



Aplikasi Pendukung Driver Berbasis Web untuk Optimasi Rute dan Prediksi Waktu Tiba

Syamsul Ma'arif^a, Ahmad Nursodiq^b

^a Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan 15310, Indonesia

^b Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan 15310, Indonesia

Informasi Artikel

Kata Kunci:

A-Star
Kalman Filter
Estimated Time of Arrival
Web-Based Application
Logistics
Route Optimization.

ABSTRAK

Proses penentuan rute pengiriman di PT. Benfood Ekamakmur Nusajaya masih dilakukan secara manual, sedangkan estimasi waktu tiba (Estimated Time of Arrival/ETA) belum menggunakan mekanisme yang terstruktur. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi pendukung driver berbasis web dengan mengintegrasikan algoritma A-Star untuk menentukan rute dan Kalman Filter untuk estimasi ETA berdasarkan data koordinat, jarak, dan kecepatan kendaraan. Penelitian menggunakan metode pengembangan prototipe melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, dan pengujian. Hasil implementasi A-Star menghasilkan rute Gudang–Tip Top Ciputat–Tip Top Depok–Tip Top Pondok Bambu–Tip Top Bogor dengan total jarak 117 km. Kalman Filter menghasilkan estimasi kecepatan 64,75 km/jam dan ETA sekitar 1 jam 49 menit. Black Box Testing menunjukkan 36 dari 36 skenario berhasil, sedangkan evaluasi pengguna memperoleh nilai 85,6% dengan kategori Sangat Baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi A-Star dan Kalman Filter dapat mendukung perencanaan rute dan monitoring pengiriman secara lebih terstruktur.

Penulis Korespondensi:

Syamsul Ma'arif

Program Studi Teknik Informatika

Universitas Pamulang

Jalan Raya Puspipetek Nomor 46, Buaran, Pamulang, Tangerang Selatan, Banten, 15310

Email: mrsyamz@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Transformasi digital pada sektor logistik mendorong perusahaan untuk mengintegrasikan data distribusi, pemilihan rute, pemantauan perjalanan, dan estimasi waktu tiba ke dalam sistem yang dapat digunakan secara konsisten. Sistem berbasis web memberikan keuntungan karena informasi operasional dapat dikelola melalui satu antarmuka dan dapat diakses oleh pengguna yang memiliki kewenangan. Pada konteks distribusi, kualitas informasi rute dan waktu tiba memiliki hubungan langsung dengan kemampuan perusahaan dalam menyusun jadwal, mengendalikan proses pengiriman, serta mengevaluasi kinerja armada [1], [2].

PT. Benfood Ekamakmur Nusajaya merupakan perusahaan yang bergerak pada pengolahan dan distribusi produk makanan di wilayah Jabodetabek. Berdasarkan observasi dan wawancara yang menjadi dasar penelitian, penentuan rute masih dilakukan satu per satu oleh staf logistik atau manajer menggunakan Google Maps. Proses tersebut sangat bergantung pada pengalaman pengguna dalam membaca peta, menentukan

urutan tujuan, dan memperkirakan waktu perjalanan. Perhitungan jarak, urutan pengiriman, dan ETA yang dilakukan secara manual juga berpotensi menghasilkan keputusan yang berbeda untuk kondisi yang serupa. Kondisi ini menjadi semakin penting pada skenario *multi-drop delivery*, ketika satu kendaraan harus melayani beberapa tujuan dalam satu perjalanan.

Algoritma A-Star (A*) banyak digunakan untuk pencarian jalur karena menggabungkan biaya aktual dan fungsi heuristik melalui $f(n)=g(n)+h(n)$. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa A-Star dapat digunakan untuk optimasi rute distribusi dan pencarian jalur terpendek, baik pada distribusi produk maupun jaringan transportasi perkotaan [3]–[8]. Prasetyo dan Utami [4] menunjukkan penerapan A-Star pada sistem informasi geografis untuk optimasi distribusi, sedangkan Feng et al. [6] memperlihatkan bahwa pengembangan A-Star dapat digunakan untuk analisis jalur pada jaringan transportasi multi-tipe. Temuan tersebut memperkuat pemilihan A-Star sebagai metode penentuan rute pada penelitian ini.

Selain penentuan rute, ETA membutuhkan mekanisme yang mampu menghasilkan estimasi yang lebih stabil ketika data kecepatan atau posisi mengandung variasi. Kalman Filter merupakan metode estimasi rekursif yang menggabungkan prediksi keadaan dengan hasil pengukuran sehingga pengaruh noise dapat dikurangi. Penelitian Jin et al. [10] memperlihatkan penggunaan Kalman Filter untuk estimasi keadaan pada data GPS, sementara Kim et al. [11], Musayyanah et al. [12], dan Sholehurrohman et al. [13] menunjukkan relevansinya untuk estimasi dan pelacakan objek bergerak. Pada konteks kendaraan, pendekatan filtering tersebut dapat digunakan untuk memperoleh nilai kecepatan yang lebih stabil sebelum digunakan dalam perhitungan ETA.

Penelitian ini memiliki perbedaan utama pada integrasi kedua fungsi tersebut dalam satu aplikasi pendukung driver yang berfokus pada operasional distribusi PT. Benfood Ekamakmur Nusajaya. A-Star digunakan untuk menentukan urutan tujuan secara iteratif, sedangkan Kalman Filter digunakan untuk mengolah data perjalanan yang tersedia menjadi estimasi kecepatan dan ETA. Sistem juga menyediakan modul pengelolaan order, penugasan pengemudi, routing, monitoring, dan halaman pengiriman pengemudi. Dengan demikian, kontribusi penelitian tidak hanya terletak pada penerapan masing-masing algoritma, tetapi pada integrasi hasil perhitungan ke dalam alur kerja distribusi berbasis web.

Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan penelitian adalah: (1) mengembangkan aplikasi berbasis web yang mampu menentukan rute pengiriman menggunakan A-Star; (2) menerapkan Kalman Filter untuk menghasilkan ETA berdasarkan data koordinat, jarak, dan kecepatan kendaraan; dan (3) mengintegrasikan kedua metode sehingga informasi rute dan ETA tersedia dalam satu sistem. Batasan penelitian perlu diperhatikan, yaitu proses validasi menggunakan data pengiriman wilayah Jabodetabek dan data koordinat yang telah disiapkan sebagai data pengujian, bukan perangkat GPS fisik yang terhubung langsung ke kendaraan [9].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa sistem dengan pendekatan kuantitatif dan metode pengembangan prototipe. Metode dipilih karena penelitian tidak hanya menguji keluaran algoritma, tetapi juga menghasilkan perangkat lunak yang dikembangkan secara bertahap berdasarkan kebutuhan pengguna. Tahapan penelitian terdiri atas studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi prototipe, pengujian, analisis data, serta evaluasi hasil. Literatur digunakan untuk memperkuat pemilihan A-Star, Kalman Filter, pengembangan sistem berbasis web, pemodelan UML, dan teknik pengujian perangkat lunak [14]–[20], [26], [27].

