



Waktu Respons Transmisi Data Dalam Implementasi Algoritma A-Star Pada Sistem Pengambilan Tempat Sampah IoT Berbasis Telegram

Sasridarti Tari Sejahtera Sabuna¹, Dwi Marisa Midyanti², Kasliono³

Email: sabunatari@gmail.com, dwi.marisa@siskom.untan.ac.id, kasliono@siskom.untan.ac.id

Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura

Diterima: 25 Oktober 2025 | Direvisi: - | Disetujui: 12 Desember 2025

©2020 Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer,
Universitas Muhammadiyah Riau, Indonesia

Abstrak

Pengelolaan sampah yang efektif membutuhkan sistem pemantauan dan penentuan rute pengambilan yang efisien. Salah satu tantangan utama adalah keterlambatan dalam pengiriman informasi yang belum terintegrasi secara terjadwal otomatis. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini merancang sistem pemantauan dan penentuan rute pengambilan tempat sampah IoT menggunakan algoritma A-Star, karena algoritma ini mampu menentukan rute secara efisien dengan mempertimbangkan jarak antar node serta kondisi volume sampah. Sistem dilengkapi dengan *website* yang menampilkan kondisi volume sampah pada setiap node, dengan hasil rute dikirim ke petugas melalui *platform* telegram. Fokus penelitian ini adalah menganalisis kinerja sistem, khususnya pada waktu respon transmisi data yang didefinisikan sebagai rentang waktu mulai dari sensor mendeteksi volume sampah, data dikirim oleh ESP32 ke server, server memproses algoritma hingga informasi rute atau notifikasi di terima oleh pengguna. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata waktu pemrosesan algoritma A-Star di server sebesar 0,0135 s, rata-rata *delay* transmisi data sebesar 1.2659 s atau 1265.9 ms yang masuk kategori KURANG berdasarkan standar TIPHON, dan rata-rata waktu update sistem sebesar 6,38473 s.

Kata kunci: *Tempat Sampah IoT, Algoritma A-Star, Respon Transmisi Data, Delay.*

Response Time Of Data Transmission In The Implementation Of The A-Star Algorithm In A Telegram-Based IoT Waste Disposal System

Abstract

Effective waste management requires an efficient monitoring system and collection route determination. One of the main challenges is the delay in delivering information that is not yet integrated into an automated schedule. To address this, this research designs an IoT-based waste bin monitoring and collection route determination system using the A-Star algorithm, as this algorithm can efficiently determine routes by considering the distance between nodes as well as the waste volume conditions. The system is equipped with a *website* that displays the waste volume conditions at each node, with the resulting routes sent to officers via the Telegram platform. The focus of this research is to analyze the system's performance, specifically the data transmission response time, which is defined as the time span starting from when the sensor detects the waste volume, data is sent by the ESP32 to the server, the server processes the algorithm, until the route information or notification is received by the user. The results show that the average processing time of the A-Star algorithm on the server is 0.0135 s, the average data transmission delay is 1.2659 s or 1265.9 ms, which is categorized as POOR based on the TIPHON standard, and the average system update time is 6.38473 s.

Keywords: *IoT Trash Bin, A-Star Algorithm, Data Transmission Response, Delay.*

1. PENDAHULUAN

Sampah sering kali menjadi salah satu masalah dalam lingkungan masyarakat. Ketika tempat sampah penuh, masyarakat sering kali membuang sampah di sekitar area tersebut, yang kemudian menyebabkan pencemaran lingkungan dan menimbulkan bau tidak sedap di sekitarnya. Hal ini dapat berdampak negatif pada kualitas hidup di lingkungan tersebut. Kemajuan di bidang IoT telah memungkinkan perbaikan sistem pengelolaan sampah yang ada. Dengan mengimplementasikan sensor pada tempat sampah dan konektivitas IoT, sistem dapat melakukan pemantauan secara *real-time* yang tidak terdapat pada sistem pengelolaan limbah yang ada [1]. Namun, salah satu tantangan utama yang dihadapi dalam sistem ini adalah waktu respon dan transmisi data dan bagaimana mengoptimalkan pengambilan sampah dengan menentukan rute terpendek dan efisien bagi petugas pengambilan sampah.

Dalam konteks ini, implementasi algoritma A-Star menjadi relevan untuk diteliti lebih lanjut. Algoritma A-Star merupakan salah satu algoritma pencarian jalur pada komputer yang memanfaatkan estimasi jarak terpendek menuju tujuan dan algoritma ini menggunakan nilai heuristik sebagai dasar pertimbangan dalam menentukan alternatif jalur yang efektif untuk mencapai sasaran [2]. Dalam kasus pengambilan sampah, rute terpendek sangat penting untuk mengurangi waktu perjalanan, menghemat bahan bakar, dan meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan [3]. Selain itu, dalam sistem pemantauan tempat sampah berbasis IoT, terdapat beberapa faktor yang memengaruhi kecepatan transmisi data dari sensor ke server, serta waktu yang dibutuhkan server untuk memproses dan mengirimkan hasil analisis kembali ke sistem pengelola.

