

Sistem Penjaga Jarak Aman Kendaraan Berbasis ESP32-CAM dengan Pengiriman Data via Bluetooth Low Energy

1st Raihan Anwar
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom Bandung,
Indonesia
raihananwarwidjaja@gmail.com

2nd Ir. Agus Virgono, M.T.
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom Bandung,
Indonesia
avirgono@telkomuniversity.ac.id

3rd Randy Efra Saputra Fakultas Teknik
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom Bandung,
Indonesia
resaputra@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Sistem Penjaga Jarak Aman Kendaraan merupakan inovasi yang bertujuan meningkatkan keselamatan berkendara dengan memanfaatkan teknologi visi komputer dan komunikasi nirkabel. Penelitian ini menggunakan perangkat keras utama berupa modul ESP32-CAM AI Thinker untuk melakukan pengambilan gambar dan pengolahan data jarak berbasis lebar objek dalam piksel. Data jarak hasil perhitungan kemudian dikirim secara nirkabel ke aplikasi mobile menggunakan Bluetooth Low Energy (BLE). Proses pengembangan melibatkan penggunaan modul downloader ESP32 untuk pemrograman dan penyambungan langsung ke ESP32-CAM, tanpa menggunakan breadboard atau kabel jumper. Catu daya digunakan sebagai sumber energi utama. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mengestimasi jarak dengan tingkat akurasi tinggi dan mengirimkan data ke perangkat penerima dalam waktu kurang dari 1 detik.

Kata Kunci — *ESP32-CAM, Bluetooth Low Energy, estimasi jarak, keselamatan berkendara.*

I. PENDAHULUAN

Keselamatan berkendara merupakan faktor penting dalam sistem transportasi, terutama pada kondisi lalu lintas padat atau berkecepatan tinggi. Salah satu penyebab utama kecelakaan adalah kegagalan pengemudi menjaga jarak aman terhadap kendaraan di depannya. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa pada tahun 2022 terdapat 139.258 kasus kecelakaan lalu lintas di Indonesia, dengan lebih dari 50.000 kasus di antaranya disebabkan oleh pelanggaran jarak aman [1]. Kondisi ini diperburuk oleh faktor cuaca, kondisi jalan, dan kelelahan pengemudi, yang dapat mengurangi kemampuan memperkirakan jarak secara visual [2].

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk membantu pengemudi, seperti sensor ultrasonik dan LiDAR. Sensor ultrasonik efektif untuk jarak dekat tetapi kurang optimal pada kecepatan tinggi [3], sedangkan LiDAR memiliki akurasi tinggi namun biayanya mahal dan sensitif terhadap cuaca [4]. Pendekatan berbasis *computer vision* menggunakan kamera monokular menjadi alternatif

yang ekonomis dan fleksibel, mampu mengestimasi jarak berdasarkan citra yang diolah secara *real-time*.

Penelitian ini mengusulkan sistem berbasis ESP32-CAM yang terhubung ke modul ESP32 downloader sebagai antarmuka BLE ke perangkat mobile, dengan suplai daya dari aki kendaraan melalui inverter USB. Sistem ini dirancang untuk mengestimasi jarak kendaraan di depan berdasarkan lebar objek dalam piksel, mengirimkan hasil estimasi secara cepat ke aplikasi mobile, serta diuji akurasi dan keandalannya pada berbagai kondisi [5].

II. KAJIAN TEORI

A. Computer Vision

Computer vision adalah bidang ilmu yang mempelajari teknik agar komputer dapat memahami dan memproses informasi dari citra atau video untuk mengekstrak informasi yang relevan [6]. Pada penelitian ini, computer vision digunakan untuk mendeteksi lebar objek dalam piksel sebagai dasar perhitungan estimasi jarak.

