namun demikian, akurasi cenderung menurun pada objek berukuran sangat kecil atau kondisi lingkungan yang kompleks [14]. Arsitektur SSD MobileNet terdiri atas tahap ekstraksi fitur MobileNet, multi-scale detection layers, dan prediction layers yang menghasilkan koordinat bounding box serta confidence score objek [15].

2.6. Geometri Monokular

Geometri monokular merupakan pendekatan visi komputer yang memanfaatkan satu kamera untuk memperoleh informasi tiga dimensi dari citra dua dimensi melalui model proyeksi perspektif. Pendekatan ini menggunakan parameter intrinsik dan ekstrinsik kamera untuk menghubungkan posisi objek

di dunia nyata dengan posisi objek pada citra [16], [17].



Gambar 3. Geometri Monokular

Model pinhole menjadi dasar utama dalam estimasi jarak monokular melalui transformasi perspektif yang melibatkan panjang fokus dan kedalaman objek [18], [19]. Tantangan utama metode ini adalah *scale ambiguity*, yaitu kesulitan membedakan apakah objek tampak kecil karena ukurannya kecil atau karena posisinya jauh dari kamera [20], [21]. Untuk meningkatkan akurasi, metode modern menggabungkan prinsip geometri klasik dengan visual odometry, Structure from Motion (SfM), dan deep learning sehingga mampu menghasilkan estimasi kedalaman yang lebih stabil [22], [23]. Pendekatan self-supervised juga memanfaatkan konsistensi geometrik antar frame untuk meningkatkan akurasi tanpa memerlukan data ground truth [20], [21]. Meskipun demikian, geometri monokular masih sensitif terhadap pencahayaan, occlusion, tekstur rendah, serta kesalahan kalibrasi kamera [20], [24].

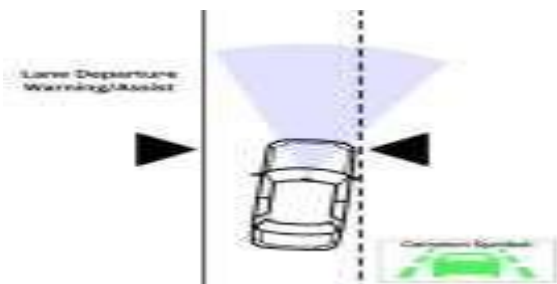
Rumus estimasi jarak yang digunakan adalah:

$$Z = \frac{f \cdot H_r}{h_i}$$

dengan f sebagai panjang fokus kamera, H_r tinggi objek sebenarnya, h_i tinggi objek pada citra, dan Z jarak objek terhadap kamera.

2.7. Distance Threshold Based Warning

Distance Threshold Based Warning merupakan metode peringatan yang bekerja berdasarkan nilai ambang batas jarak tertentu antara objek dan kendaraan. Sistem akan mengaktifkan notifikasi ketika jarak aktual lebih kecil daripada batas aman yang telah ditentukan [20].



Gambar 4. Sistem Distance Threshold Based Warning

Metode ini banyak digunakan dalam sistem keselamatan kendaraan, robotika, dan navigasi karena sederhana, ringan, serta mudah diimplementasikan [22]. Threshold dapat berupa nilai tunggal maupun multi-level yang terdiri atas zona aman, waspada, dan bahaya [12]. Nilai ambang harus ditentukan secara tepat karena threshold yang terlalu besar dapat memicu false alarm, sedangkan threshold yang terlalu kecil dapat menyebabkan keterlambatan peringatan [15].

Proses kerja sistem terdiri atas akuisisi data jarak, perbandingan dengan nilai threshold, dan aktivasi peringatan ketika objek memasuki zona risiko [15]. Threshold dapat bersifat statis maupun dinamis sesuai kondisi lingkungan dan kecepatan kendaraan [12]. Keunggulan utama metode ini adalah efisiensi komputasi dan kemudahan integrasi, meskipun masih memiliki keterbatasan dalam memprediksi pergerakan objek di masa depan sehingga sering dikombinasikan dengan metode lain untuk meningkatkan akurasi [20], [15], [22].