Data penelitian diperoleh melalui observasi proses distribusi, wawancara dengan pihak yang terlibat dalam operasional pengiriman, studi dokumentasi, serta studi pustaka. Data sistem mencakup informasi pengguna, order, pengiriman, lokasi tujuan, rute, dan ETA. Data lokasi digunakan dalam bentuk latitude dan longitude, sedangkan data perjalanan digunakan untuk menghasilkan informasi posisi, jarak, dan kecepatan kendaraan pada proses pengujian. Arsitektur basis data dirancang secara terstruktur agar data order dapat dikaitkan dengan pengiriman, rute, dan ETA. Pendekatan pemodelan data dan penggunaan MySQL mengacu pada praktik perancangan basis data konseptual dan logikal [17], [18], [28].

Pada tahap analisis kebutuhan, proses berjalan dipetakan dari pembuatan order hingga pengiriman. Sistem usulan memisahkan fungsi sesuai peran, terutama Sales, Admin Logistik, dan Pengemudi. Sales berfokus pada pembuatan order, Admin Logistik mengelola pengiriman, driver, kendaraan, penugasan, routing, dan monitoring, sedangkan Pengemudi mengakses tugas pengiriman dan informasi jalur. Model UML digunakan untuk menjaga keterlacakan antara kebutuhan dan rancangan sistem. Penggunaan UML dalam perancangan sistem informasi juga banyak digunakan untuk mendeskripsikan hubungan aktor, proses, dan struktur perangkat lunak [19], [20], [29].

Implementasi dilakukan menggunakan PHP dan JavaScript dengan framework Laravel, Tailwind CSS, MySQL, Visual Studio Code, Google Chrome, serta lingkungan lokal XAMPP/LAMP. Sistem menyediakan

halaman Login, Order, Routing, Monitoring Pengiriman, dan Pengiriman Pengemudi. Penggunaan teknologi web memungkinkan proses pengelolaan data dan visualisasi peta ditempatkan dalam satu aplikasi, sedangkan struktur program memisahkan logika pengolahan data, perhitungan algoritma, dan penyimpanan hasil. Pendekatan implementasi web dan pemilihan lingkungan pengembangan tersebut konsisten dengan penelitian pengembangan sistem informasi berbasis web [1], [21], [26].

2.1. Model Perhitungan A-Star

A-Star diterapkan untuk menentukan rute menuju customer berikutnya pada skenario *multi-drop delivery*. Setelah satu tujuan dipilih, lokasi tersebut menjadi *start node* untuk pencarian berikutnya sampai seluruh tujuan dikunjungi. Fungsi evaluasi A-Star dinyatakan pada Persamaan (1).

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (1)$$

Nilai $g(n)$ merepresentasikan biaya aktual dari titik awal ke node saat ini, $h(n)$ merupakan estimasi jarak node menuju tujuan berdasarkan koordinat latitude dan longitude, sedangkan $f(n)$ merupakan nilai evaluasi yang digunakan untuk memilih node berikutnya. Node dengan $f(n)$ terkecil diprioritaskan. Model bobot antar-node pada penelitian menggunakan lokasi Gudang, Tip Top Ciputat, Tip Top Depok, Tip Top Pondok Bambu, dan Tip Top Bogor.

Tabel 1. Bobot antar-node yang digunakan pada perhitungan A-Star.

Rute antar-node	Jarak (km)
Gudang → Tip Top Ciputat	20
Gudang → Tip Top Depok	39
Gudang → Tip Top Pondok Bambu	40
Gudang → Tip Top Bogor	48
Tip Top Ciputat → Tip Top Depok	19
Tip Top Ciputat → Tip Top Pondok Bambu	28
Tip Top Ciputat → Tip Top Bogor	30
Tip Top Depok → Tip Top Pondok Bambu	28
Tip Top Depok → Tip Top Bogor	30
Tip Top Pondok Bambu → Tip Top Bogor	50

2.2. Model Estimasi Kalman Filter dan ETA

Kalman Filter digunakan untuk memperoleh estimasi kecepatan yang lebih stabil dari data pengukuran. Prosesnya terdiri dari tahap prediksi dan koreksi. Pada tahap prediksi, state diperkirakan berdasarkan state sebelumnya, sedangkan pada tahap koreksi estimasi diperbarui menggunakan hasil pengukuran dan Kalman Gain. Secara umum tahap prediksi ditulis sebagai Persamaan (2), sedangkan pembaruan state dinyatakan pada Persamaan (3).

$$\hat{x}_k^- = A \hat{x}_{k-1} + B u_k \quad (2)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H \hat{x}_k^-) \quad (3)$$

Setelah kecepatan hasil estimasi diperoleh, ETA dihitung dengan membagi jarak tersisa terhadap kecepatan estimasi sebagaimana Persamaan (4).

$$ETA = \text{Jarak Tersisa} / \text{Kecepatan Estimasi} \quad (4)$$

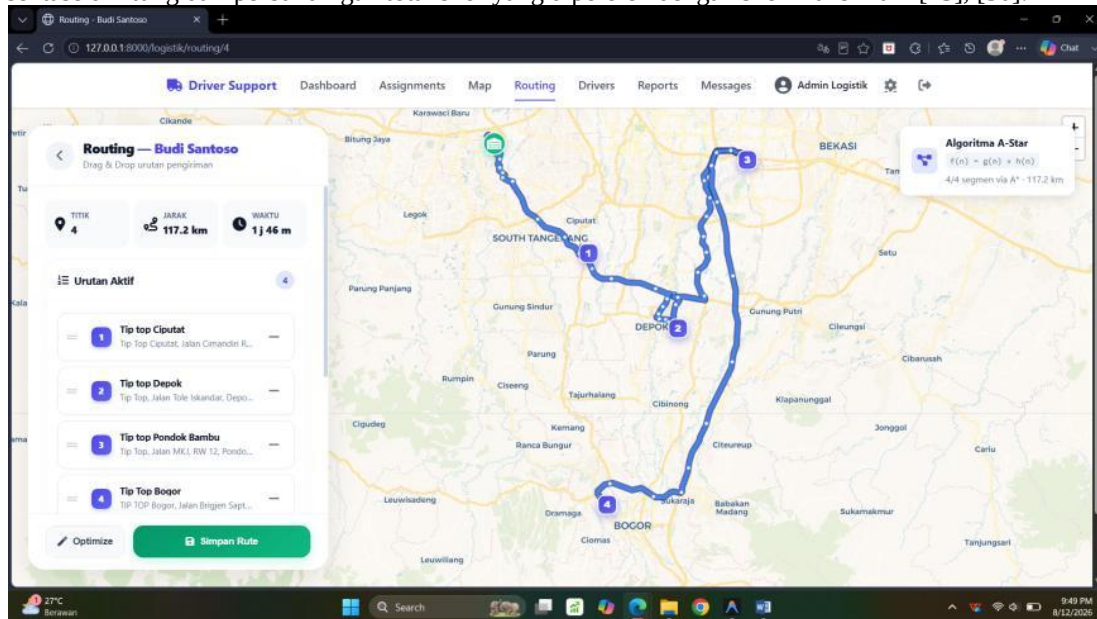
Dalam implementasi penelitian, data koordinat yang telah disiapkan digunakan sebagai data perjalanan. Dengan batasan tersebut, keluaran ETA diposisikan sebagai hasil validasi algoritma dan informasi pendukung monitoring pada lingkungan pengujian, bukan sebagai klaim akurasi GPS lapangan secara langsung.