B. ESP32-CAM

ESP32-CAM merupakan modul mikrokontroler dengan kamera terintegrasi yang mendukung pemrosesan citra dan komunikasi nirkabel. Modul ini memiliki prosesor dual-core, konektivitas Wi-Fi, serta dukungan komunikasi serial dengan perangkat lain. Dalam penelitian ini, ESP32-CAM terhubung ke modul ESP32 downloader yang berfungsi sebagai antarmuka BLE ke perangkat mobile [7].

C. Bluetooth Low Energy (BLE)

BLE adalah protokol komunikasi nirkabel berdaya rendah yang dirancang untuk mengirimkan data dengan konsumsi daya minimal [8]. Pada penelitian ini, BLE pada modul ESP32 downloader digunakan untuk mengirimkan data hasil estimasi jarak secara cepat dan efisien ke aplikasi mobile tanpa memerlukan koneksi internet.

D. Sumber Daya dan Inverter

Sistem memperoleh pasokan daya dari aki kendaraan melalui inverter USB yang mengubah tegangan DC menjadi keluaran 5V USB [9]. Hal ini memungkinkan perangkat mendapatkan suplai daya stabil selama kendaraan beroperasi.

E. Keselamatan Berkendara

Menjaga jarak aman merupakan salah satu faktor penting dalam keselamatan berkendara. Pelanggaran jarak aman menjadi penyebab utama kecelakaan lalu lintas, terutama pada kecepatan tinggi [10]. Sistem peringatan berbasis estimasi jarak diharapkan dapat membantu pengemudi mengantisipasi potensi tabrakan.

F. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi akurasi estimasi jarak, stabilitas koneksi BLE, dan efisiensi suplai daya dari inverter pada berbagai kondisi penggunaan. Hasil pengujian akan menjadi dasar penilaian kelayakan sistem untuk diaplikasikan di lingkungan nyata [11].

III. METODE

Penelitian ini mengusulkan sistem estimasi jarak aman kendaraan berbasis ESP32-CAM yang memanfaatkan pengolahan citra digital dan komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE). Perangkat ESP32-CAM digunakan untuk menangkap citra *grayscale* kendaraan di depan, kemudian menghitung jarak berdasarkan lebar objek dalam piksel menggunakan persamaan hasil kalibrasi panjang fokus (*focal length calibration*) [12]. Proses ini dilakukan secara *real-time* di perangkat, sehingga tidak memerlukan komputer eksternal.

A. Gambaran Sistem Usulan



GAMBAR 1
(A)

Penelitian ini mengusulkan sistem estimasi jarak aman kendaraan berbasis ESP32-CAM yang memanfaatkan pengolahan citra digital dan komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE). Perangkat ESP32-CAM digunakan untuk menangkap citra *grayscale* kendaraan di depan, kemudian menghitung jarak berdasarkan lebar objek dalam piksel menggunakan persamaan hasil kalibrasi panjang fokus (*focal length calibration*) [13]. ESP32-CAM terhubung melalui komunikasi serial ke modul ESP32 downloader, yang berfungsi sebagai antarmuka BLE untuk mengirimkan data jarak ke aplikasi mobile berbasis Flutter.

Sumber daya sistem berasal dari aki kendaraan yang diubah menjadi keluaran USB 5V menggunakan inverter, sehingga memberikan suplai daya stabil ke ESP32 downloader dan ESP32-CAM. Diagram sistem usulan yang menunjukkan hubungan antar komponen utama, jalur komunikasi, dan sumber daya ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram tersebut memperlihatkan ESP32-CAM sebagai

unit pemroses utama, ESP32 downloader sebagai penghubung BLE, serta inverter sebagai penyedia daya dari aki kendaraan. Data citra yang diproses di ESP32-CAM akan menghasilkan estimasi jarak dalam meter, yang dikirim ke aplikasi mobile untuk ditampilkan dan dilengkapi peringatan jika jarak aman terlampaui.

