Design and Development of a Web-Based Smart Waste Bank Using the Waterfall Method at the Sari Asri Waste Bank

Muhammad Achidus Syiblih [1)], Muhammad Imron Rosadi [2)*)]

[1)2)]Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Yudharta Pasuruan
[*)]**Correspondence author**: imron.rosadi@yudharta.ac.id, Pasuruan, Indonesia
DOI: https://doi.org/10.37012/jtik.v12i1.3711

Abstract

However, traditional management of the waste banks is faced by various problems such as the lack of integration of the data recording process, inefficient operation service and the absence of real-time transactions monitoring. The current research paper tries to develop a web-based Smart Waste Bank system using Waterfall model to increase the effectiveness of waste bank management in Bank Sampah Sari Asri. The process of the system development included requirement analysis, system design, implementation, testing and maintenance. The designed system includes multi-role users management, waste collection services via Geographic Information System (GIS), MSME marketplace, approvals and real-time data analytics dashboard. The testing of the developed system was performed using Black Box Testing approach to make sure that all system functions work as expected for the user. The findings show that the developed system successfully integrates all mentioned characteristics and performs all required functions as expected according to testing results. Therefore, the use of the developed system increases the effectiveness of data management, makes operation service more efficient, creates transparency in waste bank management and creates additional economic value due to the integration of the MSME marketplace. Thus, the proposed web-based Smart Waste Bank system can be considered as an efficient and integrated waste bank management solution.

Keywords: *Smart Waste Bank, Geographic Information System, MSME Marketplace, Waterfall, Web-Based System*

Abstrak

Sistem pengelolaan bank sampah dengan cara konvensional tetap dihadapkan pada berbagai masalah, di antaranya adalah pencatatan data yang tidak terintegrasi, kurangnya pemantauan transaksi secara real-time, serta layanan operasional yang masih belum optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem Smart Waste Bank berbasis web dengan menggunakan metode Waterfall demi mengoptimalkan efektivitas pengelolaan Bank Sampah Sari Asri. Metode pengembangan sistem meliputi tahapan analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Sistem yang dikembangkan memiliki integrasi manajemen pengguna dengan basis multi-role, layanan antar jemput sampah berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG), marketplace UMKM, approval, dan dashboard analisis data secara real-time. Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan metode Black Box Testing untuk memastikan seluruh fungsi sistem berfungsi sebagaimana kebutuhan dari user. Hasil penelitian ditemukan bahwa sistem berhasil mengintegrasikan semua fitur yang direncanakan dan semua fungsi sistem dapat berfungsi sesuai dengan hasil pengujian. Implementasi sistem tersebut mampu mengoptimalisasi efektivitas pengelolaan data, mengoptimalkan layanan operasional, menambah transparansi proses pengelolaan, dan menambah nilai ekonomi dari pengelolaan bank sampah melalui integrasi marketplace UMKM. Dengan demikian, sistem Smart Waste Bank berbasis web dapat menjadi solusi yang mendukung pengelolaan bank sampah secara lebih efektif, efisien, dan terintegrasi.

Kata Kunci: Smart Waste Bank, Sistem Informasi Geografis, Marketplace UMKM, Waterfall, Sistem Berbasis Web

PENDAHULUAN

Masalah sampah merupakan permasalahan lingkungan yang masih menjadi tantangan bagi banyak negara, terutama dengan pertambahan jumlah penduduk, proses urbanisasi, dan gaya hidup konsumtif yang ditunjukkan oleh masyarakat. Pertambahan volume sampah tanpa ada upaya pengelolaan sampah yang baik akan bisa menyebabkan pencemaran lingkungan, masalah kesehatan, dan penurunan kualitas kehidupan masyarakat. Selain itu, rendahnya kesadaran masyarakat untuk memilah sampah sejak dari sumber turut memperburuk efektivitas pengelolaan sampah yang berkelanjutan (World Bank, 2022; Abarca-Guerrero et al., 2021).

