



Pengembangan Aplikasi E-Commerce Mobile Produk Daur Ulang dengan Integrasi Jejak Transparansi Material

Muhammad Rafly Dwi Gunawan^{*}, Apriade Voutama

Fakultas Ilmu Komputer, Program Studi Sistem Informasi, Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia

Email: ^{1,*}mraflyydwiii@gmail.com, ²apriade.voutama@staff.unsika.ac.id

Email Penulis Korespondensi: mraflyydwiii@gmail.com

Abstrak—Pengelolaan limbah perkotaan di Indonesia menghadapi tantangan transparansi rantai pasok, di mana konsumen produk daur ulang umumnya tidak dapat memverifikasi asal-usul material yang diklaim sebagai bahan daur ulang. Berdasarkan tinjauan literatur, platform e-commerce daur ulang yang ada masih dominan berbasis web dan belum mengintegrasikan mekanisme pelacakan material lintas aktor dalam satu ekosistem mobile. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan SitesCraft, aplikasi mobile e-commerce produk daur ulang dengan fitur Jejak Transparansi Material. Kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi mekanisme pengaitan resi pembelian limbah dari supplier dengan informasi asal material produk yang dapat dilihat konsumen. Studi kasus dilakukan di Kota Bekasi dengan pertimbangan karakteristik kota satelit padat penduduk dengan volume timbulan limbah yang tinggi. Sistem dikembangkan menggunakan metode Waterfall dengan arsitektur Backend-as-a-Service dan diuji melalui Blackbox Testing terhadap 16 skenario uji serta evaluasi usability menggunakan System Usability Scale (SUS) pada 10 responden. Hasil pengujian fungsional menunjukkan 15 dari 16 skenario memenuhi spesifikasi (93,75%), dengan satu skenario terkait penanganan kondisi offline teridentifikasi belum memadai. Skor SUS sebesar 76,75 menempatkan sistem pada kategori *Acceptable* (Nilai B), dengan analisis per item mengidentifikasi kelemahan pada beban pembelajaran awal akibat kompleksitas fitur multi-peran. Keterbatasan utama penelitian mencakup validasi jejak material yang masih bergantung pada input digital tanpa verifikasi fisik independen.

Kata Kunci: E-Commerce; Produk Daur Ulang; Jejak Transparansi Material; Ekonomi Sirkular; System Usability Scale

Abstract—Urban waste management in Indonesia faces supply chain transparency challenges, where consumers of recycled products generally cannot verify the origin of materials claimed as recycled. Based on the literature review, existing recycled product e-commerce platforms remain predominantly web-based and have not integrated cross-actor material tracking mechanisms within a single mobile ecosystem. This study designed and implemented SitesCraft, a mobile e-commerce application for recycled products with a Material Transparency Trail feature. The main contribution of this research is the integration of a mechanism that links waste purchase receipts from suppliers with product material-origin information accessible to consumers. The case study was conducted in Bekasi City, considering its characteristics as a densely populated satellite city with high waste generation volumes. The system was developed using the Waterfall method with a Backend-as-a-Service architecture and tested through Blackbox Testing on 16 test scenarios and usability evaluation using the System Usability Scale (SUS) with 10 respondents. Functional testing results showed 15 out of 16 scenarios met specifications (93.75%), with one scenario related to offline condition handling identified as inadequate. The SUS score of 76.75 placed the system in the *Acceptable* category (Grade B), with per item analysis identifying weaknesses in initial learning load due to multi-role feature complexity. The main limitation of this study includes material trail validation that still relies on digital input without independent physical verification.

Keywords: E-Commerce; Recycled Products; Material Transparency Trail; Circular Economy; System Usability Scale

1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah di setiap lini, baik global maupun di Indonesia, menjadi ancaman serius bagi lingkungan hidup. Di Indonesia, timbulan sampah nasional mencapai lebih dari 67 juta ton per tahun, dengan limbah domestik sebagai penyumbang terbesar dan sebagian besar belum dikelola secara optimal (Erwin et al., 2025). Krisis ini paling terlihat di daerah perkotaan yang padat penduduk. Sebagai gambaran skala permasalahan di tingkat kota, data pencatatan limbah tahun 2024 di Kota Bekasi menunjukkan volume timbulan yang signifikan. Di Kecamatan Bekasi Barat, tercatat 49.018 ton limbah, diikuti oleh Pondokgede dengan 47.256 ton, dan Bekasi Selatan dengan 44.972 ton. Volume limbah perkotaan yang besar adalah bukti bahwa pendekatan ekonomi linier konvensional dari mengambil-membuat-membuang mempercepat degradasi ekosistem. Pola ini menyebabkan akumulasi limbah plastik, yang berisiko terdegradasi menjadi mikroplastik berbahaya. Kondisi ini menunjukkan perlunya inovasi bahan ramah lingkungan seperti asam polilaktat (Lang & Xue, 2022). Untuk mengatasi krisis tersebut, diperlukan pergeseran paradigma secara komprehensif menuju ekonomi sirkular yang menitikberatkan pada efisiensi sumber daya melalui prinsip daur ulang material (Maimunah et al., 2025). Transformasi ini selaras dengan prinsip pelestarian lingkungan (*hifz al-biah*) dan perlindungan harta (*hifz al-mal*) di dalam kerangka *maqashid syariah* (Mursilah et al., 2025). Budaya keberlanjutan ini juga perlu diintegrasikan sejak dini melalui pendekatan *eco-entrepreneurship* di tingkat komunitas (Rofiqi et al., 2026).

Sejalan dengan urgensi pelestarian lingkungan yang disebutkan di atas, perkembangan teknologi digital menawarkan peluang strategis sekaligus tantangan baru. Pertumbuhan e-commerce yang masif memang menciptakan masalah lingkungan hulu, seperti peningkatan jejak emisi gas rumah kaca dari operasi logistik dan pusat data (Fuqoha et al., 2023). Namun, apabila dikelola dengan tepat, digitalisasi dan adopsi teknologi cerdas seperti Internet of Things justru menjadi katalisator utama yang mempercepat optimalisasi rantai pasok ekonomi sirkular (Sari & Veri, 2025). Kehadiran platform pemasaran digital sangat krusial bagi para pengrajin daur ulang lokal dan pengelola bank sampah untuk memperluas jangkauan pasar serta meningkatkan daya saing produk (Yuliamir et al., 2025). Selain itu, sistem informasi terintegrasi terbukti mampu mengoptimalkan tata kelola persampahan pemerintah daerah, seperti pada

operasional Badan Usaha Milik Kalurahan (Yulianto & Febrianto, 2025). Guna mencapai keberhasilan ekosistem holistik, inovasi digital ini memerlukan kolaborasi penta-helix yang sinergis antara pemerintah, akademisi, pelaku bisnis, komunitas, dan media (Islami et al., 2025).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi digital dalam pengelolaan sampah dan pemasaran produk daur ulang telah banyak dilakukan. (Setyorini et al., 2021) mengembangkan e-commerce produk daur ulang berbasis website, (Fadhli et al., 2021) mengevaluasi kualitas website e-commerce daur ulang menggunakan WebQual 4.0, (Ardian & Budilaksono, 2026) membangun sistem informasi bank sampah berbasis web dengan visualisasi data dan gamifikasi, (Erwin et al., 2025) mengembangkan e-commerce bank sampah berbasis web, (Ode et al., 2026) mengembangkan prototipe marketplace "DaurUlangin" berbasis web dengan fitur kecerdasan buatan untuk deskripsi produk, namun platformnya tetap berbasis web tanpa integrasi B2B dan tanpa mekanisme jejak material, sedangkan (Junaidi & Munandar, 2023) merancang aplikasi Android untuk pencarian lokasi pengepul sampah. Namun, berdasarkan studi tersebut, belum ditemukan sistem yang secara khusus mengintegrasikan transaksi pengadaan bahan baku limbah dari supplier, penjualan produk daur ulang kepada konsumen, dan transparansi asal-usul material dalam satu aplikasi mobile.

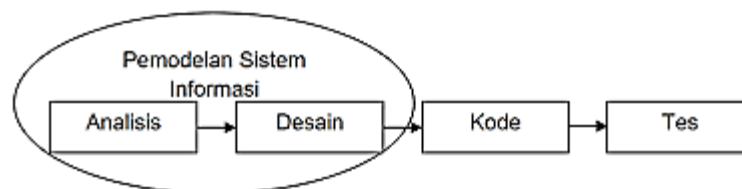
Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengembangkan SitesCraft sebagai aplikasi e-commerce mobile produk daur ulang yang mengintegrasikan tiga aktor, yaitu pembeli, penjual, dan supplier. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada fitur Jejak Transparansi Material, yaitu mekanisme pengaitan resi pembelian limbah pada transaksi B2B dengan informasi asal material produk pada transaksi B2C. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada digitalisasi penjualan produk daur ulang, tetapi juga pada peningkatan transparansi informasi material bagi konsumen.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan aplikasi e-commerce mobile produk daur ulang yang mengintegrasikan mekanisme transparansi jejak material sebagai kontribusi utama. Studi kasus dilakukan di Kota Bekasi dengan pertimbangan karakteristik kota satelit padat penduduk dengan volume timbulan limbah yang tinggi. Sistem divalidasi melalui pengujian fungsional Blackbox Testing dan evaluasi usability menggunakan instrumen System Usability Scale (SUS) untuk mengukur tingkat penerimaan pengguna terhadap antarmuka MVP yang dikembangkan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Model Pengembangan Sistem

Metode pengembangan dalam penelitian ini menggunakan model Waterfall dengan tiga pertimbangan: (1) spesifikasi kebutuhan inti sistem, yaitu tiga peran pengguna serta alur transaksi B2B dan B2C, telah terdefinisi sejak awal dan sesuai dengan dasar model Waterfall bahwa kebutuhan sistem dapat didefinisikan secara menyeluruh sebelum implementasi dimulai (Nasuha et al., 2024), (2) sifat sequential Waterfall menghasilkan artefak per fase (use case, ERD, test case) yang sesuai dengan kebutuhan dokumentasi penelitian akademik, dan (3) ruang lingkup MVP terdefinisi serta berskala terbatas, sehingga keunggulan Agile dalam mengakomodasi perubahan kebutuhan yang cepat tidak memberikan nilai tambah signifikan pada konteks penelitian ini.