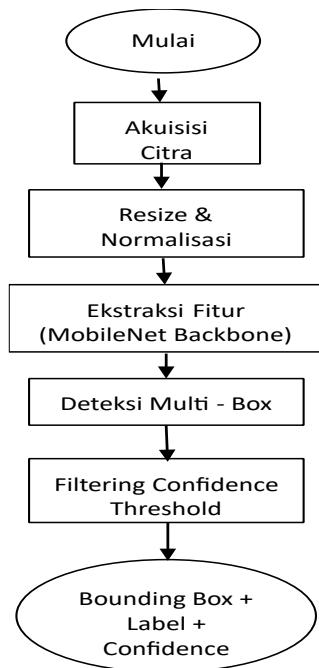
3. METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan Sistem

Sistem yang dirancang merupakan sistem deteksi dan peringatan berbasis visi komputer yang bekerja secara *end-to-end*, mulai dari akuisisi citra menggunakan kamera smartphone, deteksi objek menggunakan SSD MobileNet, estimasi jarak berbasis geometri monokular, hingga pengambilan keputusan menggunakan metode *Distance Threshold Based Warning*. Output sistem terdiri atas *bounding box* dan label objek, nilai estimasi jarak dalam meter, serta status kondisi aman, waspada, atau bahaya. Dataset dikumpulkan melalui perekaman kondisi jalan pada berbagai kondisi pencahayaan dengan fokus pada kendaraan roda dua, kendaraan roda empat, dan pejalan kaki. Data kemudian dibagi menjadi 70% data pelatihan, 15% validasi, dan 15% pengujian. Implementasi dilakukan menggunakan TensorFlow Lite pada smartphone sehingga proses deteksi dan estimasi jarak dapat berjalan secara real-time dengan efisiensi komputasi yang baik.

3.2. Rancangan SSD MobileNet

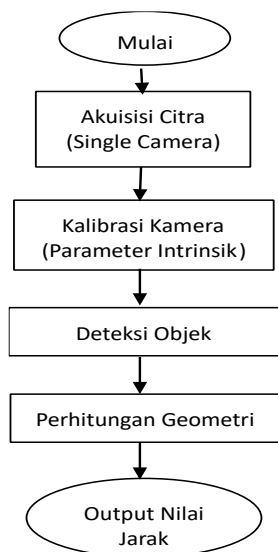
Rancangan SSD MobileNet diawali dengan akuisisi citra dan proses *preprocessing* berupa *resizing*, normalisasi piksel, dan penyesuaian format warna. Selanjutnya MobileNet berfungsi sebagai *feature extractor* untuk mengekstraksi fitur penting dari citra, sedangkan SSD melakukan deteksi objek dalam satu kali proses inferensi. Sistem menghasilkan *bounding box*, label objek, dan *confidence score* yang kemudian disaring menggunakan *confidence threshold* untuk menghilangkan deteksi yang kurang valid. Informasi posisi objek selanjutnya digunakan sebagai input pada proses estimasi jarak.



Gambar 5. Diagram Alir Rancangan SSD MobileNet

3.3. Rancangan Geometri Monokular

Estimasi jarak dilakukan menggunakan satu kamera melalui pendekatan geometri perspektif. Sistem terlebih dahulu melakukan kalibrasi kamera untuk memperoleh parameter intrinsik seperti *focal length* dan *principal point*. Jarak objek dihitung berdasarkan hubungan antara tinggi objek pada citra dan tinggi objek sebenarnya menggunakan prinsip proyeksi perspektif. Bounding box hasil SSD MobileNet digunakan untuk memperoleh ukuran objek dalam piksel yang kemudian dikonversi menjadi estimasi jarak aktual terhadap kamera.