Transmisi data dalam sistem ini melibatkan beberapa tahap yaitu pengiriman data dari sensor ke mikrokontroler, mikrokontroler ke server pusat, pemrosesan data di server pusat, dan akhirnya pengiriman hasil perhitungan rute ke petugas sampah. Setiap tahap transmisi data berpotensi mengalami *delay* yang dapat mempengaruhi efisiensi keseluruhan sistem salah satunya faktor jarak, semakin besar jarak semakin besar juga *delay* [4]. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi penurunan kualitas layanan internet meliputi jarak perangkat dengan access point, kekuatan sinyal access point, lokasi pengambilan data, serta teknologi yang digunakan pada perangkat [5]. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, waktu respon menjadi salah satu metrik penting dalam menentukan efisiensi sistem pengambilan sampah berbasis IoT. Waktu yang dibutuhkan dari saat data sampah dikirim hingga rute pengambilan sampah yang baru dikirimkan kembali ke petugas pengelola harus seminimal mungkin.

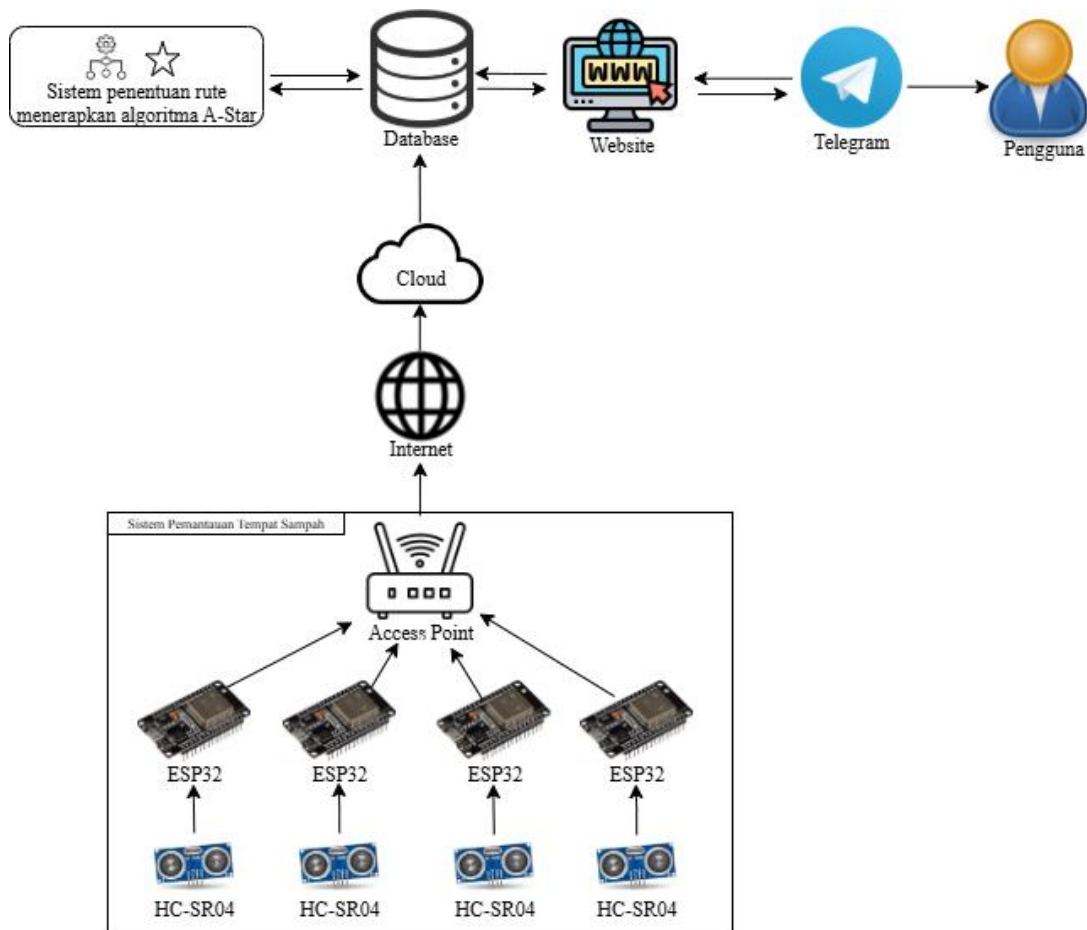
Berdasarkan latar belakang diatas, maka dilakukan penelitian dengan judul “Waktu Respons Transmisi Data dalam Implementasi Algoritma A-Star pada Sistem Pengambilan Tempat Sampah IoT Berbasis Telegram”. Penelitian ini menggunakan data masukan berupa volume sampah dan jarak dari petugas sampah. Dengan penelitian ini diharapkan dapat menciptakan sebuah sistem untuk menentukan rute pengambilan sampah agar dapat memberikan solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan untuk manajemen sampah perkotaan, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan kualitas lingkungan dan efisiensi operasional.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara terstruktur, diperlukan sebuah panduan berupa tahapan penelitian. Tahapan penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu : Studi Literatur, Analisis Kebutuhan, Perancangan Sistem, Implementasi Sistem, Pengujian Sistem, serta Kesimpulan. Adapun tahap tersebut diuraikan sebagai berikut:

- 1) Studi Literatur: Tahap ini merupakan studi pustaka yang bertujuan untuk mengumpulkan data yang berkaitan dengan tempat sampah berbasis IoT, cara kerja sensor serta penerapan algoritma A-Star. Literatur yang digunakan dapat berupa jurnal ilmiah dari penelitian- penelitian sebelumnya, buku-buku maupun artikel yang berkaitan dengan penelitian ini serta data-data yang dapat digunakan untuk mendukung penelitian ini.
- 2) Analisis Kebutuhan: Analisa kebutuhan pada penelitian ini terdiri dari kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak. Adapun perangkat keras yang dibutuhkan dalam membangun sistem ini adalah sensor HC-SR04 dan mikrokontroler NodeMCU ESP32. Perangkat lunak yang dibutuhkan dalam membangun sistem ini adalah Visual Studio Code, Arduino IDE, Python, dan Telegram.
- 3) Perancangan Sistem: Penelitian yang dilakukan adalah membangun sebuah sistem penentuan rute terpendek pengambilan sampah dengan menggunakan Algoritma A-Star. Dalam sistem pemantauan tempat sampah pintar terdapat beberapa komponen yang terdiri dari *NodeMCU ESP32*, Baterai, dan Sensor Ultrasonik (HC-SR04). Pada penelitian ini sensor HC-SR04 digunakan untuk mengukur Tingkat ketinggian volume sampah dengan mengukur jarak dari permukaan sampah dan hasil dari pengukuran akan dikirimkan ke ESP32. ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler berperan untuk pengumpulan data dari sensor dan mengirimkan data tersebut ke *Cloud server* untuk penentuan dan analisis. Untuk menentukan lokasi geografis tempat sampah menggunakan *Google Maps*. Pada sistem ini diperlukan baterai sebagai sumber daya listrik *portable* untuk seluruh sistem. *Cloud server* berperan untuk memproses data dan menjalankan algoritma A-Star. Sistem yang dibangun pada penelitian ini berbasis telegram yang akan menampilkan rute serta informasi. Saat *cloud server* menjalankan algoritma A-Star, waktu yang dibutuhkan untuk proses tersebut akan diukur. Ketika salah satu tempat sampah sudah diambil, secara *otomatis* sistem akan memperbarui informasi dan mengukur waktu yang dibutuhkan setelah pembaruan tersebut. Adapun rancangan arsitektur sistem penentuan rute dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan Arsitektur Sitem

- 4) Implementasi Sistem: Tahap ini merupakan tahap implementasi sistem berdasarkan rancangan yang telah dibuat sebelumnya. Proses implementasi diawali dengan pembuatan perangkat keras, yang terdiri dari sensor HC-SR04 dan mikrokontroler NodeMCU ESP32. perangkat keras berperan untuk membaca data serta mengirimkannya ke cloud server. Selanjutnya, algoritma A-Star diterapkan pada server untuk menghasilkan rute yang sesuai dengan kondisi tempat sampah. Perangkat lunak dapat digunakan setelah diintegrasikan dengan perangkat keras yang telah dibangun.
- 5) Pengujian Sistem: Tahap pengujian meliputi pengujian keakuratan algoritma A-Star dalam mencari rute terpendek pengambilan sampah. Proses pengujian dilakukan dengan mengumpulkan data hasil implementasi yang diperoleh ketika sistem dijalankan. Pengujian yang dilakukan mencakup pengujian lama waktu server memproses algoritma A-Star, delay pada transmisi data, dan lama waktu sistem pada saat update. Dari pengujian sistem ini, data hasil pengujian yang diperoleh akan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja keseluruhan sistem.
- 6) Kesimpulan: Pada tahap ini, terdapat kesimpulan yang akan menjawab pertanyaan yang ada pada rumusan masalah berdasarkan hasil dari pengujian sistem yang telah dilakukan serta data-data yang telah di kumpulkan.

2.2. Internet of Things

Internet of things (IoT) merupakan sebuah teknologi modern yang bertujuan untuk memperluas dan memperkembang manfaat konektivitas internet yang terhubung terus menerus, dengan cara menghubungkan objek di sekitar agar dapat terhubung satu sama lain, sehingga aktivitas sehari-hari menjadi lebih mudah dan efisien dalam membantu pekerjaan manusia [6]. Pada dasarnya perangkat IoT terdiri dari sensor sebagai media pengumpul data, sambungan internet sebagai media komunikasi dan server sebagai pengumpul informasi yang diterima dari sensor. Pada penelitian ini, konsep *Internet of Thing* diterapkan pada sistem pemantauan tempat sampah. Sistem ini menggunakan Sensor Ultrasonik yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 untuk mengukur ketinggian sampah secara otomatis. Data hasil pengukuran dikirim ke server untuk dianalisis dan diolah menjadi informasi rute pengambilan tempat sampah.

2.3. Algoritma A-Star

Algoritma A* merupakan salah satu jenis algoritma yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pencarian jalur (*path finding*). Algoritma A* dilengkapi dengan suatu fungsi heuristik yang digunakan sebagai optimasi dalam menentukan node tujuan yang akan dipilih [7]. Biaya total didapat dari penjumlahan antara biaya yang sebenarnya dengan biaya perkiraan. Proses

pencarian jalur dilakukan secara terarah dengan menggabungkan 2 fungsi heuristik, $g(x)$ dan $h(x)$, untuk menentukan node yang akan dikunjungi selanjutnya [8]. Persamaan algoritma A-Star dapat dilihat pada Persamaan (1), [9].

$$f(n) = g(n) + h(n) \tag{1}$$

dimana:

$f(n)$ = fungsi biaya

$g(n)$ = jarak dari petugas sampah ke node n

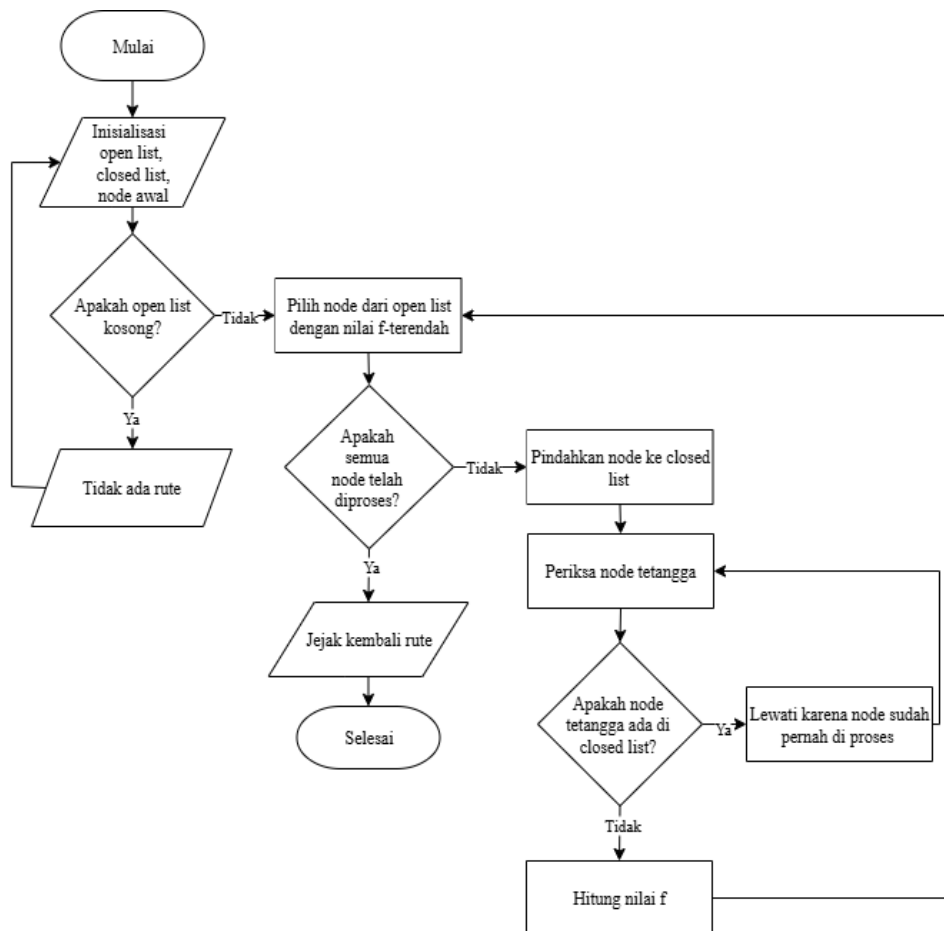
$h(n)$ = kapasitas tersisa pada tempat sampah (100% - Volume Sampah)

Penerapan algoritma A-Star dimulai dengan proses pencarian jalur yang memiliki total biaya terendah dari titik awal ke titik tujuan. Total biaya ini biasanya terdiri dari dua komponen yaitu yang pertama biaya dari titik awal ke titik saat ini (g), ini adalah total jarak atau biaya yang sudah ditempuh. Dan yang kedua perkiraan biaya dari titik saat ini ke tujuan (h), ini adalah perkiraan biaya. Dalam penelitian ini, nilai heuristik (h) disesuaikan dengan kasus sehingga di ganti menjadi kapasitas tersisa pada tempat sampah. Hal ini dilakukan agar proses pencarian rute tidak hanya mempertimbangkan faktor jarak terpendek, tetapi juga memperhitungkan volume sampah pada setiap node. Beberapa istilah yang terdapat dalam algoritma A-Star:

1. *Openlist* merupakan *node* yang mungkin diakses dari titik awal maupun *node* yang sedang dijalankan.
2. *Closedlist* merupakan *node* yang telah terpilih dan masuk kedalam rute.

Proses penentuan rute menggunakan algoritma A-Star dimulai dengan inialisasi tiga komponen utama, yaitu *openlist* (daftar *node* yang akan dievaluasi), *closedlist* (daftar *node* yang telah dievaluasi), dan *node* awal sebagai titik mulai pencarian. Selanjutnya, sistem akan memeriksa apakah *openlist* kosong. Jika kosong, maka pencarian dihentikan karena tidak ada rute yang dapat ditemukan. Jika tidak, sistem akan memilih *node* dengan nilai f terendah dari *openlist*, di mana nilai f merupakan hasil penjumlahan antara nilai g (jarak dari petugas sampah ke *node* n) dan h (kapasitas tersisa pada tempat sampah).