2.3. Pengujian Sistem

Pengujian fungsional menggunakan Black Box Testing dengan pendekatan Equivalence Partitioning. Skenario dibagi menjadi Positive Testing untuk input valid dan Negative Testing untuk input atau kondisi tidak valid. Total terdapat 36 skenario, terdiri dari 26 skenario positif dan 10 skenario negatif. Pengujian mencakup autentikasi, pengelolaan order, geocoding, penugasan pengiriman, optimasi rute, monitoring, halaman pengiriman pengemudi, riwayat, dan fitur pendukung lainnya. Pendekatan ini digunakan untuk memastikan fungsi menghasilkan keluaran yang sesuai tanpa bergantung pada struktur kode internal [22]–[24], [27].

Evaluasi penerimaan pengguna dilakukan menggunakan kuesioner skala Likert 1–5. Responden terdiri atas satu manager, satu admin logistik, dan tiga pengemudi. Sepuluh pernyataan digunakan untuk menilai

kemudahan penggunaan, akses menu, kejelasan informasi rute dan ETA, manfaat pencarian rute, kecepatan sistem, monitoring, dukungan terhadap pekerjaan, kesesuaian kebutuhan, dan kepuasan keseluruhan. Persentase dihitung dari perbandingan total skor yang diperoleh dengan skor maksimum [25], [30].



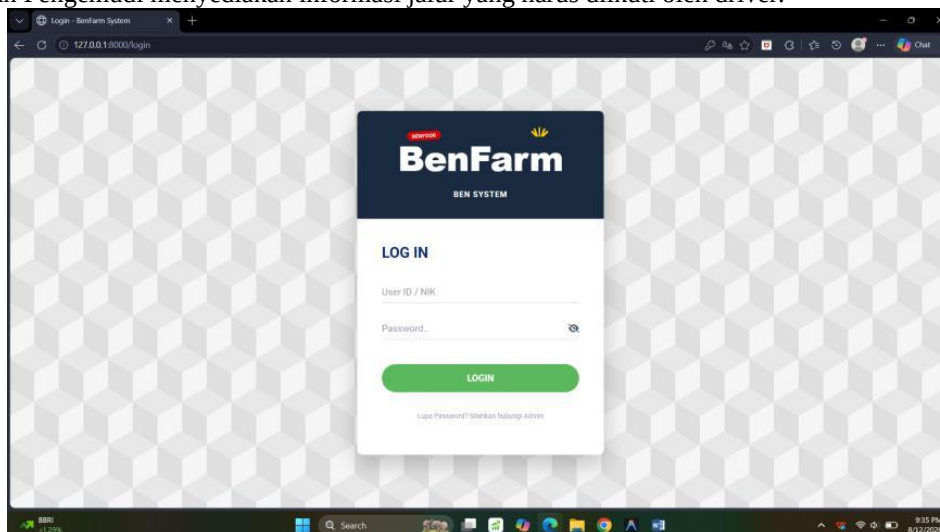
Gambar 1. Halaman Routing aplikasi pendukung driver.

Gambar 1 memperlihatkan antarmuka Routing yang menampilkan jalur pada peta, daftar urutan tujuan, jarak, dan estimasi waktu perjalanan. Tombol Optimize digunakan untuk menjalankan perhitungan rute, sedangkan hasil yang telah sesuai dapat disimpan untuk digunakan pada proses pengiriman. Antarmuka tersebut menjadi titik integrasi antara keluaran A-Star dan informasi ETA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Implementasi Sistem

Hasil implementasi menghasilkan aplikasi pendukung driver berbasis web yang mengintegrasikan pengelolaan data distribusi dengan perhitungan rute dan ETA. Modul Login melakukan autentikasi sesuai hak akses. Modul Order menampilkan data order dan informasi pelanggan. Modul Routing menerima data pengiriman yang dipilih kemudian menghitung urutan tujuan menggunakan A-Star. Modul Monitoring menampilkan posisi perjalanan, status pengiriman, rute, dan ETA pada peta. Sementara itu, halaman Pengiriman Pengemudi menyediakan informasi jalur yang harus diikuti oleh driver.



Gambar 2. Halaman Login aplikasi.

Halaman Login menjadi pintu masuk seluruh peran pengguna. Setelah autentikasi berhasil, sistem mengarahkan pengguna ke dashboard sesuai hak akses. Validasi kredensial yang salah juga diuji pada Negative Testing untuk memastikan sistem tidak memberikan akses ketika data autentikasi tidak sesuai.

3.2. Hasil Perhitungan Rute A-Star

Perhitungan A-Star dilakukan secara iteratif karena satu kendaraan memiliki beberapa tujuan. Pada tahap pertama, posisi awal adalah Gudang. Empat tujuan kandidat memiliki nilai $f(n)$ masing-masing 35,59; 66,85; 67,07; dan 88,26. Nilai terkecil adalah Tip Top Ciputat sehingga tujuan tersebut dipilih sebagai node berikutnya. Pada tahap kedua, posisi awal berubah menjadi Tip Top Ciputat. Kandidat Tip Top Depok, Tip Top Pondok Bambu, dan Tip Top Bogor memiliki nilai $f(n)$ 31,36; 47,50; dan 56,65. Tip Top Depok dipilih karena memiliki nilai terkecil.

Tabel 2. Rekapitulasi pemilihan node pada proses A-Star.

