

Optimalisasi Rute Pengangkutan Sampah Dengan Konsep *Reduce-Reuse-Recycle* (3R) Berbasis Webgis Menggunakan Algoritma *Hill Climbing* (Studi Kasus: TPS 3R Kambu, Perumahan Dosen UHO)

Wahyu Nahda Putra^{1*}, Jumadil Nangi², Natalis Ransi³

Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo^{1,2,3}

*e-mail: wahyunahdaputra@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan pengelolaan sampah yang terus meningkat di wilayah perkotaan menuntut adanya sistem yang mampu mengoptimalkan proses pengangkutan secara efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem WebGIS optimalisasi rute pengangkutan sampah berbasis konsep *Reduce, Reuse, Recycle* (3R) dengan menerapkan algoritma *Hill Climbing*. Algoritma ini digunakan untuk menentukan rute terpendek dan paling efisien bagi petugas pengangkut sampah di wilayah TPS 3R Kambu, Perumahan Dosen Universitas Halu Oleo, dengan memanfaatkan data spasial dari *OpenStreetMap*. Proses optimasi dilakukan melalui iterasi hingga diperoleh rute dengan jarak minimal berdasarkan nilai evaluasi jarak antar titik. Hasil pengujian *User Acceptance Test* (UAT) menunjukkan bahwa sistem memperoleh tingkat kelayakan sebesar 88.07% dari kelompok admin/petugas dan 79.74% dari pengguna layanan, keduanya termasuk kategori Baik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mudah digunakan, stabil, serta mampu memenuhi kebutuhan pengelolaan sampah di lapangan. Sementara itu, hasil pengujian akurasi algoritma menunjukkan perbedaan jarak sebesar 40 meter atau sekitar 4,4% antara hasil perhitungan sistem (860 meter) dan data manual Google Maps (900 meter). Selisih ini disebabkan penggunaan jarak *Euclidean* pada sistem, namun hasilnya tetap mendekati kondisi nyata. Secara keseluruhan, sistem WebGIS berbasis algoritma *Hill Climbing* dinilai layak dan akurat dalam menentukan rute optimal pengangkutan sampah. Sistem ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi operasional TPS 3R dan mendukung implementasi pengelolaan sampah berbasis 3R. Penelitian ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi data *real-time*, prediksi *volume* sampah, serta kombinasi dengan algoritma heuristik lain guna meningkatkan akurasi dan performa sistem.

Kata kunci : Algoritma *Hill Climbing*; Perumahan Dosen UHO; *Reduce-Reuse-Recycle* (3R); Sampah; TPS 3R Kambu; WebGIS

ABSTRACT

The growing problem of waste management in urban areas demands a system capable of optimizing transportation processes efficiently. This study aims to develop a WebGIS-based waste transportation route optimization system grounded in the *Reduce, Reuse, Recycle* (3R) concept by implementing the *Hill Climbing* algorithm. The algorithm is used to determine the shortest and most efficient route for waste collection officers in the TPS 3R Kambu area, specifically within the Halu Oleo University Lecturer Housing Complex, utilizing spatial data from *OpenStreetMap*. The optimization process is carried out iteratively until the route with the minimum distance is obtained based on the evaluation of point-to-point distances. The results of the *User Acceptance Test* (UAT) indicate that the system achieved a feasibility rate of 88.07% from the admin/operator group and 79.74% from service users, both classified as Good. This demonstrates that the system is user-friendly, stable, and capable of meeting field waste management needs. Meanwhile, the algorithm accuracy test results show a distance difference of 40 meters or approximately 4.4% between the system's calculated result (860 meters) and the manual Google Maps data (900 meters). This difference is attributed to the use of *Euclidean* distance in the system; however, the results remain close to real-world conditions. Overall, the WebGIS system based on the *Hill Climbing* algorithm is considered feasible and accurate in determining the optimal waste collection route. The system effectively enhances TPS 3R operational efficiency and supports the implementation of 3R-based waste management. This

research holds potential for further development through real-time data integration, waste volume prediction, and the combination with other heuristic algorithms to improve system accuracy and performance.

Keywords : *Hill Climbing Algorithm; Halu Oleo University Lecturer Housing; Reduce-Reuse-Recycle (3R); Waste; TPS 3R Kambu; WebGIS*

PENDAHULUAN

Sampah merupakan sisa dari aktivitas manusia sehari-hari maupun proses alami yang berwujud padat dan, karena jumlah serta konsentrasinya, memerlukan penanganan khusus. Permasalahan sampah menjadi isu serius yang harus ditangani dengan sistem pengelolaan yang tepat agar tidak menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan. Pengelolaan sampah yang tidak optimal dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, gangguan kesehatan, serta kerusakan pada ekosistem sekitar. Salah satu tujuan dari program *Sustainable Development Goals* (SDGs) adalah mendorong pola konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab dan berkelanjutan. Untuk mengurangi jumlah sampah, dapat diterapkan pendekatan 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*), yaitu dengan mengurangi, menggunakan kembali, dan mendaur ulang sampah. Penerapan Tempat Pengolahan Sampah (TPS) berbasis 3R merupakan salah satu strategi pengelolaan sampah berskala komunitas atau kawasan dengan melibatkan peran aktif masyarakat serta dukungan pemerintah (Kristina et al., 2025; Widyastuti, 2025; Yaqin, 2025).

Pengelolaan sampah di Indonesia saat ini mengacu pada Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 dan Peraturan Pemerintah No. 81 Tahun 2012, yang menitikberatkan pada dua aspek utama, yaitu pengurangan dan penanganan sampah. Pengurangan sampah sebagaimana diatur dalam regulasi tersebut dilakukan sejak dari sumber sampah hingga ke tahap akhir pengelolaan, dengan melibatkan partisipasi aktif dari masyarakat serta pengelola sampah. Proses pengurangan ini umumnya diterapkan melalui pendekatan 3R (*Reduce, Reuse, dan Recycle*), yang dinilai sebagai metode paling efektif dalam menekan volume sampah, terutama di kawasan perkotaan, dengan potensi pengurangan timbunan sampah mencapai 15–20%.