Adanya kemajuan teknologi digital ini telah memicu perubahan dalam sistem pengelolaan sampah yang dijadikan smart waste management dengan menggunakan teknologi seperti teknologi informasi, Internet of Things (IoT), Geographical Information System (GIS), data analysis, dan web-based platform yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional maupun layanan yang lebih baik. Penggunaan teknologi ini telah mampu memberikan fungsi monitoring kondisi tempat sampah secara real-time dan juga optimalisasi rute pengangkutan sampah (Addas et al., 2024).

Tak hanya mengoptimalkan efisiensi operasionalnya, digitalisasi manajemen sampah juga penting untuk membantu mendorong penerapan ekonomi circular melalui peningkatan transparansi, akuntabilitas, dan kolaborasi antara stakeholders. Penggunaan teknologi berupa GIS, dashboard analisis, hingga platform digital akan memudahkan proses manajemen sampah dari segala aspek sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomis dari sampah yang dikelola (Masoni et al., n.d.).

Salah satu strategi yang sudah dikembangkan di Indonesia untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan menggunakan bank sampah sebagai sistem pengelolaan sampah yang berbasis masyarakat. Bank sampah mendorong masyarakat untuk mengumpulkan sampah yang sudah dipisahkan dan bisa ditukar dengan tabungan sehingga selain bermanfaat bagi pelestarian lingkungan, juga bisa meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Namun, pengimplementasiannya belum lepas dari beberapa masalah seperti proses pencatatan data yang manual, kekurangan dalam hal pemantauan transaksi yang real time dan efisiensi operasional yang buruk (Rahmawati et al., 2022).

Permasalahan pengelolaan sampah terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan aktivitas ekonomi sehingga diperlukan sistem pengelolaan yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan. Menurut Kaza et al. (2022), peningkatan volume sampah secara global menuntut pemanfaatan teknologi informasi untuk mendukung proses pengumpulan, pengolahan, dan pengambilan keputusan secara lebih terintegrasi. Senada dengan itu, Abarca-Guerrero et al. (2021) menyatakan bahwa pengelolaan sampah di negara berkembang masih menghadapi berbagai tantangan, seperti keterbatasan infrastruktur, koordinasi antar pemangku kepentingan, serta pengelolaan data yang belum optimal. Oleh karena itu, penerapan konsep circular economy menjadi salah satu pendekatan yang mampu meningkatkan nilai ekonomi sampah melalui pemanfaatan kembali sumber daya secara berkelanjutan (Geissdoerfer et al., 2021).

Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem informasi pengelolaan sampah dengan pendekatan yang beragam. Hidayat et al. (2021) mengembangkan aplikasi bank sampah berbasis web untuk mempermudah administrasi dan pencatatan transaksi. Selanjutnya, Saputra dan Nugroho (2022) mengimplementasikan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mendukung pemetaan lokasi layanan pengelolaan sampah, sedangkan Ardianti et al. (2023) mengembangkan sistem berbasis web yang telah mengintegrasikan teknologi GIS. Dari sisi penyajian informasi, Rahmawati et al. (2022) memanfaatkan dashboard monitoring untuk mendukung pengambilan keputusan, kemudian Pratama et al. (2024) mengembangkan konsep *smart waste management* melalui pemanfaatan analisis data. Selain itu, Sari et al. (2024) mengintegrasikan marketplace berbasis ekonomi sirkular untuk meningkatkan nilai tambah hasil pengelolaan sampah. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi informasi mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah, meskipun implementasinya masih cenderung berfokus pada fitur tertentu dan belum sepenuhnya terintegrasi. Sejalan dengan perkembangan tersebut, penelitian terkini juga menunjukkan bahwa integrasi IoT, GIS, dashboard analitik, dan optimasi rute menjadi komponen utama dalam pengembangan sistem *smart waste management* modern.