Tahap	Posisi awal	Node kandidat terpilih	$g(n)$	$h(n)$	$f(n)$	Akumulasi (km)
1	Gudang	Tip Top Ciputat	20	15,59	35,59	20
2	Tip Top Ciputat	Tip Top Depok	19	12,36	31,36	39
3	Tip Top Depok	Tip Top Pondok Bambu	28	19,24	47,24	67
4	Tip Top Pondok Bambu	Tip Top Bogor	50	39,36	89,36	117

Pada tahap ketiga, Tip Top Depok menjadi posisi awal dan dua tujuan tersisa dibandingkan. Nilai $f(n)$ untuk Tip Top Pondok Bambu adalah 47,24, sedangkan Tip Top Bogor 50,13, sehingga Tip Top Pondok Bambu dipilih. Pada tahap keempat hanya tersisa Tip Top Bogor dengan jarak 50 km. Akumulasi bobot antar-node menghasilkan $20 + 19 + 28 + 50 = 117$ km. Dengan demikian, rute yang dihasilkan adalah Gudang → Tip Top Ciputat → Tip Top Depok → Tip Top Pondok Bambu → Tip Top Bogor.

Hasil ini memperlihatkan bahwa A-Star memberikan dasar pemilihan rute yang eksplisit melalui nilai $g(n)$, $h(n)$, dan $f(n)$. Keuntungan pendekatan tersebut dibandingkan penentuan manual adalah keputusan urutan tujuan dapat ditelusuri berdasarkan nilai biaya, bukan hanya berdasarkan pengalaman operator. Temuan ini sejalan dengan penelitian tentang A-Star pada distribusi produk dan pencarian jalur transportasi [3]–[8]. Namun, bobot yang digunakan pada penelitian ini masih merepresentasikan jarak antar-node dan belum memasukkan parameter lalu lintas aktual, sehingga hasil rute sebaiknya dipahami sebagai rekomendasi berbasis data yang tersedia.

3.3. Hasil Estimasi ETA Menggunakan Kalman Filter

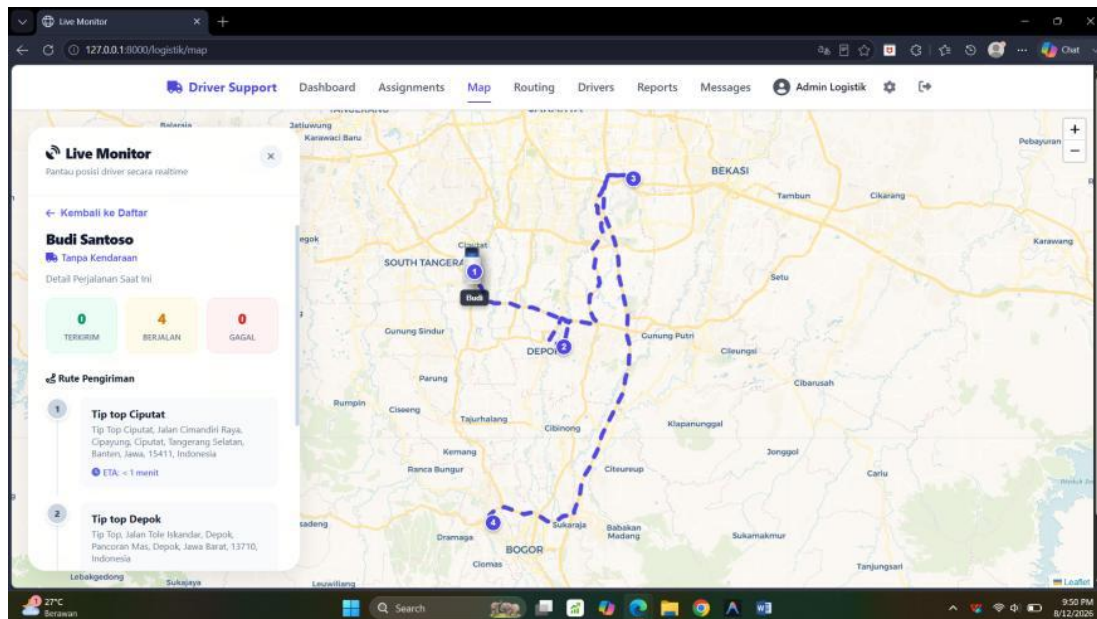
Setelah rute diperoleh, proses dilanjutkan dengan estimasi kecepatan. Parameter awal pada pengujian menggunakan jarak hasil rute sekitar 117,32 km, estimasi kecepatan awal 66,4 km/jam, kovarians awal 1, kovarians noise proses 0,1, dan kovarians noise pengukuran 0,5. Pada tahap prediksi, kovarians menjadi 1,1. Dengan pengukuran kecepatan sebesar 64 km/jam, Kalman Gain dihitung sebesar 0,6875. Nilai tersebut kemudian digunakan pada tahap koreksi untuk menghasilkan estimasi kecepatan 64,75 km/jam.

Tabel 3. Parameter dan hasil pengolahan Kalman Filter.

Parameter	Nilai	Keterangan
Jarak hasil A-Star	117,32 km	Jarak perjalanan pada data pengujian
Estimasi kecepatan awal	66,4 km/jam	State awal
Kovarians awal	1	Nilai awal error covariance
Noise proses (Q)	0,1	Parameter prediksi
Noise pengukuran (R)	0,5	Parameter koreksi
Kecepatan pengukuran	64 km/jam	Nilai observasi
Kalman Gain	0,6875	Hasil tahap koreksi
Kecepatan estimasi	64,75 km/jam	Hasil setelah Kalman Filter