Sementara itu, penanganan sampah mencakup aspek teknis, mulai dari proses pewadahan, pengumpulan, pengangkutan, hingga pemrosesan akhir. Kedua pendekatan tersebut baik pengurangan maupun penanganan merupakan bagian dari mandat perundang-undangan nasional dan perlu ditindaklanjuti melalui Peraturan Daerah (PERDA) serta menjadi pedoman dalam pengelolaan sampah di setiap kota atau wilayah (Majid et al., 2020). Permasalahan pengelolaan sampah plastik juga menjadi tantangan serius di Kota Kendari. Peningkatan jumlah penduduk serta pesatnya pembangunan kawasan permukiman turut mendorong bertambahnya volume sampah, khususnya sampah plastik (Gunawan et al., 2021; Herdiansyah et al., 2021; Sakti et al., 2021). Pada awal tahun 2025, menurut data dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) Kota Kendari, tercatat bahwa total produksi sampah di Kota Kendari mencapai 243 ton per hari, atau sekitar 88.695 ton per tahun. Dari total tersebut, diperkirakan sampah plastik menyumbang sekitar 30%, yaitu sekitar 72,9 ton per hari. Sebagian besar sampah plastik ini berasal dari limbah rumah tangga dan aktivitas pasar. Tingginya kontribusi sampah plastik menunjukkan perlunya sistem pengelolaan yang lebih efisien dan berkelanjutan guna mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan.

Salah satu permasalahan utama dalam pengelolaan sampah di kawasan Perumahan Dosen UHO, Kambu, adalah belum optimalnya sistem penjemputan sampah dari rumah ke rumah yang berdampak pada penumpukan sampah serta rendahnya partisipasi warga dalam pengelolaan sampah berbasis 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*). Minimnya koordinasi dan keterbatasan sumber daya menyebabkan proses pengangkutan sampah sering tidak tepat waktu dan kurang efisien. Padahal, optimalisasi rute pengangkutan sampah menggunakan konsep rute terpendek dapat menjadi solusi efektif untuk memaksimalkan efisiensi waktu, bahan bakar, dan tenaga kerja dalam proses penjemputan. Oleh karena itu, diperlukan sistem berbasis teknologi seperti WebGIS yang mampu merancang jalur penjemputan sampah secara optimal agar pengelolaan sampah di lingkungan tersebut menjadi lebih terstruktur, efisien, dan berkelanjutan.

Sistem Informasi Geografis (SIG) atau *Geographic Information System* merupakan sistem berbasis komputer yang dirancang untuk mengelola data yang memiliki komponen spasial atau referensi lokasi. SIG berfungsi untuk mengumpulkan, memverifikasi, mengintegrasikan, memanipulasi, menganalisis, hingga menyajikan data yang berkaitan langsung dengan permukaan bumi. Teknologi ini menggabungkan fitur-fitur dari basis data tradisional, seperti pencarian data (*query*) dan analisis statistik, dengan kemampuan unik dalam visualisasi peta dan analisis spasial. Inilah yang membuat SIG lebih unggul dibandingkan sistem informasi biasa karena dapat dimanfaatkan dalam menjelaskan fenomena, menyusun perencanaan, dan memperkirakan kejadian di masa depan. Seiring dengan perkembangan teknologi, SIG kini semakin interaktif, memungkinkan pengguna untuk mengeksplorasi informasi suatu lokasi secara detail melalui tampilan peta digital. Platform berbasis web seperti Google Maps, yang telah digunakan oleh miliaran orang, merupakan contoh nyata dari pemanfaatan SIG dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan SIG pun telah meluas ke berbagai sektor, termasuk kesehatan, pendidikan, pariwisata, transportasi, hingga lingkungan, serta dapat diakses melalui berbagai perangkat mulai dari komputer *desktop*, aplikasi web, hingga perangkat *mobile* (Perrina, 2021).

Oleh karena itu, dalam penelitian ini Sistem Informasi Geografis (SIG) atau WebGIS diintegrasikan dengan algoritma *Hill Climbing* sebagai upaya untuk mengoptimalkan analisis spasial, khususnya dalam menentukan rute terpendek secara efisien. Algoritma *Hill Climbing* merupakan metode pencarian heuristik yang digunakan untuk menemukan solusi terbaik dari berbagai kemungkinan berdasarkan fungsi evaluasi tertentu. Dalam konteks SIG, penerapan algoritma ini sangat relevan untuk menyelesaikan permasalahan seperti penentuan rute penjemputan sampah rumah tangga, di mana dibutuhkan efisiensi waktu dan jarak tempuh. Metode ini bekerja dengan mengevaluasi solusi secara bertahap dan memilih arah pergerakan yang memberikan hasil terbaik pada setiap iterasinya. Dengan menggabungkan kemampuan analisis spasial dan visualisasi peta dari SIG dengan kecerdasan pencarian solusi dari *Hill Climbing*, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini diharapkan mampu memberikan keputusan yang lebih cepat, tepat, dan efisien dalam perencanaan rute pengangkutan sampah di wilayah studi.

Algoritma *Hill Climbing* dipilih karena mampu memberikan solusi optimisasi dengan cara yang sederhana, cepat, dan efisien, sehingga sangat cocok digunakan pada permasalahan yang membutuhkan keputusan praktis seperti pencarian rute terpendek. Algoritma ini bekerja dengan memperbaiki solusi secara bertahap hingga mencapai hasil terbaik, sehingga lebih hemat waktu dan mudah diimplementasikan dibanding algoritma lain. Dijkstra memang menjamin solusi optimal, namun lebih kompleks dan memakan waktu lebih lama; A* lebih cepat tetapi membutuhkan fungsi heuristik yang tepat; sementara *Simulated Annealing* dan *Genetic Algorithm* unggul dalam menemukan solusi global, tetapi membutuhkan komputasi dan pengaturan parameter yang lebih rumit. Dengan mempertimbangkan kecepatan, kemudahan implementasi, serta efisiensi komputasi, *Hill Climbing* menjadi pilihan yang tepat karena mampu memberikan solusi yang cukup optimal untuk skala permasalahan sederhana hingga menengah tanpa membebani sistem.

