JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

Pengembangan dan Evaluasi Awal Platform Sirkula untuk E-Commerce UMKM Berbasis Prinsip Ekonomi Sirkular

Erwin Sirait[1,*], Andi Setiadi Manalu[2], Tri Endang Priatni Purba[3]

[1] Department of Computerized Accounting, Politeknik Bisnis Indonesia, Simalungun, Indonesia
[2] Department of Computer Engineering, Politeknik Bisnis Indonesia, Simalungun, Indonesia
[3] Department of Office Administration, Politeknik Bisnis Indonesia, Simalungun, Indonesia
Email: [1,*]esirait946@gmail.com, [2]andi.manaloe@gmail.com, [3]triendang@gmail.com
Email Penulis Korespondensi: esirait946@gmail.com[*]
Submitted **01-10-2026**; Accepted **28-10-2026**; Published **31-10-2026**

Abstrak

Perdagangan elektronik memperluas jangkauan pasar usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM), tetapi platform yang tersedia umumnya hanya mencatat penjualan. Informasi bahan produk, pengembalian barang, tindak lanjut perbaikan atau daur ulang, dan estimasi emisi belum terhubung dalam satu catatan yang dapat ditelusuri. Penelitian ini bertujuan mengembangkan platform Sirkula dan mengevaluasi kelayakan teknis awalnya menggunakan enam tahap *Design Science Research Methodology*. Platform dibangun sebagai aplikasi web dengan tiga peran pengguna dan model data yang memisahkan empat atribut sirkular dari status publikasi, menautkan setiap retur ke item pesanan, serta menyimpan faktor emisi bersama satuan, sumber, dan versinya. Evaluasi teknis meliputi pengujian perilaku, peramban, kontrol akses, penerimaan, aksesibilitas, dan rekonsiliasi laporan. Hasilnya, 69 dari 69 pengujian perilaku (tiga kali eksekusi ulang) dan 40 dari 40 pengujian peramban lulus, 33 dari 34 kasus penerimaan lulus penuh (97,06%) dengan satu kasus lulus sebagian, dan 13 dari 15 kasus aksesibilitas dan data contoh lulus dengan dua kegagalan. Total tiga pesanan sintetis sebesar 510.000 rupiah sesuai dengan laporan transaksi tanpa filter. Temuan ini hanya menunjukkan kelayakan teknis awal, yaitu bahwa transaksi dan pencatatan sirkular dapat diintegrasikan secara konsisten di lingkungan uji lokal. Seluruh data masih berupa data uji, kebutuhan belum divalidasi bersama UMKM, dan katalog belum dikurasi bersama produsen, sehingga dampak terhadap pendapatan, limbah, dan emisi belum dapat disimpulkan.

Kata Kunci: E-Commerce; Ekonomi Sirkular; Evaluasi Sistem; Logistik Terbalik; Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah.

Abstract

Electronic commerce broadens the market reach of micro, small, and medium enterprises (MSMEs), yet available platforms mostly record sales only. Product material information, returns, follow-up repair or recycling, and emission estimates are rarely connected in a single traceable record. This study aims to develop the Sirkula platform and to evaluate its initial technical feasibility using the six-stage Design Science Research Methodology. The platform was built as a web application with three user roles and a data model that keeps four circularity attributes separate from publication status, links every return to an order item, and stores each emission factor together with its unit, source, and version. The technical evaluation comprised behavioural, browser, access-control, acceptance, and accessibility tests plus report reconciliation. The results show that 69 of 69 behavioural tests (three re-runs) and 40 of 40 browser tests passed, 33 of 34 acceptance cases passed fully (97.06%) with one partial pass, and 13 of 15 accessibility and sample-data cases passed with two failures. Three synthetic orders totalling 510,000 rupiah matched the unfiltered transaction report. These findings indicate only initial technical feasibility: transactions and circular records can be integrated consistently in a local test environment. All data are still test data, the requirements have not been validated with MSMEs, and the catalogue has not been curated with producers; effects on income, waste, and emissions therefore cannot yet be concluded.

Keywords: Circular Economy; E-Commerce; Micro, Small, and Medium Enterprises; Reverse Logistics; System Evaluation.

1. PENDAHULUAN

Ekonomi sirkular merupakan pendekatan yang berupaya menggantikan pola linear ambil–buat–buang dengan menjaga nilai produk dan material selama mungkin melalui pengurangan, penggunaan ulang, perbaikan, dan daur ulang. Telaah atas 221 definisi memperlihatkan bahwa konsep ini paling sering dirumuskan melalui kombinasi *R-strategies*, terutama *reduce*, *reuse*, dan *recycle* [1]. Bocken dkk. [2] kemudian membedakan strategi yang *memperlambat* perputaran sumber daya, seperti desain tahan lama dan perbaikan, dari strategi yang *menutup* perputaran tersebut melalui daur ulang. Strategi kelompok pertama dipandang lebih mampu mempertahankan nilai produk. Dalam praktik bisnis, intervensi sirkular juga menyentuh desain produk, pilihan material, rantai pasok, dan model bisnis [3]. Bagi perancang sistem informasi, cara pandang ini penting karena produk berbahan limbah hanyalah salah satu wujud partisipasi sirkular. Produk yang dapat digunakan ulang, diperbaiki, atau didaur ulang, beserta kegiatan purnajual yang memperpanjang umur produk, sama-sama perlu tercatat.

Bagi usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM), *e-commerce* membuka saluran pemasaran digital, tetapi keberhasilan adopsinya ditentukan oleh kesiapan teknologi, organisasi, dan lingkungan usaha [4]. Survei terhadap 338 UMKM di Indonesia mengaitkan adopsi *e-commerce* dengan kinerja usaha dan inklusi keuangan [5], sedangkan evaluasi kesiapan digital pada 30 UMKM di daerah 3T menempatkan kepemimpinan digital sebagai kriteria dengan bobot tertinggi [6]. Di sisi lain, kajian praktik sirkular telah menelaah faktor organisasi pada UMKM Indonesia [7], kelayakan penerapannya pada UMKM agribisnis [8], dan peran digitalisasi UMKM dalam mendukung ekonomi sirkular [9]. Pemanfaatan data untuk mengurangi limbah juga mulai diteliti, misalnya klasifikasi tingkat konsumsi harian untuk menekan *food waste* pada UMKM di Kota Medan [10], serta perbandingan model deteksi objek YOLO11 dan RT-DETR

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

untuk mendeteksi sampah pada berbagai kondisi pencahayaan sebagai dasar sistem pemilahan sampah berbasis citra [11]. Sebagian besar kajian tersebut berbasis survei atau analisis data, sehingga masih terbuka ruang untuk penelitian yang merancang artefak dan menguji aturan integritas data pada alur transaksi dan pencatatan sirkular.

Penelitian ini bertolak dari tiga masalah yang dirumuskan sebagai kebutuhan desain dan belum divalidasi melalui observasi lapangan. Pertama, transaksi belum terhubung dengan kegiatan purnajual, sehingga asal barang dan tindak lanjutnya sulit ditelusuri serta berisiko dihitung lebih dari sekali. Kedua, klaim mengenai bahan dan kemasan belum dibedakan dari sumber pendukung dan hasil peninjauannya; pemisahan ini berkaitan langsung dengan persoalan *greenwashing* yang diulas oleh Huang dkk. [12]. Ketiga, perhitungan emisi perlu menyimpan kuantitas, satuan, sumber, dan versi faktor agar hasilnya dapat diulang. Pengembangan kalkulator karbon untuk usaha kecil juga menunjukkan bahwa rancangan alat harus menyesuaikan diri dengan ketersediaan data usaha [13]. Sebagai jawaban, penelitian ini mengusulkan platform *e-commerce* yang merekam ketiga aspek tersebut dalam satu model data dengan asal data yang tercatat secara eksplisit. Kebutuhan tersebut juga dipengaruhi kondisi UMKM yang tergambar dalam literatur, yaitu kesiapan digital yang beragam dan bergantung pada kepemimpinan digital [6], serta praktik sirkular yang ditentukan oleh faktor organisasi dan kelayakan usaha [7], [8]. Oleh karena itu, isian sirkular dirancang ringkas dan menyediakan nilai "belum diketahui" agar UMKM tidak dipaksa mengisi data yang belum dimilikinya.