Gambar 6. Diagram Alir Rancangan Geometri Monokular

Hubungan antara ukuran objek pada citra dan ukuran sebenarnya dinyatakan melalui rasio:

$$r = h_{\text{pixel}} / H_{\text{real}}$$

Sedangkan estimasi jarak dihitung menggunakan:

$$Z = (f \times H_r) / h_i$$

dengan:

f = panjang fokus kamera

H_r = tinggi objek sebenarnya

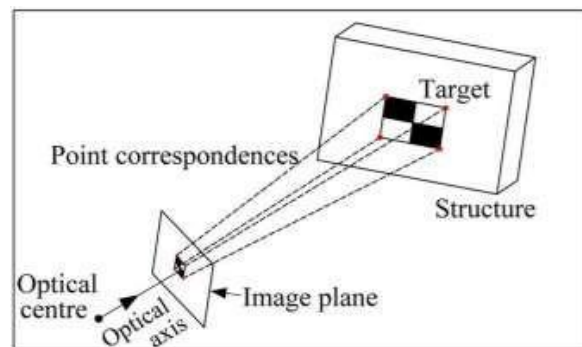
h_i = tinggi objek pada citra

Z = jarak objek terhadap kamera

Untuk menyederhanakan perhitungan, digunakan tinggi referensi objek sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

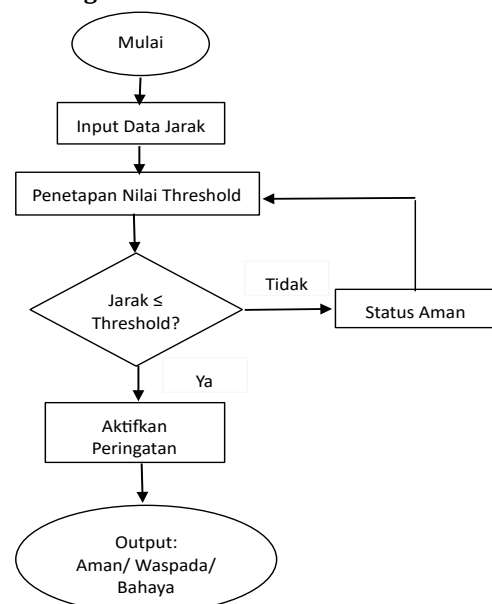
Tabel 2 Batasan Tinggi Objek

Jenis Objek	Tinggi Referensi
Sepeda Motor	1,2 m
Mobil	1,5 m
Pejalan Kaki/Objek Lain	1,7 m



Gambar 7. Geometri Estimasi Jarak pada Kamera Monokular

3.4. Rancangan Distance Threshold Based Warning



Gambar 8. Diagram Alir Rancangan Distance Threshold Based Warning

Modul *Distance Threshold Based Warning* menerima input berupa hasil estimasi jarak kemudian membandingkannya dengan nilai ambang keselamatan yang telah ditentukan. Jika jarak objek lebih kecil atau sama dengan nilai ambang, sistem akan mengaktifkan peringatan visual atau audio. Dalam implementasi yang lebih lanjut, sistem dapat menerapkan beberapa tingkatan threshold untuk membedakan kondisi aman, waspada, dan bahaya. Output akhir berupa status keselamatan dan aktivasi peringatan secara real-time.

3.5. Metode Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan pada tiga aspek utama, yaitu deteksi objek, estimasi jarak, dan kinerja sistem secara keseluruhan.

a. Pengujian Deteksi Objek

Kinerja SSD MobileNet dievaluasi menggunakan metrik:

- Precision
- Recall
- F1-Score
- Mean Average Precision (mAP)

Selain itu digunakan *Intersection over Union* (IoU) untuk mengukur kesesuaian antara *bounding box* prediksi dan *ground truth*. Nilai mAP yang tinggi menunjukkan kemampuan deteksi objek yang baik.

b. Pengujian Estimasi Jarak

Estimasi jarak diuji dengan membandingkan hasil perhitungan sistem terhadap jarak aktual yang diukur secara langsung pada beberapa variasi jarak (2 m, 5 m, 10 m, dan 15 m). Tingkat kesalahan diukur menggunakan:

- Mean Absolute Error (MAE)
- Root Mean Square Error (RMSE)

Semakin kecil nilai error, semakin baik akurasi estimasi jarak yang dihasilkan.

c. Pengujian Sistem Asisten Berkendara

Pengujian lapangan dilakukan dengan menjalankan aplikasi pada smartphone yang dipasang pada kendaraan. Parameter yang diamati meliputi:

- Frame per Second (FPS)
- Waktu respons sistem
- Konsistensi estimasi jarak antar frame
- Ketepatan aktivasi peringatan

Hasil pengujian digunakan untuk memastikan sistem mampu bekerja secara real-time dan memberikan peringatan yang tepat kepada pengemudi.

