

Sistem Monitoring Dan Estimasi Waktu Kedatangan Kendaraan Umum Berbasis GPS Dan IoT Di Kota Bekasi

Carudin ^{1,*}, Haryono ¹, H S Sulistyowati ¹, Widiyawati ¹, Dwipa Handayani ², Rina Fitriani ¹

¹ Fakultas Teknologi Informasi dan Digital; Universitas Bani Saleh; e-mail: carudin@ubs.ac.id, haryono@ubs.ac.id, sulis@ubs.ac.id, widiyawati@ubs.ac.id, rina@ubs.ac.id

² Fakultas Ilmu Komputer; Universitas Bhayangkara Jakarta Raya; e-mail: dwipa.handayani@dsn.ubharajaya.ac.id

* Korespondensi: e-mail: carudin@ubs.ac.id

Submitted: 25/09/2026; Revised: 05/10/2026; Accepted: 14/10/2026; Published: 15/10/2026

Abstract

Advances in Global Positioning System (GPS) and Internet of Things (IoT) technologies provide opportunities to improve public transportation services by providing real-time vehicle position information and Estimated Time of Arrival (ETA). One of the problems faced by public transportation users in Bekasi City is the limited availability of information regarding vehicle positions and arrival times, which may lead to uncertainty in waiting times. This study aims to design and develop a public transportation monitoring and arrival time estimation system based on GPS and IoT. The system development method employs the Software Development Life Cycle (SDLC) using the Waterfall model, which consists of requirements analysis, system design, implementation, testing, and maintenance. The system uses a GPS device installed on the vehicle to periodically obtain location coordinates, which are then transmitted over the Internet to a server using IoT technology. The vehicle's position, speed, and route data are subsequently processed to estimate the arrival time based on the distance and vehicle speed. Testing was conducted on seven public transportation trips along several routes in Bekasi City under varying traffic conditions. ETA performance was evaluated using Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and Root Mean Square Error (RMSE). The test results showed an MAE of 1.286 minutes, an MAPE of 10.179%, and an RMSE of 1.363 minutes, with a difference of 1–2 minutes between the estimated and actual arrival times in the tested trips. GPS testing also demonstrated that the system was capable of acquiring and displaying vehicle positions on a digital map within the application, with a distance difference of approximately 0.01 km compared with Google Maps as the reference based on the test data. These results indicate that the system is capable of providing vehicle position information and arrival time estimates for the tested trips, although the number of tests was still limited. Future research could expand the number of trips and variations in traffic conditions and integrate real-time traffic data to improve the adaptability of ETA estimation.

Keywords: Estimated Time Arrival, GPS, IoT, Transportation systems, Vehicle monitoring

Abstrak

Kemajuan teknologi Global Positioning System (GPS) dan Internet of Things (IoT) memberikan peluang dalam meningkatkan layanan transportasi umum melalui penyediaan informasi posisi kendaraan dan estimasi waktu kedatangan (Estimated Time of Arrival/ETA) secara real-time. Salah satu permasalahan pengguna transportasi umum di Kota Bekasi adalah keterbatasan informasi mengenai posisi kendaraan dan waktu kedatangan yang dapat menyebabkan ketidakpastian waktu tunggu. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring serta estimasi waktu kedatangan kendaraan umum berbasis GPS dan IoT. Metode pengembangan sistem menggunakan Software Development Life Cycle (SDLC) dengan model

Waterfall, yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Sistem menggunakan perangkat GPS yang dipasang pada kendaraan untuk memperoleh koordinat lokasi secara berkala, kemudian data dikirim melalui jaringan internet ke server menggunakan teknologi IoT. Data posisi, kecepatan, dan rute kendaraan selanjutnya diolah untuk menghasilkan estimasi waktu kedatangan berdasarkan jarak dan kecepatan kendaraan. Pengujian dilakukan pada 7 perjalanan kendaraan umum melalui beberapa rute di Kota Bekasi dengan variasi kondisi lalu lintas. Kinerja ETA dievaluasi menggunakan Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), dan Root Mean Square Error (RMSE). Hasil pengujian menunjukkan nilai MAE sebesar 1,286 menit, MAPE sebesar 10,179%, dan RMSE sebesar 1,363 menit, dengan selisih waktu estimasi terhadap waktu aktual sebesar 1–2 menit pada perjalanan yang diuji. Pengujian GPS juga menunjukkan bahwa sistem mampu memperoleh dan menampilkan posisi kendaraan pada peta digital di aplikasi dengan perbedaan jarak terhadap pembanding peta google maps pada kisaran 0,01 km berdasarkan data pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi posisi kendaraan dan estimasi waktu kedatangan pada perjalanan yang diuji, meskipun jumlah pengujian masih terbatas. Penelitian selanjutnya dapat memperluas jumlah perjalanan dan variasi kondisi lalu lintas serta mengintegrasikan data lalu lintas real-time untuk meningkatkan kemampuan adaptasi estimasi ETA.