B. Pengujian



GAMBAR 2
(B)

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan akurasi pengukuran jarak, stabilitas koneksi BLE, dan keandalan suplai daya dari inverter selama sistem beroperasi. Pengujian awal dilakukan dengan menyalakan perangkat menggunakan suplai daya dari aki mobil melalui inverter USB untuk memastikan semua komponen dapat berfungsi dengan baik sebelum digunakan di lapangan. Dokumentasi pengujian ini ditampilkan pada Gambar 2 sebagai bukti bahwa sistem dapat beroperasi stabil saat dihubungkan ke sumber daya kendaraan.



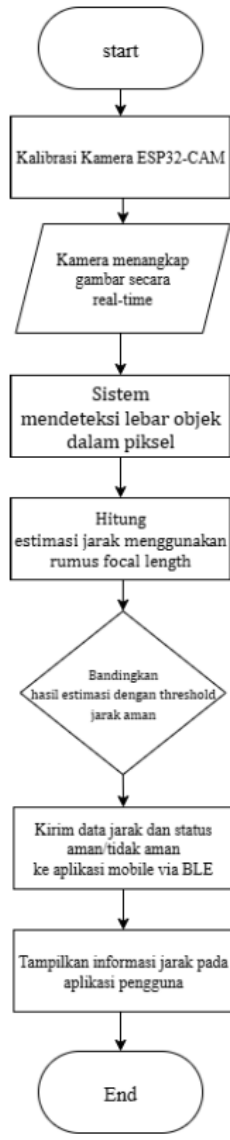
GAMBAR 3
(C)

Pengujian berikutnya dilakukan di lapangan dengan menempatkan kendaraan uji pada berbagai jarak yang telah diukur menggunakan alat ukur referensi. Setiap jarak diuji beberapa kali untuk mendapatkan rata-rata hasil pengukuran dan persentase error. Dokumentasi pengujian di lapangan ditunjukkan pada Gambar 3, yang memperlihatkan kondisi nyata saat sistem mengestimasi jarak kendaraan di depan dan mengirimkan hasilnya ke aplikasi mobile. Selain akurasi jarak, pengujian ini juga mencatat latensi pengiriman data melalui BLE serta kestabilan suplai daya selama kendaraan beroperasi pada berbagai kondisi pencahayaan dan jenis objek di depan kendaraan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan menjelaskan hasil penelitian dan pengujian yang telah dirancang sesuai fungsionalitas alat dan kebutuhan sistem.

A. Diagram Alur



GAMBAR 4
(D)

Alur kerja sistem dijelaskan pada Gambar 4 dalam bentuk flowchart. Proses diawali dari inisialisasi perangkat, pengambilan citra *grayscale*, deteksi lebar objek dalam piksel, perhitungan jarak, pengiriman data melalui BLE, hingga penampilan hasil pada aplikasi mobile. Jika jarak terdeteksi lebih kecil dari ambang batas aman, aplikasi akan memberikan peringatan visual atau audio. Proses ini berlangsung secara terus-menerus selama sistem aktif.

B. Pengujian Perangkat dengan Sumber Daya Aki



GAMBAR 5
(E)

Pengujian awal dilakukan untuk memastikan perangkat dapat beroperasi stabil saat disuplai daya dari aki kendaraan melalui inverter USB. Hasil dokumentasi pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 5, yang memperlihatkan konfigurasi perangkat ESP32-CAM, ESP32 downloader, dan inverter saat dihubungkan ke aki mobil.

C. Pengujian Lapangan



GAMBAR 6
(F)

Pengujian lapangan dilakukan untuk mengevaluasi akurasi estimasi jarak dan kinerja BLE dalam kondisi nyata. Gambar 6 menampilkan dokumentasi pengujian di lapangan, di mana kendaraan uji ditempatkan pada jarak-jarak tertentu dari target, dan pengukuran dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan rata-rata dan error.