Kajian mengenai teknologi digital untuk ekonomi sirkular berkembang pesat dalam lima tahun terakhir, tetapi sebagian besar masih konseptual atau berfokus pada industri manufaktur. Chauhan dkk. [14] menempatkan *Internet of Things* dan kecerdasan buatan sebagai teknologi kunci sekaligus mencatat hambatan berupa ketidakpastian kebijakan dan kerentanan informasi. Melalui telaah 174 artikel, Liu dkk. [15] merumuskan tiga belas fungsi digital dan tujuh mekanisme yang menjelaskan bagaimana fungsi tersebut memperkuat strategi sirkular tertentu. Data 599 perusahaan manufaktur dan 296 penyedia jasa industri di Jerman menunjukkan bahwa model bisnis baru untuk efisiensi sumber daya masih jarang diterapkan, tetapi lebih sering dijumpai pada perusahaan manufaktur dengan tingkat digitalisasi tinggi [16]. Studi kasus majemuk juga memperlihatkan bahwa teknologi digital dapat menjadi katalis inovasi model bisnis sirkular [17]. Kajian-kajian ini menjelaskan alasan pentingnya sistem digital, tetapi jarang menguraikan rancangan sistem yang telah diuji untuk skala usaha kecil.

Pada tingkat platform, Tian dkk. [18] meninjau peran platform digital dalam pertukaran informasi dan pengorganisasian praktik sirkular, sedangkan Tewary dan Upadhyay [19] mengusulkan kerangka enam strategi, yaitu pengurangan, penggunaan ulang, perbaikan, pemugaran, alih fungsi, dan daur ulang, dengan penekanan pada tata kelola data. Dari sisi konsumen, Hinojo dkk. [20] mengidentifikasi faktor pendorong partisipasi dalam transaksi barang bekas secara daring. Kebutuhan data artefak dibentuk oleh dua kelompok kajian lain. Jensen dkk. [21] memetakan informasi produk yang dibutuhkan untuk pengambilan keputusan sepanjang siklus hidup, sementara kajian *greenwashing* menuntut sumber klaim dan tingkat peninjauannya dinyatakan secara terbuka [12]. Dalam logistik terbalik, Ambilkar dkk. [22] meninjau pengelolaan retur, dan Nanayakkara dkk. [23] merancang kerangka penanganan retur *e-commerce* berbasis optimasi jaringan. Pada ranah pengembangan sistem untuk UMKM, Saputra dan Ujianto [24] membangun aplikasi inventori berbasis Flutter dan *QR code* dengan metode *Research and Development* dan menguji fungsinya melalui *black box testing*. Tabel 1 merangkum kajian yang paling dekat dengan penelitian ini.

Tabel 1. Sintesis penelitian terdahulu yang paling relevan

Studi	Fokus dan metode	Temuan utama	Kaitan dengan penelitian ini
Liu dkk. [15]	Tinjauan sistematis atas 174 artikel	Tiga belas fungsi digital dan tujuh mekanisme penguat strategi sirkular	Landasan fungsi digital; penelitian ini menerapkannya pada transaksi dan catatan UMKM
Tian dkk. [18]	Tinjauan studi platform digital	Platform membantu mengurangi, menyalurkan ulang, dan menggunakan ulang limbah	Landasan peran platform; penelitian ini menguraikan struktur data artefak
Jensen dkk. [21]	Kebutuhan data *digital product passport*	Data produk untuk keputusan sepanjang siklus hidup	Acuan perancangan atribut produk dan sumber klaim
Nanayakkara dkk. [23]	Desain jaringan retur dengan klasterisasi dan optimasi	Kerangka pendukung keputusan retur *e-commerce*	Pembanding alur retur; penelitian ini menekankan relasi catatan dan batas kuantitas
Eleftheriadis dan Anagnostopoulou [13]	Kalkulator karbon berbasis web untuk usaha kecil	Estimasi jejak karbon *cradle-to-gate*	Pembanding estimasi emisi; Sirkula membatasi cakupan pada aktivitas tercatat
Wirdiyanti dkk. [5]	Survei 338 UMKM Indonesia	Adopsi *e-commerce* berkaitan dengan kinerja usaha	Konteks adopsi; penelitian ini mengevaluasi artefak, bukan dampak adopsi
Saputra dan Ujianto [24]	Aplikasi inventori UMKM; R&D dan *black box testing*	Pencatatan stok lebih akurat dan cepat pada studi kasus	Pembanding pengembangan sistem UMKM; penelitian ini menambahkan dimensi sirkular

Copyright © 2026 The **Erwin Sirait**, Page 1453
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

Berdasarkan sintesis tersebut, celah penelitian yang dijawab bukanlah apakah platform digital dapat mendukung ekonomi sirkular, karena hal ini telah banyak dibahas. Celah yang dimaksud adalah belum tersedianya artefak *e-commerce* UMKM yang diuraikan dan diuji secara terbuka sekaligus mampu memisahkan atribut sirkular produk, menautkan retur ke tindak lanjutnya dengan batasan jumlah dan satuan, menyimpan faktor emisi beserta satuan dan sumbernya, serta membedakan data lapangan, administratif, dan sintetis dalam pelaporan. Karena penelusuran literatur dilakukan secara naratif, penelitian ini tidak mengklaim bahwa artefak sejenis belum pernah ada.

Dibandingkan platform *e-commerce* sejenis, perbedaan rancangan Sirkula terletak pada tingkat fungsi. Pada *marketplace* umum, retur terutama ditangani sebagai urusan pengembalian dana dan logistik terbalik [22], sehingga nasib barang setelah dikembalikan tidak menjadi bagian dari catatan penjualan. Platform barang bekas berfokus pada perpanjangan umur produk melalui transaksi ulang, dan kajiannya banyak menyoroti faktor partisipasi konsumen [20], sedangkan kerangka platform sirkular dalam literatur masih berada pada tingkat strategi dan tata kelola data [18], [19]. Sirkula menggabungkan tiga fungsi yang dalam literatur tersebut umumnya dibahas terpisah, yaitu atribut sirkular produk beserta status buktinya, rantai retur dan tindak lanjutnya, serta estimasi emisi dengan faktor yang bersumber, dalam satu catatan transaksi berskala UMKM. Perbandingan ini bersifat fungsional berdasarkan literatur dan bukan pengujian komparatif terhadap platform komersial tertentu.

Tujuan penelitian ini adalah merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi secara awal platform Sirkula, yaitu *e-commerce* UMKM yang berlandaskan prinsip ekonomi sirkular. Tiga pertanyaan penelitian yang diajukan adalah: (RQ1) bagaimana kebutuhan transaksi dan pencatatan sirkular dapat diintegrasikan dalam arsitektur dan model data platform; (RQ2) sejauh mana fungsi dan kontrol integritas yang diimplementasikan memenuhi skenario uji yang ditetapkan; dan (RQ3) keterbatasan data dan penerapan apa yang masih membatasi fitur sirkular pada tahap ini. Kontribusi yang diharapkan meliputi rancangan artefak dan model data yang memisahkan klaim, bukti, dan asal data; protokol evaluasi teknis beserta hasilnya; serta uraian terbuka tentang hal yang dapat dan belum dapat dibuktikan sebelum data lapangan tersedia.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menerapkan *Design Science Research Methodology* (DSRM) yang terdiri atas enam tahap [25]. Pendekatan ini berakar pada paradigma *design science* dalam bidang sistem informasi, yang menilai kontribusi penelitian dari artefak yang dirancang dan dievaluasi [26], serta sejalan dengan aktivitas inti *design science*, yaitu penjelasan masalah, penetapan kebutuhan, perancangan dan pengembangan, demonstrasi, dan evaluasi [27]. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 dengan rincian sebagai berikut:

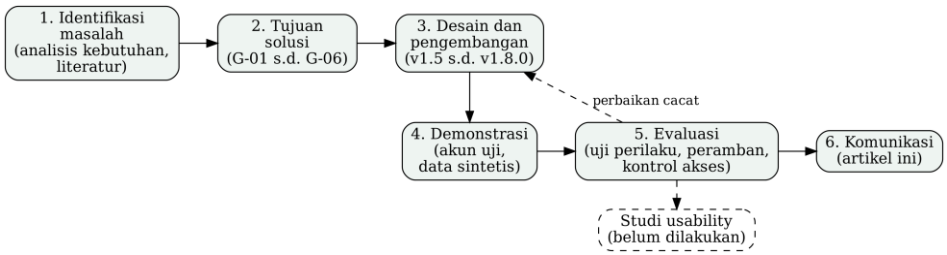
1. Identifikasi masalah dan motivasi: masalah dirumuskan dari dokumen kebutuhan produk tertanggal 18 Oktober 2026 dan kajian literatur. Wawancara dan observasi bersama UMKM belum dilakukan.
2. Penetapan tujuan solusi: enam tujuan ditetapkan, yaitu persistensi data (G-01), integritas transaksi (G-02), keterlacakan informasi sirkular (G-03), isolasi kepemilikan UMKM (G-04), rekonsiliasi laporan (G-05), dan dokumentasi evaluasi (G-06).
3. Perancangan dan pengembangan: platform dikembangkan secara bertahap dari versi dasar 1.5 hingga antarmuka berlabel 1.8.0 beserta perbaikan sesudahnya.
4. Demonstrasi: fungsi platform diperagakan menggunakan akun uji dan catatan sintetis pada lingkungan lokal.
5. Evaluasi: artefak diuji melalui empat kelompok pengujian teknis, pemeriksaan antarmuka, dan rekonsiliasi laporan sebagaimana diuraikan pada subbab 2.5.
6. Komunikasi: hasil penelitian dilaporkan dalam artikel ini, termasuk keterbatasan yang belum dapat diatasi.