Penelitian lain oleh (Fitriyah & Rosadi, 2024) juga menunjukkan bahwa penerapan metode Waterfall pada pengembangan aplikasi berbasis Android mampu menghasilkan

sistem yang berjalan sesuai kebutuhan pengguna berdasarkan pengujian Black Box. Namun, penelitian tersebut berfokus pada sistem informasi tagihan pembayaran santri, sedangkan penelitian ini mengembangkan sistem Smart Waste Bank berbasis web yang mengintegrasikan fitur multi-role, layanan antar jemput berbasis SIG, marketplace UMKM, serta analisis data secara *real-time*.

Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi informasi, sebagian besar masih berfokus pada digitalisasi transaksi, pemetaan lokasi, dashboard monitoring, maupun marketplace secara terpisah. Padahal, implementasi *smart waste management* membutuhkan integrasi berbagai teknologi dalam satu platform agar mampu mendukung pengelolaan operasional, pengambilan keputusan berbasis data, transparansi informasi, serta pelayanan kepada masyarakat secara menyeluruh. Penelitian (Cárdenas-León et al., 2024) juga menekankan bahwa integrasi berbagai teknologi digital merupakan faktor penting dalam mewujudkan sistem pengelolaan sampah yang adaptif, efisien, dan berkelanjutan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan Smart Waste Bank berbasis web menggunakan metode Waterfall yang mengintegrasikan pengelolaan data berbasis *multi-role access*, layanan antar jemput berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG), marketplace UMKM, dashboard analitik secara *real-time*, serta mekanisme persetujuan perubahan data dalam satu platform terpadu. Integrasi tersebut diharapkan mampu meningkatkan efisiensi operasional, transparansi informasi, dan mendukung implementasi ekonomi sirkular dalam pengelolaan bank sampah. Metode Waterfall dipilih karena menyediakan tahapan pengembangan perangkat lunak yang sistematis, terdokumentasi, dan sesuai untuk pembangunan sistem informasi yang memiliki kebutuhan fungsional yang telah terdefinisi dengan baik (Sommerville, 2021; Pressman & Maxim, 2022).

METODE PENELITIAN

Pengembangan sistem ini menentukan metode penelitian yaitu menggunakan metode penelitian R&D dengan model pengembangan sistem berbasis metode Waterfall. Metode penelitian R&D dipilih untuk menciptakan produk berbentuk sistem informasi yang mampu diterapkan dalam pengelolaan Bank Sampah Sari Asri, sedangkan metode Waterfall dipilih

sebagai alur pengembangan sistem yaitu berisi tahapan analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, pengujian, evaluasi dan pemeliharaan sistem. Pemilihan kombinasi kedua metode tersebut dikarenakan memiliki metode pengembangan yang sistematis dan memungkinkan setiap tahapan pengembangan bisa diselesaikan berurutan.

Penelitian ini dilakukan di Bank Sampah Sari Asri, Desa Sari Rejo, Kecamatan Rejoso, Kabupaten Pasuruan. Teknik pengumpulan data menggunakan metode observasi terhadap proses operasional bank sampah, wawancara dengan pengelola tentang kebutuhan sistem informasi, serta teknik studi literatur berupa buku dan penelitian terdahulu yang berkenaan dengan sistem informasi, pengelolaan bank sampah, Sistem Informasi Geografis (SIG), dan metode pengembangan perangkat lunak. Data yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam penyusunan kebutuhan fungsional dan nonfungsional sistem.

Langkah pertama dari metodologi Waterfall adalah analisis kebutuhan (requirement analysis) untuk mengetahui kebutuhan pengguna dan permasalahan dari sistem yang ada. Langkah selanjutnya adalah perancangan sistem (system design) yang meliputi desain sistem, ERD, DFD, Use Case Diagram, Activity Diagram, desain antarmuka pengguna. Tahapan berikutnya adalah implementasi (implementation) dengan teknologi web-based yang dibagi hak akses untuk Admin, Founder, dan Nasabah. Setelah tahapan implementasi selesai, sistem diuji dengan teknik Black Box Testing agar dapat memastikan semua fungsi sistem berfungsi dengan baik sesuai dengan kebutuhan pengguna. Tahapan akhir adalah evaluasi dan maintenance melalui pengembangan sistem yang dilakukan untuk memperbaiki kekurangan sistem yang ditemukan saat proses pengujian.