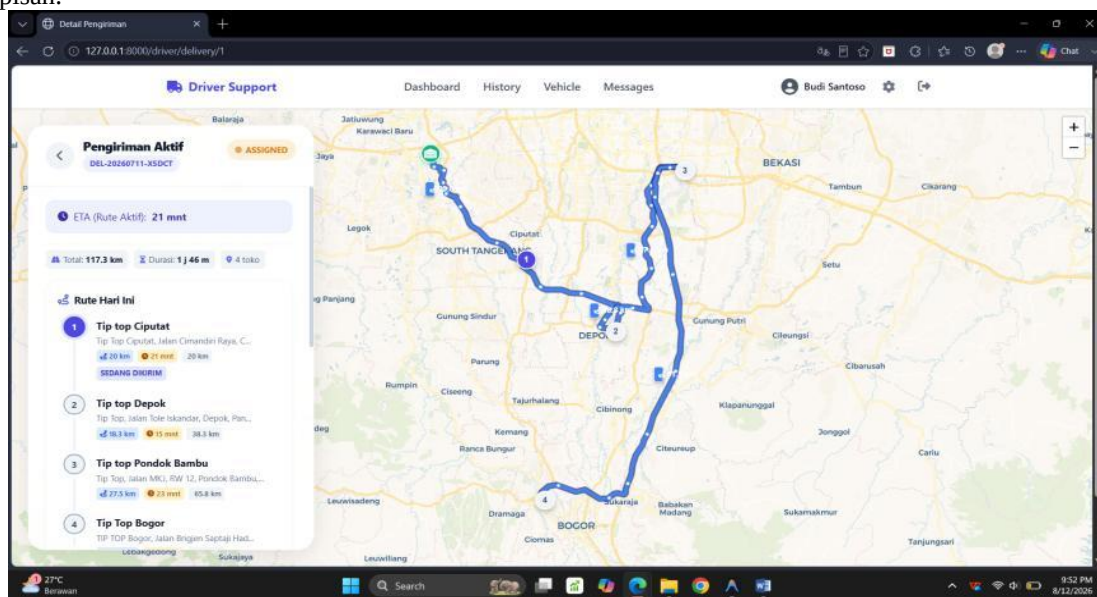
Dengan kecepatan estimasi 64,75 km/jam dan jarak 117,32 km, ETA dihitung sekitar 1,81 jam atau 1 jam 49 menit. Nilai tersebut menunjukkan fungsi Kalman Filter dalam menghasilkan estimasi kecepatan yang lebih terstruktur sebelum dikonversi menjadi waktu tiba. Pendekatan ini konsisten dengan temuan bahwa Kalman Filter dapat mengurangi pengaruh noise dan menghasilkan estimasi keadaan yang lebih stabil [10]–[14].

Penting untuk membedakan hasil algoritma dengan kondisi implementasi lapangan. Penelitian ini tidak menggunakan perangkat GPS fisik yang mengirimkan data kendaraan secara langsung. Data koordinat dan kecepatan telah disiapkan sebagai data pengujian, sehingga perubahan posisi pada antarmuka digunakan untuk memvalidasi alur pemrosesan sistem. Oleh karena itu, nilai ETA 1 jam 49 menit merupakan hasil perhitungan pada data pengujian dan belum dapat diperlakukan sebagai ukuran akurasi ETA pada seluruh kondisi lalu lintas nyata.



Gambar 3. Halaman monitoring pengiriman dan Live Monitor.

Gambar 3 menunjukkan halaman monitoring yang menggabungkan peta, rute, status pengiriman, informasi pengemudi, dan daftar tujuan. Pada lingkungan pengujian, data koordinat perjalanan digunakan untuk memperlihatkan perpindahan posisi dan pembaruan informasi ETA sesuai alur sistem. Integrasi ini membantu admin logistik memperoleh gambaran status pengiriman tanpa harus memeriksa data secara terpisah.



Gambar 4. Halaman pengiriman pengemudi.

Halaman pengiriman pengemudi menempatkan hasil rute sebagai informasi navigasi utama. Driver dapat melihat urutan tujuan dan jalur yang telah dihitung oleh sistem. Informasi ETA menjadi informasi pendukung untuk memahami estimasi waktu menuju tujuan. Desain antarmuka seperti ini mendukung prinsip bahwa informasi operasional harus disajikan secara jelas dan mudah dipahami oleh pengguna lapangan [20], [25], [30].

3.4. Hasil Black Box Testing

Black Box Testing menghasilkan 36 dari 36 skenario berhasil. Positive Testing terdiri dari 26 skenario dengan input valid, sedangkan Negative Testing terdiri dari 10 skenario dengan input atau kondisi tidak valid. Skenario positif mencakup autentikasi, tracking, pembuatan order, pengelolaan customer, penugasan pengiriman, optimasi A-Star, monitoring, laporan, komunikasi, profil, produk, penugasan massal, kendaraan,

laporan kinerja pengemudi, halaman pengiriman, dan riwayat. Skenario negatif mencakup kredensial salah, nomor resi tidak ditemukan, form wajib kosong, alamat gagal geocoding, driver tidak tersedia, rute kosong saat optimasi, rentang tanggal laporan tidak valid, bukti pengiriman tidak lengkap, alasan gagal kirim tidak dipilih, dan izin lokasi yang tidak tersedia.

Tabel 4. Rekapitulasi Black Box Positive Testing

No	Modul/Fitur	Jumlah Skenario	Berhasil	Gagal
1	Login & Autentikasi	2	2	0
2	Pelacakan Pengiriman	2	2	0
3	Manajemen Order	5	5	0
4	Penugasan Pengiriman	3	3	0
5	Routing Algoritma A-Star	4	4	0
6	Prediksi ETA (Kalman Filter)	3	3	0
7	Monitoring Pengiriman	3	3	0
8	Laporan & Penyelesaian Pengiriman	4	4	0
Total	26 Skenario	26	26	0

Tabel 5. Rekapitulasi Black Box Negatif Testing

No	Modul/Fitur	Jumlah Skenario	Berhasil	Gagal
1	Login Sistem	1	1	0
2	Pelacakan Pengiriman	1	1	0
3	Tambah Order Baru	1	1	0
4	Geocoding Pelanggan	1	1	0
5	Assign Pengiriman	1	1	0
6	Optimasi Rute (A-Star)	1	1	0
7	Cetak Laporan	1	1	0
8	Bukti Pengiriman (e-POD)	1	1	0
9	Gagal Kirim (Fail Reason)	1	1	0
10	Absensi (Clock In)	1	1	0
Total	10 Skenario	10	10	0

Keberhasilan seluruh skenario menunjukkan bahwa fungsi utama aplikasi dapat menangani kondisi normal maupun kondisi kesalahan sesuai ekspektasi. Pada kondisi negatif, sistem tidak hanya diuji apakah gagal melakukan proses, tetapi juga apakah dapat memberikan respons validasi yang tepat. Misalnya, ketika Optimize Route dijalankan tanpa tugas pengiriman, sistem memberikan notifikasi bahwa tidak ada rute yang dapat dioptimasi; ketika kredensial salah dimasukkan, sistem menolak akses. Temuan ini sesuai dengan tujuan Black Box Testing untuk memverifikasi kesesuaian perilaku eksternal sistem terhadap kebutuhan [22]–[24], [27].

3.5. Evaluasi Respons Pengguna

Evaluasi pengguna melibatkan lima responden, yaitu satu manager, satu admin logistik, dan tiga pengemudi. Sepuluh pernyataan dinilai menggunakan skala Likert 1–5. Nilai tertinggi diperoleh pada kepuasan keseluruhan dengan persentase 92%, sedangkan nilai terendah terdapat pada persepsi kecepatan sistem sebesar 80%. Informasi rute dan manfaat monitoring masing-masing memperoleh 88%, sedangkan kemudahan tampilan, login, ETA, dan kesesuaian kebutuhan memperoleh nilai antara 84% dan 88%.

Tabel 6. Hasil evaluasi respons pengguna.