Karena kebutuhan belum divalidasi bersama UMKM, kebutuhan dan prioritas fitur pada artefak ini diperlakukan sebagai hipotesis desain. Beban pengisian atribut dan bukti bagi UMKM, kesesuaian alur retur dengan praktik usaha, dan kebutuhan laporan belum terkonfirmasi, sehingga artefak diposisikan sebagai prototipe yang perlu diuji ulang pada siklus DSRM berikutnya.

Untuk revisi ini, kode sumber versi 1.8.0 yang diuji diidentifikasi dengan *manifest* SHA-256 atas 50 berkas kode, konfigurasi dependensi, dan skrip uji (identitas *build* a88b8b3f), sedangkan log mentah tes perilaku, uji peramban, dan pengukuran kinerja disimpan bersama kode sumber dan dapat diberikan kepada penelaah. Uji peramban dijalankan ulang pada image kontainer versi 1.8.0 yang kode aplikasinya identik dengan *manifest* tersebut, kecuali pengaturan alamat *bind* server. Meskipun demikian, seluruh pengujian masih dijalankan oleh tim pengembang, sehingga hasilnya belum merupakan replikasi independen.

Copyright © 2026 The **Erwin Sirait**, Page 1454
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom



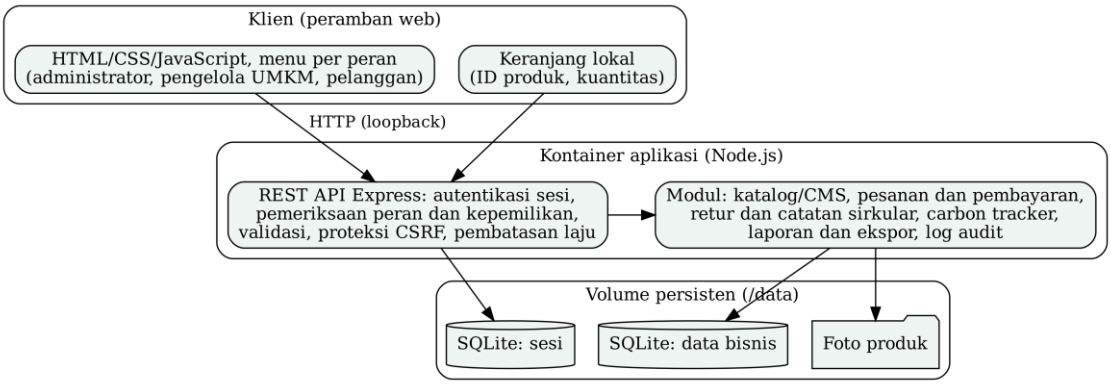
Gambar 1. Tahapan *Design Science Research* yang diterapkan; kotak bergaris putus menunjukkan kegiatan yang belum dilakukan

2.2 Pengumpulan dan Penyiapan Data

Bahan penelitian terdiri atas dokumen kebutuhan, tangkapan layar antarmuka bertanggal 19 Oktober 2026, dan laporan pengembangan yang disusun pada 18–19 Oktober 2026. Penelitian ini tidak mengumpulkan respons partisipan ataupun data penjualan lapangan. Setiap catatan dalam aplikasi diberi penanda asal data, yaitu lapangan, administratif, atau sintetis, sehingga harga atau stok yang diisi operator tidak dianggap sebagai konfirmasi produsen. Profil usaha yang bersumber dari informasi publik juga dipisahkan dari akun pengelola dan dari persetujuan kemitraan. Pengujian perilaku menggunakan basis data sementara, pengujian peramban menggunakan lingkungan uji pada *port* 8092, sedangkan pengujian aktivasi dan *checkout* menggunakan salinan basis data pada *port* 8093. Katalog utama pada *port* 8091 diperiksa tanpa menambahkan transaksi sintetis. Gambar produk yang dihasilkan kecerdasan buatan hanya berfungsi sebagai ilustrasi, dan alamat pada tangkapan layar pesanan telah disamarkan.

2.3 Arsitektur dan Implementasi Sistem

Sirkula dibangun sebagai aplikasi web satu instans dengan lapisan presentasi, layanan, dan penyimpanan (Gambar 2). Klien berbasis HTML, CSS, dan JavaScript berkomunikasi dengan REST API Express yang berjalan di Node.js. SQLite menyimpan data bisnis dan sesi di sisi server, sedangkan kata sandi disimpan dalam bentuk *hash* bcrypt. Basis data dan berkas unggahan ditempatkan pada volume Docker persisten. Akses lokal utama menggunakan *port* 8091 pada antarmuka *loopback*, dan lingkungan uji dipisahkan dari data utama. Pengembangan dan pengujian dilakukan pada MacBook Apple M4 dengan Node.js 22.23.3 (arm64) serta peramban Chromium untuk tampilan desktop dan ponsel. Mesin tersebut menjalankan macOS 26.6.2 dengan memori 16 GB dan Docker 29.6.1 (VM 10 CPU, 7,75 GiB), sedangkan pengujian peramban memakai Chromium *headless shell* dari Playwright (*build* 1243).

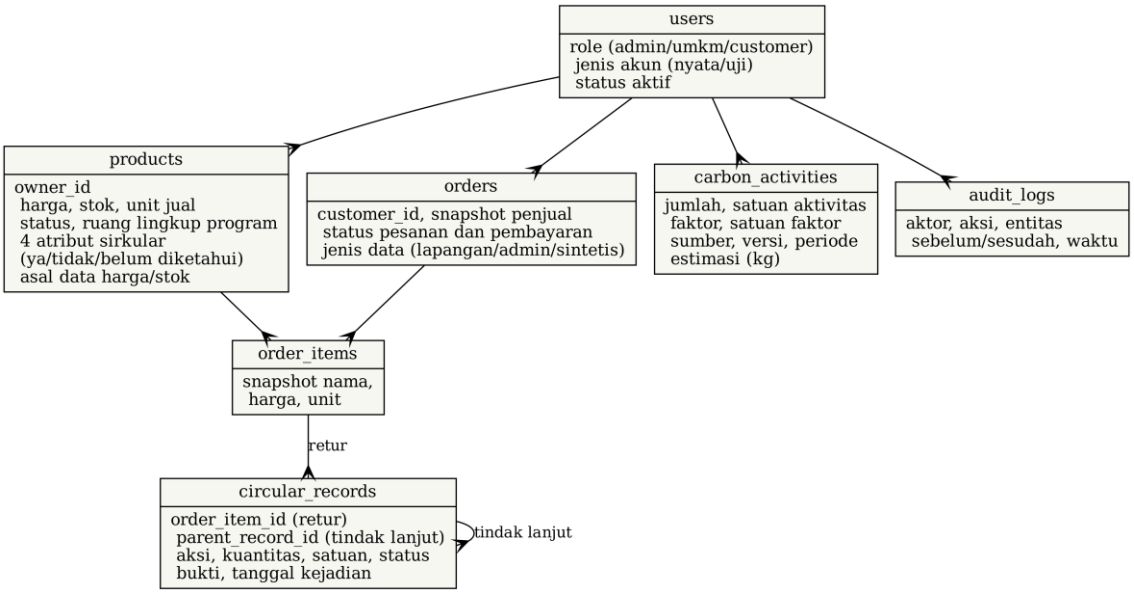


Gambar 2. Arsitektur Sirkula dan lingkungan penerapan lokal

Model konseptual data inti disajikan pada Gambar 3. Empat atribut produk, yaitu berbahan daur ulang, dapat didaur ulang, dapat digunakan ulang, dan dapat diperbaiki, disimpan secara terpisah dengan pilihan nilai *ya*, *tidak*, atau *belum diketahui*. Dengan cara ini, informasi yang belum tersedia tidak pernah diperlakukan sebagai "tidak". Keempat atribut diturunkan dari strategi R yang paling sering muncul dalam definisi ekonomi sirkular [1] dan mewakili dua kelompok strategi menurut Bocken dkk. [2]: dapat digunakan ulang dan dapat diperbaiki mewakili strategi memperlambat perputaran sumber daya, sedangkan berbahan daur ulang dan dapat didaur ulang mewakili strategi menutup perputaran. Cakupan ini sengaja jauh lebih sempit daripada kebutuhan data *digital product passport* [21], sehingga komposisi material secara rinci, masa pakai, dan ketersediaan suku cadang belum dicatat sebagai atribut terstruktur. Status publikasi, ruang lingkup program, pernyataan penjual, dan keputusan peninjauan juga disimpan sebagai atribut yang berbeda. Catatan retur terhubung ke item pesanan, sedangkan catatan tindak lanjut mengacu pada retur induknya dengan batasan kuantitas dan satuan. Setiap aktivitas karbon menyimpan nilai, satuan, sumber, dan versi faktor emisi agar perubahan acuan di kemudian hari tidak mengubah riwayat perhitungan. Diagram ini merupakan penyederhanaan relasi dan tidak menggantikan skema fisik basis data.