Spesifikasi sistem yang dikembangkan yaitu aplikasi web-based yang memiliki fitur manajemen peran, manajemen data nasabah dan transaksi, layanan jasa antar jemput sampah berbasis SIG, marketplace UMKM, monitoring data secara real time, dan analisis data sebagai pendukung pengambilan keputusan.

Pengetesan keabsahan hasil penelitian tersebut diperoleh melalui fungsi testing menggunakan metode Black Box Testing. Pengetesan dilakukan kepada seluruh fitur yang ada dalam sistem yang dapat dijadikan bukti bahwa setiap fungsi yang ada dapat bekerja dengan menghasilkan output sesuai dengan kebutuhan. Fitur yang menjadi obyek pengetesan ini meliputi proses autentifikasi pengguna, manajemen data, transaksi bank sampah, layanan

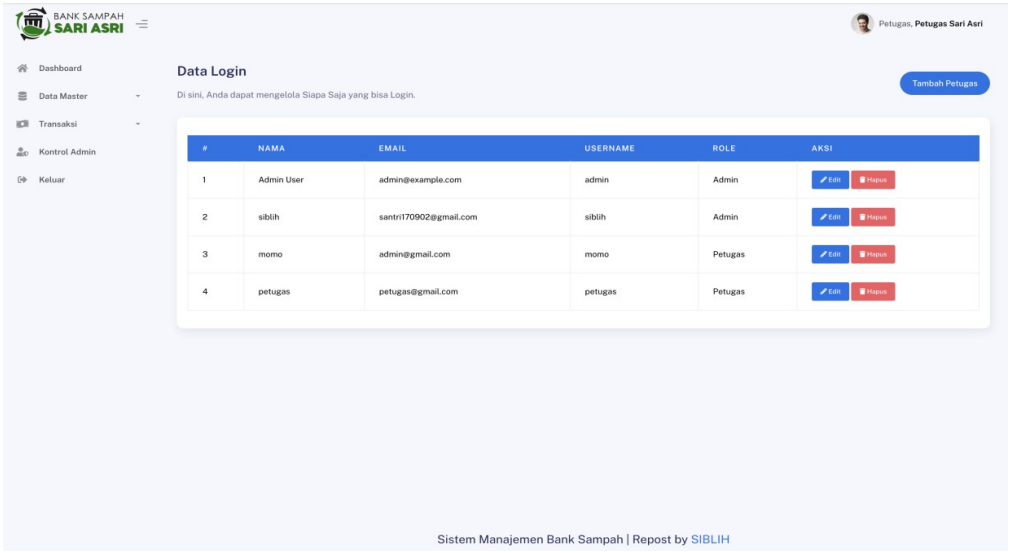
antar jemput, UMKM marketplace, dashboard, dan analisis data. Seluruh fitur dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan sistem sehingga sistem dinyatakan layak untuk digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini adalah sistem web Smart Waste Bank yang dibuat menggunakan pendekatan Waterfall untuk mempermudah manajemen Bank Sampah Sari Asri. Sistem dibuat berdasarkan kebutuhan pengguna dengan demikian sistem bisa menampilkan berbagai proses pengelolaan bank sampah dalam satu tempat. Beberapa fitur utama yang dibuat antara lain sistem manajemen pengguna berbasis peran multi, manajemen transaksi sampah, layanan antar jemput berbasis SIG (Sistem Informasi Geografis), marketplace UMKM, fitur persetujuan (approval), dan juga analisis data secara real time. Pada akhir implementasi, semua fitur sistem diuji menggunakan metode Black Box Testing untuk mengecek validitas antara kebutuhan dan sistem.