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan pada latar belakang, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pengelolaan sampah di Perumahan Dosen UHO Kambu dengan mengintegrasikan konsep *Reduce, Reuse, Recycle* (3R) dan teknologi WebGIS. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam upaya optimalisasi pengelolaan sampah berbasis konsep *Reduce, Reuse, Recycle* (3R) dengan memanfaatkan teknologi WebGIS yang terintegrasi dengan algoritma *Hill Climbing*. Dengan adanya sistem ini, diharapkan proses penjemputan sampah di Perumahan Dosen UHO Kambu dapat berjalan lebih efisien, tepat waktu, dan terstruktur, sehingga mampu meningkatkan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi dalam pengembangan sistem pengelolaan sampah serupa di wilayah lain, serta mendukung tercapainya tujuan pembangunan berkelanjutan di bidang lingkungan hidup. Oleh karena itu, penulis mengambil judul “Optimalisasi Rute Pengangkutan Sampah dengan Konsep *Reduce-Reuse-Recycle* (3R)

Berbasis WebGIS Menggunakan Algoritma *Hill Climbing* (Studi Kasus: TPS 3R Kambu, Perumahan Dosen UHO)”.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan kombinasi antara pendekatan kualitatif dan pengembangan sistem berbasis metode Rational Unified Process (RUP) untuk membangun sistem optimasi rute pengangkutan sampah berbasis WebGIS. Pengumpulan data dilakukan melalui dua teknik utama, yaitu studi literatur dan wawancara mendalam. Studi literatur berperan dalam menelaah teori-teori dan hasil penelitian terdahulu terkait konsep *Reduce, Reuse, Recycle (3R)*, algoritma *Hill Climbing*, dan penerapan sistem informasi geografis dalam konteks manajemen sampah perkotaan. Pendekatan ini memberikan dasar konseptual yang kuat dalam memahami model rute optimal dan efisiensi pengangkutan. Sementara itu, wawancara dilakukan secara langsung dengan pengurus TPS 3R Kambu untuk memperoleh data empiris mengenai mekanisme operasional, pola pengumpulan sampah, serta tantangan lapangan yang dihadapi. Informasi tersebut menjadi bahan validasi kebutuhan sistem sekaligus mendukung perancangan fungsionalitas WebGIS agar sesuai dengan kondisi riil pengelolaan sampah di wilayah penelitian.

Proses pengembangan sistem menggunakan metode RUP yang meliputi empat fase utama, yaitu *Inception, Elaboration, Construction, dan Transition*. Pada fase *Inception*, dilakukan analisis kebutuhan dan pemodelan proses bisnis yang berkaitan dengan sistem pengangkutan sampah berbasis algoritma *Hill Climbing*. Fase *Elaboration* difokuskan pada perancangan arsitektur sistem menggunakan Unified Modeling Language (UML), meliputi *use case, activity, sequence, dan class diagram* untuk menggambarkan alur kerja sistem secara terstruktur. Tahap *Construction* merupakan fase implementasi yang melibatkan pengkodean, integrasi data spasial dari OpenStreetMap, serta penerapan algoritma *Hill Climbing* dalam penentuan rute terpendek. Selanjutnya, tahap *Transition* meliputi pengujian sistem secara menyeluruh melalui User Acceptance Test (UAT) dan uji akurasi algoritma guna memastikan keandalan, fungsionalitas, serta kesesuaian sistem terhadap kebutuhan pengguna. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Software Engineering Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo selama periode Juni hingga September 2025, dengan tahapan kegiatan penelitian yang mengikuti urutan fase RUP secara berkelanjutan hingga menghasilkan sistem yang siap diimplementasikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan Sistem

Tahap analisis kebutuhan sistem dalam pengembangan sistem informasi pengelolaan sampah berbasis WebGIS di TPS 3R Kambu berfokus pada identifikasi dan pendokumentasian kebutuhan fungsional serta non-fungsional yang mendukung penerapan konsep *Reduce, Reuse, Recycle (3R)*. Kebutuhan fungsional mencakup pengelolaan data spasial seperti koordinat rumah warga, lokasi TPS 3R, dan jenis sampah yang dikelola, baik organik, anorganik, maupun B3. Data tersebut diolah menggunakan Algoritma *Hill Climbing* untuk menentukan rute pengangkutan sampah paling efisien, yang kemudian divisualisasikan melalui peta interaktif berbasis WebGIS. Sistem juga menampilkan informasi kapasitas TPS, jenis sampah, serta laporan kontribusi pengguna dalam kegiatan 3R secara dinamis dan real-time.

Adapun analisis kebutuhan non-fungsional difokuskan pada kesiapan infrastruktur pendukung agar sistem berjalan stabil dan optimal. Kebutuhan ini meliputi perangkat keras dan perangkat lunak yang mendukung proses pengembangan serta implementasi sistem. Perangkat keras yang dibutuhkan mencakup laptop sebagai alat utama pengembangan, prosesor berkecepatan tinggi, memori yang memadai, monitor beresolusi tinggi, serta *harddisk* sebagai media penyimpanan data. Kebutuhan perangkat keras ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kebutuhan Perangkat Keras

| No. | Nama Perangkat | Spesifikasi |
|-----|------------------|--------------------------------|
| 1. | Laptop | Asus Vivobook 14X OLED M1403QA |
| 2. | <i>Processor</i> | AMD Ryzen 5 5600H |
| 3. | Monitor | 14 Inch OLED |
| 4. | Memori | Ram 16 GB, DDR4 Memory |
| 5. | <i>Harddisk</i> | SSD NVMe PCIe 3.0 |

Selain perangkat keras, diperlukan pula beberapa perangkat lunak untuk mendukung proses pengembangan dan pengujian aplikasi. Sistem operasi yang digunakan adalah Windows, yang kompatibel dengan berbagai *tools* pengembangan. Aplikasi dibangun menggunakan bahasa pemrograman PHP dengan framework Laravel untuk memudahkan pembuatan sistem berbasis web secara terstruktur. Visual Studio Code digunakan sebagai *text editor* utama, Laragon sebagai *local server* selama tahap pengembangan, dan Google Chrome sebagai peramban untuk pengujian antarmuka aplikasi. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kebutuhan Perangkat Lunak