Gambar 1. Metode Waterfall

Berdasarkan Gambar 1, tahapan model Waterfall yang digunakan dalam pengembangan SitesCraft meliputi analisis, desain, implementasi kode, dan pengujian. Tahapan tersebut digunakan untuk memastikan kebutuhan sistem, rancangan, pengembangan, dan evaluasi aplikasi berjalan secara berurutan sesuai ruang lingkup MVP yang telah ditentukan. Keempat tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

- a. Analisis (*Analysis*) Tahap ini berfokus pada identifikasi kesenjangan pada ekosistem platform daur ulang yang ada. Berdasarkan tinjauan literatur, ditemukan bahwa platform e-commerce daur ulang yang ada (Fadhli et al., 2021; Setyorini et al., 2021; Erwin et al., 2025) masih berbasis web dan hanya mengakomodasi transaksi B2C, sementara aplikasi mobile di domain ini (Junaidi & Munandar, 2023) terbatas pada pelacakan lokasi pengepul tanpa fitur transaksi. Belum ditemukan platform mobile yang mengintegrasikan B2B dan B2C dalam satu ekosistem sekaligus menyediakan mekanisme transparansi jejak material bagi konsumen. Dari kesenjangan tersebut diidentifikasi tiga aktor utama (pembeli, penjual, supplier), dua alur transaksi (B2B dan B2C), serta satu kebutuhan diferensiasi berupa mekanisme jejak material yang menghubungkan transaksi B2B dengan informasi produk di sisi B2C.
- b. Desain (*Design*) Pada tahap ini, hasil analisis kebutuhan diterjemahkan ke dalam rancangan teknis atau cetak biru aplikasi berbasis mobile. Perancangan dilakukan secara terstruktur mencakup pembuatan diagram UML (Unified

Modeling Language) dan desain basis data untuk memastikan alur data antara pengrajin dan penyuplai limbah dapat terintegrasi dengan baik (Amalia et al., 2024).

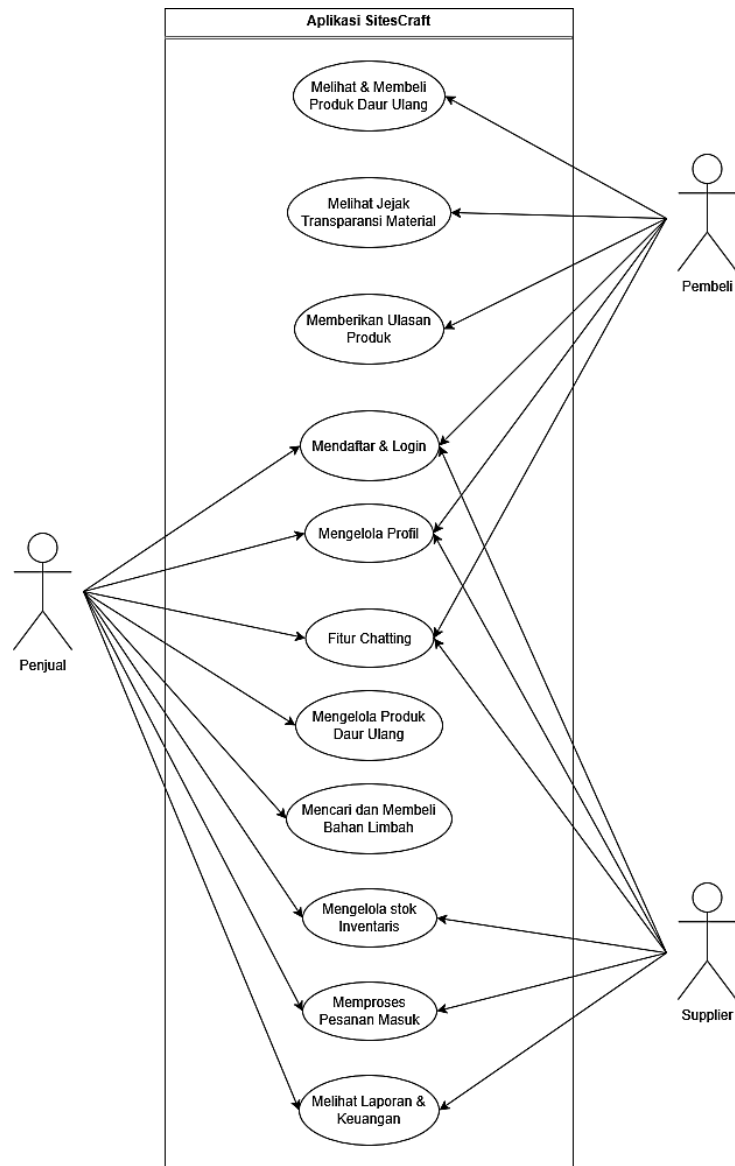
- c. Kode (Code) Tahap implementasi berfokus pada dua aspek utama: pembangunan modul transaksi ganda yang mengakomodasi alur B2B dan B2C dalam satu sistem, serta implementasi mekanisme Jejak Transparansi Material yang mengaitkan resi transaksi pembelian limbah B2B dengan data produk yang dipublikasikan ke konsumen (Nasuha et al., 2024).
- d. Tes (*Testing*) Pengujian dilakukan menggunakan dua pendekatan: Blackbox Testing untuk memverifikasi kesesuaian antara input dan output setiap fitur MVP terhadap persyaratan fungsional (Nasuha et al., 2024). Selain itu, pengujian juga dilakukan menggunakan instrumen System Usability Scale (SUS) untuk mengukur tingkat kemudahan penggunaan aplikasi dari perspektif pengguna akhir (Usman & Gustalika, 2022).

2.2 Rancangan UML

Unified Modeling Language (UML) ditetapkan dalam penelitian ini sebagai instrumen untuk memodelkan desain sistem secara visual sehingga setiap komponen perangkat lunak dapat didefinisikan dengan jelas sebelum tahap pengkodean dimulai (Narulita et al., 2024). Penggunaan UML digunakan untuk memetakan proses bisnis yang kompleks pada sistem e-commerce, terutama yang melibatkan interaksi multiaktor.

2.2.1 Use Case Diagram

Diagram Use Case berfungsi untuk memvisualisasikan fungsionalitas suatu sistem berdasarkan interaksi aktor eksternal dengan sistem yang sedang dikembangkan. Diagram ini memberikan pandangan tingkat tinggi tentang apa yang dapat dilakukan setiap aktor di dalam sistem (Saputra, 2026).