Implementasi Sistem Multi-Role

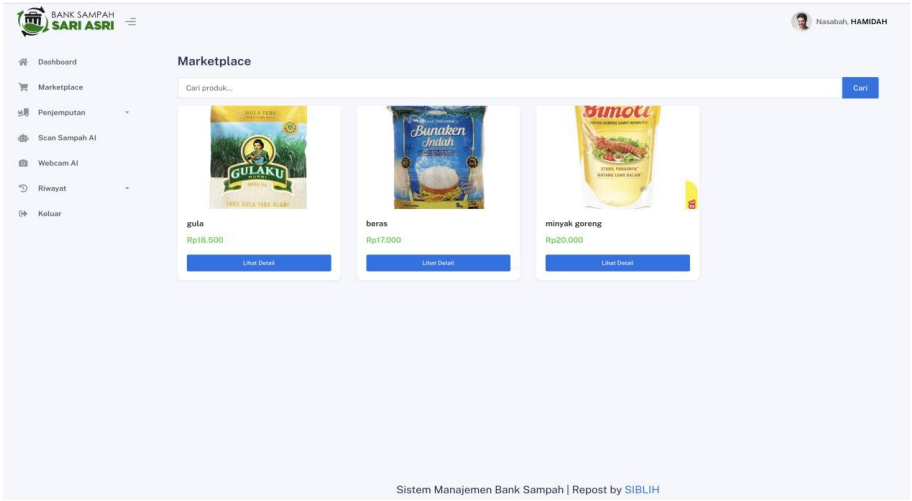
Sistem Smart Waste Bank mengadopsi konsep multi-peran yang melibatkan tiga jenis pengguna yaitu Pendiri, Admin, dan Depositor. Setiap pengguna ini memiliki hak istimewa yang berbeda sesuai dengan tugas dan tanggung jawab masing-masing. Pendiri bertindak sebagai administrator utama yang memantau operasi sistem dan mengizinkan setiap modifikasi data. Admin bertanggung jawab mengelola proses operasional sistem sementara Depositor menggunakan sistem untuk transaksi dan penggunaan layanan. Penerapan hak istimewa berdasarkan peran membantu meningkatkan keamanan dan integritas data karena setiap pengguna hanya dapat mengakses fitur tersebut sesuai dengan hak istimewa mereka.



Gambar 1. Pembagian Dataset

Implementasi Marketplace UMKM

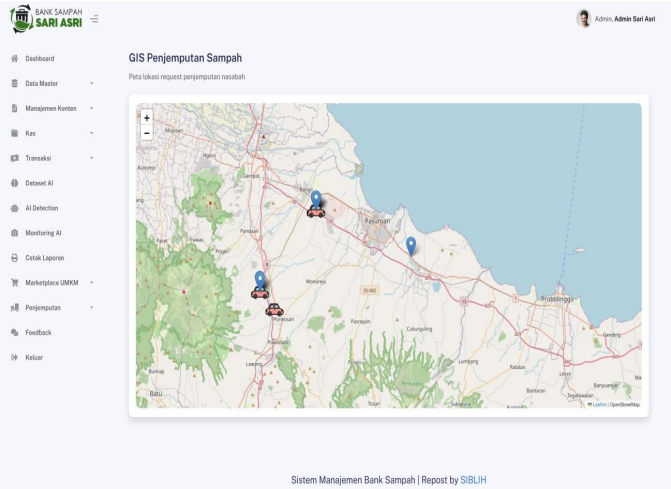
Salah satu fitur yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah Marketplace UMKM. Fitur ini memungkinkan nasabah memanfaatkan saldo hasil tabungan sampah untuk membeli produk UMKM yang tersedia di dalam sistem. Proses transaksi dilakukan secara otomatis melalui validasi saldo, pengecekan stok produk, pengurangan saldo, pengurangan stok, serta penyimpanan riwayat transaksi. Implementasi marketplace memberikan nilai tambah terhadap hasil pengelolaan sampah sekaligus mendukung pemberdayaan pelaku UMKM yang bekerja sama dengan Bank Sampah Sari Asri.