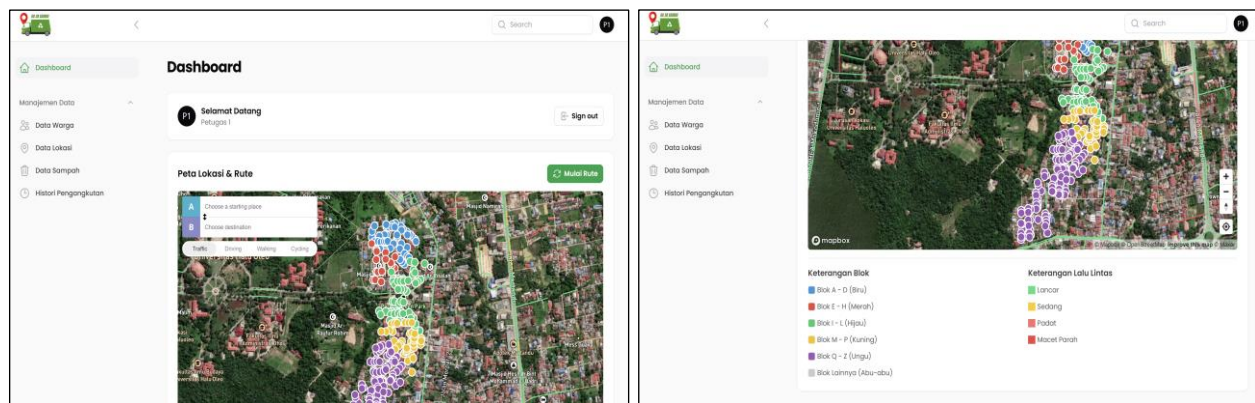
| No. | Nama | Fungsi | Spesifikasi |
|-----|--------------------|---|------------------|
| 1. | Windows | Sistem Operasi | Windows 11 |
| 2. | PHP | Bahasa Pemrograman | Versi 8.1.10 |
| 3. | Laravel | <i>Framework PHP</i> | Versi 10.42.0 |
| 4. | Visual Studio Code | <i>Integrated Development Environment</i> | Versi 1.86.0 |
| 5. | Laragon | <i>Database Management System</i> | Versi 6.0.0 |
| 6. | Chrome | <i>Web Browser</i> | Versi 121.0.6167 |

Implementasi Sistem dan Data

Tahap implementasi sistem merupakan proses penerapan hasil analisis dan perancangan ke dalam bentuk website berbasis WebGIS yang dikembangkan menggunakan Visual Studio Code dengan bahasa pemrograman PHP dan JavaScript. Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan rute pengangkutan sampah berdasarkan konsep *Reduce-Reuse-Recycle (3R)* dengan penerapan algoritma Hill Climbing, mengambil studi kasus di TPS 3R Kambu, Perumahan Dosen UHO. Penggunaan PHP dipilih karena efisien, mudah diintegrasikan, serta mendukung kinerja tinggi dan tampilan interaktif. Adapun data yang digunakan mencakup 447 pelanggan TPS 3R yang tersebar di wilayah RW 03 hingga RW 06, terdiri dari rumah tangga, asrama atau rumah kost, serta usaha kecil seperti kios, warung makan, laundry, dan hotspot. Sebaran pelanggan di setiap blok, mulai dari Blok A hingga Blok X, menjadi dasar dalam pengelolaan dan optimalisasi layanan pengangkutan sampah di kawasan tersebut.

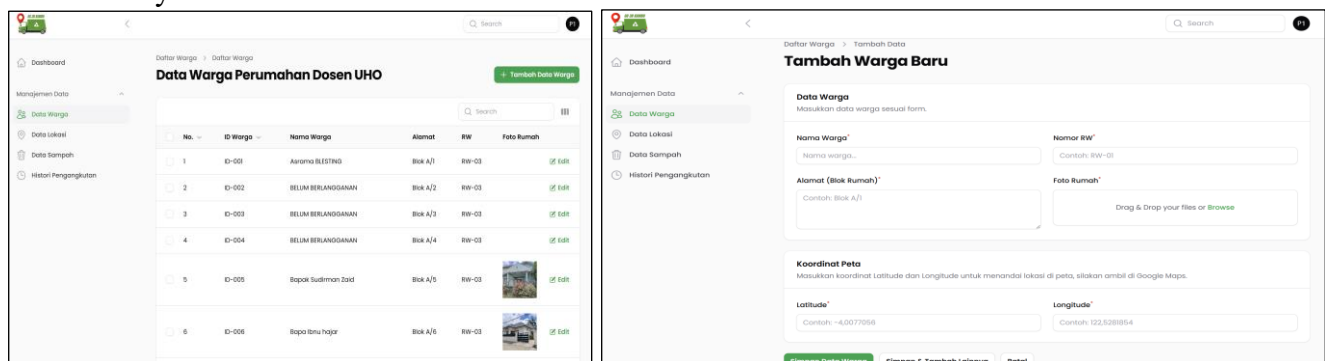
Implementasi Interface

Sistem ini dikembangkan sebagai website berbasis WebGIS dengan MySQL sebagai basis data untuk mengelola titik lokasi TPS 3R dan jalur pengangkutan sampah. Aplikasi ini memungkinkan pengguna memperoleh rute pengangkutan paling efisien secara cepat melalui antarmuka yang sederhana dan mendukung konsep *Reduce-Reuse-Recycle (3R)*. Pada halaman Dashboard (Admin), tersedia peta interaktif serta menu navigasi seperti Data Warga, Data Lokasi, Data Sampah, dan Histori Pengangkutan untuk mendukung pengelolaan operasional TPS 3R.



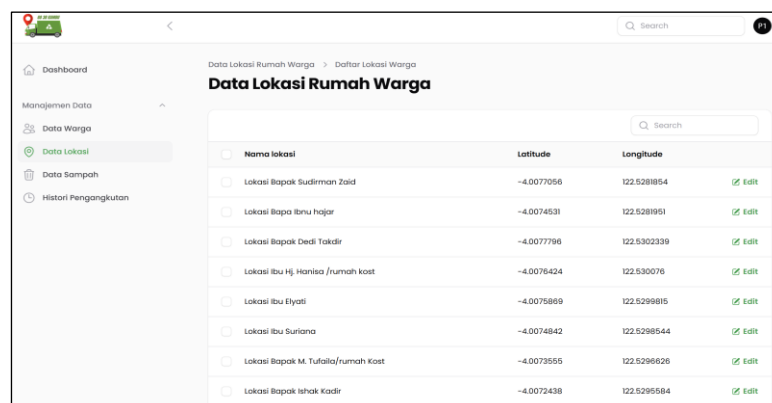
Gambar 1. Halaman *Dashboard* (Admin)

Halaman Data Warga (Admin) berfungsi sebagai pusat pengelolaan informasi warga di wilayah layanan, seperti Perumahan Dosen UHO. Halaman ini menampilkan tabel berisi data warga yang mencakup ID, nama, alamat (blok), RW, dan foto rumah, dilengkapi fitur pencarian serta tombol “Tambah Data Warga” untuk menambahkan data baru dan “Edit” untuk memperbarui data yang ada. Saat menambah data, admin diarahkan ke formulir input berisi nama warga, nomor RW, alamat, foto rumah, serta koordinat peta (*latitude* dan *longitude*), dengan opsi penyimpanan melalui tombol “Simpan Data Warga” atau “Simpan dan Tambah Lainnya.”