No	Aspek yang dinilai	Skor	Rata-rata	Persentase
1	Tampilan mudah dipahami dan digunakan	21	4,2	84%
2	Login dan akses menu mudah	21	4,2	84%
3	Informasi rute mudah dipahami	22	4,4	88%
4	Informasi ETA mudah dipahami	21	4,2	84%
5	Pencarian rute membantu pengiriman	22	4,4	88%
6	Aplikasi berjalan cepat	20	4,0	80%
7	Monitoring membantu distribusi	22	4,4	88%
8	Memudahkan pekerjaan dibanding sebelumnya	21	4,2	84%
9	Fitur sesuai kebutuhan	21	4,2	84%
10	Kepuasan keseluruhan	23	4,6	92%

Total skor yang diperoleh adalah 214 dari skor maksimum 250, sehingga persentase keseluruhan sebesar $214/250 \times 100\% = 85,6\%$. Berdasarkan kategori yang digunakan dalam penelitian, nilai tersebut termasuk kategori Sangat Baik. Hasil ini menunjukkan bahwa pengguna menerima sistem dengan baik, terutama pada aspek informasi rute, monitoring, dan kepuasan keseluruhan. Meski demikian, nilai 80% pada aspek kecepatan menjadi indikasi bahwa optimasi performa antarmuka, pemrosesan data peta, atau waktu respons server dapat menjadi perhatian pada pengembangan berikutnya.

3.6. Pembahasan Integrasi dan Keterbatasan

Integrasi A-Star dan Kalman Filter membentuk alur pengambilan keputusan yang berurutan. A-Star terlebih dahulu menghasilkan urutan tujuan berdasarkan biaya rute, kemudian data perjalanan pada rute tersebut menjadi masukan untuk estimasi kecepatan dan ETA. Hasil akhirnya ditampilkan pada halaman routing, monitoring, dan pengiriman pengemudi. Pola integrasi ini membuat sistem tidak berhenti pada perhitungan algoritmik, tetapi menerjemahkan hasil perhitungan menjadi informasi operasional yang dapat digunakan oleh pengguna.

Dari sisi efisiensi proses, sistem mengurangi ketergantungan terhadap penentuan rute manual karena urutan tujuan dihitung menggunakan nilai $f(n)$. Dari sisi estimasi, Kalman Filter memberikan mekanisme formal untuk mengolah perubahan nilai kecepatan. Dari sisi penerimaan, nilai 85,6% menunjukkan sistem dapat diterima dengan baik oleh pengguna. Hasil tersebut memperkuat temuan penelitian terdahulu mengenai penggunaan A-Star untuk pencarian jalur dan Kalman Filter untuk estimasi keadaan [3]–[14].

Namun, terdapat tiga keterbatasan utama. Pertama, bobot A-Star belum memasukkan kemacetan, hambatan jalan, atau waktu tempuh aktual sehingga optimasi masih berorientasi pada jaringan dan jarak yang tersedia. Kedua, ETA menggunakan dataset koordinat dan kecepatan yang telah disiapkan, sehingga belum mewakili variasi sensor GPS fisik di lapangan. Ketiga, jumlah responden evaluasi pengguna masih terbatas pada lima orang. Keterbatasan tersebut perlu dipertimbangkan ketika menginterpretasikan hasil sebagai validasi awal sistem, bukan sebagai generalisasi kinerja untuk seluruh kondisi operasional.

3.7. Analisis Perbandingan Sistem Berjalan dan Sistem Usulan

Perbandingan sistem dilakukan untuk melihat perubahan proses setelah aplikasi diterapkan. Pada sistem berjalan, staf logistik atau manajer menentukan rute menggunakan Google Maps dan pengalaman operasional. Setiap tujuan diperiksa satu per satu, kemudian urutan pengiriman dan estimasi waktu ditentukan secara manual. Sistem usulan memindahkan sebagian aktivitas tersebut ke dalam satu alur terkomputerisasi, mulai dari pemilihan data pengiriman, perhitungan rute, penyimpanan hasil rute, sampai penyajian ETA pada halaman monitoring.

Tabel 7. Perbandingan karakteristik sistem berjalan dan sistem usulan.

Aspek	Sistem berjalan	Sistem usulan
Penentuan rute	Manual menggunakan pemetaan digital dan pengalaman staf	Menggunakan A-Star berdasarkan $g(n)$, $h(n)$, dan $f(n)$
Urutan multi-drop	Ditentukan operator secara manual	Ditentukan iteratif berdasarkan node dengan $f(n)$ terkecil
Estimasi waktu tiba	Perkiraan manual berdasarkan jarak dan pengalaman	Menggunakan estimasi kecepatan Kalman Filter dan jarak tersisa
Monitoring	Informasi tersebar pada proses operasional	Rute, status, tujuan, dan ETA disajikan dalam satu halaman
Validasi fungsi	Bergantung pada pemeriksaan pengguna	Divalidasi dengan 36 skenario Black Box Testing
Evaluasi pengguna	Belum terukur secara sistematis	Diukur dengan kuesioner Likert dan memperoleh 85,6%

Perubahan tersebut tidak berarti sistem menggantikan seluruh keputusan staf logistik. Aplikasi berfungsi sebagai alat bantu keputusan yang memberikan rekomendasi rute dan estimasi berdasarkan data yang tersedia. Pengguna tetap dapat meninjau hasil, melakukan optimasi ulang ketika data pengiriman berubah, dan menyimpan hasil rute setelah dianggap sesuai. Posisi ini penting karena kualitas rekomendasi A-Star bergantung pada bobot jaringan, sedangkan kualitas ETA bergantung pada data perjalanan yang tersedia. Pendekatan sistem pendukung keputusan seperti ini sejalan dengan penelitian Sar dan Ghadimi [15] yang menempatkan antarmuka web sebagai sarana untuk membantu keputusan routing kendaraan.

Dari perspektif operasional, manfaat utama sistem terletak pada konsistensi proses. Pada sistem manual, penentuan rute dapat dipengaruhi oleh pengalaman individu. Pada sistem usulan, setiap pemilihan node

memiliki dasar perhitungan yang dapat ditelusuri. Hal tersebut membuat hasil lebih mudah dijelaskan kepada pengguna dan lebih mudah diuji. Selain itu, integrasi dengan basis data memungkinkan hasil rute dan ETA disimpan bersama data pengiriman sehingga informasi dapat digunakan kembali pada halaman monitoring, riwayat, dan evaluasi kinerja.