Gambar 2. Implementasi Marketplace UMKM

Implementasi Layanan Antar Jemput Sampah Berbasis SIG

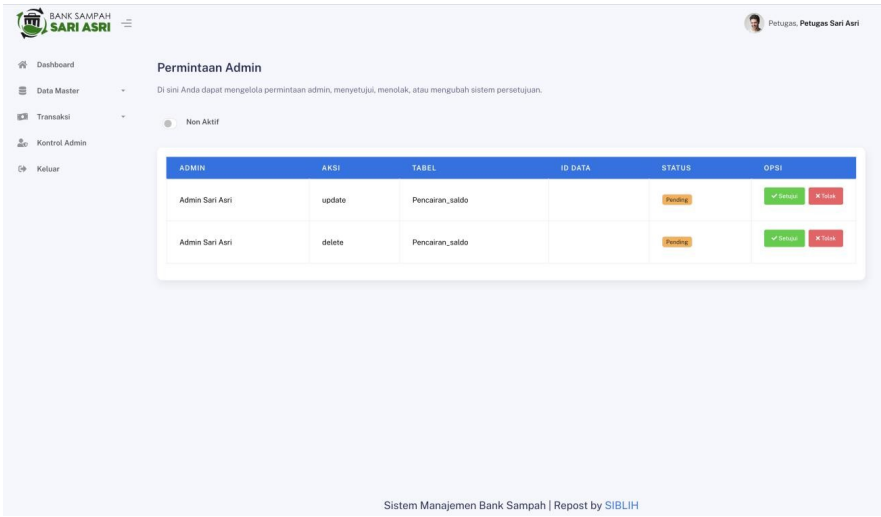
Layanan antar jemput sampah dikembangkan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk membantu proses pengambilan sampah dari lokasi nasabah. Sistem menampilkan lokasi penjemputan secara interaktif sehingga petugas dapat mengetahui titik pengambilan dengan lebih mudah. Selain itu, sistem menerapkan validasi radius lokasi sehingga proses penjemputan hanya dapat diselesaikan ketika petugas berada pada lokasi tujuan. Implementasi SIG meningkatkan efektivitas pelayanan dibandingkan proses penjemputan secara manual karena mampu mempercepat identifikasi lokasi dan mengurangi potensi kesalahan dalam proses pengambilan sampah.



Gambar 3. Implementasi Layanan Antar Jemput Sampah

Implementasi Mekanisme Approval

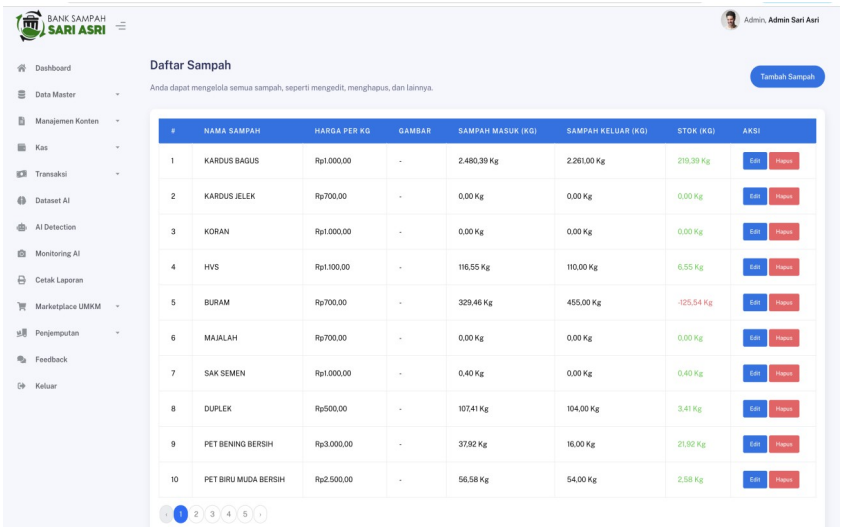
Sistem menerapkan mekanisme approval sebagai bentuk pengendalian terhadap perubahan data yang dilakukan oleh administrator. Setiap perubahan data harus memperoleh persetujuan dari Founder sebelum diproses oleh sistem. Mekanisme ini bertujuan menjaga keamanan, transparansi, dan integritas data sehingga meminimalkan risiko perubahan data tanpa otorisasi. Dengan adanya proses persetujuan tersebut, seluruh aktivitas perubahan data dapat dipantau secara lebih terstruktur.