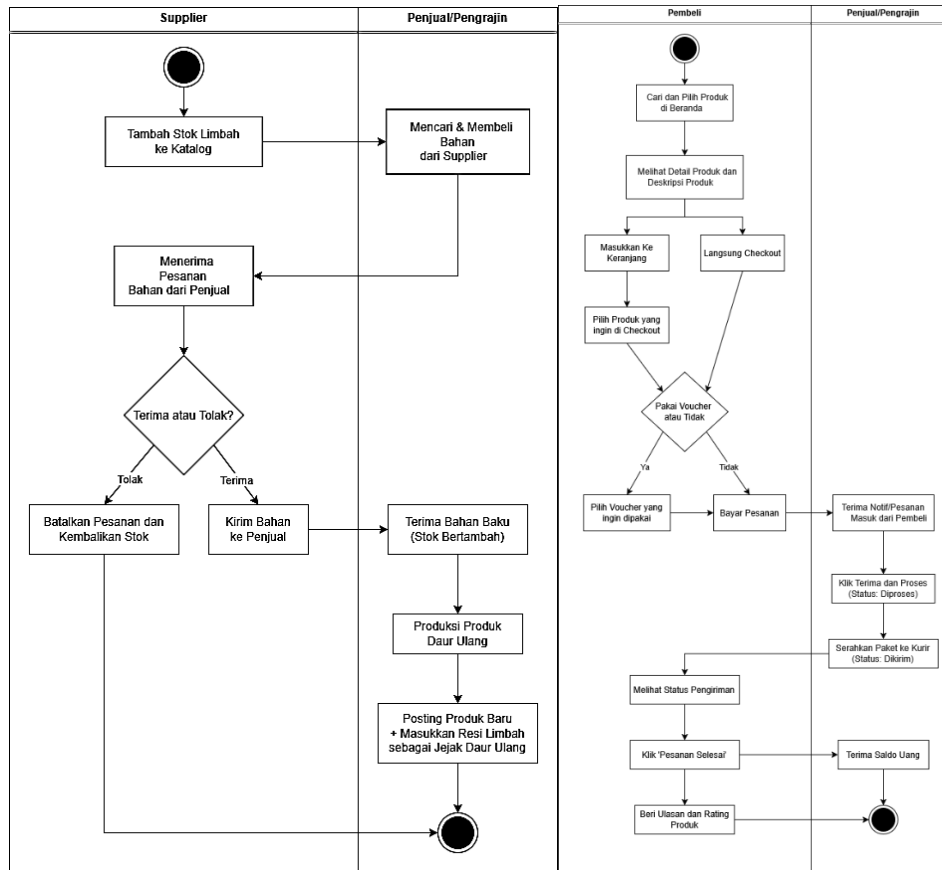


Gambar 2. Use Case Diagram

Berdasarkan Gambar 2, use case diagram SitesCraft melibatkan tiga aktor utama, yaitu pembeli, penjual, dan supplier. Penjual dapat mengelola produk, membeli bahan limbah, memproses pesanan, mengelola inventaris, melihat laporan keuangan, serta berkomunikasi melalui fitur chat. Pembeli dapat melihat produk, melakukan pembelian, mengelola profil, memberi ulasan, dan memantau pesanan. Sementara itu, supplier dapat mengelola data limbah, memproses pesanan bahan baku, melihat laporan keuangan, dan berkomunikasi dengan pengguna lain.

2.2.2 Activity Diagram

Activity Diagram merupakan pemodelan yang digunakan untuk menggambarkan alur kerja (workflow) atau proses bisnis dari sebuah sistem (Narulita et al., 2024). Diagram ini memperlihatkan urutan aktivitas dalam sistem secara sekuensial.



Gambar 3. Activity Diagram

Berdasarkan Gambar 3, activity diagram menunjukkan dua alur aktivitas utama pada SitesCraft, yaitu pengadaan bahan baku limbah dari supplier dan penjualan produk daur ulang kepada pembeli. Alur pertama menggambarkan proses supplier mengelola stok limbah, menerima pesanan, dan mengirimkan bahan kepada penjual. Alur kedua menggambarkan proses pembeli memilih produk, melihat rincian produk, melakukan transaksi, memantau pengiriman, dan memberikan ulasan.

2.3 Pengujian Sistem

Dalam penelitian ini, pengujian sistem menggunakan dua pendekatan yang saling melengkapi yaitu Pengujian Blackbox dan Pengujian Kegunaan dengan Skala Kegunaan Sistem (SUS). Pengujian Blackbox adalah metode pengujian perangkat lunak yang menekankan fungsionalitas suatu sistem tanpa memperhatikan kode struktur internal program (Zulkarnaini et al., 2023). Uji coba ini dilakukan dengan membuat test case berdasarkan tiap fitur MVP yang telah dikembangkan, dan melakukan eksekusi pada setiap skenario untuk membuktikan adanya kesesuaian antara output yang dihasilkan oleh sistem dan output yang diharapkan. Sedangkan untuk tahap testing blackbox yang dilakukan mengacu pada empat tahap yaitu define test objectives, create test cases, execute test cases, dan evaluate results (Zulkarnaini et al., 2023).

Setelah semua fungsi sistem dinyatakan berjalan dengan baik melalui pengujian blackbox, tahap selanjutnya adalah pengujian tingkat kegunaan sistem dengan menggunakan Usability Testing dan instrumen SUS. SUS adalah kuesioner yang dibuat oleh Brooke (1996) dan menciptakan alat ukur usability yang cepat dan praktis untuk mengukur seberapa baik pengguna menerima satu produk perangkat lunak (Usman & Gustalika, 2022). Instrumen SUS terdiri dari 10 butir pernyataan yang telah terbukti valid secara Expert Review dan Product-Moment Coefficient, serta reliabel



dengan nilai Cronbach Alpha sebesar 0,778 untuk pengujian pada perangkat berbasis smartphone (Usman & Gustalika, 2022). Pengujian usability melibatkan 10 responden mahasiswa di Kota Bekasi yang diminta menyelesaikan skenario task tertentu pada aplikasi, kemudian mengisi kuesioner SUS. Pengujian ini bersifat *formative usability evaluation* yang ditujukan untuk mengidentifikasi masalah usability pada antarmuka MVP, bukan untuk menggeneralisasi penerimaan ke populasi pengguna luas, di mana 5–10 responden dinilai cukup untuk mengungkap mayoritas isu usability tingkat antarmuka (Usman & Gustalika, 2022). Menurut (Kesuma et al., 2021) Skor SUS dihitung menggunakan skala 0–100, di mana skor di 51,7–64,9 dikategorikan sebagai OK, skor 65–80,7 dikategorikan sebagai Good, skor 80,8–84 dikategorikan sebagai Excellent dan skor di atas 84,1 dikategorikan sebagai Best Imaginable.

Tabel 1. Skala Interpretasi Hasil Skor SUS

| Grade | SUS | Percentile range | Adjective | Acceptable | NPS |
|-------|-------------|------------------|-----------------|------------|-----------|
| A+ | 84.1 – 100 | 96 – 100 | Best Imaginable | Acceptable | Promoter |
| A | 80.8 – 84.0 | 90 – 95 | Excellent | Acceptable | Promoter |
| A- | 78.9 – 80.7 | 85 – 89 | | Acceptable | Promoter |
| B+ | 77.2 – 78.8 | 80 – 84 | | Acceptable | Passive |
| B | 74.1 – 77.1 | 70 – 79 | Good | Acceptable | Passive |
| B- | 72.6 – 74.0 | 65 – 69 | | Acceptable | Passive |
| C+ | 71.1 – 72.5 | 60 – 64 | | Acceptable | Passive |
| C | 65.0 – 71.0 | 41 – 59 | | Marginal | Passive |
| C- | 62.7 – 64.9 | 35 – 40 | OK | Marginal | Passive |
| D | 51.7 – 62.6 | 15 – 34 | | Marginal | Detractor |

Berdasarkan Tabel 1, skor SUS diinterpretasikan berdasarkan grade, rentang skor, percentile range, adjective rating, tingkat acceptable, dan NPS. Tabel ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan kategori usability SitesCraft berdasarkan skor SUS yang diperoleh dari responden.

2.4 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem pada aplikasi SitesCraft dirancang menggunakan model Client-Server berdasarkan *Backend-as-a-Service* (BaaS). Arsitektur ini dipilih untuk memisahkan antarmuka pengguna (Frontend) dari manajemen data dan logika server (Backend) untuk siklus pengembangan yang lebih efisien, skalabel, dan waktu nyata. Sistem ini dibangun di atas dua komponen utama yang mendukung proses bisnis:

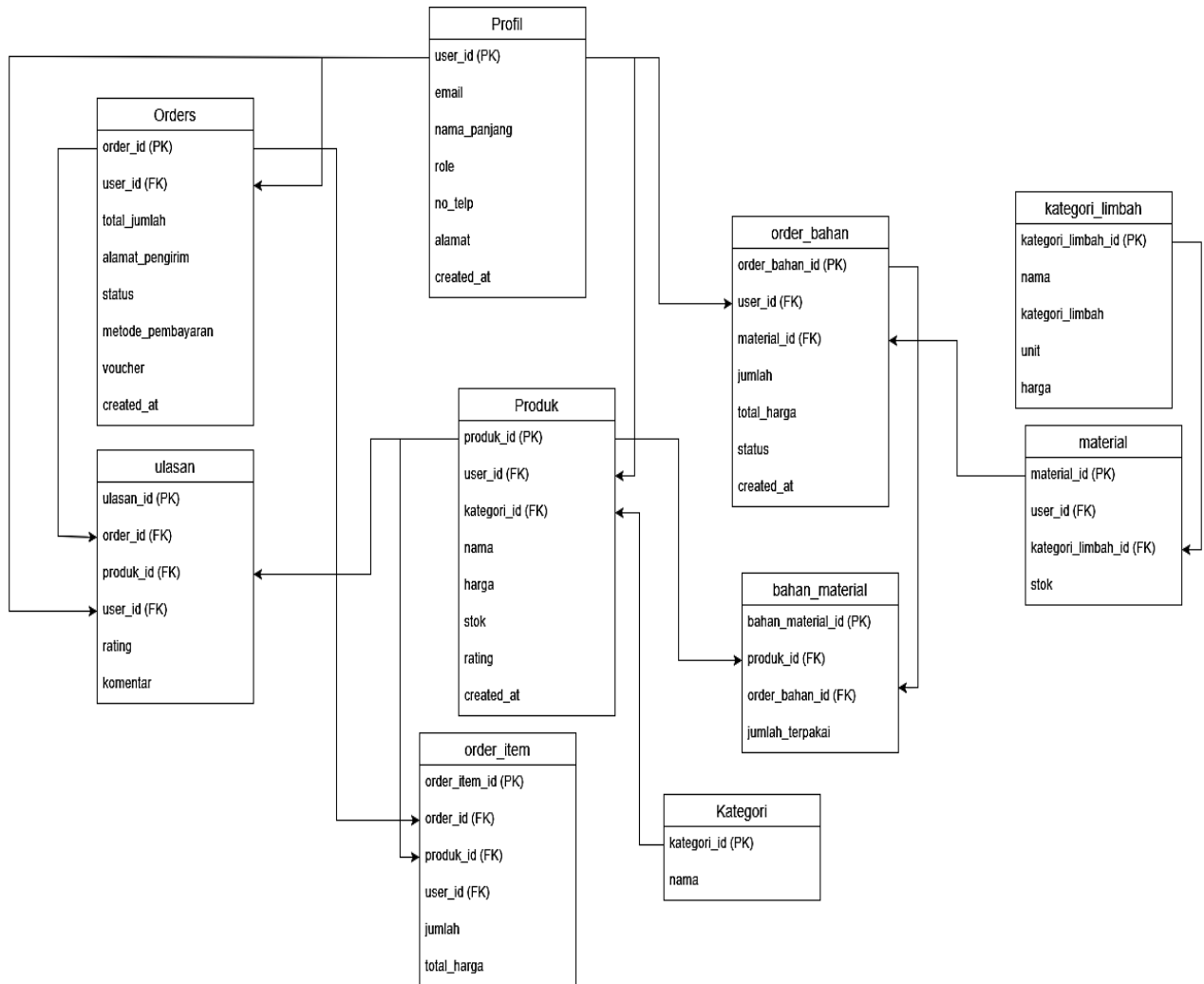
- Frontend (Sisi Klien): Aplikasi sisi klien dibangun menggunakan React Native dan Expo. Dengan teknologi ini, aplikasi dapat di-compile dan dijalankan secara *cross-platform* (Android dan iOS) menggunakan *single codebase*. Setiap interface heading Expo Router (pendekatan *file-based routing*) dibagi ke dalam 3 ruang lingkup role peladen sebagai navigasi pembeli (/pembeli), penjual (/penjual), dan supplier (/supplier).
- Backend & Database (Sisi Server): Supabase sebagai layanan pengelolaan basis data dan platform backend terintegrasi modern dalam mendukung pengelolaan infrastruktur server secara *open-source*. Supabase menawarkan secara langsung sistem layanan terintegrasi beberapa layanan dasar, yaitu:
 - Supabase Auth (GoTrue): Menangani autentikasi dan otorisasi pengguna secara aman, membedakan sesi login antara entitas pembeli, penjual, dan supplier melalui manajemen *session* JWT (JSON Web Tokens).
 - PostgreSQL Database: Bertindak sebagai penyimpanan relasional utama (Relational Database Management System). Skema tabel, pengelolaan relasi e-commerce, dan aturan keamanan tingkat baris (Row Level Security/RLS) dideklarasikan murni di tingkat database menggunakan instruksi SQL.
 - Supabase Storage: Berfungsi sebagai bucket atau wadah penyimpanan objek (S3-compatible) untuk menyimpan aset binary seperti foto profil pengguna dan foto produk material.
 - Realtime Server: Menggunakan websocket untuk sinkronisasi data seketika, yang pada aplikasi ini secara spesifik menangani fitur obrolan (*Live Chat*) antar pengguna, maupun notifikasi sistem.

2.5 Mekanisme Validasi Jejak Transparansi Material

Pada level MVP, validasi jejak material yang sepenuhnya independen dari kepercayaan terhadap aktor (*trustless verification*) belum tercapai. Sebagai gantinya, sistem mengimplementasikan empat lapis kontrol untuk mempersempit ruang manipulasi data. Pertama, *transactional linkage*: setiap klaim jejak material pada produk wajib mereferensi ID transaksi pembelian limbah B2B yang tercatat dan berstatus selesai di basis data melalui *foreign key constraint*, sehingga penjual tidak dapat membuat klaim jejak tanpa transaksi pembelian yang nyata. Kedua, *quantity constraint*: jumlah bahan yang dikaitkan ke produk divalidasi agar tidak melebihi stok bahan yang dimiliki penjual, di mana stok tersebut hanya bertambah melalui satu jalur yaitu penyelesaian transaksi B2B dari supplier. Ketiga, *Row Level Security* (RLS): aturan otorisasi memastikan penjual hanya dapat menggunakan bahan atas kepemilikannya sendiri dan tidak dapat mengakses stok penjual lain. Keempat, *encapsulated business logic*: seluruh operasi kritis diimplementasikan sebagai fungsi SQL bertipe SECURITY DEFINER dengan validasi stok, status, dan pengurangan inventaris dalam satu transaksi atomik yang tidak dapat dimanipulasi dari sisi klien. Mekanisme ini belum memvalidasi kesesuaian data digital dengan realitas fisik karena supplier secara teoretis masih dapat menginput data limbah yang tidak terverifikasi di lapangan, sehingga validasi pada level fisik masih menjadi keterbatasan yang diakui pada penelitian ini.

2.6 Perancangan Basis Data

SitesCraft mengelola datanya melalui sistem terpusat menggunakan Relational Database Management System (RDBMS) PostgreSQL, yang didukung oleh infrastruktur Supabase. Desain hubungan antara entitas bertujuan untuk memperlancar kebutuhan bisnis e-commerce, sambil juga menjaga integritas data di antara berbagai aktor (Pembeli, Penjual, dan Supplier). Struktur skema relasional di bawah ini dikembangkan dengan menegakkan Foreign Key Constraints secara ketat dan melapisi hak modifikasi melalui Row Level Security (RLS). Secara konseptual, desain Diagram Hubungan Entitas (ERD) dari basis data aplikasi SitesCraft dimodelkan sebagai berikut:



Gambar 4. Entity Relationship Diagram (ERD) SitesCraft

Berdasarkan Gambar 4, relasi data utama menghubungkan entitas pengguna, produk, transaksi, inventaris bahan, dan riwayat pembelian material untuk mendukung mekanisme Jejak Transparansi Material.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

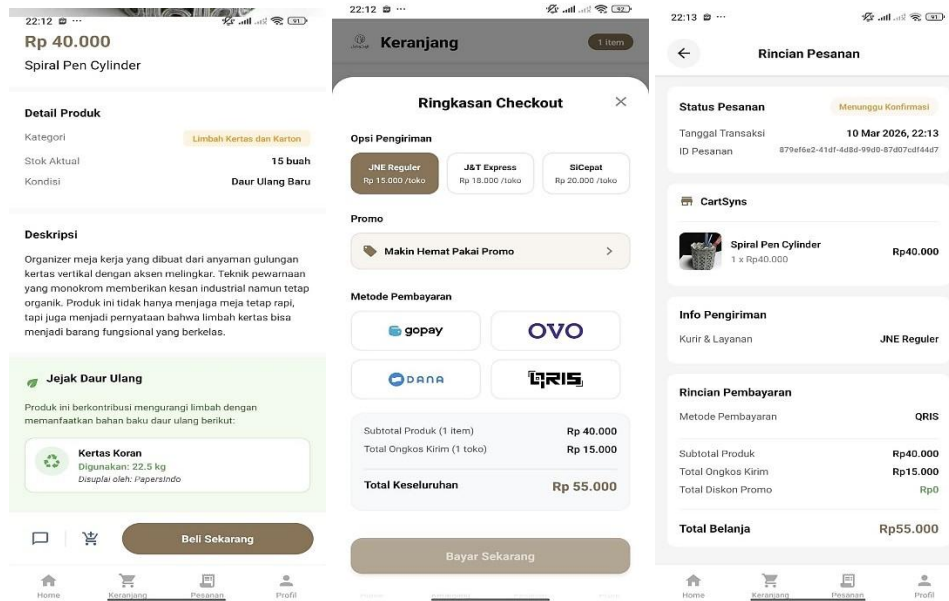
Bagian ini menyajikan hasil implementasi antarmuka sistem yang diklasifikasikan berdasarkan tiga peran pengguna (pembeli, penjual, dan supplier), diikuti dengan hasil pengujian fungsional menggunakan Blackbox Testing dan evaluasi usability menggunakan instrumen System Usability Scale (SUS).

3.1 Hasil Implementasi Antarmuka Pembeli

Fitur inti pada sisi pembeli dibangun untuk memberikan pengalaman berbelanja produk kerajinan daur ulang yang transparan. Di Detail Produk, informasi produk lengkap disertakan, termasuk di bagian Jejak Transparansi Material, di mana Pembeli dapat melihat transparansi supplier pengepul limbah yang digunakan, sehingga Pembeli dapat memahami bahwa produk tersebut menggunakan material limbah daur ulang yang terdokumentasi melalui fitur Jejak Transparansi Material. Keranjang dan Checkout mengadopsi pola alur pembayaran e-commerce konvensional (pilihan ekspedisi, penerapan promo, dan pembayaran digital) untuk meminimalkan *learning curve* bagi pengguna yang sudah familiar dengan aplikasi marketplace. Rincian Pesanan menampilkan status pelacakan, informasi pengiriman, dan ringkasan

pembayaran dalam satu halaman untuk mengurangi jumlah navigasi yang diperlukan pembeli dalam memantau transaksi.