Dari perspektif teknis, hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi antar-modul telah berjalan sesuai kebutuhan. Positive Testing membuktikan fungsi normal dapat diproses, sedangkan Negative Testing membuktikan sistem dapat menangani kondisi kesalahan. Hasil user response memperlihatkan bahwa pengguna menilai informasi rute dan monitoring sebagai bagian yang membantu proses distribusi. Nilai kecepatan sistem yang lebih rendah dibanding aspek lainnya menunjukkan bahwa peningkatan performa masih relevan, misalnya melalui optimasi query, pengurangan pemrosesan data yang tidak diperlukan, caching informasi peta, atau pengaturan interval pembaruan data pada lingkungan produksi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian memperlihatkan bahwa kombinasi optimasi rute dan estimasi ETA dapat diterjemahkan menjadi fungsi yang berguna ketika kedua metode diintegrasikan dengan alur kerja pengguna. Nilai tambah penelitian bukan hanya pada angka hasil algoritma, tetapi pada kemampuan sistem menghubungkan data order, pengiriman, rute, posisi perjalanan, dan ETA dalam satu lingkungan aplikasi. Meskipun demikian, generalisasi hasil masih dibatasi oleh dataset pengujian dan jumlah responden. Implementasi lanjutan dengan GPS kendaraan secara langsung dan data lalu lintas aktual akan menjadi langkah penting untuk menguji ketahanan sistem terhadap variasi perjalanan yang lebih kompleks.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan aplikasi pendukung driver berbasis web yang mengintegrasikan optimasi rute dan estimasi waktu tiba untuk mendukung distribusi PT. Benfood Ekamakmur Nusajaya. Algoritma A-Star berhasil menentukan urutan tujuan Gudang → Tip Top Ciputat → Tip Top Depok → Tip Top Pondok Bambu → Tip Top Bogor dengan akumulasi bobot antar-node sebesar 117 km. Pemilihan tersebut dilakukan berdasarkan nilai $f(n)$ terkecil pada setiap tahap pencarian, sehingga proses penentuan rute menjadi lebih terstruktur dibandingkan penentuan manual. Kalman Filter berhasil diterapkan melalui tahap prediksi dan koreksi untuk memperoleh estimasi kecepatan sebesar 64,75 km/jam dari data pengujian. Dengan jarak 117,32 km, ETA yang dihasilkan sekitar 1 jam 49 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa Kalman Filter dapat digunakan sebagai mekanisme pengolahan kecepatan sebelum perhitungan ETA. Akan tetapi, karena data posisi dan kecepatan berasal dari dataset pengujian dan tidak berasal dari perangkat GPS fisik secara langsung, hasil ETA harus dipahami sebagai validasi fungsional pada lingkungan penelitian. Secara fungsional, seluruh 36 skenario Black Box Testing berhasil, terdiri dari 26 Positive Testing dan 10 Negative Testing. Evaluasi lima pengguna menghasilkan total skor 214 dari 250 atau 85,6% dengan kategori Sangat Baik. Dengan demikian, integrasi A-Star dan Kalman Filter pada aplikasi yang dikembangkan telah mampu menyediakan alur pengelolaan pengiriman, penentuan rute, monitoring, dan informasi ETA dalam satu sistem. Pengembangan berikutnya disarankan mengintegrasikan GPS kendaraan secara langsung, menambahkan parameter lalu lintas pada pembobotan A-Star, serta memperluas jumlah pengguna dan variasi data untuk menguji sistem pada kondisi operasional yang lebih beragam. Secara praktis, aplikasi dapat digunakan sebagai lapisan pendukung keputusan pada proses persiapan pengiriman. Admin logistik dapat memilih order, menetapkan pengemudi, menjalankan optimasi rute, dan menyimpan hasil perhitungan sebelum kendaraan berangkat. Saat perjalanan berlangsung, hasil tersebut menjadi acuan pada halaman pengemudi dan monitoring. Integrasi basis data juga membuka peluang untuk analisis historis, seperti perbandingan jarak rencana dengan perjalanan, evaluasi beban kerja pengemudi, dan identifikasi pola tujuan. Pada pengembangan berikutnya, integrasi GPS kendaraan dan data lalu lintas dapat mengubah sistem dari validasi berbasis dataset menjadi platform yang lebih adaptif terhadap kondisi perjalanan aktual. Kinerja selanjutnya dapat dievaluasi menggunakan metrik error ETA dan perbandingan rute terhadap metode manual atau baseline lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Gustiawan and H. Rian, "Perancangan Sistem Informasi Manajemen Pengiriman Barang Berbasis Web," *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 236–242, 2023, doi: 10.37012/jtik.v9i1.1443.
- [2] G. Barlian and S. Susanti, "Sistem Informasi Tracking Logistik Berbasis Website pada Distribution Center PT Akur Pratama (Yogya Group)," *Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2022.
- [3] S. M. Baisa, A. Imran, H. Maulana, and A. U. Afifah, "Efficient Route Planning for Flour Distribution: A Heuristic Approach," *Jurnal Sistem Teknik Industri*, vol. 26, no. 2, pp. 278–285, 2024, doi: 10.32734/jsti.v26i2.17223.
- [4] F. T. Prasetyo and A. W. Utami, "Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis Untuk Optimasi Rute Terpendek Distribusi Produk Dengan Algoritma A-Star (Studi Kasus UD Ali Berkah)," *Journal of Emerging Information Systems and Business Intelligence*, vol. 5, no. 3, pp. 181–190, 2024.