Kata kunci: Estimasi waktu, GPS, IoT, Sistem transportasi, Monitoring kendaraan

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah memberikan dampak yang signifikan terhadap berbagai bidang, termasuk sektor transportasi umum. Salah satu teknologi yang memiliki peran penting dalam mendukung pengembangan transportasi cerdas adalah *Global Positioning System* (GPS) dan *Internet of Things* (IoT). Integrasi kedua teknologi tersebut memungkinkan proses pengumpulan, pengiriman, dan pengolahan data lokasi kendaraan secara real-time sehingga informasi mengenai kondisi dan posisi armada dapat disampaikan kepada pengguna maupun operator transportasi. Ketersediaan informasi secara real-time menjadi salah satu aspek penting dalam meningkatkan efisiensi operasional serta memberikan kepastian kepada pengguna dalam merencanakan perjalanan.

Salah satu permasalahan yang masih dihadapi pengguna transportasi umum adalah ketidakpastian mengenai posisi kendaraan dan waktu kedatangan. Pengguna sering kali harus menunggu tanpa memperoleh informasi yang akurat mengenai keberadaan kendaraan maupun estimasi waktu kendaraan tiba di lokasi pemberhentian. Kondisi tersebut dapat menyebabkan waktu tunggu yang tidak dapat diprediksi dan mengurangi kenyamanan dalam menggunakan transportasi umum. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu menyediakan informasi posisi kendaraan dan *Estimated Time of Arrival* (ETA) secara real-time.

Pemanfaatan IoT dalam sistem monitoring kendaraan telah banyak dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Purwanto dan Febriansyah (2025) mengembangkan sistem deteksi Busway Non-BRT secara *real-time* menggunakan Arduino, ESP32, GPS, dan platform website. Sistem tersebut mampu menampilkan posisi bus secara *real-time* melalui website serta memberikan estimasi waktu kedatangan kepada pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT dapat membantu mengurangi ketidakpastian waktu tunggu dan meningkatkan efisiensi penggunaan transportasi umum.

Penerapan teknologi GPS dan IoT juga telah digunakan dalam sistem monitoring kendaraan pada sektor logistik. Munawar (2024) mengembangkan sistem monitoring kendaraan logistik dengan memanfaatkan GPS, GPRS, aplikasi web, dan Google Maps API. Sistem yang dikembangkan mampu menampilkan posisi kendaraan, riwayat perjalanan, serta kecepatan kendaraan secara real-time sehingga dapat membantu proses pemantauan armada. Konsep monitoring tersebut menunjukkan bahwa integrasi perangkat GPS, jaringan komunikasi, server, dan aplikasi berbasis web dapat digunakan untuk menyediakan informasi kendaraan secara berkelanjutan dan dapat diterapkan pada sistem transportasi umum (Zhang et al., 2022).

Selain monitoring kendaraan, integrasi GPS dan IoT juga dapat digunakan untuk menyediakan informasi perjalanan kepada pengguna. Salih dan Younis (Salih & Younis, 2021) merancang sistem monitoring transportasi umum berbasis IoT menggunakan ESP32 dan GPS yang memungkinkan pengguna memperoleh informasi mengenai lokasi kendaraan dan waktu kedatangan melalui aplikasi mobile. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan IoT pada transportasi umum dapat mendukung penyediaan informasi perjalanan yang lebih mudah diakses oleh masyarakat serta meningkatkan kualitas layanan transportasi publik.

Aspek estimasi waktu kedatangan juga menjadi bagian penting dalam pengembangan sistem transportasi berbasis teknologi. Nugraha (Nugraha, 2023) mengembangkan API estimasi waktu kedatangan bus secara real-time menggunakan arsitektur *microservices* dan *WebSocket*. Sistem tersebut dirancang untuk memberikan informasi kedatangan kendaraan secara cepat dan responsif. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa mekanisme komunikasi data secara real-time dapat mendukung penyampaian informasi ETA kepada pengguna dan menjadi salah satu pendekatan yang dapat digunakan dalam pengembangan sistem informasi transportasi.

Pengembangan sistem ETA juga mulai memanfaatkan metode prediksi yang lebih kompleks. Memanfaatkan teknologi *Deep Learning* dan data geolokasi untuk melakukan prediksi waktu kedatangan bus secara *real-time* (Tigani, 2025). Pendekatan tersebut mempertimbangkan data historis perjalanan dan kondisi operasional kendaraan untuk menghasilkan prediksi waktu kedatangan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya peluang pengembangan sistem transportasi cerdas melalui integrasi data GPS, IoT, dan algoritma prediksi sehingga informasi ETA dapat diberikan dengan tingkat akurasi yang lebih baik (Song et al., 2026).