Copyright © 2026 The **Erwin Sirait**, Page 1455
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom



Gambar 3. Model data relasional Sirkula yang disederhanakan (entitas dan relasi inti)

Sistem mengenal tiga peran pengguna sebagaimana dirangkum pada Tabel 2. Pengunjung yang belum masuk hanya dapat melihat katalog publik dan tidak dihitung sebagai peran. Pengelola UMKM hanya dapat mengelola data milik usahanya, sedangkan administrator yang mencatat data atas nama suatu UMKM wajib memilih UMKM tersebut secara eksplisit.

Tabel 2. Peran pengguna dan kewenangan utama

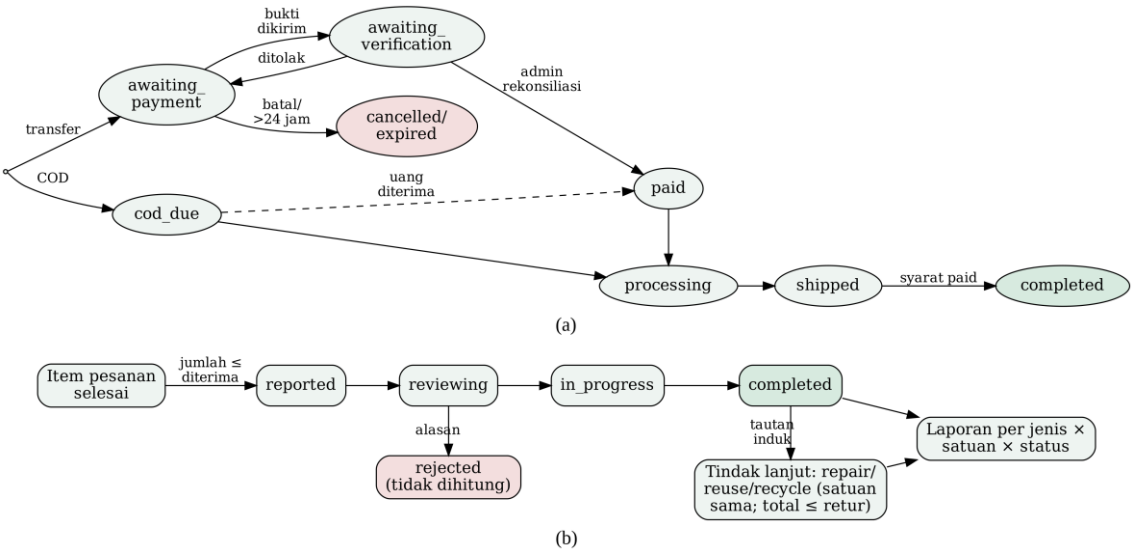
Kemampuan	Pelanggan	Pengelola UMKM	Administrator
Melihat katalog publik	Ya	Ya	Ya
Melakukan *checkout* dan pembayaran	Pesanan sendiri	Tidak	Tidak
Melihat pesanan	Milik sendiri	Milik usahanya	Semua
Mengelola produk	Tidak	Milik sendiri	Semua, tercatat di log audit
Memverifikasi transfer	Tidak	Tidak	Setelah rekonsiliasi
Mengonfirmasi pembayaran di tempat (COD)	Tidak	Milik usahanya	Semua
Mengajukan retur	Item sendiri yang memenuhi syarat	Menindaklanjuti retur miliknya	Mengelola dan mengaudit
Mencatat perbaikan, penggunaan ulang, dan daur ulang	Tidak	Milik sendiri	Untuk UMKM yang dipilih
Carbon tracker dan laporan	Tidak	Milik sendiri	Semua, dengan filter
Mengelola akun dan log audit	Tidak	Tidak	Ya

Keranjang hanya menyimpan identitas produk dan kuantitas, sementara harga, status, pengelola, dan stok dimuat ulang oleh server saat *checkout*. Setiap pesanan hanya berisi produk dari satu UMKM. Proses *checkout* bersifat atomik dan dilindungi kunci idempotensi sehingga permintaan yang terkirim ulang tidak menghasilkan pesanan ganda, sedangkan *snapshot* item menjaga harga historis. Gambar 4a menyederhanakan alur pembayaran dan pemenuhan pesanan yang sebenarnya dikelola sebagai dua dimensi status. Pembayaran transfer berpindah dari *awaiting_payment* ke *awaiting_verification* dan berubah menjadi *paid* setelah administrator melakukan rekonsiliasi. Pesanan COD dapat diproses sebelum lunas, tetapi baru dapat diselesaikan setelah pembayaran diterima. Transfer baru memiliki batas kedaluwarsa 24 jam yang dapat dikonfigurasi, dan pelepasan stok akibat pembatalan atau kedaluwarsa dijamin hanya terjadi satu kali.

Alur retur ditunjukkan pada Gambar 4b. Pelanggan memilih item dari pesanan yang telah selesai, dan jumlah kumulatif retur yang aktif maupun selesai tidak boleh melampaui jumlah barang yang diterima. Retur bergerak melalui status *reported*, *reviewing*, *in_progress*, dan *completed*, atau berakhir pada status *rejected* yang wajib disertai alasan. Catatan tindak lanjut berupa perbaikan, penggunaan ulang, atau daur ulang hanya dapat ditautkan ke retur yang telah selesai, sedangkan pengembalian dana (*refund*) dan pengembalian barang ke stok ditangani sebagai proses tersendiri.

Copyright © 2026 The **Erwin Sirait**, Page 1456
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom



Gambar 4. (a) Diagram status pesanan dan pembayaran; (b) alur retur dan catatan tindak lanjut sirkular

2.4 Formulasi Estimasi Emisi

Modul *carbon tracker* menghitung estimasi emisi dari setiap aktivitas yang dicatat dengan Persamaan (1).

$$E = A \times c \times F \tag{1}$$

Pada Persamaan (1), E adalah estimasi emisi dalam kilogram setara karbon dioksida ($kgCO_2e$), A adalah jumlah aktivitas, c adalah faktor konversi dari satuan aktivitas ke satuan penyebut faktor emisi, dan F adalah faktor emisi dalam $kgCO_2e$ per satuan yang bersesuaian. Apabila kedua satuan identik, nilai c = 1. Konversi hanya diizinkan jika dimensi dan hubungan konversinya diketahui, dan konversi tersebut tidak memperbaiki batas inventaris maupun mutu faktor. Nilai negatif dan tak hingga ditolak, sedangkan catatan lama tanpa satuan faktor harus ditinjau sebelum masuk ke agregasi tervalidasi. Contoh 10 kWh × 0,5 $kgCO_2e$/kWh = 5 $kgCO_2e$ merupakan data uji sintetis dan bukan rekomendasi faktor emisi untuk lapangan. Sistem tidak menyediakan pustaka faktor emisi bawaan; setiap faktor dimasukkan pengguna bersama satuan, sumber, versi, wilayah, dan batas perhitungannya, sehingga mutu estimasi ditentukan oleh sumber yang dirujuk. Pada penelitian ini belum ada faktor emisi lapangan yang dimasukkan. Untuk penggunaan lapangan, faktor perlu diambil dari acuan resmi, misalnya faktor emisi jaringan listrik nasional yang diterbitkan pemerintah, dan ditetapkan beserta versinya sebelum digunakan. Penjumlahan emisi hanya sah bila satuan keluarannya seragam dan batas aktivitasnya tidak tumpang tindih. Estimasi ini hanya mencakup aktivitas yang dicatat, bukan penilaian daur hidup produk, dan tidak dapat dibaca sebagai pengurangan atau penghindaran emisi.