3.6. Rancangan Antarmuka

Antarmuka sistem dirancang secara modular dengan tiga komponen utama, yaitu deteksi objek menggunakan SSD MobileNet, estimasi jarak berbasis geometri monokular, dan sistem peringatan berbasis ambang batas. Alur kerja sistem dimulai dari deteksi objek, dilanjutkan dengan perhitungan jarak menggunakan parameter kalibrasi kamera, kemudian dilakukan evaluasi terhadap nilai threshold untuk menentukan apakah sistem perlu memberikan

peringatan kepada pengguna. Integrasi ketiga modul tersebut menghasilkan sistem peringatan dini yang bekerja secara berkelanjutan dan real-time pada smartphone.



Gambar 9. Antarmuka Sistem

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengambilan dan Pengolahan Dataset

Dataset diperoleh melalui perekaman kondisi jalan menggunakan kamera smartphone yang dipasang pada kendaraan dengan variasi kondisi pencahayaan (pagi, siang, sore), kepadatan lalu lintas (normal dan padat), variasi jarak (1–15 meter), dan jenis objek (mobil, motor, truk, dan orang). Video hasil perekaman diekstraksi menjadi citra, kemudian dianotasi menggunakan LabelImg atau Roboflow untuk menghasilkan dataset yang siap digunakan pada proses pelatihan SSD MobileNet. Dataset dibagi menjadi data pelatihan, validasi, dan pengujian untuk memastikan model dapat melakukan generalisasi dengan baik.

4.2. Hasil Perancangan Sistem

Sistem dibangun menggunakan teknologi web modern yang terdiri atas React 19, TypeScript, Vite 8, dan Tailwind CSS 4 untuk menghasilkan antarmuka yang responsif dan mendukung visualisasi real-time. Untuk komponen computer vision digunakan MediaPipe Tasks Vision sebagai AI Engine, SSD MobileNet v2 sebagai model deteksi objek, WebAssembly (WASM) sebagai runtime environment, dan WebGL sebagai akselerator GPU. Sistem juga memanfaatkan Camera API, Gyroscope, dan Fullscreen API untuk mendukung fungsi deteksi objek dan estimasi jarak secara real-time pada smartphone. Infrastruktur aplikasi menggunakan GitHub, Vercel, Cloudflare Pages, jsDelivr, dan Google Storage untuk mendukung deployment dan distribusi aplikasi berbasis web.

Tabel 3. Core Technology Stack

Komponen	Teknologi
Framework	React 19
Bahasa	TypeScript
Build Tool	Vite 8
Styling	Tailwind CSS 4

Tabel 4. Computer Vision Stack

Komponen	Teknologi
AI Engine	MediaPipe Tasks Vision
Model Deteksi	SSD MobileNet v2
Runtime	WebAssembly
Akselerasi	WebGL GPU

Tabel 5. Hardware dan Sensor

Fitur	Sensor/API
Visual Input	Camera API
Kemiringan Jalan	Gyroscope
Tampilan	Fullscreen API

Tabel 6. Infrastruktur Sistem

Komponen	Penyedia
Hosting	Vercel, Cloudflare
CDN Runtime	jsDelivr
CDN Model	Google Storage
Source Code	GitHub

4.3. Hasil Akuisisi Data Citra

Sistem mampu melakukan deteksi multi-objek secara real-time terhadap mobil, motor, truk, dan pejalan kaki. Selain itu, sistem mampu memperkirakan jarak objek menggunakan geometri monokular serta menampilkan indikator risiko melalui perubahan warna bounding box dan simbol peringatan visual.