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, GPS dan IoT telah banyak diterapkan untuk melakukan monitoring posisi kendaraan secara real-time, sedangkan estimasi waktu kedatangan (*Estimated Time of Arrival* ETA) telah dikembangkan menggunakan pendekatan perhitungan kecepatan, jarak, komunikasi data *real-time*, hingga metode prediksi berbasis *Deep Learning*. Namun, penelitian terdahulu masih memiliki beberapa keterbatasan. Sebagian penelitian berfokus pada pelacakan posisi kendaraan tanpa mengintegrasikan informasi estimasi waktu kedatangan dalam sistem yang sama, sementara penelitian yang menerapkan ETA cenderung menggunakan pendekatan prediksi yang memerlukan data historis dalam jumlah besar atau metode komputasi yang lebih kompleks. Selain itu, belum banyak penelitian

yang menguji keterkaitan antara posisi GPS, jarak kendaraan terhadap titik tujuan, kecepatan kendaraan, serta kualitas konektivitas GPS dan internet terhadap akurasi estimasi waktu kedatangan pada kendaraan umum di wilayah Kota Bekasi.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem yang mengintegrasikan monitoring posisi kendaraan, informasi rute, dan estimasi waktu kedatangan (ETA) dalam satu platform berbasis web. Estimasi ETA dilakukan dengan memanfaatkan variabel posisi kendaraan yang diperoleh secara real-time dari GPS, jarak kendaraan terhadap titik tujuan, serta kecepatan kendaraan. Sistem juga mempertimbangkan kondisi penerimaan data GPS dan konektivitas internet sebagai bagian dari proses pemantauan. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang lebih menitikberatkan pada pelacakan kendaraan atau menggunakan model prediksi yang kompleks, penelitian ini menekankan integrasi data GPS dan IoT dengan perhitungan ETA yang sederhana, adaptif, dan dapat diterapkan pada sistem transportasi umum di Kota Bekasi.

Novelty penelitian ini terletak pada pengembangan sistem monitoring kendaraan umum berbasis GPS dan IoT yang mengintegrasikan pelacakan posisi, visualisasi rute, serta estimasi waktu kedatangan berbasis posisi, jarak, dan kecepatan kendaraan secara *real-time* dalam satu sistem berbasis web, serta melakukan pengujian terhadap akurasi jarak dan estimasi waktu kedatangan pada kondisi konektivitas GPS yang berbeda. Dengan demikian, penelitian tidak hanya menghasilkan sistem pemantauan posisi kendaraan, tetapi juga mengevaluasi kemampuan sistem dalam memberikan estimasi waktu kedatangan yang dapat digunakan sebagai informasi pendukung bagi pengguna kendaraan umum di Kota Bekasi.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan sistem monitoring dan estimasi waktu kedatangan kendaraan umum berbasis GPS dan *Internet of Things* (IoT) adalah *System Development Life Cycle* (SDLC). SDLC merupakan metode atau kerangka kerja yang digunakan untuk mengembangkan sistem informasi melalui tahapan yang terstruktur dan sistematis, mulai dari perencanaan, analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, hingga pemeliharaan sistem. Penerapan SDLC bertujuan untuk menghasilkan sistem yang sesuai dengan kebutuhan pengguna, memiliki proses pengembangan yang terarah, serta dapat beroperasi secara efektif (Zaki et al., 2023).

Dalam penelitian ini, tahapan SDLC disesuaikan dengan kebutuhan pengembangan sistem monitoring kendaraan umum berbasis GPS dan IoT. Tahapan penelitian terdiri dari beberapa proses sebagai berikut:



Sumber: it.telkomuniversity (2023)

Gambar 1. Tahapan Metode SDLC

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perancangan (Planning)

Pada tahap perencanaan dilakukan identifikasi permasalahan yang terdapat pada proses monitoring kendaraan umum, khususnya dalam memperoleh informasi mengenai posisi kendaraan dan perkiraan waktu kedatangannya. Informasi mengenai keberadaan kendaraan yang belum tersedia secara real-time dapat menyulitkan pengguna dalam mengetahui posisi kendaraan dan memperkirakan waktu kedatangan (Annifah Hasibuan, 2025) .

Berdasarkan permasalahan tersebut, direncanakan pembangunan sistem yang mampu menerima data koordinat kendaraan dari perangkat GPS yang terpasang pada kendaraan. Data tersebut dikirimkan melalui jaringan internet menggunakan perangkat IoT ke server untuk selanjutnya diproses dan ditampilkan melalui antarmuka berbasis web.