Berdasarkan Gambar 5, implementasi alur pembelian produk pada sisi pembeli mencakup proses melihat detail produk, memasukkan produk ke keranjang, melakukan checkout, hingga memantau rincian pesanan. Tampilan ini juga menempatkan informasi Jejak Transparansi Material pada detail produk agar konsumen dapat mengetahui asal material produk daur ulang sebelum melakukan pembelian.



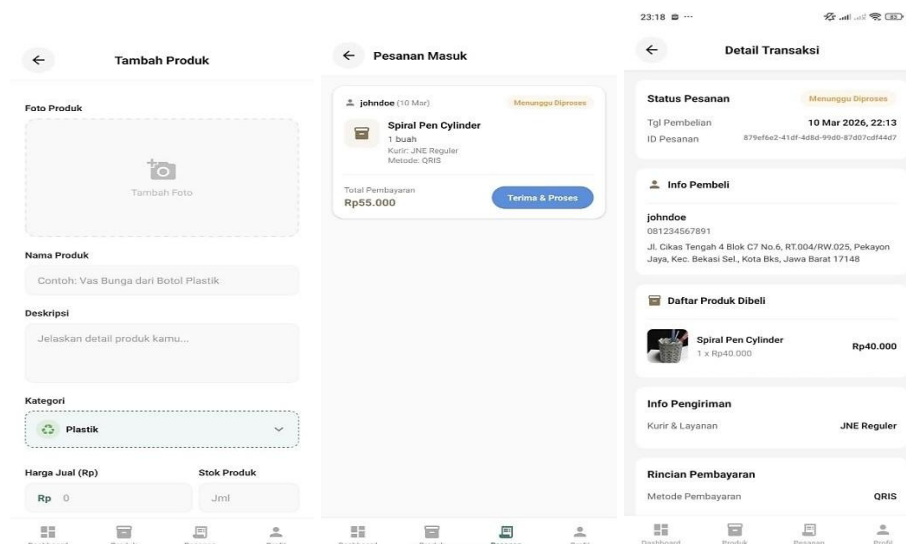
Gambar 5 Implementasi Tampilan Alur Pembelian Produk

3.2 Hasil Implementasi Antarmuka Penjual

Fitur utama di sisi penjual mencakup dua proses bisnis utama yang merupakan keunikan aplikasi SitesCraft, yaitu proses penjualan produk kerajinan kepada konsumen (B2C) dan proses pengadaan bahan baku limbah dari pengumpul (B2B).

3.2.1 Alur Pemrosesan Produk Jualan

Alur ini dimulai dari Tambah Produk & Jejak Daur Ulang, yaitu form penambahan produk kerajinan yang memiliki fitur unik untuk mengaitkan resi pembelian limbah dari supplier sebagai informasi pendukung Jejak Daur Ulang. Informasi jejak ini akan muncul di sisi Pembeli sebagai bentuk transparansi material. Setelah produk dipublikasikan dan pesanan masuk, pengrajin mengelola pesanan melalui Daftar Pesanan Masuk yang diorganisasi berdasarkan tab status. Transisi status pesanan bersifat unidirectional (Menunggu Konfirmasi → Diproses → Dikirim → Selesai) dan dikendalikan di level basis data, sehingga tidak dimungkinkan terjadi anomali seperti pesanan kembali ke status sebelumnya.

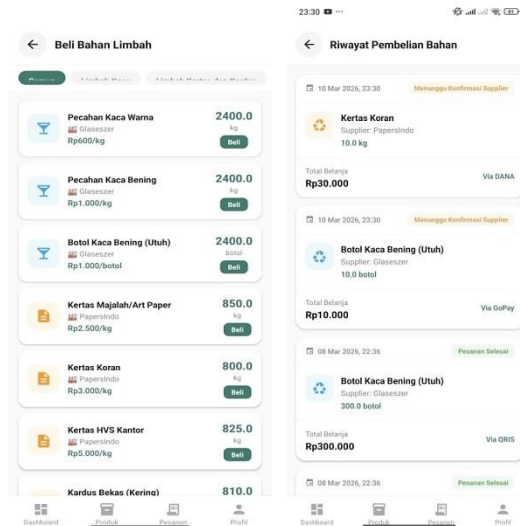


Gambar 6. Alur Pemrosesan Produk Jualan

Berdasarkan Gambar 6, alur penjual mencakup proses penambahan produk daur ulang, pengaitan resi pembelian limbah sebagai informasi asal material, dan pemrosesan pesanan dari pembeli. Alur ini menjadi bagian penting dalam sistem karena data material yang diinput penjual akan ditampilkan kembali kepada pembeli sebagai Jejak Transparansi Material.

3.2.2 Alur Pembelian Bahan Baku dari Supplier

Pengrajin dapat mencari limbah material yang terdapat di Katalog Bahan Limbah, memilih jenis limbah dari Supplier yang terdaftar, dan menetapkan kuantitas pembelian. Setelah bahan baku terdaftar di keranjang dan B2B checkout berhasil, pengrajin dapat memantau pengiriman bahan melalui Riwayat Pesanan Material. Riwayat Pesanan Material berisi daftar seluruh riwayat pembelian bahan baku dan status penerimaan setiap bahan.

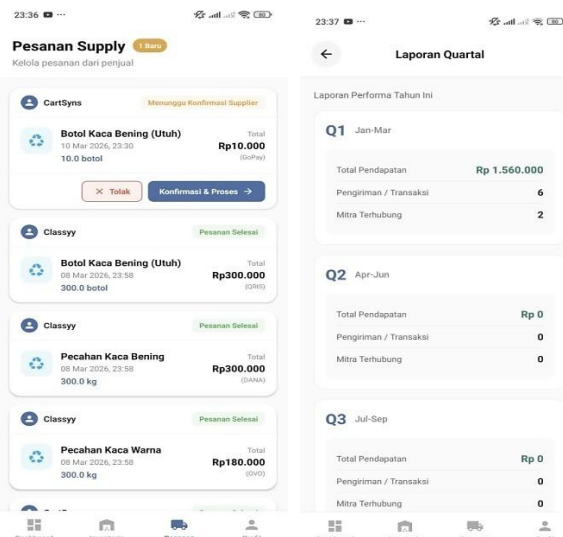


Gambar 7. Alur Pembelian Bahan Baku dari Supplier

Berdasarkan Gambar 7, alur pembelian bahan baku limbah dari supplier oleh penjual dimulai dari pemilihan material, penentuan kuantitas, checkout, hingga pemantauan riwayat pesanan material. Transaksi pada alur ini menjadi sumber data awal yang nantinya dikaitkan dengan produk jadi pada fitur Jejak Transparansi Material.

3.3 Hasil Implementasi Antarmuka Supplier

Fitur inti sisi Supplier berfokus pada pengelolaan inventaris limbah dan pemenuhan pesanan bahan baku. Manajemen Inventaris Stok memungkinkan pengepul mengelola jenis dan kuantitas material limbah yang tersedia (dikategorikan: Plastik, Tekstil, Kertas, Logam, Kaca, Kayu) untuk ditawarkan ke pengrajin. Pesanan Masuk (B2B) menyajikan antrean pesanan bahan dari pengrajin dengan opsi Terima/Tolak dan manajemen status pengiriman. Laporan Keuangan dan Kuartalan menghitung saldo bersih secara real-time berdasarkan agregasi data transaksi aktual, bukan dari nilai tersimpan, sehingga tidak dimungkinkan terjadi inkonsistensi antara saldo yang ditampilkan dengan riwayat transaksi yang sebenarnya.



Gambar 8. Pengelolaan Inventaris Limbah dan Pemenuhan Pesanan Bahan Baku



Berdasarkan Gambar 8, antarmuka supplier digunakan untuk mengelola stok limbah, menerima atau menolak pesanan bahan baku, serta memantau laporan transaksi. Fitur ini mendukung keterlacakan material karena data stok dan transaksi supplier menjadi dasar pembentukan informasi asal material pada produk daur ulang.