Setelah memilih *node*, *node* terpilih akan dipindahkan ke *closedlist* untuk menandai bahwa *node* tersebut telah diproses. Kemudian, sistem akan memeriksa semua *node* tetangga dari *node* tersebut. Jika *node* tetangga sudah ada di *closedlist*, maka *node* tersebut akan dilewati karena sudah pernah diproses sebelumnya. Jika belum, maka *node* tersebut akan dihitung dan dimasukkan ke *openlist*. Apabila semua *node* telah di hitung maka, sistem akan membentuk rute dari titik tujuan kembali ke titik awal berdasarkan *node-node* yang telah dilalui. Adapun diagram alir Algoritma A-Star dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir Algoritma A-Star

2.4. Normalisasi Data

Normalisasi data merupakan metode yang melakukan transformasi linier terhadap data asli guna menghasilkan nilai yang seimbang dan memiliki perbandingan yang proporsional. Pada penelitian ini metode normalisasi min-max diterapkan untuk menyesuaikan skala nilai pada data jarak antar node. Normalisasi data dilakukan agar nilai jarak yang besar tidak mendominasi perhitungan, sehingga hasil analisis menjadi lebih akurat. Persamaan normalisasi data dapat dilihat pada Persamaan (2) [10].

$$x^* = \frac{x - \min x}{\max x - \min x} \quad (2)$$

keterangan:

x^* = data x hasil normalisasi

x = data sebelum dinormalisasi

\min_x = nilai minimum pada kolom x

\max_x = nilai maksimum pada kolom x

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Implementasi Sistem Pemantauan Tempat Sampah

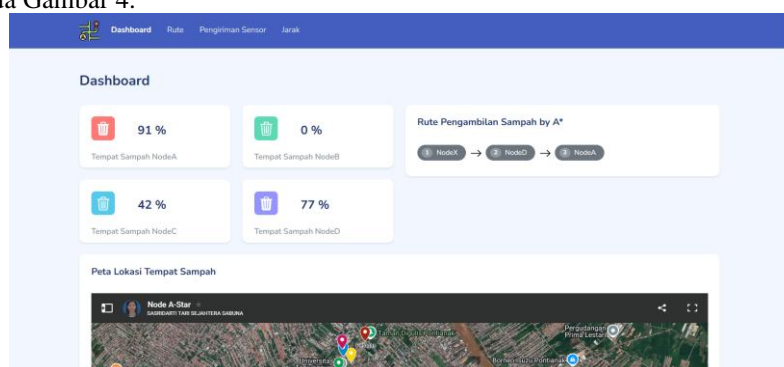
Pada penelitian ini implementasi perangkat keras meliputi implementasi sistem pemantauan tempat sampah. Komponen utama dalam sistem pemantauan ini adalah *NodeMCU ESP32* dan sensor ultrasonik (HC-SR04). Sensor ultrasonik terhubung dengan *NodeMCU ESP32* berperan untuk mengukur volume sampah dan langsung mengirim datanya ke *cloud server*. Implementasi sistem pemantauan tempat sampah dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem pemantauan Tempat sampah

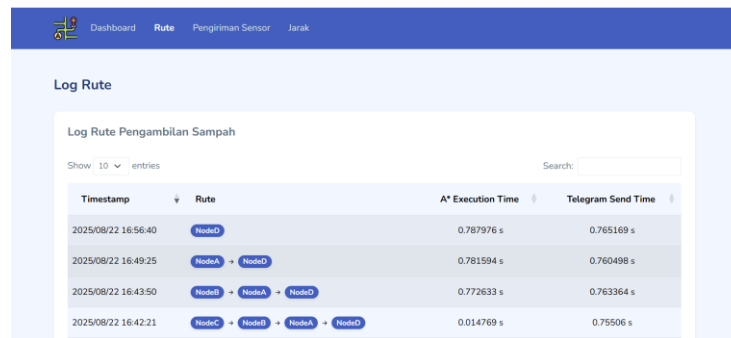
3.2. Implementasi Antarmuka Website

Halaman *dashboard* merupakan tampilan utama yang berfungsi sebagai pusat informasi utama bagi pengguna untuk memantau data terkini dari sistem penentuan rute pengambilan sampah. Pada halaman ini, pengguna dapat melihat kondisi volume sampah pada setiap node secara *real-time* serta melihat lokasi tempat smapah pada peta. Selain itu, halaman *dashboard* juga menampilkan urutan rute pengambilan sampah berdasarkan hasil perhitungan menggunakan algoritma A-Star. Hasil implementasi halaman dashboard dapat dilihat pada Gambar 4.



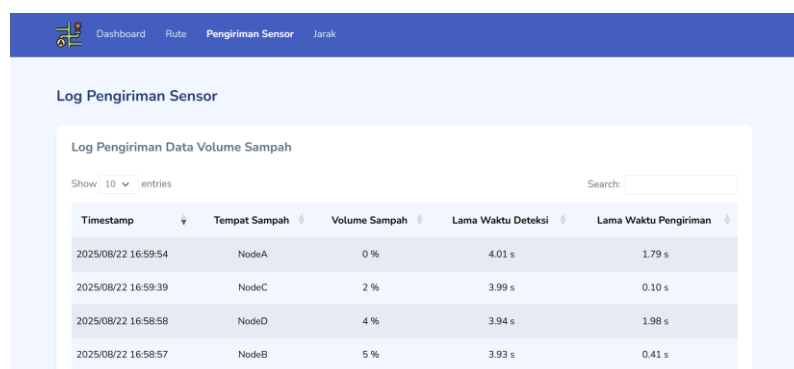
Gambar 4. Implementasi Halaman Dashboard

Halaman rute berfungsi sebagai media pencatatan perhitungan rute pengambilan sampah yang telah dilakukan oleh sistem. Halaman rute menampilkan informasi berupa *timestamp*, urutan rute yang dihasilkan, waktu eksekusi algoritma A-Star, serta waktu pengiriman hasil rute ke telegram. Dengan adanya halaman ini, pengguna dapat melihat kinerja sistem dalam waktu pemrosesan. Hasil implementasi halaman rute dapat dilihat pada Gambar 5.