3.2. Analisis Kebutuhan (Analysis)

Pada tahap analisis dilakukan identifikasi kebutuhan sistem yang meliputi kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak. Hasil identifikasi kebutuhan tersebut disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Komponen utama perangkat keras

Komponen	Fungsi
Mikrokontroler ESP32	Sebagai perangkat IoT
Modul GPS	Sebagai sumber data koordinat kendaraan
Step Down	Sebagai penurunan tegangan 12 volt ke 5 volt
Chasing Box	Sebagai pelindung seluruh komponen utama
Led	Sebagai indikator tegangan dan sinyal
PCB	Sebagai tempat menghubungkan seluruh komponen utama
Kabel Jumper	Menghubungkan antar komponen

Sumber: Hasil Penelitian (2026)

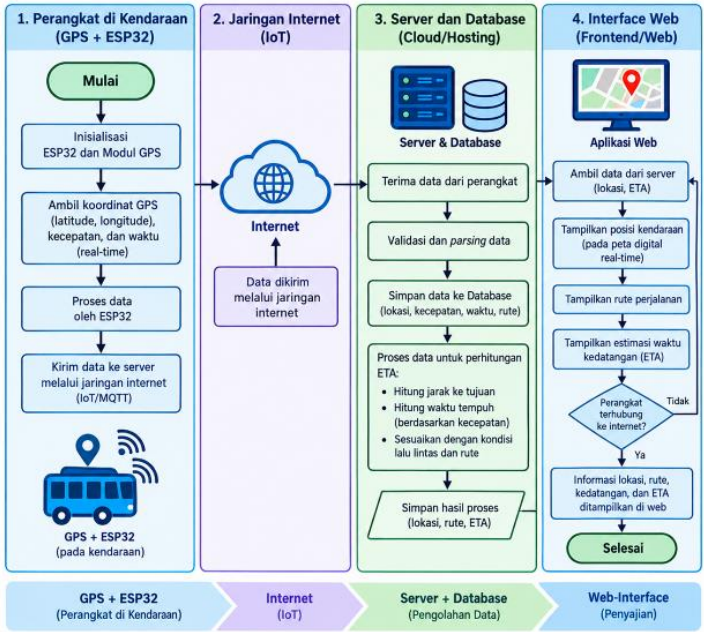
Tabel 2. Komponen perangkat lunak

Komponen	Fungsi
Program pada mikrokontroler ESP32	Sebagai perintah untuk membaca data gps dan mengirim data ke server
Web service/API	Sebagai penerima data posisi kendaraan
Database	Sebagai penyimpanan data koordinat kendaraan
Aplikasi Web	Sebagai antarmuka monitoring
Algoritma perhitungan jarak dan estimasi waktu kedatangan	Menghitung dan menghasilkan estimasi waktu kedatangan

Sumber: Hasil Penelitian (2026)

3.3. Perancangan (Design)

Tahap perancangan dilakukan untuk menentukan arsitektur sistem, alur proses data, struktur database, serta rancangan antarmuka aplikasi. Secara umum, arsitektur sistem terdiri dari 4 bagian utama:



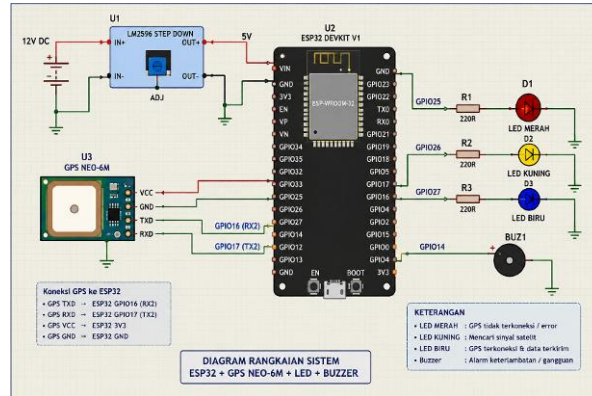
Sumber: Hasil design arsitektur sistem (2026)

Gambar 2. Arsitektur Desain Sistem

Perangkat GPS membaca koordinat kendaraan, kemudian ESP32 mengirimkan data melalui jaringan internet menuju server. Server menerima dan menyimpan data tersebut ke dalam database. Data yang tersimpan kemudian digunakan oleh sistem untuk menampilkan posisi kendaraan pada peta serta menghitung estimasi waktu kedatangan kendaraan menuju titik atau halte tertentu.

Estimasi waktu kedatangan dapat dihitung berdasarkan jarak kendaraan terhadap titik tujuan dan kecepatan kendaraan. Secara sederhana dapat menggunakan persamaan: $ETA = \text{Jarak} / (\text{Kecepatan Rata Rata})$

Hasil perhitungan tersebut kemudian dikonversi menjadi estimasi waktu kedatangan dan ditampilkan kepada pengguna melalui aplikasi web.