Tabel 7. Fitur Hasil Rancangan

Fitur	Fungsi
Multi Object Detection	Deteksi mobil, motor, truk, orang
Estimasi Jarak	Menghitung jarak dalam meter
Virtual Hazard Sign	Simbol peringatan
Dynamic Bounding Box	Hijau, kuning, merah

Tabel 8. Kondisi Pengujian Visual

Kondisi
Malam, padat, 1–5 m
Siang, padat, 5–10 m
Lancar, 10–15 m
Lancar, >15 m

4.4. Hasil Pelatihan Objek

Proses pelatihan dilakukan menggunakan video berdurasi sekitar 16 menit yang menghasilkan 267 citra. Dari jumlah tersebut digunakan 239 data train, 17 data validasi, dan 11 data pengujian. Hasil anotasi menunjukkan bahwa objek motor dan orang memiliki jumlah data terbesar dibandingkan objek truk sehingga menghasilkan performa deteksi yang lebih baik.

Tabel 9. Training Dataset Mandiri

Kelas	Jumlah Objek
Motor	45
Mobil	39
Truk	30
Orang	39

Tabel 10. Contoh Dataset

Kelas
Motor
Mobil
Truk
Orang

Tabel 11. Distribusi Dataset

Dataset	Jumlah
Train	239
Valid	17
Test	11

Tabel 12. Distribusi Dataset per Kelas

Kelas	Total	Train	Valid	Test
Mobil	245	193	29	23
Motor	358	245	74	39
Truk	78	59	15	4
Orang	356	249	71	36

Hasil menunjukkan bahwa performa SSD MobileNet sangat dipengaruhi oleh jumlah dan keragaman data pelatihan. Objek motor dan orang menunjukkan hasil deteksi yang lebih baik dibandingkan truk karena memiliki jumlah dataset yang lebih banyak.

4.5. Hasil Pengujian dan Evaluasi Rancangan

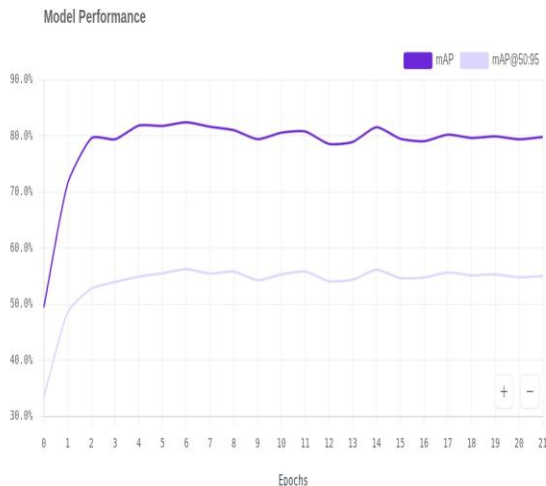
Pengujian menunjukkan bahwa integrasi MediaPipe, SSD MobileNet v2, geometri monokular, dan Distance Threshold Based Warning berhasil membentuk sistem asisten berkendara yang bekerja secara real-time. Sistem mampu mendeteksi objek, menghitung estimasi jarak, dan memberikan peringatan berdasarkan tingkat risiko objek terhadap kendaraan.

Pada modul estimasi jarak, geometri monokular mampu memberikan estimasi yang cukup stabil terutama pada kondisi pencahayaan baik dan posisi objek berada di tengah bidang pandang kamera. Akurasi menurun ketika pencahayaan buruk, sudut kamera berubah, atau ukuran objek berbeda dari asumsi referensi. Sistem menggunakan smoothing antar frame untuk mengurangi fluktuasi hasil estimasi.

Pada modul peringatan, sistem menggunakan pendekatan multi-level threshold dengan indikator warna:

- Hijau = Aman
- Kuning = Siaga
- Merah = Bahaya

Pendekatan ini terbukti mampu memberikan informasi risiko secara cepat dan intuitif kepada pengguna. Sistem juga menerapkan validasi beberapa frame sebelum mengaktifkan alarm untuk mengurangi false alarm.



Gambar 10. Grafik Model Performance

4.6. Pembahasan

Hasil ini menunjukkan bahwa SSD MobileNet mampu melakukan deteksi objek secara real-time dengan efisiensi komputasi yang baik pada perangkat mobile, sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kombinasi SSD dan MobileNet memberikan keseimbangan antara akurasi dan kecepatan inferensi pada perangkat dengan sumber daya terbatas [7], [8], [11].