Gambar 2. Halaman Data & Tambah Data Warga Perdos (Admin)

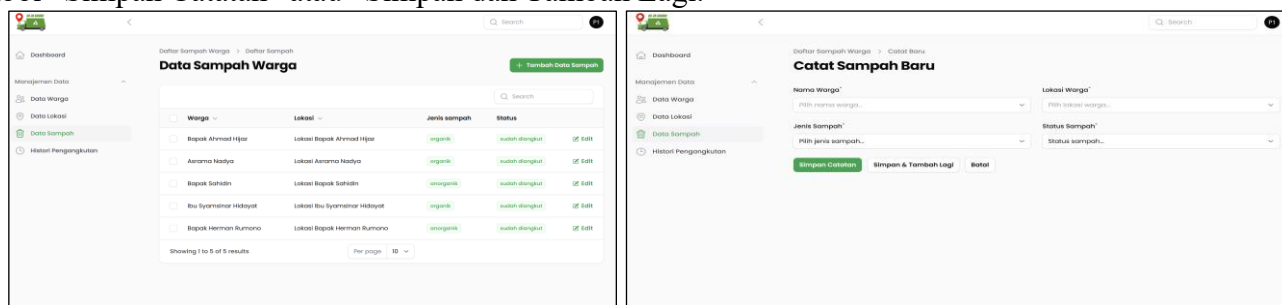
Halaman Data Lokasi Rumah Warga digunakan oleh admin untuk mengelola dan memantau titik koordinat lokasi rumah warga yang menjadi bagian dari area layanan. Pada halaman ini ditampilkan daftar nama lokasi beserta informasi *latitude* dan *longitude* yang menunjukkan posisi geografis masing-masing rumah warga. Petugas dapat melakukan pembaruan atau koreksi data dengan menekan tombol “Edit” di setiap baris.



Gambar 3. Halaman Data Lokasi Rumah Warga (Admin)

Halaman Data Sampah (Admin) berfungsi untuk mengelola informasi jenis dan status pengangkutan sampah dari setiap warga. Pada halaman ini ditampilkan tabel berisi nama warga, lokasi rumah, jenis

sampah (organik atau anorganik), serta status pengangkutan seperti “sudah diangkut” atau “belum diangkut.” Admin dapat menambah atau memperbarui data melalui tombol “Tambah Data Sampah” dan “Edit.” Saat menambah data, sistem menampilkan formulir Catat Sampah Baru yang berisi kolom nama warga, lokasi, jenis sampah, dan status pengangkutan. Setelah diisi, data dapat disimpan menggunakan tombol “Simpan Catatan” atau “Simpan dan Tambah Lagi.”



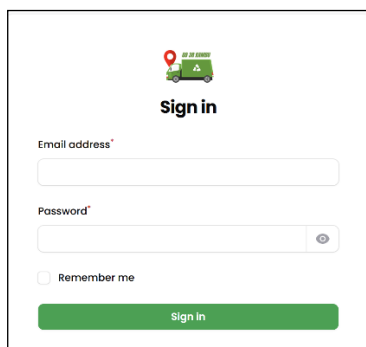
Gambar 4. Data dan Tambah Data Sampah Warga (Admin)

Halaman Histori Pengangkutan Sampah menampilkan catatan aktivitas pengangkutan sampah yang telah dilakukan oleh admin. Pada halaman ini, ditampilkan tabel berisi informasi nama petugas, nama warga, jenis sampah (organik atau anorganik), serta tanggal dan waktu pengangkutan. Fitur ini memudahkan petugas dalam memantau riwayat kegiatan pengangkutan secara terperinci dan memastikan setiap proses tercatat dengan baik. Selain itu, tersedia tombol “Delete” untuk menghapus data yang sudah tidak diperlukan, sehingga pengelolaan riwayat pengangkutan dapat dilakukan secara rapi dan efisien.



Gambar 5. Halaman Histori Pengangkutan Sampah (Admin)

Halaman *login* admin merupakan tampilan awal yang berfungsi sebagai gerbang akses bagi admin untuk masuk ke dalam sistem pengelolaan data TPS 3R. Pada halaman ini, admin diminta memasukkan alamat email dan kata sandi sebagai proses autentikasi untuk memastikan keamanan data. Tersedia pula opsi “Remember me” yang memudahkan admin saat *login* di sesi berikutnya. Melalui halaman *login* ini, sistem berbasis web yang terhubung dengan basis data MySQL memastikan hanya pengguna berwenang yang dapat mengelola informasi titik lokasi TPS 3R serta jalur pengangkutan sampah secara efisien dan terintegrasi.



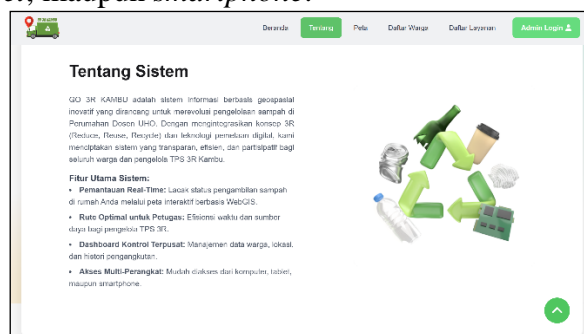
Gambar 6. Halaman Login (Admin)

Halaman beranda GO 3R KAMBU menampilkan informasi utama mengenai sistem pengelolaan sampah berbasis WebGIS yang dikembangkan untuk mendukung pengelolaan sampah secara optimal di wilayah TPS 3R Kambu, khususnya di Perumahan Dosen Universitas Halu Oleo (UHO). Pada halaman ini terdapat penjelasan singkat tentang tujuan aplikasi yang mengusung konsep *Reduce-Reuse-Recycle* (3R) dengan teknologi pemetaan digital, tombol “Cek Status Sampah” untuk memantau status pengangkutan sampah paada peta, serta informasi statistik seperti jumlah pelanggan, persentase angkutan harian, dan jumlah armada.