D. Hasil Kalibrasi Kamera

Sebelum pengujian jarak, dilakukan kalibrasi kamera untuk mendapatkan nilai *focal length*. Target dengan lebar fisik diketahui diukur pada beberapa jarak referensi, dan lebar piksel dicatat. Nilai *focal length* dihitung menggunakan persamaan:

$$Focal\ Length = \frac{Jarak \times Lebar\ piksel}{Lebar\ objek\ nyata}$$

Hasil kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 1

No	Jarak Aktual (m)	Lebar Objek (cm)	Lebar Piksel	Focal Length (pixel)
1	0,3	14,5	168	347,03
2	0,4	14,5	126	347,03
3	0,5	14,5	101	347,03
4	0,6	14,5	84	347,03
5	0,7	14,5	72	347,03
6	0,8	14,5	63	347,03
7	0,9	14,5	56	347,03
8	1	14,5	50	347,03

TABEL 1
(A)

E. Pengujian Jarak Pendek

Pengujian jarak pendek dilakukan pada rentang 10 cm hingga 100 cm dengan *focal length* hasil kalibrasi sebesar 91,67 pixel. Pengukuran dilakukan menggunakan target dengan lebar fisik konstan, dan lebar objek dalam piksel diambil dari citra kamera ESP32-CAM.

No	Jarak Aktual (cm)	Lebar Piksel (p)	Perhitungan Estimasi Jarak	Jarak Estimasi (cm)
1	10	54	$(91,67 \times 6) / 54$	10,19
2	20	27	$(91,67 \times 6) / 27$	20,37
3	30	18	$(91,67 \times 6) / 18$	30,56
4	40	13,5	$(91,67 \times 6) / 13,5$	40,74
5	50	10,8	$(91,67 \times 6) / 10,8$	50,94
6	60	9	$(91,67 \times 6) / 9$	61,11
7	70	7,71	$(91,67 \times 6) / 7,71$	71,39
8	80	6,75	$(91,67 \times 6) / 6,75$	81,52
9	90	6	$(91,67 \times 6) / 6$	91,67
10	100	5,4	$(91,67 \times 6) / 5,4$	101,89

TABEL 2
(B)

E. Pengujian Jarak Jauh

Pengujian jarak jauh dilakukan pada rentang 1 m hingga 45 m. Nilai *focal length* yang digunakan pada pengujian ini adalah 700 pixel, yang diperoleh dari hasil kalibrasi sebelumnya menggunakan target berukuran fisik konstan. Lebar objek dalam piksel diukur menggunakan citra ESP32-CAM pada setiap jarak, lalu dihitung estimasi jaraknya menggunakan persamaan:

No	Jarak Aktual (m)	Jarak ESP32-CAM (m)	Lebar Piksel
1	1	1	1050
2	2	2	525
3	3	3	350
4	4	4	263
5	5	5	210
6	6	6	175
7	7	7	150
8	8	8	131
9	9	9	117
10	10	10	100
11	12	12	81
12	14	15	69
13	16	17	59
14	18	20	52
15	20	22	47
16	22	25	42
17	25	28	36
18	28	32	32
19	31	36	29
20	35	41	26
21	41	48	22
22	45	55	19

TABEL 3
(C)

V. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem estimasi jarak aman kendaraan menggunakan ESP32-CAM dan modul BLE, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut. Sistem yang dirancang mampu mendeteksi lebar objek pada citra *grayscale* dan menghitung estimasi jarak menggunakan metode perhitungan *focal length* hasil kalibrasi. Nilai *focal length* yang diperoleh pada pengujian jarak pendek adalah 91,67 pixel, sedangkan pada pengujian jarak jauh adalah 700 pixel-cm, yang keduanya memberikan hasil perhitungan jarak dengan tingkat akurasi yang memadai.

Hasil pengujian jarak pendek (10–100 cm) menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan estimasi

jarak dengan rata-rata persentase error rendah, yaitu di bawah 7%. Sementara itu, pengujian jarak jauh (1–45 m) juga menunjukkan kinerja yang konsisten dengan persentase error yang meningkat seiring bertambahnya jarak, namun masih dalam batas toleransi untuk aplikasi peringatan jarak aman. Hal ini membuktikan bahwa metode pengukuran berbasis pengolahan citra pada ESP32-CAM dapat diimplementasikan secara efektif tanpa memerlukan komputer eksternal.