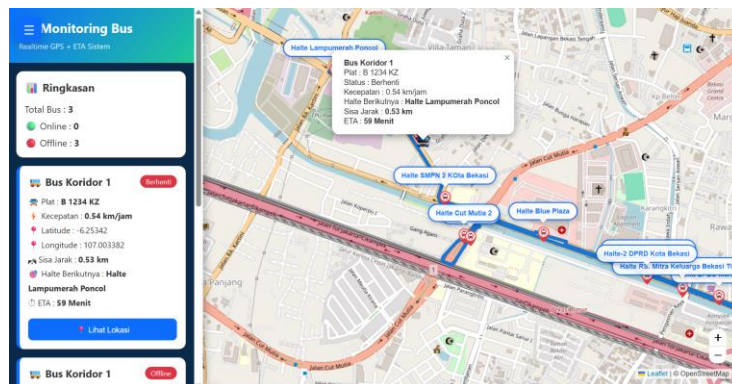
Sumber: Hasil penelitian desain wiring (2026)

Gambar 3. Desain wiring hardware GPS

3.4. Implementasi (Implementation)

Pada tahap implementasi, rancangan sistem direalisasikan menjadi perangkat dan aplikasi yang dapat digunakan.

Implementasi pada sisi kendaraan dilakukan dengan memasang modul GPS dan ESP32 pada kendaraan umum. ESP32 membaca koordinat dari GPS kemudian mengirimkan data secara periodik melalui jaringan internet menuju server. Pada sisi server, API digunakan untuk menerima data dari perangkat kendaraan. Data yang diterima kemudian divalidasi dan disimpan ke dalam database. Pada sisi aplikasi web, data kendaraan diambil dari server dan ditampilkan dalam bentuk posisi kendaraan secara real-time, Peta lokasi kendaraan, informasi kendaraan, rute perjalanan, Titik atau halte, kecepatan kendaraan, jarak menuju halte atau tujuan, estimasi waktu kedatangan.



Sumber: Hasil penelitian antarmuka monitoring ETA (2026)

Gambar 4. Antarmuka monitoring dan estimasi waktu kedatangan

3.5. Pengujian (Testing)

Tahap pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem telah berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan dengan beberapa bagian, yaitu:

3.5.1. Pengujian Akurasi GPS

Pengujian GPS dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian jarak yang diperoleh dari perangkat GPS dengan jarak referensi pada setiap rute kendaraan. Jarak peta digunakan sebagai nilai pembanding (*ground truth*) dan diperoleh melalui pengukuran jarak pada [nama aplikasi/platform yang sebenarnya digunakan. Sementara itu, jarak GPS diperoleh dari hasil pembacaan koordinat GPS yang dipasang pada kendaraan selama perjalanan pada rute yang telah ditentukan. Seluruh nilai jarak dinyatakan dalam kilometer (km).

Selisih antara jarak GPS dan jarak peta Google Maps dihitung menggunakan nilai absolut dari perbedaan kedua jarak tersebut dengan persamaan.

$$\text{Selisih} = \text{Jarak GPS} - \text{Jarak Peta Google Maps}$$

Untuk mengetahui tingkat kesalahan pengukuran GPS, persentase error dihitung menggunakan persamaan

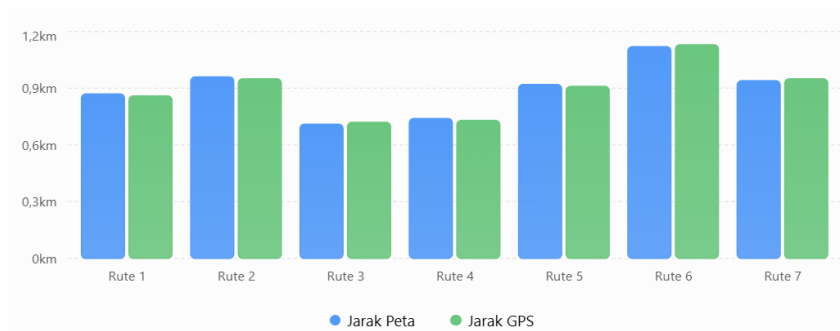
$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{Jarak GPS} - \text{Jarak Peta Google Maps}}{\text{Jarak Peta Google Maps}} \times 100\%$$

Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali pada setiap rute. Nilai yang digunakan dalam analisis merupakan nilai rata-rata hasil pengulangan dari pengujian tersebut. Kondisi penerimaan GPS juga dicatat berdasarkan jumlah satelit yang terdeteksi selama pengujian. Hasil pengujian jarak GPS disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian akurasi GPS