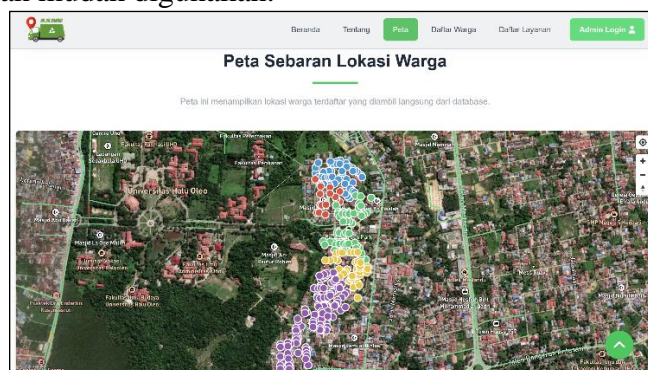
Gambar 7. Halaman Beranda

Halaman Tentang Sistem menampilkan penjelasan mengenai GO 3R KAMBU sebagai sistem informasi berbasis geospasial (WebGIS) yang dikembangkan untuk mendukung pengelolaan sampah di Perumahan Dosen Universitas Halu Oleo (UHO). Pada halaman ini dijelaskan fitur utama sistem, seperti pemantauan *real-time* pengambilan sampah, penentuan rute optimal bagi petugas, dashboard kontrol terpusat untuk manajemen data, serta akses multi-perangkat yang memungkinkan pengguna membuka aplikasi melalui komputer, *tablet*, maupun *smartphone*.



Gambar 8. Halaman Tentang Sistem

Halaman Peta Sebaran Lokasi Warga menampilkan persebaran lokasi warga yang terdaftar dalam sistem menggunakan tampilan peta interaktif berbasis MapBox. Data koordinat warga diambil langsung dari *database* MySQL dan divisualisasikan dengan warna *marker* untuk membedakan wilayah atau kelompok tertentu. Halaman ini membantu pengguna melihat distribusi warga secara cepat dan akurat melalui antarmuka yang sederhana dan mudah digunakan.



Gambar 9. Halaman Peta Sebaran Lokasi Warga

Halaman Daftar Data Warga menampilkan informasi warga yang bermitra dengan TPS 3R Perumahan Dosen UHO Kambu. Data yang ditampilkan meliputi nomor urut, nama warga, alamat (blok), serta RW tempat tinggal. Seluruh data diambil langsung dari *database* MySQL dan disusun dalam bentuk tabel yang dapat diurutkan serta dicari menggunakan kolom pencarian untuk memudahkan pengguna menemukan informasi tertentu.

| NO. | NAMA WARGA | ALAMAT (BLOK) | RW |
|-----|---------------------------|---------------|-------|
| 1 | Bapak Sudirman Zaid | Blok A/5 | RW 03 |
| 2 | Bapak Irena Hajar | Blok A/8 | RW 03 |
| 3 | Bapak Dedi Takdir | Blok B/18 | RW 03 |
| 4 | Ibu Hj. Harisa Nurah Kati | Blok B/19 | RW 03 |
| 5 | Ibu Elsyah | Blok B/20 | RW 03 |
| 6 | Ibu Sunana | Blok B/21 | RW 03 |
| 7 | Bapak M. Tufahum Kati | Blok B/23 | RW 03 |

Gambar 10. Halaman Daftar Data Warga

Halaman *Form* Pendaftaran Layanan menyediakan fitur bagi warga untuk mendaftar program pengelolaan sampah modern yang diselenggarakan oleh TPS 3R Perumahan Dosen UHO Kambu. Melalui halaman ini, pengguna dapat mengisi data diri seperti nama, alamat, koordinat lokasi (*latitude* dan *longitude*), serta nomor kontak untuk mendapatkan layanan penjemputan sampah secara terjadwal. Formulir ini dirancang sederhana dan informatif dengan petunjuk pengisian yang jelas agar proses pendaftaran dan pemantauan layanan dapat berjalan lebih efisien dan akurat.

Gambar 11. Halaman *Form* Pendaftaran Layanan

Implementasi Algoritma *Hill Climbing*

Implementasi algoritma *Hill Climbing* dilakukan dalam satu fungsi yang berperan untuk menghitung rute terpendek dan melakukan optimasi urutan kunjungan lokasi warga. Fungsi ini menggabungkan perhitungan jarak minimum dengan proses pencarian solusi optimal melalui pertukaran posisi antar titik secara iteratif. Dengan demikian, sistem mampu menghasilkan rekomendasi rute pengangkutan yang lebih efisien berdasarkan lokasi awal petugas maupun pengguna. *Source code* dari fungsi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Source Code* Perhitungan Jarak Antar Titik

| <i>Source Code</i> Perhitungan Jarak Antar Titik |
|--|
| <pre>private function hitungJarak(\$lat1, \$lon1, \$lat2, \$lon2) { if (\$lat1 == \$lat2 && \$lon1 == \$lon2) { return 0; } \$theta = \$lon1 - \$lon2;</pre> |

```

$dist = sin(deg2rad($lat1)) * sin(deg2rad($lat2)) +
        cos(deg2rad($lat1)) * cos(deg2rad($lat2)) * cos(deg2rad($theta));
$dist = acos($dist);
$dist = rad2deg($dist);
$miles = $dist * 60 * 1.1515;
return ($miles * 1.609344);
}

```

Fungsi `hitungJarak ()` berfungsi untuk menghitung jarak antara dua titik berdasarkan koordinat *latitude* dan *longitude* menggunakan rumus *Spherical Law of Cosines*. Perhitungan dilakukan dengan mengonversi derajat ke radian, menghitung jarak sudut antar titik, lalu mengubah hasilnya ke satuan kilometer. Hasil jarak ini digunakan untuk menentukan total jarak rute pada proses algoritma *Hill Climbing*.

Tabel 4. Source Code Perhitungan Total Jarak Rute

| Source Code Perhitungan Total Jarak Rute |
|--|
| <pre> private function hitungTotalJarak(array \$rute, array \$titikAwal) { \$totalJarak = 0; \$titikSebelumnya = \$titikAwal; foreach (\$rute as \$titik) { \$totalJarak += \$this->hitungJarak(\$titikSebelumnya['latitude'], \$titikSebelumnya['longitude'], \$titik['latitude'], \$titik['longitude']); \$titikSebelumnya = \$titik; } return \$totalJarak; } </pre> |

Fungsi `hitungTotalJarak ()` digunakan untuk menghitung total jarak yang ditempuh dalam satu rute perjalanan. Fungsi ini bekerja dengan menjumlahkan jarak antara titik awal dengan setiap titik berikutnya secara berurutan menggunakan fungsi `hitungJarak()`. Setiap kali jarak antar dua titik dihitung, hasilnya ditambahkan ke variabel total, lalu posisi titik sebelumnya diperbarui hingga seluruh rute selesai dihitung. Hasil akhirnya adalah total jarak keseluruhan dalam satuan kilometer.