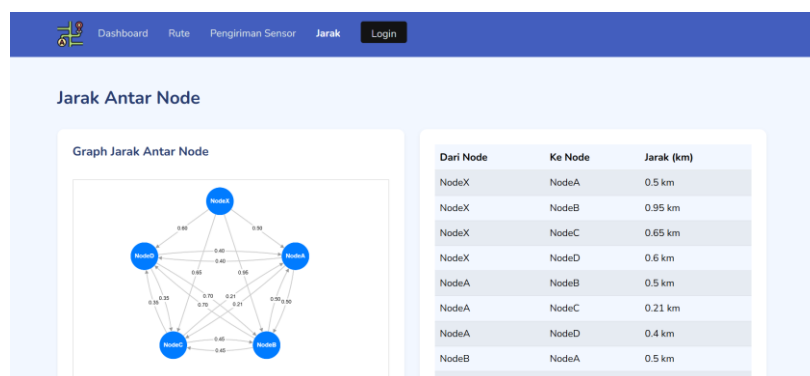
Gambar 5. Implementasi Halaman Rute

Halaman pengiriman sensor berfungsi sebagai catatan aktivitas pengiriman data volume sampah dari tiap node ke server. Pada halaman ini ditampilkan informasi berupa *timestamp* waktu pengiriman, lokasi tempat sampah (node), persentase volume sampah yang terdeteksi, lama waktu sensor mendeteksi, serta lama waktu pengiriman data ke server. Dengan adanya tampilan ini, pengguna dapat melihat kecepatan deteksi dan pengiriman data ke server. Hasil dari implementasi halaman pengiriman sensor dapat dilihat pada Gambar 6.



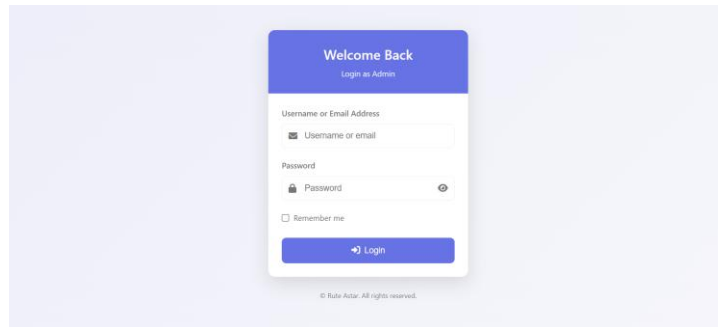
Gambar 6. Implementasi Halaman Pengiriman Sensor

Halaman jarak antar node berfungsi untuk menampilkan informasi jarak antar titik (node) yang digunakan dalam perhitungan rute pengambilan sampah. Pada halaman ini, terdapat 2 tampilan yang memberikan informasi mengenai jarak antar node, yaitu grafik visualisasi berupa graph yang menghubungkan setiap node beserta nilai jarak satu sama yang lain, serta tabel data yang berisi daftar jarak dari node awal ke node tujuan dalam satuan kilometer. Hasil imlementasi halaman jarak dapat dilihat pada Gambar 7.



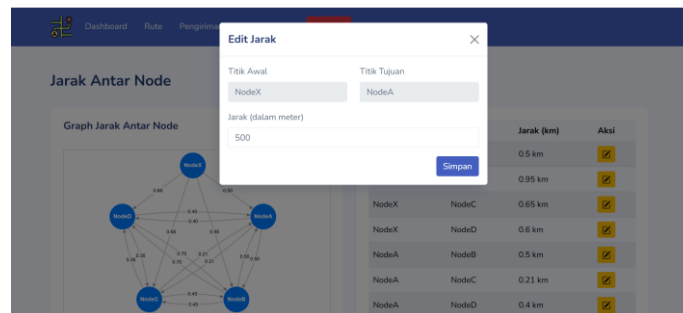
Gambar 7. Implementasi Halaman Jarak

Halaman login admin merupakan halaman bagi administrator untuk mengakses sistem. Pada halaman ini, admin perlu menginputkan *username* atau email serta *password* yang sudah terdaftar pada *database*. Jika data yang diinput sesuai dengan data yang tersimpan di dalam *database*, maka admin akan memperoleh akses untuk melakukan perubahan data jarak antar node. Hasil implementasi halaman login dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Implementasi Halaman Login Admin

Halaman edit jarak merupakan fitur yang digunakan untuk mengubah nilai jarak antar node pada sistem. Admin dapat memilih titik awal dan titik tujuan, kemudian memasukan jarak baru dalam satuan meter sesuai dengan yang diinginkan. Setelah data diubah, admin tinggal menekan tombol simpan agar nilai jarak yang diperbarui tersimpan di *database*. Hasil implementasi halaman edit jarak dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Implementasi Halaman Edit Jarak

3.3. Implementasi Antarmuka Telegram

Implementasi antarmuka telegram merupakan informasi yang akan dikirim ke pengguna melalui *platform* telegram terkait rute maupun kondisi volume sampah. Pada sistem ini pesan akan terkirim jika sensor mendeteksi volume sampah $\geq 67\%$. Pengiriman informasi rute yang diberikan pada pesan telegram meliputi waktu pesan dikirim, urutan *node* pengambilan sampah, dan data volume sampah dari *node* yang masuk kedalam rute. Selain itu, sistem juga mengirim pesan jika sampah sudah di ambil dan sistem akan mengirim *update* rute terbaru. Kemudian sistem juga akan mengirim pesan jika *node* yang ada di dalam rute sudah di ambil semua. Implementasi pesan informasi rute melalui telegram dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Pesan Informasi Rute