2.5 Prosedur Evaluasi

Evaluasi bersifat teknis dan dikelompokkan menjadi empat bagian yang dilaporkan terpisah: (a) pengujian perilaku (*behavioural test*) terhadap aturan bisnis pada tingkat API dan basis data; (b) pengujian berbasis peramban untuk ketiga peran pada tampilan desktop dan ponsel; (c) pengujian kontrol akses terhadap permintaan lintas pemilik dan lintas peran; dan (d) 34 kasus uji penerimaan yang diturunkan dari dokumen kebutuhan. Kasus uji penerimaan dipetakan ke tiga kelompok sebelumnya, sehingga jumlahnya tidak ditambahkan ke total kelompok lain. Setiap kasus wajib mencatat versi, lingkungan, tanggal, prasyarat, langkah, hasil yang diharapkan, hasil aktual, bukti, dan status. Tingkat kelulusan (*pass rate*) dihitung dengan Persamaan (2).

$$PR = \frac{N_{pass}}{N_{exec}} \times 100\% \tag{2}$$

Pada Persamaan (2), N_{pass} adalah jumlah kasus yang lulus penuh dan N_{exec} adalah jumlah kasus yang dijalankan. Kasus yang lulus sebagian, gagal, terblokir, atau dilewati dilaporkan secara terpisah, dan kasus lulus sebagian tidak dihitung sebagai lulus. Hasil pengukuran kinerja diperlakukan sebagai pengukuran lokal pada konfigurasi tertentu, bukan kapasitas sistem produksi. Selain pengujian, keluaran laporan dicocokkan dengan data sumber yang tampil di antarmuka, dan setiap fitur sirkular dipetakan ke klaim yang dapat didukungnya. Seluruh skenario disusun dan dijalankan oleh tim pengembang. Validasi independen oleh penguji di luar tim belum dilakukan pada tahap ini dan direncanakan melalui eksekusi ulang *suite* uji dari kode sumber bertanda versi serta uji *black box* oleh pihak luar.

Copyright © 2026 The **Erwin Sirait**, Page 1457
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Artefak yang Diimplementasikan

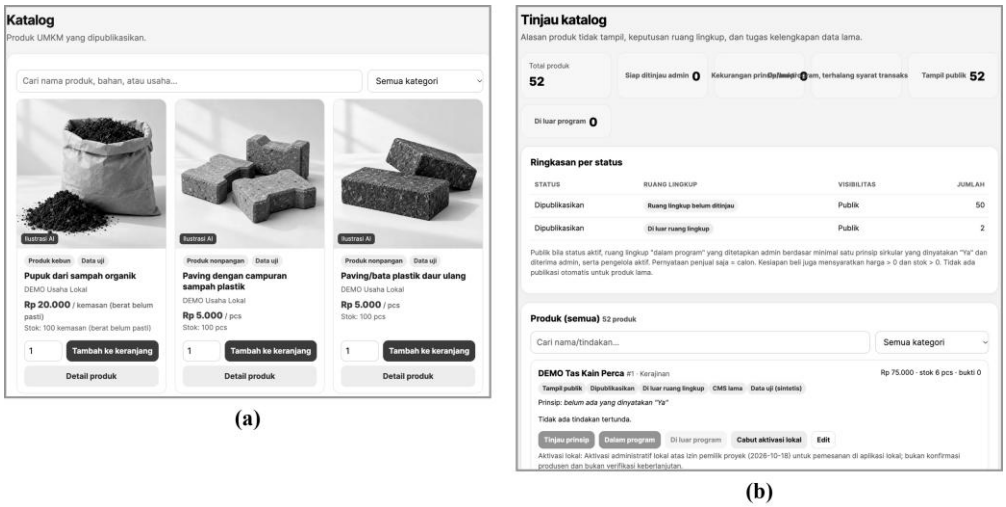
Antarmuka yang dievaluasi menampilkan versi 1.8.0 dan keterangan bahwa informasi keberlanjutan berasal dari catatan penjual, bukan sertifikasi. Tabel 3 memetakan setiap kebutuhan ke fitur yang teramati serta status pengujiannya. Keberadaan suatu elemen pada antarmuka tidak dijadikan satu-satunya dasar untuk menyatakan bahwa fungsi terkait telah lulus uji.

Tabel 3. Kebutuhan, fitur yang teramati pada versi 1.8.0, dan status pengujian

Kebutuhan	Fitur yang teramati pada antarmuka	Status pengujian yang dilaporkan
Autentikasi	Menu berbeda untuk tiga peran (11, 7, dan 4 menu); kata sandi minimal 12 karakter; jenis akun nyata atau uji	Lulus uji akses dan peramban; empat akun impor belum diuji *login*
Katalog	Tinjau katalog (status, ruang lingkup, visibilitas, jumlah bukti); label "Ilustrasi AI" dan "Data uji"; satuan jual	Lulus untuk kartu, detail, dan pembelian pada salinan basis data
Sumber data	Modul riset: produsen, sumber, konflik data, kurasi; status persetujuan produsen	Operasi data dan pembatasan peran diuji melalui API
Pesanan dan pembayaran	Status pesanan dan pembayaran, jenis data, verifikasi transfer oleh administrator; tanpa pembayaran demo di lingkungan utama	*Checkout*, idempotensi, stok, dan pembayaran diuji; pesanan historis dikecualikan
Catatan sirkular	UMKM pemilik, jenis aktivitas, retur induk, jumlah, satuan, tanggal, disposisi, bukti	Validasi kepemilikan, kuantitas, dan satuan diuji; belum dipakai di lapangan
Carbon tracker	Aktivitas, periode, jumlah, satuan, faktor, satuan faktor, sumber, versi, wilayah, batas perhitungan	Perhitungan sintetis dan validasi faktor diuji
Laporan dan audit	Filter periode, UMKM, dan jenis data; agregasi per jenis × satuan × status; ekspor CSV berpseudonim; log audit	Total tanpa filter direkonsiliasi; klasifikasi demo historis belum konsisten

Ketiga peran memiliki alur kerja yang berbeda. Pelanggan mengakses menu katalog, keranjang, pesanan saya, dan pengembalian. Pengelola UMKM mengakses ringkasan, produk saya, katalog publik, pesanan, catatan sirkular, *carbon tracker*, dan laporan. Administrator memiliki sebelas menu, antara lain tinjau katalog, data riset, pengguna, laporan dan ekspor, serta log audit. Halaman ringkasan pengelola UMKM menampilkan jumlah produk yang dipublikasikan, pesanan yang perlu ditindaklanjuti, pesanan dari semua jenis data, pembayaran lunas khusus data lapangan, dan estimasi CO_2e tervalidasi. Halaman yang sama memuat peringatan bahwa nilai pesanan bukan pendapatan, bahwa data uji dan administratif dipisahkan dari data lapangan, dan bahwa estimasi CO_2e bukan pengurangan emisi.

Gambar 5 memperlihatkan katalog dari sisi pelanggan dan halaman tinjau katalog dari sisi administrator. Setiap kartu produk memuat kategori, label asal data, nama produk, nama pengelola, harga per satuan jual, dan stok, sedangkan seluruh gambar produk diberi label "Ilustrasi AI". Halaman tinjau katalog memisahkan status operasional, ruang lingkup program, dan visibilitas produk. Sebagai contoh, entri "DEMO Tas Kain Perca" berstatus *tampil publik* dan *dipublikasikan*, tetapi sekaligus berlabel *di luar ruang lingkup*, *CMS lama*, dan *data uji (sintetis)*. Entri tersebut belum memiliki atribut sirkular bernilai "ya" maupun bukti pendukung, dan catatannya menegaskan bahwa aktivasi administratif lokal pada 18 Oktober 2026 "bukan konfirmasi produsen dan bukan verifikasi keberlanjutan".