Tabel 5. Source Code Algoritma *Hill Climbing*

| Source Code Algoritma Hill Climbing |
|--|
| <pre> public function hitungRuteOptimal(\$startLon = null, \$startLat = null) { if (\$startLon && \$startLat) { \$this->lokasiAwalPetugas = ['nama_lokasi' => 'Lokasi Anda Saat Ini', 'longitude' => (float) \$startLon, 'latitude' => (float) \$startLat,]; } else { \$this->lokasiAwalPetugas = ['nama_lokasi' => 'TPS 3R Kambu', 'longitude' => 122.525263, 'latitude' => -4.0142445]; } } </pre> |

```

$this->rutePenuh = [];
if (empty($this->rutePenuh)) {
    if (count($this->lokasiWarga) < 2) {
        $this->lokasiData = array_merge([$this->lokasiAwalPetugas],
$this->lokasiWarga);
        $this->dispatch('routeCalculated', route: $this->lokasiData);
        return;
    }
    $lokasiKunjungan = $this->lokasiWarga;
    $iterasi = 2000;
    shuffle($lokasiKunjungan);
    $ruteTerbaik = $lokasiKunjungan;
    $jarakTerbaik = $this->hitungTotalJarak($ruteTerbaik, $this-
>lokasiAwalPetugas);

    for ($i = 0; $i < $iterasi; $i++) {
        $ruteBaru = $ruteTerbaik;
        $pos1 = rand(0, count($ruteBaru) - 1);
        $pos2 = rand(0, count($ruteBaru) - 1);
        while ($pos1 === $pos2) {
            $pos2 = rand(0, count($ruteBaru) - 1);
        }
        $temp = $ruteBaru[$pos1];
        $ruteBaru[$pos1] = $ruteBaru[$pos2];
        $ruteBaru[$pos2] = $temp;

        $jarakBaru = $this->hitungTotalJarak($ruteBaru, $this-
>lokasiAwalPetugas);

        if ($jarakBaru < $jarakTerbaik) {
            $jarakTerbaik = $jarakBaru;
            $ruteTerbaik = $ruteBaru;
        }
    }
    $this->rutePenuh = $ruteTerbaik;
}

$this->halamanSaatIni = 0;
$this-> kirimBagianRute();
}

```

Fungsi `hitungRuteOptimal ()` merupakan implementasi dari algoritma *Hill Climbing* yang digunakan untuk mencari rute terpendek berdasarkan lokasi awal dan titik-titik tujuan. Fungsi ini memulai proses dengan menentukan titik awal, kemudian mengacak urutan kunjungan warga sebagai solusi awal. Selanjutnya dilakukan iterasi sebanyak 2000 kali, di mana pada setiap iterasi dua titik dalam rute dipertukarkan untuk menghasilkan solusi baru. Jika jarak total rute baru lebih pendek dari sebelumnya, maka rute tersebut disimpan sebagai rute terbaik. Proses ini terus berlanjut hingga diperoleh rute dengan jarak paling minimal yang dianggap sebagai solusi optimal.

Pengujian Kelayakan Sistem *User Acceptance Testing* (UAT)

Pengujian User Acceptance Test (UAT) dilakukan melalui serangkaian skenario tugas yang melibatkan dua kelompok responden, yaitu petugas TPS 3R dan pengguna layanan. Tujuan utamanya adalah mengevaluasi sejauh mana fitur sistem dapat berfungsi sesuai kebutuhan operasional dan kemudahan penggunaannya. Bagi kelompok petugas, skenario pengujian meliputi pengelolaan data warga, data pengangkutan, data kendaraan, pencarian rute, hingga pelaporan hasil pengangkutan. Hasil penilaian digunakan untuk memastikan bahwa sistem mampu mendukung kegiatan operasional TPS 3R secara efektif, efisien, dan mudah dioperasikan di lapangan. Sementara itu, bagi pengguna layanan, pengujian difokuskan pada kemudahan akses fitur seperti beranda, informasi sistem, peta lokasi, daftar rumah warga, serta layanan pengangkutan sampah, guna menilai tingkat kenyamanan, keterbacaan, dan efektivitas sistem dalam mendukung partisipasi masyarakat terhadap pengelolaan sampah berbasis 3R (Gordon et al., 2022; Irshad & Petersen, 2021; Silvia et al., 2024).

Berdasarkan hasil perhitungan, kelompok petugas TPS 3R memperoleh total nilai sebesar 79,74% dengan kategori *Baik*, yang menunjukkan bahwa sistem berfungsi stabil dan mampu mendukung operasional pengangkutan sampah. Sementara itu, kelompok pengguna layanan memperoleh nilai 88,07% dengan kategori *Sangat Baik*, menandakan sistem mudah diakses, responsif, serta memberikan manfaat nyata dalam mengetahui status pengambilan sampah dan mendukung tata kelola lingkungan yang lebih teratur. Klasifikasi penilaian ini mengacu pada rentang persentase kinerja sistem, di mana nilai di atas 81% menunjukkan hasil yang optimal dan layak untuk diimplementasikan secara berkelanjutan dalam pengelolaan sampah berbasis WebGIS di TPS 3R Kambu.

Pengujian Akurasi Solusi (*Correctness Test*)

Pengujian Akurasi Solusi (*Correctness Test*) dilakukan untuk memastikan keluaran sistem sesuai dengan hasil yang benar, khususnya dalam menilai keakuratan dan kinerja algoritma Hill Climbing dalam menentukan rute optimal. Pengujian dilakukan dengan membandingkan jarak antar titik yang dihitung oleh sistem dengan jarak manual melalui Google Maps, kemudian dianalisis perbedaan jarak total dan penyebabnya untuk mengevaluasi efisiensi algoritma. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel agar analisis lebih mudah dan terstruktur, serta membantu memastikan bahwa sistem mampu menghasilkan rute pengangkutan sampah yang optimal secara konsisten.