3.4 Pengujian Respon Transmisi Data

Pengujian respon transmisi data dilakukan untuk menilai kinerja pengiriman data dalam hal mengukur kecepatan waktu dalam pengiriman dan pengolahan data pada implementasi algoritma A-Star untuk pengambilan tempat sampah. Data yang dikirimkan akan dianalisis berdasarkan lama waktu pengiriman dan pengolahan data. Hasil pengujian waktu transmisi data dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Hasil Pengujian Waktu Transmisi Data

No.	Rata - Rata Waktu ESP Mengirim Data (s)	Waktu Pemrosesan Algoritma A-Star (s)	Waktu Pengiriman Rute ke Telegram (s)
1.	1.34	0.016699	0.951144
2.	1.0625	0.011521	0.771312
3.	1.0125	0.010878	0.764944
4.	1.445	0.009988	0.814959
5.	0.94	0.014433	0.762008
6.	1.145	0.011537	0.817368
7.	1.025	0.012594	0.758002
8.	1	0.013824	0.841918
9.	0.8575	0.013895	0.78897
10.	1.265	0.012212	0.810859
11.	0.7675	0.010313	0.801078
12.	1.175	0.016358	0.794902
13.	2.4775	0.02532	0.781168
14.	1.73	0.01405	0.931357
15.	0.6225	0.010532	0.772651
16.	1.1	0.012828	0.7704
17.	1.2325	0.013841	0.777192
18.	1.5675	0.011567	0.772979
19.	1.05	0.014352	0.768495
20.	0.9325	0.015182	0.749273
21.	1.6475	0.012947	0.827114
22.	0.8625	0.012122	1.2266
23.	0.9	0.013876	0.756643
24.	1.6875	0.012848	0.750612
25.	1.1775	0.012449	0.786949
26.	2.3875	0.011195	0.843852
27.	2.425	0.01218	0.788529
28.	1.3275	0.018206	0.804304
29.	0.8125	0.012736	0.799537
30.	1.0025	0.014769	0.75506
Rata-rata	1.2659	0.0135	0.8113393

Berdasarkan hasil pengujian terhadap waktu pemrosesan algoritma A-Star di server pada tabel 1 diperoleh nilai rata rata waktu yang dibutuhkan server untuk mengolah algoritma sebesar 0.0135s atau 13.5 ms. Nilai rata-rata ini diperoleh melalui perhitungan total waktu pemrosesan pada setiap percobaan, yang kemudian dibagi dengan jumlah keseluruhan pengujian yang dilakukan. Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa server mampu mengolah algoritma A-Star dengan waktu yang relatif cepat.

Hasil pengujian *delay* dalam transmisi data pada tabel 1 menunjukkan pengiriman data yang diambil sebanyak 30 data. Adapun data tersebut merupakan data dari waktu ESP32 mengirim data ke server. Rata – rata waktu ESP mengirim data didapat cara menjumlahkan waktu yang tercatat pada tiap *node* kemudian dibagi dengan jumlah *node*. Untuk mendapatkan total nilai *delay* di tiap pengolahan rute jumlah waktu transmisi data di tambah dan di bagi dengan banyaknya proses. Dari hasil perhitungan pengujian *delay* dalam transmisi data diatas diperoleh total nilai rata - rata *delay* sebesar 1.2659 s atau 1265.9 ms yang menurut standar TIPHON termasuk kedalam kategori “KURANG”.

Tabel 2. Tabel Pengujian Waktu Update Sistem

No.	Rata – Rata Waktu Sensor Deteksi (s)	Rata - Rata Waktu ESP Mengirim Data (s)	Waktu Pemrosesan Algoritma A-Star (s)	Waktu Pengiriman Rute ke Telegram (s)	Total (s)
1.	3.4475	0.74	1.02387	1.6273	6.83867
2.	3.3025	1.7725	0.76082	1.29871	7.13453
3.	3.3225	1.1325	1.03317	0.75267	6.24084
4.	2.94	1.34	0.8885	0.75508	5.92358
5.	2.82	0.8825	1.11022	0.76804	5.58076
6.	3.515	1.01	0.79143	0.7793	6.09573
7.	3.5075	1.06	0.79785	0.82406	6.18941
8.	3.27	0.8025	1.64461	0.7671	6.48421
9.	3.5875	1.0025	0.7818	0.84207	6.21387
10.	3.3175	1.235	0.76606	2.1824	7.50096

11.	2.8875	1.56	0.80471	0.82636	6.07857
12.	3.22	0.8725	0.76807	0.76226	5.62283
13.	3.64	0.9675	0.77258	0.75225	6.13233
14.	3.135	0.6475	0.77094	0.75597	5.30941
15.	3.535	1.015	0.7593	0.74756	6.05686
16.	2.8725	1.4375	0.77108	0.76471	5.84579
17.	3.3025	1	0.77768	0.7593	5.83948
18.	3.6625	0.9825	0.75909	1.26114	6.66523
19.	3.65	0.9425	0.79283	0.74488	6.13021
20.	3.77	1.1775	4.17292	0.8018	9.92222
21.	3.3375	1.595	0.77825	0.77171	6.48246
22.	3.55	1.575	0.83974	1.04089	7.00563
23.	3.14	1.9	0.80235	0.76227	6.60462
24.	3.465	0.72	0.77626	0.80617	5.76743
25.	3.62	1.23	0.81908	0.77677	6.44585
26.	3.3725	0.75	0.79904	0.75611	5.67765
27.	3.5425	0.5725	2.14073	0.77107	7.0268
28.	2.9175	1.37	0.77263	0.76336	5.82349
29.	3.2575	1.115	0.78159	0.7605	5.91459
30.	3.6375	1.7975	0.78798	0.76517	6.98815
Rata-rata	3.3515	1.14017	1.001506	0.89157	6.3847387