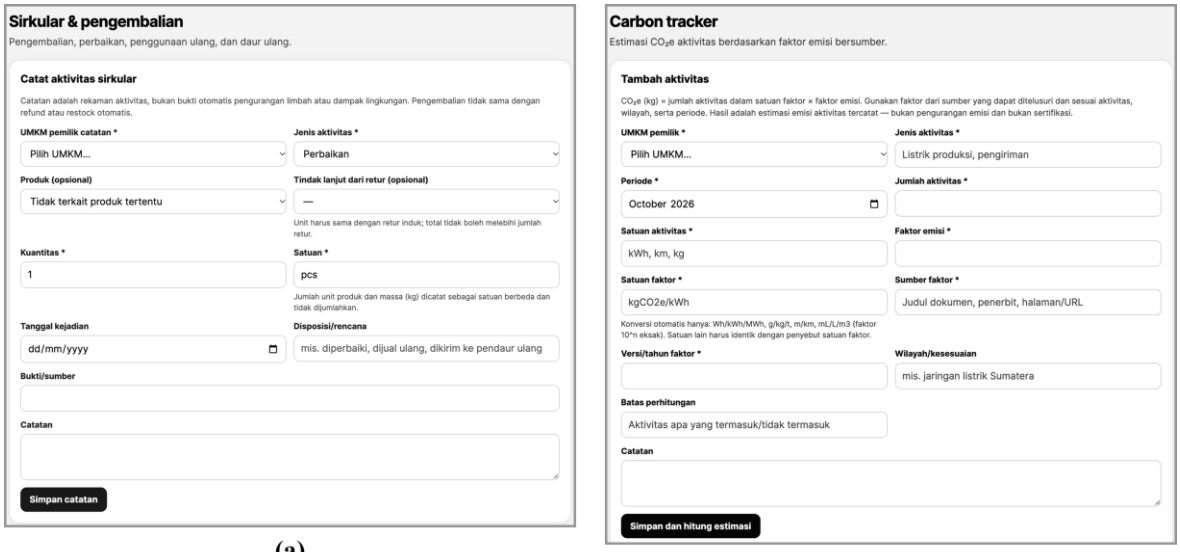
(a) (b)

Gambar 5. (a) Katalog pelanggan dengan label "Ilustrasi AI" dan "Data uji"; (b) halaman tinjau katalog administrator yang menampilkan status, ruang lingkup, dan visibilitas

Copyright © 2026 The **Erwin Sirait**, Page 1458
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

Formulir aktivitas sirkular dan formulir *carbon tracker* ditunjukkan pada Gambar 6. Formulir aktivitas sirkular membedakan jumlah unit dari massa dan mensyaratkan satuan tindak lanjut sama dengan satuan retur induknya. Formulir *carbon tracker* mewajibkan isian satuan, sumber, dan versi faktor, serta menyediakan isian wilayah dan batas perhitungan. Validasi kepemilikan dan konsistensi satuan dibuktikan melalui pengujian perilaku, sedangkan tangkapan layar hanya menunjukkan ketersediaan isian dan petunjuk pengisiannya. Karena basis data utama belum berisi aktivitas sirkular, konsistensi pengisian oleh pengguna lapangan belum dapat dinilai.



Gambar 6. (a) Formulir aktivitas sirkular dengan pilihan retur induk dan aturan satuan; (b) formulir *carbon tracker* yang mewajibkan satuan, sumber, dan versi faktor emisi

Halaman laporan menyediakan filter periode dalam Waktu Indonesia Barat, UMKM, dan jenis data, serta tombol ekspor CSV berpseudonim. Laporan transaksi menyajikan jumlah pesanan, pesanan lunas, pesanan selesai, pesanan dibatalkan, pesanan kedaluwarsa, pesanan demo, dan nilai seluruh pesanan untuk setiap jenis data, disertai keterangan bahwa nilai pesanan bukan pendapatan. Aktivitas sirkular disajikan per jenis × satuan × status dengan ketentuan bahwa satuan yang berbeda tidak dijumlahkan, hanya status selesai yang dihitung sebagai capaian, dan status ditolak dikeluarkan dari perhitungan.

3.2 Hasil Pengujian Teknis

Ringkasan hasil pengujian dari laporan pengembangan dan eksekusi ulang untuk revisi ini disajikan pada Tabel 4. Pengujian perilaku pada laporan aktivasi lulus 64/64 dan pengujian peramban utama lulus 40/40. Untuk revisi ini, tes perilaku dijalankan ulang tiga kali pada kode akhir dengan Node.js 22.23.4 dan lulus 69/69 pada setiap *run*, sedangkan uji peramban utama yang dijalankan ulang lulus 40/40; lima tes perilaku tambahan berasal dari modul ilustrasi yang dikembangkan setelah laporan aktivasi. Audit akses pada sesi sebelumnya mencakup 56 rute dalam empat kondisi akses dengan *suite* regresi 60/60; karena *suite* ini beririsan dengan pengujian perilaku, hasilnya tidak dijumlahkan. Pemetaan penerimaan mencatat 33 dari 34 kasus lulus penuh dan satu kasus lulus sebagian. *Suite* aksesibilitas dan data contoh pada revisi antarmuka terakhir mencatat 13 dari 15 kasus lulus dengan dua kegagalan pada data uji, sehingga kelompok ini tidak dinyatakan lulus penuh.

Tabel 4. Ringkasan hasil pengujian teknis berdasarkan laporan pengembangan dan eksekusi ulang

Kelompok dan sumber laporan	Periode laporan	Dijalankan	Lulus	Parsial	Gagal	Dilewati	Kelulusan
Perilaku, laporan akhir aktivasi	18–19 Okt 2026	64	64	0	0	0	100%
Perilaku, eksekusi ulang revisi (3 *run*)	28 Okt 2026	69	69	0	0	0	100%
Peramban utama, revisi antarmuka	19 Okt 2026	40	40	0	0	0	100%
Peramban utama, eksekusi ulang revisi	28 Okt 2026	40	40	0	0	0	100%
Regresi audit akses, sesi sebelumnya	18 Okt 2026	60	60	0	0	0	100%
Penerimaan dokumen kebutuhan	18–19 Okt 2026	34	33	1	0	0	97,06%

Copyright © 2026 The **Erwin Sirait**, Page 1459
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

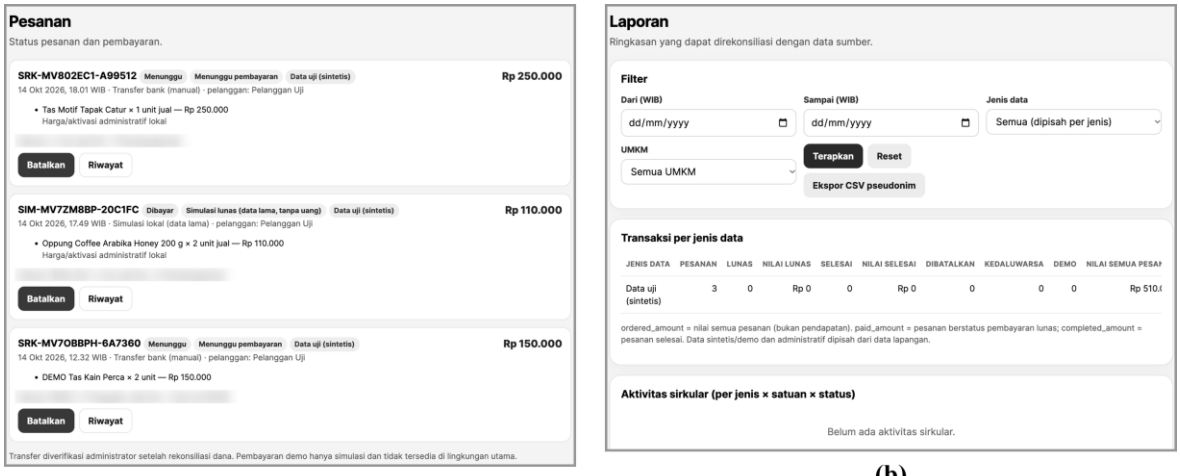
Kelompok dan sumber laporan	Periode laporan	Dijalankan	Lulus	Parsial	Gagal	Dilewati	Kelulusan
Aksesibilitas dan data contoh	19 Okt 2026	15	13	0	2	0	86,67%
Aksesibilitas dan data contoh, eksekusi ulang revisi	28 Okt 2026	15	13	0	2	0	86,67%

Catatan. Periode adalah rentang pelaporan sesi pengembangan (WIB), bukan cap waktu log mentah; persentase tidak digabung karena cakupan kelompok beririsan.

Angka pada Tabel 4 perlu dibaca per kelompok. Kelulusan 100% pada kelompok perilaku, peramban, dan regresi akses menunjukkan bahwa skenario yang dirancang untuk kelompok tersebut terpenuhi pada *run* yang dilaporkan, tetapi tidak berarti seluruh kemungkinan kesalahan telah tercakup. Kelulusan penerimaan sebesar 97,06% diperoleh dari Persamaan (2), yaitu 33/34 × 100%, dan satu kasus parsial tidak dibulatkan menjadi lulus. Pengukuran kinerja awal pada versi 1.7.0 di kontainer uji menghasilkan latensi persentil ke-95 (p95) sebesar 31,7 ms untuk 100 produk, 10 sesi bersamaan, 100 permintaan *warm-up*, dan 2.000 permintaan *loopback* tanpa galat. Pengukuran diulang pada versi 1.8.0 dengan skrip yang sama sebanyak lima *run* pada proses Node.js 22.23.4 langsung di *host*. Hasilnya p95 123,4 ± 3,0 ms (120,4–127,8 ms) dan median 94,3 ms tanpa galat dari 10.000 permintaan, masih di bawah target 500 ms pada dokumen kebutuhan. Kenaikan latensi sejalan dengan bertambahnya ukuran respons katalog dari sekitar 100 KB menjadi 223 KB karena versi 1.8.0 menyertakan informasi tinjauan prinsip dan ilustrasi, tetapi perbedaan lingkungan membuat kedua angka tidak dapat dibandingkan secara langsung. Hasil ini tetap merupakan pengukuran lokal, bukan kapasitas sistem produksi.