Tabel 6. Pengujian PERhitungan Jarak per Segmen

| Titik Asal | Titik Tujuan | Jarak Manual (m) | Hasil Algoritma |
|--------------|--------------|------------------|-----------------|
| TPS 3R | Blok V/27 | 400 | 390 |
| Blok V/27 | Blok V/28 | 20 | 13 |
| Blok V/28 | Blok W/4 | 60 | 45 |
| Blok W/4 | Blok W/5 | 20 | 12 |
| Blok W/5 | TPS 3R | 400 | 400 |
| Total | | 900 m | 860 m |

Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma Hill Climbing mampu menghasilkan estimasi jarak yang mendekati hasil manual, dengan total jarak 860 meter dibandingkan 900 meter dari Google Maps, sehingga terdapat selisih sekitar 40 meter atau 4,4% lebih pendek. Perbedaan ini disebabkan oleh penggunaan jarak Euclidean yang hanya memperhitungkan garis lurus antar titik, sedangkan Google Maps mengikuti jalur jalan sebenarnya (Hertaryawan et al., 2024; Umam et al., 2025). Meski demikian, selisih tersebut masih dalam batas wajar karena titik lokasi berdekatan dan rutanya pendek. Dari sisi kinerja, algoritma ini menunjukkan efisiensi tinggi dengan waktu eksekusi cepat dan hasil yang konsisten berkat integrasi dengan OpenStreetMap, sehingga layak diterapkan untuk optimasi rute pengangkutan sampah di wilayah TPS 3R Perumahan Dosen Kambu.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, sistem WebGIS pengangkutan sampah berbasis konsep 3R dengan algoritma Hill Climbing telah terbukti layak, efisien, dan mudah digunakan baik

oleh petugas TPS 3R maupun warga. Hasil UAT menunjukkan tingkat penerimaan yang tinggi dengan nilai 79,74% (kategori Baik) untuk admin dan 88,07% (kategori Sangat Baik) untuk pengguna, menandakan sistem berjalan optimal dalam pengelolaan data dan pemetaan rute. Algoritma Hill Climbing juga terbukti akurat dengan selisih hanya 4,4% dibanding rute manual, menunjukkan efektivitasnya dalam menentukan jalur optimal. Ke depan, sistem ini disarankan dikembangkan dengan integrasi fitur prediksi volume sampah berbasis data historis, sensor IoT untuk pemantauan real-time, serta dashboard analitik interaktif dan algoritma hybrid untuk meningkatkan akurasi, efisiensi, dan keandalan operasional pengangkutan sampah.

DAFTAR PUSTAKA

- Gordon, S., Crager, J., Howry, C., Barsdorf, A. I., Cohen, J., Crescioni, M., Dahya, B., Delong, P., Knaus, C., & Reasner, D. S. (2022). Best practice recommendations: user acceptance testing for systems designed to collect clinical outcome assessment data electronically. *Therapeutic Innovation & Regulatory Science*, 56(3), 442–453.
- Gunawan, Y., Karimuna, L., Kano, L., & Endriatno, N. (2021). Optimization of Renewable Energy Production by Utilizing Methane Gas And plastic waste from sources at the Puuwatu landfill Kendari City. *International Journal Of Engineering And Computer Science*, 10(3).
- Herdiansyah, H., Saiya, H. G., Afkarina, K. I. I., & Indra, T. L. (2021). Coastal community perspective, waste density, and spatial area toward sustainable waste management (Case study: Ambon bay, Indonesia). *Sustainability*, 13(19), 10947.
- Hertaryawan, R. M. P., Mulyana, D. I., & Akbar, Y. (2024). Optimasi Pemetaan Ruang Makan Pada TPU di Jakarta Menggunakan Quantum GIS dengan Metode Haversine Formula. *TEKNIKA*, 18(2), 547-â.
- Irshad, M., & Petersen, K. (2021). A Systematic Reuse Process for Automated Acceptance Tests: Construction and Elementary Evaluation. *E-Informatica Software Engineering Journal*, 15(1), 133–162.
- Kristina, M., Usanto, B., Kasmi, K., Angelia, F., & Habibah, H. (2025). Edukasi pengelolaan sampah melalui bank sampah dan tempat pengelolaan sampah Reduce, Reuse, Recycle (TPS3R) di Jejama Secancangan Kabupaten Pringsewu. *NEAR: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 292–301.
- Majid, R., Zainuddin, A., Yasnani, Y., Nirmala, F., & Tina, L. (2020). Peningkatan Kesadaran Pengelolaan Sampah Terpadu Berbasis Masyarakat Pesisir di Kelurahan Lapulu Kota Kendari Tahun 2019. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Ilmu Terapan (JPMIT)*, 2(1), 55–64. <https://doi.org/10.33772/jpmit.v2i1.12149>
- Perrina, M. G. (2021). Literature Review Sistem Informasi Geografis (SIG). *Journal of Information Technology and Computer Science*, 10(10), 1–4.
- Sakti, A. D., Rinasti, A. N., Agustina, E., Diastomo, H., Muhammad, F., Anna, Z., & Wikantika, K. (2021). Multi-scenario model of plastic waste accumulation potential in indonesia using integrated remote sensing, statistic and socio-demographic data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(7), 481.
- Silvia, S., Syaodih, E., Bagenda, W., & Purwadhi, P. (2024). Evaluasi Implementasi SIMRS dengan Metode Teknologi Acceptance Model di RSUD Dr. Soekardjo Kota Tasikmalaya. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(6), 8363–8381.
- Umam, J., Umam, K., Wibowo, N. C. H., & Ulinuha, M. A. (2025). Analisis Perbandingan Algoritma Dijkstra, Haversine, dan Distance Matrix API pada Penentuan Jarak Sekolah di Kota Semarang. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Informatika*, 11(1), 58–68.
- Widyastuti, A. E. S. (2025). Pentingnya collaborative governance dalam pengelolaan sampah: studi kasus mekanisme pengelolaan sampah berbasis zero waste di TPS Go-Sari dan TPA BLE Banyumas. *J-CEKI: Jurnal Cendekia Ilmiah*, 4(3), 3163–3176.
- Yaqin, A. (2025). Strategi Pemberdayaan Komunitas Dalam Pengelolaan Sampah Organik dan Anorganik di Lingkungan Kabupaten Sumenep. *Al Iman: Jurnal Keislaman Dan Kemasyarakatan*, 9(1), 1–2.