3.4 Hasil Pengujian Blackbox Testing

Pengujian Blackbox merupakan pengujian perangkat lunak yang berfokus pada persyaratan fungsional sistem tanpa melihat struktur kode internal. Jenis pengujian ini memeriksa apakah fitur sistem menghasilkan output yang benar terkait dengan input pengguna berdasarkan skenario kasus uji yang telah ditentukan. Berikut adalah hasil pengujian blackbox pada fitur utama aplikasi SitesCraft:

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Blackbox Testing

| No | Fitur/Fungsi | Skenario Uji | Output yang Diharapkan | Hasil |
|-----|---|---|---|-------------|
| 1. | Autentikasi Pengguna | Registrasi akun baru dengan pemilihan peran (Pembeli/Penjual/Supplier), login dengan kredensial valid | Akun terdaftar dan diarahkan ke Dashboard sesuai peran; kredensial tidak valid ditolak dengan pesan error | Lulus |
| 2. | Login Multi-Peran | Memasukkan email dan password yang benar untuk masing-masing peran | Berhasil login dan diarahkan ke Dashboard sesuai peran (Pembeli/Penjual/Supplier) | Lulus |
| 3. | Detail Produk & Jejak Transparansi Material | Menekan kartu produk, melihat informasi lengkap termasuk asal bahan limbah | Deskripsi, harga, stok, ulasan, serta informasi Jejak Daur Ulang (jenis limbah, kuantitas, nama Supplier) ditampilkan | Lulus |
| 4. | Keranjang Belanja | Tambah produk ke keranjang, ubah jumlah item, hapus item | Produk masuk ke keranjang, jumlah dan subtotal diperbarui secara otomatis | Lulus |
| 5. | Checkout & Pembayaran | Pilih ekspedisi (JNE/J&T/SiCepat), pilih metode pembayaran (GoPay/OVO/DANA/QRIS), proses checkout | Ringkasan pesanan ditampilkan dengan kalkulasi total yang benar (subtotal + ongkir – diskon) | Lulus |
| 6. | Rincian Pesanan Pembeli | Melihat detail pesanan aktif, melacak status pengiriman | Status pelacakan, info pengiriman, dan rincian pembayaran ditampilkan secara lengkap | Lulus |
| 7. | Tambah Produk & Jejak Daur Ulang | Mengisi form produk kerajinan baru, mengaitkan resi pembelian limbah dari Supplier | Produk berhasil dipublikasikan ke etalase dengan informasi jejak material yang tercatat pada sistem. | Lulus |
| 8. | Penrosesan Pesanan B2C (Penjual) | Terima pesanan dari pembeli, ubah status secara bertahap (Konfirmasi → Proses → Kirim) | Status pesanan berubah sesuai tahapan dan tercermin di sisi Pembeli | Lulus |
| 9. | Pembelian Bahan Limbah B2B (Penjual) | Pilih material dari katalog Supplier, tentukan kuantitas, checkout dengan pembayaran digital | Pesanan bahan berhasil dibuat; stok Supplier berkurang; pesanan muncul di sisi Supplier | Lulus |
| 10. | Riwayat Pesanan Material (Penjual) | Membuka halaman Pesanan Material, melihat daftar riwayat pembelian bahan | Daftar riwayat pembelian bahan dengan status penerimaan masing-masing ditampilkan | Lulus |
| 11. | Manajemen Inventaris Stok (Supplier) | Tambah jenis limbah baru, perbarui kuantitas stok yang tersedia | Stok berhasil ditambahkan/diperbarui dan tercermin di katalog Beli Bahan sisi Penjual | Lulus |
| 12. | Penerimaan Pesanan B2B (Supplier) | Terima pesanan bahan dari Penjual, kelola status pengiriman | Pesanan diterima → status berubah bertahap (Diproses → Dikirim → Selesai) | Lulus |
| 13. | Penolakan Pesanan B2B (Supplier) | Tolak pesanan bahan dari Penjual | Pesanan dibatalkan; stok material dikembalikan secara otomatis | Lulus |
| 14. | Laporan Keuangan (Supplier) | Membuka halaman Keuangan, melihat saldo dan riwayat transaksi | Saldo bersih (pendapatan – biaya langganan), riwayat transaksi ditampilkan | Lulus |
| 15. | Laporan Kuartalan (Supplier) | Membuka halaman Laporan per kuartal (Q1–Q4) | Visualisasi data statistik per kuartal: pengiriman, pendapatan, dan jumlah mitra ditampilkan | Lulus |
| 16. | Checkout Pembeli | Proses checkout dilakukan saat koneksi internet terputus | Sistem menampilkan pesan yang menginformasikan pengguna untuk memeriksa koneksi internet | Tidak Lulus |

Berdasarkan Tabel 2, hasil Blackbox Testing mencakup 16 skenario uji yang mewakili fungsi utama aplikasi SitesCraft, mulai dari autentikasi, transaksi B2C, transaksi B2B, Jejak Transparansi Material, hingga kondisi koneksi terputus.

3.5 Hasil Pengujian System Usability Scale (SUS)

Untuk mengevaluasi fungsionalitas dan kenyamanan antarmuka aplikasi SitesCraft, Pengujian Skala Kegunaan Sistem (SUS) mengevaluasi kegunaan suatu aplikasi dari perspektif pengguna akhir. Kuesioner SUS terdiri dari 10 pernyataan berdasarkan skala Likert 1-5 (1 = Sangat Tidak Setuju, 5 = Sangat Setuju), terdiri dari 5 pernyataan dengan nada positif (ganjil) dan 5 pernyataan dengan nada negatif (genap).

Tabel 3. Pertanyaan Kuesioner System Usability Scale (SUS)

| No | Kode | Pertanyaan Kuesioner | Sifat |
|----|------|--|-------------|
| 1 | Q1 | Saya berpikir akan sering menggunakan aplikasi SitesCraft ini dalam transaksi kerajinan maupun limbah. | Positif (+) |
| 2 | Q2 | Saya merasa aplikasi SitesCraft ini terlalu rumit padahal semestinya bisa dibuat lebih sederhana. | Negatif (-) |
| 3 | Q3 | Saya merasa antarmuka dan navigasi aplikasi SitesCraft ini mudah untuk digunakan. | Positif (+) |
| 4 | Q4 | Saya merasa perlu bantuan dari teknisi/pihak lain untuk dapat menggunakan aplikasi SitesCraft ini. | Negatif (-) |
| 5 | Q5 | Saya menemukan bahwa berbagai macam fitur di dalam aplikasi SitesCraft sudah terintegrasi terhubung dengan baik. | Positif (+) |
| 6 | Q6 | Saya merasa ada banyak ketidakkonsistenan di dalam alur penggunaan aplikasi SitesCraft ini. | Negatif (-) |
| 7 | Q7 | Saya merasa mayoritas orang akan dapat mempelajari cara menggunakan aplikasi SitesCraft ini secara cepat. | Positif (+) |
| 8 | Q8 | Saya mendapati aplikasi SitesCraft ini terkesan sangat lambat atau merepotkan untuk dioperasikan. | Negatif (-) |
| 9 | Q9 | Saya merasa percaya diri saat mengoperasikan dan bertransaksi di dalam aplikasi SitesCraft ini. | Positif (+) |
| 10 | Q10 | Saya merasa harus mempelajari banyak hal terlebih dahulu sebelum saya bisa mengoperasikan aplikasi SitesCraft ini dengan lancar. | Negatif (-) |

Berdasarkan Tabel 3, instrumen System Usability Scale (SUS) yang digunakan dalam pengujian terdiri dari 10 pernyataan dengan skala Likert 1–5. Data jawaban responden terhadap 10 butir pernyataan SUS disajikan pada Tabel 4. Data tersebut menggunakan skala Likert 1–5 dan menjadi dasar awal dalam proses perhitungan skor SUS.

Tabel 4. Hasil Kuesioner SUS Responden

| Responden (R) | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| R1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 |
| R2 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 1 | 4 | 3 |
| R3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 5 | 1 | 4 | 3 |
| R4 | 4 | 2 | 4 | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 |
| R5 | 3 | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 4 |
| R6 | 4 | 1 | 5 | 1 | 4 | 2 | 5 | 4 | 4 | 1 |
| R7 | 4 | 2 | 5 | 3 | 5 | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 |
| R8 | 5 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 |
| R9 | 4 | 2 | 5 | 3 | 4 | 1 | 5 | 2 | 5 | 2 |
| R10 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 |

Berdasarkan Tabel 4, data awal pengujian SUS diperoleh dari jawaban 10 responden terhadap 10 butir pernyataan. Setiap skor kemudian dikonversi menggunakan aturan perhitungan SUS, yaitu skor pada pernyataan positif atau bernomor ganjil dikurangi 1 (Konversi Skor = Skor Likert - 1), sedangkan skor pada pernyataan negatif atau bernomor genap dihitung dengan mengurangi nilai responden dari 5 (Konversi Skor = 5 - Skor Likert). Seluruh skor konversi dari 10 item kemudian dijumlahkan dan dikalikan dengan faktor 2,5 untuk memperoleh skor SUS individu pada rentang 0–100. Skor SUS akhir diperoleh dari rata-rata seluruh skor individu responden. Hasil perhitungan skor SUS setiap responden setelah proses konversi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan System Usability Scale (SUS)

| Responden | Total Skor Mentah yang Disesuaikan | Skor SUS (Total × 2,5) |
|-----------|------------------------------------|------------------------|
| R1 | 28 | 70 |
| R2 | 28 | 70 |
| R3 | 28 | 70 |



| Responden | Total Skor Mentah yang Disesuaikan | Skor SUS (Total × 2,5) |
|---------------|------------------------------------|------------------------|
| R4 | 30 | 75 |
| R5 | 28 | 70 |
| R6 | 33 | 82,5 |
| R7 | 30 | 75 |
| R8 | 40 | 100 |
| R9 | 33 | 82,5 |
| R10 | 29 | 72,5 |
| Rata-rata SUS | | 76,75 |