Hasil pengujian waktu *update* dapat dilihat pada Tabel 2. Pengujian waktu *update* sistem dilakukan dengan menganalisis beberapa tahapan proses, yaitu mulai dari waktu sensor mendeteksi, waktu ESP32 mengirim data ke server, waktu server memproses algoritma A-Star ketika terjadi pembaruan data dan waktu pengiriman hasil perhitungan ke telegram. Rata – rata waktu sensor mendeteksi dan rata – rata waktu ESP mengirim data diperoleh dengan cara menjumlahkan waktu yang tercatat pada tiap *node* kemudian dibagi dengan jumlah *node*. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, lama waktu *update* sistem diperoleh nilai rata-rata total waktu sebesar 6.38473 s atau 6384.73 ms.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini, diperoleh hasil bahwa waktu yang dibutuhkan server untuk memproses perhitungan rute menggunakan algoritma A-Star adalah 0.0135 s atau 13.5 ms. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa proses pengolahan algoritma oleh server terhitung sangat cepat, sehingga mendukung kinerja sistem dalam memberikan informasi rute secara *realtime*.
2. Hasil analisis *delay* dalam transmisi data menunjukkan bahwa rata-rata nilai waktu tunda mencapai 1.2659 s atau 1265.9 ms. Berdasarkan standar TIPHON, nilai tersebut termasuk dalam kategori “KURANG”, yang berarti waktu tunda pada transmisi data masih tergolong cukup tinggi dan dapat mempengaruhi ketepatan waktu penyampaian notifikasi kepada pengguna.
3. Pada penelitian ini, rata-rata waktu yang dibutuhkan setelah proses pembaruan data adalah 6,38473 s atau 6384.73 ms. Nilai tersebut diperoleh dari pengukuran durasi mulai dari proses pembaruan data hingga sistem kembali mengirim rute terbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. H. Widiyanto, “IoT dari Sampah Cerdas Berbasis Sistem Manajemen Menggunakan LoRa dan Model Deep Learning,” *BINUS UNIVERSITY*, 2021.
- [2] Y. H. Nuryoso, P. Pradjoko dan L. Lelah, “Penerapan Algoritma A* pada Pencarian Rute Terpendek pada Rute Angkot Di Kota Sukabumi,” *Jurnal Sarjana Teknik Informatika*, vol. 8, no. 1, pp. 21-35, 2020.
- [3] N. Wisudawati, A. Valentine dan R. Patradhiani, “Usulan Perbaikan Rute Pengangkutan Sampah Menggunakan Metode Branch And Bound Dan Nearest Neighbour Untuk Meminimalkan Biaya Transportasi,” *Jurnal Teknik Industri*, 2022.
- [4] D. S. Hadiningrum, I. G. P. W. WW dan I. W. A. Arimbawa, “ANALISIS PENGARUH JARAK TERHADAP DELAY DAN PACKET DELIVERY RATIO (PDR) PADA JARINGAN LORA UNTUK KOMUNIKASI DATA IRIGASI TETES (Studi Kasus: Dusun Amor-Amor),” Universitas Mataram Repository, 2025.
- [5] N. L. Husni, R. Vira, D. Andika, A. S. Handayani dan S. Rasyad, “Monitoring dan Analisis Kualitas Kinerja Jaringan Protokol Message Queue Telemetry Transport pada G-Bot (Garbage Robot),” *Jurnal ampere*, vol. 7, p. 47, 2022.
- [6] A. Selay, “Internet of Things,” *Karimah Tauhid*, 2022.
- [7] M. Hutabalian, Sunanto dan J. A. Amien, “Sistem Informasi Geografis Pemetaan Tempat Pembuangan Sampah Sementara di Kota Pekanbaru Dengan Mencari Rute Terdekat Menggunakan Algoritma A Star (A*),” *Jurnal Computer Science and Information Technology (CoSciTech)*, vol. 2, no. 2, pp. 98-107, 2021.
- [8] M. L. Setiawan, Arbansyah dan S. H. Suryawan, “Penerapan Algoritma A* Dan Behaviour Trees Untuk Perilaku Non-Player Character(NPC) Pada Game “The Last Hope” Berbasis Android Menggunakan Unity 2D,” *Jurnal Computer Science and Information Technology (CoSciTech)*, vol. 4, no. 2, pp. 451-460, 2023.
- [9] R. N. B. Sitepu dan I. G. N. A. C. Putra, “Aplikasi TSP Menggunakan Algoritma A star (Studi Kasus: Distributor Barang),” *Jurnal Nasional Teknologi Informasi dan Aplikasinya*, 2022.

- [10] R. Chandra, K. Chaudhary dan A. Kumar, "Comparison of Data Normalization for Wine Classification Using K-NN Algorithm," *International Journal of Informatics and Information Systems*, p. 176, 2022.