Kasus yang lulus sebagian adalah FT-33, yaitu penggunaan pada desktop, ponsel, dan keyboard. Seluruh alur utama dapat dijangkau dengan Tab, Enter, dan Esc tanpa luapan tata letak maupun galat JavaScript pada lebar 360, 390, dan 1.440 piksel, tetapi opsi elemen pilihan dipilih melalui fungsi *selectOption* setelah fokus dicapai dengan Tab, karena tombol panah tidak mengubah nilainya pada Chromium *headless* di macOS. Pemilihan opsi hanya dengan keyboard belum terbukti, dan pengujian dengan pembaca layar belum dilakukan, sehingga kasus ini tetap dicatat sebagai lulus sebagian. Dua kegagalan pada *suite* aksesibilitas dan data contoh tanggal 19 Oktober 2026 terjadi pada FX-1 (penyimpanan unit *placeholder*) dan FX-2 (keputusan pesanan lama), yang memerlukan *fixture* uji sekali pakai yang telah terpakai oleh *run* sebelumnya. Eksekusi ulang pada 28 Oktober 2026 mengonfirmasi penyebab tersebut: sebelum *fixture* disediakan ulang, FX-1 dan FX-2 kembali gagal dengan pesan bahwa *fixture* tidak tersedia, sedangkan setelah *fixture* disediakan ulang keduanya lulus. Pada *run* yang sama, KB-4 dan KB-5 (keranjang dan *checkout* dengan keyboard) gagal karena skrip uji membatasi navigasi mundur menuju menu keranjang hingga 60 kali tombol Tab, sementara katalog uji telah bertambah menjadi 23 produk publik. Ketika batas tersebut dinaikkan menjadi 300 tanpa mengubah asersi lain, *suite* lulus 15/15. Hasil skrip asli tetap dilaporkan pada Tabel 4, dan banyaknya tombol Tab yang diperlukan menunjukkan bahwa navigasi keyboard pada katalog yang panjang perlu dipersingkat.

Rekonsiliasi dilakukan terhadap tiga pesanan sintetis bernilai Rp250.000, Rp110.000, dan Rp150.000. Jumlah ketiganya, yaitu Rp510.000, sama dengan total pada laporan tanpa filter (Gambar 7). Pemeriksaan ini mengonfirmasi penjumlahan dan jumlah catatan pada tampilan tersebut, tetapi belum membuktikan bahwa seluruh filter dan klasifikasi pembayaran telah benar. Dua pesanan yang belum dibayar dan satu pembayaran simulasi historis tetap perlu dibedakan dari penerimaan uang yang sesungguhnya.



(a) **(b)**

Gambar 7. (a) Daftar pesanan administrator yang berisi tiga pesanan sintetis (alamat dikaburkan); (b) laporan transaksi per jenis data dan aktivitas sirkular per jenis, satuan, dan status

Pemeriksaan antarmuka menghasilkan tiga temuan. Pertama, dua pesanan transfer hasil migrasi bertanggal 14 Oktober masih berstatus menunggu pembayaran pada 19 Oktober. Menurut laporan pengembangan, pengecualian ini disengaja agar keputusan atas pesanan lama tidak mengubah stok tanpa tinjauan operator. Kedua, tampilan pembayaran simulasi

Copyright © 2026 The **Erwin Sirait**, Page 1460
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

lama belum sepenuhnya selaras dengan kategori demo pada laporan, meskipun total seluruh pesanan sudah sesuai. Ketiga, dua label pada kartu ringkasan tampak bertumpuk pada ukuran jendela yang digunakan. Ketiga temuan ini membatasi klaim penerimaan secara menyeluruh, sehingga pengecualian migrasi perlu dijelaskan di antarmuka, klasifikasi pembayaran perlu direkonsiliasi, dan tata letak perlu diuji ulang pada ukuran layar yang sama.

3.3 Kondisi Data

Katalog memuat 52 entri yang ditampilkan melalui aktivasi administratif lokal, terdiri atas 50 entri yang bersumber dari riset publik dan dua contoh internal sintetis. Pada halaman tinjauan, 50 entri berstatus belum ditinjau, dua entri berada di luar ruang lingkup, dan belum ada entri yang diterima sebagai bagian program. Dengan demikian, katalog belum dikurasi maupun dikonfirmasi oleh produsen dan belum mewakili penggunaan nyata platform. Aktivasi tersebut merupakan pengecualian visibilitas lokal, bukan hasil kurasi atau persetujuan produsen, sehingga keterangan kebijakan visibilitas perlu memuat penjelasan atas pengecualian ini. Selisih antara kartu ringkasan "di luar program" dan tabel ruang lingkup juga belum dapat direkonsiliasi tanpa definisi atau *query* pembentuknya.

Inventaris akun yang dilaporkan berjumlah sembilan akun uji, yaitu dua administrator, empat pengelola UMKM, dan tiga pelanggan. Lima akun baru telah berhasil diuji untuk *login*, sedangkan empat akun hasil impor belum diuji karena kata sandinya tidak tersedia. Seluruh entri katalog dikelola oleh akun lokal yang bukan akun resmi produsen, profil produsen berasal dari sumber publik dengan status persetujuan yang belum diketahui, dan basis data utama belum berisi catatan sirkular. Nilai nol pada dasbor salah satu UMKM tidak mencerminkan keseluruhan platform karena data ditampilkan berdasarkan kepemilikan.

3.4 Pembahasan

Terkait RQ1, hasil penelitian menunjukkan bahwa pencatatan transaksi dan pencatatan sirkular dapat diintegrasikan dalam arsitektur satu instans. Kunci integrasi tersebut adalah pemisahan yang diterapkan secara konsisten dari model data hingga laporan, yakni antara klaim dan bukti, antarsatuan yang berbeda, antara data lapangan dan data sintetis, serta antara status proses dan capaian. Masing-masing fungsi tidak baru jika dilihat secara terpisah; kontribusi penelitian terletak pada perpaduannya. Pemisahan atribut sirkular menerjemahkan konsep *R-strategies* [1] serta pembedaan antara memperlambat dan menutup perputaran sumber daya [2] ke dalam struktur data. Penautan retur dengan catatan tindak lanjut mengubah perhatian literatur logistik terbalik terhadap informasi jumlah barang yang dikembalikan [22] menjadi batasan pada basis data, sekaligus melengkapi pendekatan optimasi jaringan retur dari Nanayakkara dkk. [23]. Dibandingkan kerangka fungsi dan mekanisme dari Liu dkk. [15] serta tinjauan platform dari Tian dkk. [18], Sirkula memberikan contoh konkret berskala UMKM yang menempatkan pencatatan sirkular di dalam alur penjualan. Perbandingan empiris dengan platform lain belum dapat dilakukan karena data penggunaan belum tersedia.

Informasi produk yang dibutuhkan *digital product passport* menurut Jensen dkk. [21] jauh lebih luas daripada empat atribut yang diterapkan pada Sirkula. Pilihan ini disengaja, karena atribut yang ringkas tetapi disertai sumber dan status bukti lebih realistis untuk diisi UMKM daripada paspor produk yang lengkap. Meski demikian, isian tambahan tetap menambah beban kerja. Temuan bahwa kemampuan teknologi informasi pengambil keputusan berperan penting dalam adopsi *e-commerce* UMKM [4], serta bobot tertinggi kepemimpinan digital dalam evaluasi kesiapan UMKM [6], mengisyaratkan bahwa fitur pencatatan sirkular memerlukan pendampingan agar benar-benar digunakan. Dibandingkan pengembangan aplikasi inventori UMKM oleh Saputra dan Ujianto [24] yang telah diuji pada satu studi kasus usaha, evaluasi Sirkula masih terbatas pada lingkungan uji. Hubungan antara adopsi *e-commerce* dan kinerja usaha [5] juga belum dapat diperluas ke Sirkula karena penggunaan dan kinerja usaha belum diukur.