Berdasarkan Tabel 5, hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai rata-rata usability aplikasi SitesCraft adalah 76,75. Mengacu pada skala interpretasi SUS pada Tabel 1, skor tersebut berada pada grade B dan termasuk dalam kategori *Acceptable*. Setelah memperoleh skor rata-rata SUS, analisis per item dilakukan untuk mengidentifikasi aspek usability yang menjadi kekuatan dan kelemahan aplikasi. Hasil rata-rata konversi setiap butir pernyataan SUS disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rata-rata Konversi per Item SUS

| Kode | Aspek Usability | Skor (0–4) | Kategori |
|------|-------------------------------|------------|-----------------|
| Q7 | Kemudahan pembelajaran cepat | 3,5 | Kekuatan |
| Q3 | Kemudahan navigasi antarmuka | 3,4 | Kekuatan |
| Q2 | Kesederhanaan struktur | 3,2 | Cukup baik |
| Q1 | Niat penggunaan berulang | 3,1 | Cukup baik |
| Q5 | Integrasi antar fitur | 3,1 | Cukup baik |
| Q8 | Responsivitas sistem | 3,1 | Cukup baik |
| Q9 | Kepercayaan saat bertransaksi | 3 | Cukup baik |
| Q4 | Kemandirian penggunaan | 2,9 | Perlu perbaikan |
| Q6 | Konsistensi alur pengguna | 2,9 | Perlu perbaikan |
| Q10 | Beban pembelajaran awal | 2,5 | Kelemahan utama |

Berdasarkan Tabel 6, Q7 dan Q3 memperoleh skor tertinggi, yaitu 3,50 dan 3,40, sehingga menunjukkan bahwa pengguna menilai SitesCraft relatif mudah dipelajari dan memiliki navigasi antarmuka yang cukup mudah digunakan. Sebaliknya, Q10 memperoleh skor terendah sebesar 2,50, yang menunjukkan adanya beban pembelajaran awal sebelum pengguna dapat mengoperasikan aplikasi dengan lancar. Kondisi ini berkaitan dengan karakteristik SitesCraft yang memiliki fitur multi-peran serta mekanisme Jejak Transparansi Material yang belum umum dijumpai pada e-commerce konvensional. Temuan ini menjadi dasar perbaikan antarmuka melalui penambahan onboarding tutorial dan tooltip kontekstual pada fitur Jejak Material.

3.6 Pembahasan

Bagian ini berisi analisis dan diskusi mengenai temuan utama dari pengembangan aplikasi SitesCraft. Hasil dari Uji Blackbox menunjukkan bahwa 15 dari 16 skenario pengujian yang dirancang berdasarkan spesifikasi kebutuhan fungsional memenuhi keluaran yang diharapkan, dengan satu skenario (checkout saat koneksi internet terputus) dinyatakan tidak lulus karena aplikasi menampilkan error teknis tanpa penanganan yang informatif bagi pengguna. Dari perspektif arsitektur, penggunaan *Backend-as-a-Service* (BaaS) dengan Supabase terbukti efisien dalam memfasilitasi operasi CRUD melalui Panggilan Prosedur Jarak Jauh (RPC) di sisi basis data. Semua logika bisnis kritis, seperti proses *checkout* yang melibatkan kontrol stok, pengurangan inventaris, perhitungan harga, dan penerapan voucher, terenkapsulasi dalam fungsi SQL tipe SECURITY DEFINER, yang menjamin konsistensi data dan keamanan transaksi terlepas dari validasi sisi klien. Sistem Row Level Security (RLS) pada PostgreSQL berhasil membuat setiap peran pengguna (Pembeli, Penjual, Supplier) hanya bisa mengakses dan memanipulasi data sesuai hak aksesnya, dan selama pengujian tidak ditemukan kasus kebocoran data dan akses lintas peran. Integrasi antar modul juga menunjukkan konsistensi, di mana ketika Penjual membeli material dari Supplier dan mengolahnya menjadi produk melalui fitur Jejak Daur Ulang, informasi tersebut otomatis muncul pada sisi pembeli sebagai informasi keterlacakan material daur ulang. Selain itu, fitur *Live Chat* yang dibangun dengan Websocket dari modul Supabase Realtime juga berfungsi dengan baik, di mana pesan yang dikirim langsung muncul di perangkat penerima tanpa refresh halaman.

Dari perspektif pengujian kegunaan, hasil perhitungan dari System Usability Scale menunjukkan skor rata-rata keseluruhan sebesar 76,75 dari 10 responden, mengacu pada skala interpretasi (Kesuma, 2021) dengan kategori *Acceptable* (Nilai B). Analisis per item pada Tabel 6 mengidentifikasi bahwa Q7 (kemudahan pembelajaran cepat) dan Q3 (kemudahan navigasi) memperoleh skor tertinggi, mengkonfirmasi bahwa pembagian aplikasi menjadi tiga *dashboard* terpisah berdasarkan peran dan adopsi pola *e-commerce* konvensional efektif meminimalkan *learning curve* untuk fitur-fitur standar. Namun, Q10 (beban pembelajaran awal) menjadi titik lemah dengan skor 2,50 dari 4, yang dikombinasikan dengan skor relatif rendah pada Q4 dan Q6, mengindikasikan bahwa fitur-fitur yang tidak lazim ditemui pada e-commerce konvensional pada umumnya, khususnya konsep multi-peran dan mekanisme Jejak Transparansi Material yang masih membutuhkan upaya pembelajaran tambahan bagi pengguna baru.



Dari perspektif metodologis, pengembangan SitesCraft menggunakan model Waterfall konsisten dengan karakteristik proyek ini. Spesifikasi kebutuhan fungsional dari tiga peran pengguna telah terdefinisi sejak fase perencanaan awal, sehingga seluruh tahapan mulai dari Use Case, Diagram Aktivitas, ERD, hingga Test Case dapat diselesaikan secara berurutan dengan dokumentasi yang terstruktur dan saling terkait. Pengujian menyeluruh di akhir siklus memfasilitasi verifikasi holistik bahwa sistem memenuhi kebutuhan fungsional dan non-fungsional pada lingkup MVP.

Dari sisi teknologi, arsitektur *single codebase* dengan React Native dan Expo memungkinkan deployment lintas platform, dukungan real-time dengan Supabase Realtime, dan fitur Jejak Transparansi Material memberikan nilai tambah ekologis yang membedakan aplikasi ini dari marketplace konvensional. Pengujian performa dengan 106 produk pada katalog menunjukkan sistem tetap responsif tanpa perlambatan yang terdeteksi. Namun, dari sisi sistem terdapat beberapa keterbatasan yang perlu ditangani dalam pengembangan lanjutan: sistem tidak memiliki mekanisme *offline fallback* sehingga seluruh operasi bergantung pada ketersediaan server Supabase, belum ada integrasi dengan Payment Gateway pihak ketiga, notifikasi saat ini bersifat *in-app* tanpa *push notification* berbasis perangkat, pelacakan pengiriman masih dilakukan secara manual tanpa integrasi API kurir logistik dan pengujian *scalability* pada beban data yang lebih besar belum dilakukan.

Jika dibandingkan dengan studi terdahulu, temuan penelitian ini menunjukkan beberapa kesamaan dan perbedaan. Dari sisi evaluasi usability, skor SUS SitesCraft sebesar 76,75 (kategori *Acceptable/Nilai B*) lebih tinggi dibandingkan skor SUS sistem informasi bank sampah pada (Ardian & Budilaksono, 2026) yang memperoleh skor 73. Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan pendekatan desain SitesCraft yang mengadopsi pola antarmuka e-commerce konvensional yang sudah familiar bagi pengguna, sebagaimana dikonfirmasi oleh skor tinggi pada Q7 dan Q3. Namun, kedua studi sama-sama menunjukkan bahwa sistem di domain daur ulang masih berada pada kategori *Acceptable* dan belum mencapai *Excellent*, mengindikasikan bahwa domain ini secara umum memiliki tantangan usability tersendiri. Dari sisi metode evaluasi, (Fadhli et al., 2021) menggunakan WebQual 4.0 dengan fokus pada persepsi kualitas layanan web (kegunaan 84,68%, kualitas informasi 83,91%), sementara penelitian ini menggunakan SUS yang mengukur kemudahan penggunaan antarmuka secara langsung, sehingga kedua pendekatan saling melengkapi namun tidak dapat dibandingkan secara numerik langsung. Dari sisi pengujian fungsional, (Junaidi & Munandar, 2023) melaporkan seluruh skenario Blackbox berstatus "Sesuai" tanpa menyertakan skenario edge case, sejalan dengan temuan awal penelitian ini pada 15 skenario konvensional. Namun, dengan penambahan skenario edge case berupa pengujian pada kondisi offline, penelitian ini mengidentifikasi satu titik kegagalan yang menunjukkan pentingnya pengujian di luar skenario ideal. Secara keseluruhan, kontribusi utama yang membedakan SitesCraft dari seluruh studi terdahulu adalah integrasi mekanisme Jejak Transparansi Material yang menghubungkan transaksi B2B dengan informasi produk di sisi B2C, sebuah fitur yang tidak ditemukan pada platform manapun dalam studi yang ditinjau.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah merancang dan mengimplementasikan SitesCraft, aplikasi e-commerce mobile produk daur ulang yang mengintegrasikan mekanisme *material provenance* tingkat transaksi sebagai kontribusi utama, dengan studi kasus di Kota Bekasi. Pengujian fungsional Blackbox Testing terhadap 16 skenario uji menunjukkan 15 skenario memenuhi spesifikasi yang diharapkan (93,75%), dengan satu skenario (checkout saat koneksi internet terputus) teridentifikasi tidak lulus karena tidak tersedianya mekanisme *offline fallback* dan penanganan error yang informatif bagi pengguna. Evaluasi usability menggunakan instrumen System Usability Scale menghasilkan skor 76,75 dengan kategori *Acceptable* (Nilai B), di mana analisis per item mengidentifikasi kekuatan pada kemudahan navigasi (Q3 dan Q7) serta kelemahan pada beban pembelajaran awal (Q10) yang dikaitkan dengan kompleksitas konseptual fitur multi-peran dan kebaruan mekanisme Jejak Transparansi Material. Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diakui secara terbuka: mekanisme validasi jejak material beroperasi pada level data digital melalui *transactional linkage*, *quantity constraint*, Row Level Security, dan *encapsulated business logic*, namun belum mencapai validasi *trustless* terhadap kesesuaian data dengan realitas fisik karena supplier secara teoretis masih dapat menginput data yang tidak terverifikasi di lapangan, sistem belum terintegrasi dengan payment gateway resmi dan API logistik otomatis sehingga transparansi finansial dan transparansi pengiriman belum tervalidasi secara end-to-end, pengujian usability dengan 10 responden mahasiswa bersifat formatif dan tidak dapat digeneralisasi ke populasi pengguna heterogen, pengujian *scalability* pada beban data besar belum dilakukan meskipun pengujian dengan 106 produk menunjukkan sistem tetap responsif, serta klaim peningkatan kepercayaan konsumen terhadap produk daur ulang tidak diuji secara empiris dalam studi ini dan masih merupakan hipotesis yang membutuhkan pengujian terpisah. Untuk penelitian selanjutnya, direkomendasikan integrasi mekanisme verifikasi fisik seperti foto bukti dengan *timestamping* atau *distributed ledger technology* untuk meningkatkan tingkat validasi jejak material, integrasi payment gateway dan API logistik untuk transparansi end-to-end, studi empiris kuantitatif tentang dampak fitur transparansi terhadap kepercayaan dan intensi pembelian konsumen menggunakan instrumen tervalidasi, serta ekspansi evaluasi usability ke segmen non-mahasiswa dengan ukuran sampel yang lebih representatif.