No	Rute Halte	Jarak Peta	Jarak GPS	Selisih	Kondisi Sinyal
1	Halte Lampu Merah Poncol Ke Universitas Bani Saleh	0,87	0,86	0,01	Baik (8-10 satelit)
2	Universitas Bani Saleh Ke Halte SMP 2 Kota Bekasi	0,96	0,95	0,01	Baik (8-10 satelit)
3	Halte SMP 2 Kota Bekasi Ke Halte Cut Mutia 2	0,71	0,72	0,01	Baik (8-10 satelit)
4	Halte Cut Mutia 2 ke Halte Blue Plaza	0,74	0,73	0,01	Baik (7-9 satelit)
5	Halte Blue Plaza ke Halte 2 DPRD Kota Bekasi	0,92	0,91	0,01	Baik (7-9 satelit)
6	Halte-2 DPRD Kota Bekasi Ke Halte RS Mitra Keluarga Bekasi Timur	1,12	1,13	0,01	Baik (7-9 satelit)
7	Halte RS. Mitra Keluarga Bekasi Timur ke Cut Mutia 2	0,94	0,95	0,01	Baik (7-9 satelit)

Sumber: Hasil Pengujian Data (2026)



Sumber: Hasil pengujian data (2026)

Gambar 5. Grafik perbandingan jarak peta dan jarak GPS



Sumber: Hasil pengujian presentasi error jarak (2026)

Gambar 6. Grafik presentase error jarak GPS

3.5.2. Akurasi Data IoT

Komunikasi data IoT memungkinkan perangkat yang dipasang pada kendaraan mengirimkan data koordinat GPS secara berkala menuju server. Berdasarkan hasil pengujian, data dapat diterima oleh server dan disimpan ke dalam database sesuai dengan interval pengiriman yang ditentukan.

Tabel 4. Hasil pengujian komunikasi IoT

No	Waktu Pengiriman	Waktu Diterima Server	Selisih Waktu (Detik)	Status	Keterangan
1	09:10:00	09:10:01	1	Sukses	Jaringan stabil
2	09:10:05	09:10:06	1	Sukses	Jaringan stabil
3	09:10:10	09:10:12	2	Sukses	Jaringan stabil
4	09:10:15	09:10:18	3	Sukses	Jaringan Mulai Lambat
5	09:10:20	09:10:28	8	Sukses	Jaringan tidak stabil
6	09:10:25	09:10:26	1	Sukses	Jaringan stabil
Rata-Rata			2,67	Keterlambatan Rata-Rata	

Sumber: Hasil Pengujian Komunikasi IoT (2026)

3.5.3. Estimasi Waktu Kedatangan (ETA)

Perbedaan antara waktu estimasi dan waktu kedatangan aktual dianalisis menggunakan tiga metrik evaluasi, yaitu *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Penggunaan ketiga metrik tersebut bertujuan untuk mengetahui rata-rata kesalahan estimasi, persentase kesalahan terhadap waktu aktual, serta tingkat kesalahan yang lebih sensitif terhadap perbedaan estimasi yang besar (Chondrodima et al., 2022).

Mean Absolute Error (MAE)

MAE digunakan untuk menghitung rata-rata nilai absolut dari selisih antara waktu estimasi dan waktu kedatangan aktual. Semakin kecil nilai MAE, semakin dekat hasil estimasi sistem dengan waktu aktual.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |ETA_{Estimasi} - ETA_{aktual}|$$

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

MAPE digunakan untuk mengetahui rata-rata persentase kesalahan antara waktu estimasi dan waktu aktual. Nilai MAPE yang semakin kecil menunjukkan tingkat kesalahan persentase yang semakin rendah.

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{ETA_{estimasi} - ETA_{aktual}}{ETA_{aktual}} \right|$$

Root Mean Square Error (RMSE)

RMSE digunakan untuk mengukur besarnya kesalahan estimasi dengan memberikan bobot yang lebih besar terhadap kesalahan yang lebih tinggi. Semakin kecil nilai RMSE, semakin kecil tingkat kesalahan estimasi sistem.

$$RMSE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{ETA_{estimasi} - ETA_{aktual}}{ETA_{aktual}}}$$

Keterangan:

n = jumlah data pengujian

ETA estimasi = waktu kedatangan yang diperkirakan oleh system pada pengujian ke - (i)

ETA actual = waktu kedatangan actual pada pengujian ke -(i).