Gambar 4. Implementasi Approval Founder

Implementasi Dashboard Analisis Data

Dashboard analisis data dikembangkan untuk membantu pengelola dalam memantau informasi pengelolaan sampah secara real-time. Sistem menyajikan data dalam bentuk grafik sehingga memudahkan pengguna mengetahui jumlah serta jenis sampah berdasarkan periode tertentu. Informasi yang ditampilkan pada dashboard dapat dimanfaatkan sebagai dasar evaluasi operasional maupun pengambilan keputusan dalam pengelolaan Bank Sampah Sari Asri. Penyajian data dalam bentuk visual juga meningkatkan kemudahan pengguna dalam memahami informasi dibandingkan penyajian data dalam bentuk tabel biasa.



Gambar 5. Implementasi Approval Founder

Pengujian Sistem

Setelah seluruh fitur berhasil diimplementasikan, dilakukan pengujian sistem menggunakan metode Black Box Testing. Pengujian dilakukan terhadap seluruh fungsi utama sistem, meliputi autentikasi pengguna, pengelolaan data nasabah, transaksi bank sampah, layanan antar jemput, marketplace UMKM, mekanisme approval, dan dashboard analisis data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan pada tahap analisis kebutuhan. Dengan demikian, sistem dinyatakan mampu mendukung proses pengelolaan Bank Sampah Sari Asri secara efektif dan siap digunakan oleh pengguna.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem Smart Waste Bank berbasis web berhasil mengintegrasikan berbagai fitur yang sebelumnya belum tersedia dalam satu platform. Penerapan konsep multi-role memberikan pembagian hak akses yang jelas antara Founder, Admin, dan Nasabah sehingga meningkatkan keamanan dan pengendalian terhadap pengelolaan data. Selain itu, mekanisme approval yang diterapkan pada proses perubahan data mampu menjaga integritas informasi karena setiap perubahan harus memperoleh persetujuan dari pihak yang berwenang sebelum diproses oleh sistem. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan sistem berbasis web mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan operasional dibandingkan proses konvensional yang masih mengandalkan pencatatan manual.

Implementasi layanan antar jemput berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) memberikan kemudahan bagi petugas dalam menentukan lokasi pengambilan sampah secara lebih akurat. Di sisi lain, integrasi Marketplace UMKM memberikan nilai tambah ekonomi melalui pemanfaatan saldo hasil tabungan sampah sebagai alat transaksi pembelian produk UMKM. Dashboard analisis data yang disediakan juga mendukung proses monitoring dan evaluasi karena informasi ditampilkan dalam bentuk grafik yang mudah dipahami. Secara keseluruhan, integrasi seluruh fitur tersebut menghasilkan sistem yang tidak hanya mendukung proses administrasi bank sampah, tetapi juga meningkatkan kualitas pelayanan, transparansi data, serta pemanfaatan informasi sebagai dasar pengambilan keputusan.

Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian Hidayat et al. (2021) yang menyatakan bahwa sistem informasi berbasis web mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan bank sampah. Selain itu, hasil penelitian juga mendukung penelitian Saputra dan Nugroho (2022) mengenai pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam meningkatkan efektivitas layanan pengambilan sampah serta penelitian Putra et al. (2023) yang menunjukkan bahwa pemantauan data secara *real-time* mampu meningkatkan transparansi pengelolaan bank sampah. Perbedaan penelitian ini dibandingkan penelitian terdahulu terletak pada integrasi berbagai fitur, yaitu manajemen multi-peran, layanan antar jemput berbasis SIG, marketplace UMKM, mekanisme *approval*, dan dashboard analisis data dalam satu sistem berbasis web sehingga menghasilkan solusi yang lebih komprehensif bagi pengelolaan Bank Sampah Sari Asri.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan Smart Waste Bank berbasis web menggunakan metode Waterfall sebagai solusi untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan Bank Sampah Sari Asri. Sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan berbagai fitur utama, yaitu manajemen pengguna berbasis multi-peran, pengelolaan transaksi bank sampah, layanan antar jemput berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG), marketplace UMKM, mekanisme *approval*, serta dashboard analisis data secara *real-time*. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode Black Box Testing, seluruh fitur sistem berfungsi sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan sehingga mampu mendukung proses pengelolaan bank sampah secara lebih efektif, efisien, dan transparan.

Berdasarkan hasil penelitian, sistem yang telah dikembangkan masih dapat disempurnakan melalui pengembangan aplikasi berbasis mobile, penerapan optimasi rute pada layanan antar jemput sampah, peningkatan aspek keamanan sistem, serta pengembangan fitur analisis data dan identifikasi sampah yang lebih luas. Pengembangan tersebut diharapkan dapat meningkatkan kualitas layanan serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan sistem informasi pengelolaan bank sampah berbasis teknologi.

REFERENSI

Abarca-Guerrero, L., Maas, G., & Hogland, W. (2021). *Solid waste management challenges for cities in developing countries: Recent perspectives*. *Waste Management Journal*.

Addas, A., Khan, M. N., & Naseer, F. (2024). *Waste management 2.0 leveraging Internet of Things for an efficient and eco-friendly smart city solution*. *PLOS ONE*.

Ardianti, D., et al. (2023). *Pengembangan sistem pengelolaan sampah berbasis web dengan integrasi GIS*. *Jurnal Informatika*.

Fitriyah, K., & Rosadi, I. (2024). *Rancang bangun aplikasi tagihan pembayaran santri berbasis Android*. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, *8*(6).

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2021). *Circular economy as a sustainability paradigm: Recent developments*. *Journal of Cleaner Production*.

Hidayat, R., et al. (2021). *Rancang bangun aplikasi bank sampah berbasis web*. *Jurnal Teknologi Informasi*.

Kannan, D., Khademolqorani, S., Janatyan, N., & Alavi, S. (2024). *Smart waste management 4.0: The transition from a systematic review to an integrated framework*. *Waste Management*.

Karademir, M., & Acımert, B. A. Ö. (2024). *Sustainable Waste Governance Framework via Web-GIS*. *Sustainability*.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2022). *What a Waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050 (Updated insights)*. World Bank.

Masoni, S., et al. (2025). *Digital accountability for circular economy: A case study of Alia Servizi Ambientali's smart waste management*.

Pratama, A., et al. (2024). *Analisis smart waste management berbasis data analytics*. *Jurnal Sistem Informasi*.

Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2022). *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill.

Rahmawati, D., et al. (2022). *Analisis data pengelolaan sampah berbasis dashboard*. *Jurnal Sistem Informasi*.

Saputra, K., & Nugroho, A. (2022). *Implementasi GIS dalam sistem pengelolaan sampah*. *Jurnal Sistem Informasi*.

Sari, N., et al. (2024). *Integrasi marketplace dalam sistem pengelolaan sampah berbasis ekonomi sirkular*. *Jurnal Teknologi Informasi*.

Smart waste management: A paradigm shift enabled by artificial intelligence. (2024).

Sommerville, I. (2021). *Software Engineering* (11th ed.). Pearson.

Urban digital twin-based solution using geospatial information for solid waste management. *Sustainable Cities and Society*. (2024).