REFERENCES

Amalia, H., Puspita, A., Utami, R., Mazia, L., & Lestari, A. F. (2024). Penerapan Model Waterfall dalam Perancangan



- Aplikasi Manajemen Event PB Persatuan Cartur Seluruh Indonesia (Percasi) Berbasis Website. *IJIS Indonesian Journal on Information System*, 9(2), 276–288. <https://doi.org/10.36549/ijis.v9i2.347>
- Ardian, R., & Budilaksono, S. (2026). Rancang Bangun Sistem Informasi Bank Sampah dengan Fitur Visualisasi Data dan Gamifikasi pada Bank Sampah Anggrek Ceria Jakarta. *Ikraith-Informatika*, 10(2), 20–28. <https://doi.org/10.37817/ikraith-informatika.v10i2.5456>
- Erwin, Muin, N., Marni, & Salsabilah, A. B. G. (2025). Rancang Bangun E-Commerce Berbasis Web untuk Mendorong Partisipasi Masyarakat dalam Pengelolaan Sampah Berkelanjutan. *SIMTEK: Jurnal Sistem Informasi dan Teknik Komputer*, 10(2), 498–506. <https://doi.org/10.51876/simtek.v10i2.1690>
- Fadhli, M., Nurmalasari, D., & Fitriisa, Y. (2021). Jurnal Politeknik Caltex Riau Pengujian Kualitas Website E-Commerce Produk Daur Ulang Sampah Menggunakan WebQual 4.0. *Jurnal Komputer Terapan*, 7(2), 261–271. <https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/jkt/>
- Fuqoha, M. S., Firmansyah, A. (2023). Sustainability E-Commerce di Indonesia: Kebijakan dan Strategi untuk Mengurangi Dampak Lingkungan. *Jurnalaku*, 3(3), 352–364. <https://doi.org/10.54957/jurnalaku.v3i3.548>
- Islami, S., Frinaldi, A., Rembrandt, & Lanin, D. (2025). Implementing Circular Economy in Waste Management: Theoretical, Practical, and Penta Helix Perspectives. *Ensiklopedia of Journal*, 7(2), 8–16. <https://doi.org/10.33559/eoj.v7i2.2751>
- Junaidi, & Munandar, A. (2023). Rancang Bangun Aplikasi Lokasi Pengumpul Sampah Berbasis Android (Studi Kasus: Kelurahan Jatirahayu). *Jurnal Information System*, 3(2), 57–64. <https://jurnalteknik.unkris.ac.id/index.php/jis/article/view/484>
- Kesuma, D. P. (2021). Penggunaan Metode System Usability Scale untuk Mengukur Aspek Usability pada Media Pembelajaran Daring di Universitas XYZ. *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, 8(3), 1615–1626. <https://doi.org/10.35957/jatisi.v8i3.1356>
- Lang, Z., & Xue, L. (2022). Can Polylactic Acid (PLA) Act as an Important Vector for Triclosan? *Sustainability (Switzerland)*, 14(19), 1–10. <https://doi.org/10.3390/su141912872>
- Maimunah, Junaidi, Risdwiyanto, A., Hertini, E. S., & Ilmi, M. (2025). Ekonomi Sirkular Dan Digital Marketing: Studi Kasus Pada Industri Makanan. *Jurnal Lentera Bisnis*, 14(3), 4674–4686. <https://doi.org/10.34127/jrlab.v14i3.1934>
- Mursilah, P., Ritonga, I., Mugiyati, & Muhaimin, H. (2025). Systematic Literature Review (SLR): Peran Circular Economy dalam Mengurangi Limbah Industri Halal Fashion Perspektif Maqashid Syariah. *Jurnal Ilmiah Edunomika*, 9(3), 8–16. <https://doi.org/10.29040/jie.v9i3.17868>
- Narulita, S., Nugroho, A., & Abdillah, M. Z. (2024). Diagram Unified Modelling Language (UML) untuk Perancangan Sistem Informasi Manajemen Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (SIMLITABMAS). *BRIDGE*, 2(3), 244–256. <https://doi.org/10.62951/bridge.v2i3.174>
- Nasuha, M. A. A., Pertiwi, I. A., Fadhillah, F. R., & Zulkahfi, M. (2024). Perancangan Sistem E-Commerce "Thrift Mart" Berbasis Web dengan Metode Waterfall. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi (JUISIK)*, 5(2), 225–246. <https://doi.org/10.55606/juisik.v5i2.1442>
- Ode, L. R. S., Sihite, R. H. U., Rian, I. P. A., Artawan, R., Hidayat, R., & Purnamasari, E. (2026). DaurUlangin: Rancang Bangun Marketplace Inovatif Daur Ulang untuk Mendukung Ekonomi Sirkular Berkelanjutan. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)*, 4(4), 11907–11916. <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i4.5075>
- Rofiqi, I., Andrianingsih, V., Pranata, M. F., Hastri, E. D., & Ainun, M. B. (2026). Gerakan PBLHS SMA Negeri 1 Bluto: Implementasi Ekonomi Sirkular dan Eco-Entrepreneurship Melalui Teknologi Plastic Crusher. *Kreatif: Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara*, 6, 465–479. <https://doi.org/10.55606/kreatif.v6i1.10585>
- Sari, R. P., & Veri, J. (2025). Pengaruh Digitalisasi Terhadap Ekonomi Sirkular: Systematic Literature Review. *ECo-Buss*, 8(1), 842–864. <https://doi.org/10.32877/eb.v8i1.2954>
- Saputra, A. (2026). Perancangan design website e-commerce dan pemesanan pada Rumah Makan Terang Masakan Padang dengan mengimplementasikan bahasa pemograman PHP. *Jurnal Sains Informatika Terapan (JSIT)*, 5(1), 359–364. <https://rcf-indonesia.org/home/>
- Setyorini, Hidayatullah, S., & Rachmawati, I. K. (2021). E-Commerce Produk Daur Ulang Sampah Berbasis Website. *Procedia of Engineering and Life Science*, 1(2), 1–6. <https://doi.org/10.21070/pels.v1i2.1029>
- Usman, M. L. L., & Gustalika, M. A. (2022). Pengujian Validitas dan Reliabilitas System Usability Scale (SUS) Untuk Perangkat Smartphone. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 9(1), 19–24. <https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v9i1.2805>
- Yuliamir, H., Hadi, S., Dewi, I. K., & Rahayu, E. (2025). Pemasaran Produk Daur Ulang dari Bank Sampah untuk Meningkatkan Daya Saing Wirausaha Lokal. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 3(5), 2506–2513. <https://doi.org/10.59837/jpmba.v3i5.2776>
- Yulianto, D., & Febrianto, A. (2025). Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Kabupaten Bantul Berbasis Website Menggunakan Model Modified Waterfall. *Technomedia Journal*, 9(3), 309–320. <https://doi.org/10.33050/tmj.v9i3.2168>
- Zulkarnaini, Firdhayanti, A., Taufik, T., & Bachry, B. (2023). User Acceptance Testing through Blackbox Evaluation for Corn Distribution Information System. *Bit-Tech*, 6(2), 208–215. <https://doi.org/10.32877/bt.v6i2.1065>