Penurunan performa pada kondisi pencahayaan rendah menunjukkan bahwa kualitas citra merupakan faktor penting yang memengaruhi keberhasilan deteksi objek berbasis deep learning, sebagaimana dijelaskan oleh Chen et al. [11] dan Li et al. [13].

Hasil tersebut mendukung teori geometri monokular yang menyatakan bahwa hubungan antara ukuran objek pada citra, panjang fokus kamera, dan ukuran objek sebenarnya dapat digunakan untuk memperkirakan jarak objek dari kamera melalui prinsip proyeksi perspektif [16], [18], [19].

Penggunaan smoothing dan averaging antar frame terbukti membantu mengurangi fluktuasi estimasi jarak yang diakibatkan oleh perubahan ukuran bounding box, sesuai dengan konsep visual odometry dan monocular depth estimation yang menekankan pentingnya konsistensi temporal antar frame [20], [22], [23].

Temuan ini menunjukkan bahwa MediaPipe mampu menyediakan pipeline computer vision yang ringan dan efisien untuk perangkat mobile sehingga mendukung implementasi deteksi objek secara real-time pada smartphone [5], [6].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa SSD MobileNet memiliki keunggulan dari sisi efisiensi komputasi dan kebutuhan memori, meskipun pada beberapa kondisi kompleks tingkat akurasinya masih berada di bawah model deteksi objek yang lebih besar seperti YOLO [13], [14].

Mekanisme multi-level threshold yang diterapkan terbukti mampu memberikan informasi risiko secara bertahap dan mudah dipahami pengguna,

sejalan dengan konsep Distance Threshold Based Warning yang menekankan efektivitas sistem peringatan berbasis ambang bertingkat dibandingkan single threshold [12], [15], [22].

Implementasi berbasis web menunjukkan bahwa smartphone dapat dimanfaatkan sebagai platform ADAS sederhana yang ekonomis dan mudah diakses tanpa memerlukan perangkat sensor tambahan yang mahal. Pendekatan ini sejalan dengan perkembangan aplikasi computer vision berbasis mobile dan edge computing yang mengutamakan portabilitas dan efisiensi sumber daya [5], [7], [8].

Keunggulan utama sistem terletak pada penggunaan SSD MobileNet yang ringan, MediaPipe yang efisien, serta integrasi geometri monokular dan Distance Threshold Based Warning dalam satu pipeline pemrosesan real-time [7], [8], [16], [22].

Keterbatasan sistem terutama berasal dari sensitivitas metode geometri monokular terhadap perubahan perspektif, pencahayaan, dan ukuran objek referensi, serta keterbatasan model SSD MobileNet pada objek kecil dan kondisi lalu lintas yang kompleks [14], [20], [24].

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem asisten berkendara berbasis kamera smartphone untuk deteksi objek jalan, penelitian ini berhasil mengembangkan aplikasi berbasis website yang mampu melakukan deteksi objek secara real-time menggunakan kamera smartphone sebagai media input utama. Sistem dapat diakses melalui berbagai browser modern tanpa memerlukan instalasi aplikasi tambahan, sehingga memberikan kemudahan akses dan fleksibilitas penggunaan. Implementasi teknologi web modern menggunakan React, TypeScript, Vite, dan Tailwind CSS menghasilkan antarmuka yang responsif dan ringan untuk mendukung proses deteksi secara real-time.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode SSD MobileNet yang diintegrasikan dengan MediaPipe Tasks Vision mampu mendeteksi berbagai objek jalan seperti mobil, motor, truk, bus, sepeda, dan pejalan kaki dengan performa yang cukup baik pada perangkat smartphone. Sistem mampu menghasilkan bounding box, label objek, serta confidence score secara kontinu pada setiap frame kamera. Dukungan WebAssembly dan akselerasi GPU berbasis WebGL membantu meningkatkan efisiensi proses inferensi sehingga sistem dapat berjalan secara cepat dan stabil pada browser smartphone.