- [5] Y. Damayanti and Y. Akbar, "Implementasi Algoritma A* (A-Star) untuk Mencari Rute Terpendek dari Kelurahan Cibubur ke Perpustakaan Nasional Republik Indonesia," *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi*, vol. 5, no. 3, pp. 3306–3325, 2024, doi: 10.35870/jimik.v5i3.1022.
- [6] Y. Feng, W. Zhang, and J. Zhu, "Application of an Improved A* Algorithm for the Path Analysis of Urban Multi-Type Transportation Systems," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 24, 2023, doi: 10.3390/app132413090.
- [7] I. P. A. Wiratama Putra and I Gede Arta Wibawa, "Implementasi Algoritma A* (Star) dengan Graf untuk Menentukan Rute Terpendek Distributor Kopi," *Jnatia*, vol. 1, pp. 1053–1062, 2023.
- [8] A. M. Olow, A. M. Chalik, K. Mutmainnah, and D. Komalasari, "Pencarian Jalur Terpendek Pengiriman Barang Menggunakan Algoritma A Star Studi Kasus Kantor JNE di Jakarta Selatan," *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, vol. 1, no. 1, pp. 88–97, 2022, doi: 10.55606/jurritek.v1i1.591.
- [9] R. Putra Febriansyah, "Design of a Web-Based Incoming Goods Information System to Support Logistics Performance at Bintang Technic," *Journal Innovations Computer Science*, vol. 4, no. 2, pp. 82–93, 2025, doi: 10.56347/jics.v4i2.299.
- [10] X. B. Jin, W. Chen, H. J. Ma, J. L. Kong, T. L. Su, and Y. T. Bai, "Parameter-Free State Estimation Based on Kalman Filter with Attention Learning for GPS Tracking in Autonomous Driving System," *Sensors*, vol. 23, no. 20, 2023, doi: 10.3390/s23208650.
- [11] S. Kim, I. Petrunin, and H. S. Shin, "A Review of Kalman Filter with Artificial Intelligence Techniques," in *Proc. Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, 2022, pp. 5–7, doi: 10.1109/ICNS54818.2022.9771520.
- [12] M. Musayyanah, C. D. Affandi, and K. Lebdaningrum, "Penerapan Filter Kalman untuk Estimasi Jarak dan Posisi pada Lokalisasi Outdoor berbasis RSSI dengan Komunikasi LoRa," *ELKOMIKA*, vol. 11, no. 4, p. 849, 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i4.849.
- [13] R. Sholehurrohmah, M. R. Habibi, I. S. Ilman, R. Taufiq, and M. Muhaqiqin, "Analisis Metode Kalman Filter, Particle Filter dan Correlation Filter Untuk Pelacakan Objek," *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, vol. 12, no. 2, pp. 21–28, 2023, doi: 10.34010/komputika.v12i2.9567.
- [14] L. Putra Pratama, M. A. I. Pakereng, et al., "Deteksi kendaraan di lalu lintas menggunakan Kalman Filter dan Yolo v8," *AITI: Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 22, no. 2, pp. 192–205, 2025.
- [15] K. Sar and P. Ghadimi, "A Web-Interface Based Decision Support System for Optimizing Home Healthcare Waste Collection Vehicle Routing," *Logistics*, vol. 8, no. 4, 2024, doi: 10.3390/logistics8040119.
- [16] L. H. Amira S, "Information System-Based Supply Chain Management Strategy to Improve Company Operational Performance," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 13, no. 1, pp. 289–296, 2024, doi: 10.33395/jmp.v13i1.13575.
- [17] R. A. Pradipta, P. B. Wintoro, and D. Budiyo, "Perancangan Pemodelan Basis Data Sistem Informasi Secara Konseptual Dan Logikal," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 10, no. 2, 2022, doi: 10.23960/jitet.v10i2.2541.
- [18] I. R. Mukhlis et al., "Rancangan Basis Data Absensi Pegawai Menggunakan MySQL Dengan Conceptual Data Model (CDM), Physical Data Model (PDM), Dan Entity Relationship Diagram (ERD)," *Computing Insight: Journal of Computer Science*, vol. 6, no. 2, pp. 1–17, 2024, doi: 10.30651/comp_insight.v6i2.24337.
- [19] S. Narulita, A. Nugroho, and M. Z. Abdillah, "Diagram Unified Modelling Language (UML) untuk Perancangan Sistem Informasi Manajemen Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (SIMLITABMAS)," *Bridge: Jurnal Publikasi Sistem Informasi dan Telekomunikasi*, vol. 2, no. 3, pp. 244–256, 2024, doi: 10.62951/bridge.v2i3.174.
- [20] Y. P. Pratiawan, V. Effendy, and A. Herdiani, "Redesigning User Interface of Teman Bus Application Using Goal-Directed Design," *JUPI*, vol. 8, no. 1, pp. 189–198, 2023, doi: 10.29100/jupi.v8i1.3333.
- [21] M. N. Wilyanto, J. Firnando, B. Franko, S. P. Tanzil, H. C. Tan, and E. Hartati, "Pembuatan Website Menggunakan Visual Studio Code di SMA Xaverius 3 Palembang," *Fordicate*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: 10.35957/fordicate.v3i1.5057.
- [22] . T. Abdillah, I. Kurniastuti, F. A. Susanto, and F. Yudianto, "Implementasi Black Box Testing dan Usability Testing pada Website Sekolah MI Miftahul Ulum Warugunung Surabaya," *Journal of Computer Science and Visual Communication Design*, vol. 8, no. 1, pp. 234–242, 2023, doi: 10.55732/jikdiskomvis.v8i1.897.
- [23] E. Setiana, M. R. Ramadhan, Budiman, and R. Y. Rakhman, "Pengujian Perangkat Lunak Metode Black Box Pada Aplikasi Sistem Pakar Pola Latihan dan Asupan Makanan," *Nuansa Informatika*, vol. 18, no. 1, pp. 68–74, 2024, doi: 10.25134/ilkom.v18i1.67.
- [24] K. C. M. Hudi Fariz Cahyo, "The Pengujian Black Box Testing pada Sistem Informasi Assesment Berbasis WEB di Bidang Pariwisata," *Jurnal Ilmiah Komputasi*, vol. 22, no. 4, pp. 553–560, 2023, doi: 10.32409/jikstik.22.4.3490.
- [25] S. Tendean, J. Simarmata, and R. Putra, "Designing a Web-Based and Mobile Attendance Information System to Improve Operational Efficiency at CV Bengkel Teknologi Indonesia," *Jurnal Teknologi dan Ilmu Komputer Prima*, vol. 8, no. 2, pp. 113–125, 2025, doi: 10.34012/jutikomp.v8i2.7480.
- [26] R. Hidayat, A. W. Solehudin, A. Mursyid, C. E. Poetra, D. R. Putri, and S. K. Fitriani, "Perancangan dan Pengembangan Sistem Informasi Ujian Online Berbasis Website dengan Metode Waterfall di Universitas Putra Bangsa," *Technology and Informatics Insight Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 106–118, 2023, doi: 10.32639/tij.v2i2.780.
- [27] A. C. Praniffa, A. Syahri, F. Sandes, U. Fariha, and Q. A. Giansyah, "Pengujian Black Box dan White Box Sistem Informasi Parkir Berbasis Web," *Jurnal Testing dan Implementasi Sistem Informasi*, vol. 1, no. 1, pp. 1–16, 2023.

- [28] D. Trihapningsari and M. A. Putri, "Perancangan Basis Data Sistem Reservasi Wisma Universitas Terbuka dengan Metode Database Life Cycle," *Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Aplikasi*, vol. 7, no. 4, pp. 1638–1646, 2024, doi: 10.32493/jtsi.v7i4.45421.
- [29] M. R. Wayahdi and F. Ruziq, "Pemodelan Sistem Penerimaan Anggota Baru dengan Unified Modeling Language (UML)," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 12, no. 1, pp. 1514–1521, 2023, doi: 10.33395/jmp.v12i1.12870.
- [30] U. Nugraha, "User Experience Optimization: A Usability Testing Approach to Web Applications," vol. 14, no. 1, pp. 71–76, 2024, doi: 10.54209/infosains.v14i01.