Tabel 5. Hasil Pengujian Estimasi Waktu Kedatangan

No	Rute Halte	Kondisi Lalu Lintas	ETA Estimasi (menit)	Aktual (menit)	Error (menit)	Error (%)
1	Halte Lampu Merah Poncol	Lancar	8	9	1	11,111

	Ke Universitas Bani Saleh					
2	Universitas Bani Saleh Ke Halte SMP 2 Kota Bekasi	Lancar	12	11	1	9,091
3	Halte SMP 2 Kota Bekasi Ke Halte Cut Mutia 2	Sedang	15	17	2	11,765
4	Halte Cut Mutia 2 ke Halte Blue Plaza	Sedang	10	11	1	9,091
5	Halte Blue Plaza ke Halte 2 DPRD Kota Bekasi	Padat	14	13	1	7,692
6	Halte-2 DPRD Kota Bekasi Ke Halte RS Mitra Keluarga Bekasi Timur	Padat	18	20	2	10,000
7	Halte RS. Mitra Keluarga Bekasi Timur ke Cut Mutia 2	Lancar	9	8	1	12,500
MAE					1,286 menit	
MAPE					10,179%	
RMSE					1,363	

Sumber: Hasil Pengujian ETA (2026)

Hasil pengujian estimasi waktu kedatangan (*Estimated Time of Arrival/ETA*) pada Tabel 5 menunjukkan adanya perbedaan antara waktu estimasi yang dihasilkan sistem dengan waktu kedatangan aktual kendaraan pada titik tujuan. Pengujian dilakukan terhadap 7 perjalanan dengan kondisi lalu lintas yang berbeda, yaitu lancar, sedang, dan padat. Berdasarkan hasil pengujian, selisih waktu estimasi terhadap waktu aktual berada pada rentang 1–2 menit.

Untuk mengukur kinerja estimasi secara kuantitatif, dilakukan perhitungan *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Berdasarkan 7 data pengujian, diperoleh nilai MAE sebesar 1,286 menit, MAPE sebesar 10,179%, dan RMSE sebesar 1,363 menit. Nilai MAE menunjukkan bahwa secara rata-rata waktu estimasi sistem memiliki selisih sekitar 1,286 menit atau sekitar 1 menit 17 detik terhadap waktu kedatangan aktual. Sementara itu, nilai MAPE sebesar 10,179% menunjukkan bahwa rata-rata persentase kesalahan estimasi terhadap waktu aktual berada pada kisaran 10%. Nilai RMSE sebesar 1,363 menit menunjukkan bahwa tingkat kesalahan estimasi relatif rendah, dengan pengaruh kesalahan yang lebih besar tetap diperhitungkan melalui proses kuadrat pada perhitungannya.

Perbedaan antara waktu estimasi dan waktu aktual dapat disebabkan oleh perubahan kecepatan kendaraan selama perjalanan, kondisi lalu lintas, waktu berhenti atau menunggu di titik tertentu, serta keterlambatan penerimaan dan pembaruan data posisi GPS melalui jaringan internet. Sebagai contoh, pada kondisi lalu lintas yang padat, kendaraan cenderung mengalami penurunan kecepatan sehingga waktu kedatangan aktual dapat lebih lama dibandingkan hasil

estimasi. Sebaliknya, pada kondisi lalu lintas yang lancar, kendaraan dapat bergerak dengan kecepatan lebih tinggi sehingga waktu kedatangan aktual dapat lebih cepat dari estimasi sistem.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan telah mampu memberikan estimasi waktu kedatangan yang relatif mendekati waktu aktual pada tujuh perjalanan yang diuji. Namun, variasi kondisi lalu lintas dan perubahan kecepatan kendaraan masih memengaruhi tingkat kesalahan estimasi. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa metode ETA yang diterapkan dapat digunakan sebagai informasi perkiraan waktu kedatangan bagi pengguna, meskipun akurasi masih dapat ditingkatkan melalui pengujian dengan jumlah perjalanan yang lebih banyak serta kondisi lalu lintas yang lebih beragam. Pengembangan selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan data kecepatan secara lebih dinamis dan informasi kondisi lalu lintas secara real-time agar estimasi waktu kedatangan dapat menyesuaikan perubahan kondisi perjalanan.

3.5.4. Pemeliharaan (Maintenance)

Tahap pemeliharaan (*maintenance*) merupakan tahap dalam metode *Software Development Life Cycle* (SDLC) yang dilakukan setelah sistem diimplementasikan. Pada penelitian ini, pemeliharaan diarahkan untuk menjaga agar sistem monitoring dan estimasi waktu kedatangan kendaraan tetap dapat berfungsi dengan baik setelah digunakan. Aktivitas pemeliharaan meliputi pemeriksaan dan perbaikan kesalahan pada sistem, pemantauan koneksi antara perangkat GPS, mikrokontroler, server, dan aplikasi web, serta pemeriksaan penyimpanan dan pengelolaan data pada basis data.

Selain pemeliharaan teknis, sistem dapat dikembangkan berdasarkan hasil penggunaan dan evaluasi yang dilakukan. Pengembangan tersebut dapat mencakup penyempurnaan fungsi monitoring, perbaikan mekanisme pembaruan data posisi kendaraan, serta peningkatan metode estimasi waktu kedatangan dengan mempertimbangkan data historis kecepatan, variasi kondisi perjalanan, dan pola perjalanan kendaraan.