Selain itu, metode geometri monokular berhasil diterapkan untuk memperkirakan jarak objek terhadap kendaraan hanya dengan memanfaatkan satu kamera smartphone tanpa memerlukan sensor tambahan. Hasil estimasi jarak tersebut kemudian digunakan dalam mekanisme Distance Threshold Based Warning untuk memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya di depan kendaraan. Sistem mampu menampilkan

indikator keselamatan melalui perubahan warna bounding box menjadi hijau, kuning, dan merah sesuai tingkat risiko yang terdeteksi. Penerapan multi-level threshold membantu pengemudi memahami tingkat bahaya secara lebih intuitif dan meningkatkan kewaspadaan selama berkendara.

Pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan model deteksi objek yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi, seperti YOLO versi terbaru, agar kemampuan deteksi terhadap objek kecil, objek yang saling bertumpuk, dan objek pada jarak jauh menjadi lebih optimal. Akurasi estimasi jarak juga dapat ditingkatkan melalui penerapan metode depth estimation berbasis deep learning atau integrasi sensor tambahan seperti LiDAR, radar, maupun sensor ultrasonik.

Untuk meningkatkan performa sistem pada kondisi lingkungan yang beragam, penelitian selanjutnya disarankan menambahkan fitur adaptive image enhancement, low-light enhancement, atau night vision processing sehingga kemampuan deteksi objek tetap stabil pada malam hari, kondisi hujan, kabut, maupun pencahayaan rendah. Pengembangan mekanisme adaptive threshold yang mempertimbangkan kecepatan kendaraan, kondisi lalu lintas, dan waktu reaksi pengemudi juga dapat meningkatkan efektivitas sistem peringatan dini.

Selain itu, sistem dapat dikembangkan menjadi Progressive Web Application (PWA) atau aplikasi mobile native berbasis Android dan iOS agar integrasi dengan perangkat smartphone menjadi lebih optimal. Penambahan fitur Head-Up Display (HUD), integrasi navigasi GPS, voice warning, object tracking, serta prediksi pergerakan objek berbasis kecerdasan buatan berpotensi meningkatkan kenyamanan pengguna dan memperluas fungsi sistem sebagai alternatif Advanced Driver Assistance System (ADAS) yang lebih ekonomis dan mudah diakses masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bian, J. W., Zhan, H., Wang, N., Li, Z., Zhang, L., Shen, C., ... & Reid, I. (2021). Unsupervised scale-consistent depth learning from video. *International Journal of Computer Vision*, 129(9), 2548-2564..
- [2] Bouazizi, O., Azroumahli, C., El Mourabit, A., & Oussouaddi, M. (2024). Road object detection using SSD-MobileNet algorithm: Case study for real-time ADAS applications. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 5(2), 551-560.
- [3] Buchman, D., Drozdov, M., Krilavičius, T., Maskeliūnas, R., & Damaševičius, R. (2022). Pedestrian and Animal Recognition Using Doppler Radar Signature and Deep Learning. *Sensors*, 22(9), 3456.
- [4] Gąsienica-Józkowy, J., Cyganek, B., Knapik, M., Głogowski, S., & Przebinda, Ł. (2024). Deep learning-based monocular estimation of distance and height for edge devices. *Information*, 15(8), 474.
- [5] Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., ... & Grundmann, M. (2019). Mediapipe: A framework for building perception pipelines. *arXiv preprint arXiv:1906.08172*.
- [6] Google, "MediaPipe Documentation," [Online]. Available: <https://mediapipe.dev/>. [Accessed: 26-May-2026].
- [7] Godard, C., Mac Aodha, O., Firman, M., & Brostow, G. J. (2019). Digging into self-supervised monocular depth estimation. In *Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision* (pp. 3828-3838).
- [8] Guizilini, V., Ambrus, R., Pillai, S., Raventos, A., & Gaidon, A. (2020). 3d packing for self-supervised monocular depth estimation. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2485-2494).
- [9] Hidayat, A. (2022). Implementasi sistem peringatan jarak aman berbasis sensor pada kendaraan. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 10(2), 85–92.
- [10] Howard, A., Sandler, M., Chen, B., Wang, W., Chen, L. C., Tan, M., & Adam, H. (2021). MobileNetV3: Searching for efficient mobile architectures. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 43(9), 1–14.
- [11] Khan, A., Sohail, A., Zahoor, U., & Qureshi, A. S. (2019). A survey of the recent architectures of deep convolutional neural networks. *arXiv preprint arXiv:1901.06032*.
- [12] Lee, S., Han, K., Park, S., & Yang, X. (2022). Vehicle distance estimation from a monocular camera for advanced driver assistance systems. *Symmetry*, 14(12), 2657.
- [13] Li, Y., Zhang, X., & Chen, D. (2023). Lightweight object detection network for edge computing devices. *IEEE Access*, 11, 35612–35625.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3267894>
- [14] Lv, H., Du, Y., Ma, Y., & Yuan, Y. (2024). Object detection and monocular stable distance estimation for road environments: A fusion architecture using yolo-redeca and abnormal jumping change filter. *Electronics*, 13(15), 3058.
- [15] Ma, N., Zhang, X., Zheng, H. T., & Sun, J. (2022). ShuffleNet V2: Practical guidelines for efficient CNN architecture design revisited. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 44(9), 1–13.
- [16] Prasetyo, R. (2021). Perancangan sistem peringatan dini berbasis ambang batas parameter jarak. *Jurnal Informatika dan Rekayasa Elektronik*, 4(1), 15–23.
- [17] Pratama, D. (2021). Analisis metode threshold dalam sistem deteksi berbasis sensor jarak. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 20(1), 45–53.
- [18] Ramadhan, F. (2020). Konsep pengambilan keputusan berbasis rule dalam sistem monitoring