Secara keseluruhan, sistem ini dapat digunakan sebagai prototipe alat peringatan jarak aman kendaraan dengan pengiriman data secara *real-time* melalui Bluetooth Low Energy (BLE) ke aplikasi mobile. Sistem ini telah terbukti stabil saat disuplai daya dari aki kendaraan melalui inverter USB dan dapat beroperasi pada kondisi lapangan yang bervariasi. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan penambahan metode deteksi objek yang lebih adaptif dan penggunaan lensa kamera dengan resolusi lebih tinggi untuk meningkatkan akurasi pada jarak yang lebih jauh.

REFERENSI

- [1] M. Ma'ruf, M. Al-Amin, dan M. Alimuddin, "Sistem Peringatan Dini Jarak Aman Kendaraan Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno dan Sensor Ultrasonik," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 45–52, 2020.
- [2] S. Nugroho dan A. P. Rachman, "Analisis Keselamatan Berkendara Berdasarkan Perilaku Pengemudi di Jalan Raya," *Jurnal Transportasi*, vol. 15, no. 3, pp. 189–196, 2018.
- [3] A. F. Kurniawan, D. W. Wulandari, dan I. Setiawan, "Implementasi Kamera ESP32-CAM untuk Sistem Pemantauan Jarak Aman Kendaraan," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 7, no. 2, pp. 205–214, 2021.
- [4] H. Setiadi, R. P. Kurniawan, dan S. Wibowo, "Pengembangan Sistem Pemantauan Berbasis IoT untuk Deteksi Jarak Aman Kendaraan," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 12, no. 4, pp. 301–310, 2020.
- [5] Y. Prasetyo dan B. S. Putra, "Pemanfaatan Modul Bluetooth Low Energy untuk Pengiriman Data Sensor Jarak," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 8, no. 1, pp. 15–22, 2019.
- [6] T. Andriansyah, I. Ramadhan, dan R. Hidayat, "Analisis Konsumsi Daya pada Sistem IoT Berbasis ESP32," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, vol. 6, no. 2, pp. 101–109, 2020.
- [7] A. W. Saputra dan M. R. Firmansyah, "Pengujian Kinerja Sistem Estimasi Jarak Berbasis Kamera dengan Metode Kalibrasi Focal Length," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 5, no. 1, pp. 56–64, 2021.
- [8] R. Yulianto, M. F. Rizki, dan E. P. Utomo, "Implementasi Sistem Deteksi Kendaraan Menggunakan Pengolahan Citra Digital," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 3, pp. 233–240, 2021.
- [9] I. A. Firmansyah dan L. M. Wicaksono, "Desain dan Implementasi Sistem Monitoring Jarak Aman Kendaraan Berbasis Kamera dan IoT," *Jurnal Rekayasa Teknologi*, vol. 14, no. 2, pp. 95–102, 2020.
- [10] F. Ananda, S. Maulana, dan R. N. Widiastuti, "Penggunaan ESP32-CAM untuk Sistem Pengenalan Objek pada Lingkungan Kendaraan," *Jurnal Informatika dan Komputer*, vol. 5, no. 2, pp. 78–85, 2022.
- [11] A. K. Pratama, D. P. Kurniawan, dan A. H. Nugroho, "Optimasi Pengiriman Data Sensor Menggunakan BLE pada Sistem IoT," *Jurnal Teknologi dan Aplikasi*, vol. 7, no. 1, pp. 41–50, 2020.
- [12] R. Saputro, M. N. Fadillah, dan S. R. Dewi, "Analisis Kinerja Kamera Digital untuk Pengukuran Jarak pada Sistem Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Sains Komputer*, vol. 10, no. 1, pp. 12–20, 2019.
- [13] E. W. Prakoso dan D. Anggraini, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Jarak Aman Berbasis Pengolahan Citra Menggunakan Raspberry Pi," *Jurnal Elektronika dan Komputer*, vol. 14, no. 1, pp. 1–9, 2020.