Pada penelitian ini, tahap pemeliharaan tidak menjadi bagian dari pengujian akurasi sistem, melainkan merupakan tahapan lanjutan dalam SDLC untuk memastikan keberlanjutan penggunaan dan pengembangan sistem. Oleh karena itu, aktivitas pemeliharaan yang lebih kompleks, seperti optimasi algoritma ETA berdasarkan data historis dalam jumlah besar dan integrasi data lalu lintas secara real-time, dapat menjadi pengembangan pada penelitian selanjutnya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, telah berhasil dikembangkan sistem monitoring dan estimasi waktu kedatangan kendaraan umum berbasis GPS dan Internet of Things (IoT) di Kota Bekasi. Sistem mampu memperoleh dan menampilkan posisi kendaraan serta memberikan estimasi waktu kedatangan pada titik tujuan melalui aplikasi berbasis web. Hasil pengujian estimasi waktu kedatangan terhadap 7 perjalanan menunjukkan

bahwa selisih antara waktu estimasi dan waktu kedatangan aktual berada pada rentang 1–2 menit. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 1,286 menit, Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 10,179%, dan Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 1,363 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada data perjalanan yang diuji, estimasi waktu kedatangan sistem memiliki rata-rata kesalahan sekitar 1,286 menit terhadap waktu aktual. Perbedaan waktu estimasi dipengaruhi oleh perubahan kecepatan kendaraan, kondisi lalu lintas, waktu berhenti atau menunggu, serta keterlambatan pembaruan data GPS melalui koneksi internet. Meskipun hasil pengujian menunjukkan kinerja estimasi yang cukup baik pada perjalanan yang diuji, hasil tersebut belum dapat digeneralisasikan untuk seluruh kondisi perjalanan kendaraan umum di Kota Bekasi karena jumlah pengujian masih terbatas pada 7 perjalanan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian dengan jumlah perjalanan yang lebih banyak dan variasi waktu serta kondisi lalu lintas yang lebih beragam. Selain itu, sistem dapat dikembangkan dengan metode estimasi yang lebih adaptif, integrasi data lalu lintas secara real-time, peningkatan akurasi posisi GPS, serta pengembangan aplikasi berbasis mobile untuk memperluas akses informasi waktu kedatangan kendaraan.

Daftar Pustaka

- Annifah Hasibuan, M. (2025). Analisis Dan Rancang Bangun Sistem Informasi Akademik Menggunakan Metode System Development Life Cycle (SDLC). *Jurnal Informatika Teknologi Dan Sains*, 7(1), 385.
- Chondrodima, E., Georgiou, H., Pelekis, N., & Theodoridis, Y. (2022). Particle swarm optimization and RBF neural networks for public transport arrival time prediction using GTFS data. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(2). <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2022.100086>
- Munawar, G. (2024). Sistem Monitoring Kendaraan Logistik Secara Real-Time Berbasis Internet of Things (IoT). *Indonesian Journal of Computer Science and Engineering*, 1(02), 20–26. <https://doi.org/10.70656/ijcse.v1i02.118>
- Nugraha, K. A. (2023). *Real-Time Bus Arrival Time Estimation API using WebSocket in Microservices Architecture*. 13(3).
- Purwanto, I., & Febriansyah, I. R. (2025). Internet Of Things Untuk Sistem Deteksi Busway Non-BRT Real-Time Menggunakan Arduino Dan Platform Website. *Jurnal Minfo Polgan*, 13(2), 2280–2287. <https://doi.org/10.33395/jmp.v13i2.14442>
- Salih, T. A., & Younis, N. K. (2021). Designing an Intelligent Real-Time Public Transportation Monitoring System Based on IoT. *OALib*, 08(10), 1–14. <https://doi.org/10.4236/oalib.1107985>

- Song, B., Li, C., Chung, E., & Ye, H. (2026). Balancing confidence and precision in real-time bus arrival time prediction with uncertainty quantification. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.cacaie.2026.100006>
- Tigani, S. (2025). Geo-Statistics and Deep Learning-Based Algorithm Design for Real-Time Bus Geo-Location and Arrival Time Estimation Features with Load Resiliency Capacity. *AI (Switzerland)*, 6(7). <https://doi.org/10.3390/ai6070142>
- Zaki, I. Y., Anifah, L., Baskoro, F., & Puspitaningayu, P. (2023). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Detak Jantung, Suhu Tubuh, dan Cairan Infus Berbasis Internet of Things*. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/55715/44024>
- Zhang, X., Lauber, L., Liu, H., Shi, J., Xie, M., & Pan, Y. (2022). Travel time prediction of urban public transportation based on detection of single routes. *PLoS ONE*, 17(1 January 2022). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262535>