- otomatis. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(5), 1021–1028.
- [19] Ranftl, R., Bochkovskiy, A., & Koltun, V. (2021). Vision transformers for dense prediction. *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 12179–12188.
- [20] Sarlin, P. E., DeTone, D., Malisiewicz, T., & Rabinovich, A. (2022). LoFTR: Detector-free local feature matching with transformers. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 44(11), 1–14. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2022.3144353>
- [21] Shahzad, M. Z., Hanif, M. A., & Shafique, M. (2024, October). Decade: Towards designing efficient-yet-accurate distance estimation modules for collision avoidance in mobile advanced driver assistance systems. In *2024 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 334–340). IEEE.
- [22] Siregar, M. (2023). Penentuan ambang batas dinamis pada sistem peringatan jarak real-time. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 7(1), 120–128.
- [23] Wang, C., Bochkovskiy, A., & Liao, H. Y. M. (2023). Real-time object detection: A comparative study of modern lightweight detectors. *Sensors*, 23(4), 1987–2005.
- [24] Wibowo, S. (2022). Evaluasi akurasi sistem peringatan berbasis jarak menggunakan sensor ultrasonik. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 11(3), 173–180.
- [25] Zhang, S., Wen, L., Bian, X., Lei, Z., & Li, S. Z. (2022). Single-shot refinement neural network for object detection. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 32(1), 23–36.
- [26] Zhou, T., Wang, S., & Bilodeau, G. A. (2021). Self-supervised learning of depth and ego-motion with uncertainty. *Pattern Recognition*, 113, 107838.
- [27] A. Miranto, “Real Time Object Detection Menggunakan MobileNet-SSD pada Sistem Keamanan Ruangan dengan Bot Telegram Sebagai Notifikasi User,” *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Komputer*, vol. 5, no. 2, 2024.
- [28] Dharma, A. S., Pardosi, C. N. S., & Silaen, Z. P. (2025). Comparative Performance of Yolov8 and Ssd-mobilenet Algorithms for Road Damage Detection in Mobile Applications. *Sinkron: jurnal dan penelitian teknik informatika*, 9(3), 1159-1169.
- [29] S. Lee, K. Han, S. Park, dan X. Yang, “Vehicle Distance Estimation from a Monocular Camera for Advanced Driver Assistance Systems,” *Symmetry*, vol. 14, no. 12, 2022.