Antarmuka Sirkula secara konsisten menegaskan bahwa nilai pesanan bukan pendapatan, estimasi CO_2e bukan pengurangan emisi, dan informasi keberlanjutan bukan sertifikasi. Pilihan desain ini merupakan respons terhadap risiko *greenwashing* pada tingkat klaim [12] dan terhadap persoalan tata kelola data yang diangkat Tewary dan Upadhyay [19]. Label yang berhati-hati semacam ini mungkin kurang menarik dari sisi pemasaran, dan pengaruhnya terhadap kepercayaan pembeli belum diukur; faktor partisipasi konsumen dalam transaksi barang bekas daring [20] dapat menjadi landasan pengujiannya. Estimasi berbasis faktor emisi juga lebih sederhana daripada alat *cradle-to-gate* yang dikembangkan Eleftheriadis dan Anagnostopoulou [13], sehingga kebutuhan data awalnya lebih sedikit, meskipun kesesuaiannya bagi penjual masih perlu dievaluasi. Ketepatan hasil estimasi sepenuhnya bergantung pada faktor emisi yang dimasukkan, dan hasilnya tidak dapat dipakai untuk membandingkan produk. Tabel 5 merinci klaim yang sudah dan belum dapat didukung oleh bukti saat ini.

Tabel 5. Prinsip sirkular, fitur pendukung, dan batas klaim

Prinsip	Fitur	Klaim yang didukung	Klaim yang belum didukung
Memperpanjang umur produk	Catatan perbaikan dan penggunaan ulang yang tertaut ke retur	Platform mendukung pencatatan kegiatan tersebut	Umur produk meningkat
Mempertahankan material	Retur terikat pada item pesanan dengan batasan jumlah dan satuan	Aktivitas tercatat tanpa penghitungan ganda dalam satu rantai retur	Massa limbah yang berhasil dialihkan

Copyright © 2026 The **Erwin Sirait**, Page 1461
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

Prinsip	Fitur	Klaim yang didukung	Klaim yang belum didukung
Transparansi bahan dan kemasan	Empat atribut terpisah beserta sumber dan status bukti	Informasi dan statusnya tersedia	Produk telah terverifikasi atau tersertifikasi
Pemantauan aktivitas	*Carbon tracker* dengan satuan, faktor emisi, dan sumber	Emisi aktivitas diestimasi berdasarkan masukan	Emisi berhasil dikurangi atau dihindari

Terkait RQ2, laporan pengujian menunjukkan bahwa aturan bisnis telah melalui pengujian teknis dengan hasil sebagaimana tercantum pada Tabel 4. Kelulusan penuh pemetaan penerimaan sebesar 97,06% disertai satu kasus parsial, sedangkan dua kegagalan pada *suite* aksesibilitas tetap dicatat sebagai kegagalan walaupun eksekusi ulang menunjukkan bahwa penyebabnya berada pada skrip dan data uji. Temuan visual dan klasifikasi pesanan historis juga tidak dianggap selesai hanya karena hasil agregat *suite* yang lebih umum telah lulus. *Manifest checksum* dan log eksekusi ulang kini mengaitkan hasil tes perilaku, uji peramban, dan kinerja dengan versi kode yang diuji. Kajian *broken access control* oleh Anas dkk. [28] mendukung perlunya pengujian otorisasi yang eksplisit, dan pemeriksaan oleh pihak independen tetap diperlukan sebelum platform dibuka untuk publik.

Dari sisi praktik, terdapat tiga implikasi bagi pengembang platform dan pendamping UMKM. Pertama, pemisahan jenis data sejak awal memungkinkan platform digunakan untuk pelatihan dan uji coba tanpa mengotori laporan lapangan; tanpa pemisahan tersebut, transaksi uji dapat terbaca sebagai pendapatan. Kedua, label kehati-hatian dan status bukti memindahkan beban pembuktian klaim dari pembeli ke proses kurasi, sehingga program pendampingan perlu menyediakan peninjau yang memeriksa sumber klaim sebelum produk diterima dalam program. Ketiga, karena estimasi emisi bergantung pada faktor yang dimasukkan, pengelola platform perlu menetapkan pustaka faktor emisi yang disepakati beserta versinya sebelum angka agregat dipublikasikan. Ketiga implikasi ini masih berupa rekomendasi desain yang perlu diuji bersama pengguna sebelum dijadikan panduan operasional.

Dalam terminologi *design science*, evaluasi dalam penelitian ini tergolong evaluasi artifisial *ex post*, yaitu pengujian artefak yang telah dibangun di lingkungan buatan, bukan dalam praktik nyata [27]. Evaluasi artifisial tepat untuk memastikan aturan integritas data bekerja sebelum platform melibatkan pengguna, tetapi tidak dapat menggantikan evaluasi naturalistik yang mengamati penggunaan oleh pemilik UMKM dan pembeli. Dengan demikian, tahap demonstrasi dan evaluasi pada Gambar 1 baru terpenuhi sebagian, dan siklus perancangan berikutnya perlu dimulai dari temuan antarmuka pada subbab 3.2 dan kondisi data pada subbab 3.3.

Terkait RQ3, validitas internal dibatasi oleh pengujian yang disusun dan dijalankan dalam proses pengembangan yang sama serta belum direplikasi secara independen. Validitas konstruk juga terbatas karena kelulusan teknis tidak menunjukkan manfaat ataupun *usability* bagi UMKM. *Usability* dapat diukur pada tahap berikutnya menggunakan *System Usability Scale*, dengan catatan bahwa interpretasinya mempertimbangkan konteks dan tidak menjadikan tolok ukur aplikasi kesehatan sebagai ambang universal [29]. Validitas eksternal terbatas pada satu lingkungan lokal dengan akun uji. Kelengkapan sumber produk, izin penggunaan foto, harga dan stok fisik, serta persetujuan produsen juga belum seragam, sehingga data publik, administratif, dan sintetis tidak dapat disebut sebagai data lapangan terverifikasi. Ketiadaan aktivitas sirkular nyata membatasi penilaian terhadap perilaku pengguna, volume limbah, dan emisi, sedangkan pengukuran kinerja pada satu mesin lokal membatasi generalisasi hasil kinerja. Karena pengujian disusun oleh tim yang sama dengan tim pengembang, evaluasi oleh pihak independen diperlukan untuk mengurangi potensi bias.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan platform Sirkula yang mengintegrasikan transaksi *e-commerce*, atribut sirkular produk, retur beserta tindak lanjutnya, dan estimasi emisi berbasis aktivitas dalam arsitektur satu instans. Menjawab RQ1, keputusan desain utama yang memungkinkan integrasi tersebut adalah pemisahan klaim, bukti, satuan, kepemilikan, dan asal data secara konsisten dari model data hingga laporan. Menjawab RQ2, 69 dari 69 pengujian perilaku lulus pada tiga eksekusi ulang versi akhir dan 40 dari 40 pengujian peramban utama lulus pada laporan pengembangan maupun eksekusi ulang, 33 dari 34 kasus penerimaan lulus penuh (97,06%) dengan satu kasus lulus sebagian, serta 13 dari 15 kasus pada *suite* aksesibilitas dan data contoh lulus dengan dua kegagalan yang menurut eksekusi ulang berasal dari *fixture* dan batas navigasi pada skrip uji, sedangkan p95 latensi katalog pada versi akhir sebesar 123,4 ms; total tiga pesanan sintetis sebesar Rp510.000 juga sesuai dengan laporan tanpa filter, meskipun klasifikasi pembayaran simulasi historis dan penyajian status pesanan lama masih perlu diperbaiki. Menjawab RQ3, seluruh akun dan transaksi masih berupa data uji, kebutuhan belum divalidasi bersama UMKM, ke-52 entri katalog tampil melalui aktivasi administratif lokal dan belum dikurasi maupun dikonfirmasi produsen, belum ada aktivitas sirkular yang tercatat, dan pengujian belum direplikasi oleh pihak independen. Oleh karena itu, hasil penelitian ini hanya mendukung kelayakan teknis awal pada lingkungan uji lokal dengan data sintetis, dan belum menunjukkan kesiapan produksi, kemanfaatan bagi UMKM, maupun dampak terhadap pendapatan, pengurangan limbah, dan penurunan emisi. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan replikasi independen, menyelesaikan temuan antarmuka dan kegagalan pengujian, memvalidasi kebutuhan melalui wawancara dan observasi bersama pemilik UMKM, melakukan studi *usability* dengan persetujuan partisipan, mengurasi katalog bersama produsen yang bersedia, serta melaksanakan uji lapangan terbatas dengan data lapangan yang dipisahkan dari data uji.

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

JURIKOM (Jurnal Riset Komputer), Vol. 13 No. 5, Oktober 2026
e-ISSN 2715-7393 (Media Online), p-ISSN 2407-389X (Media Cetak)
DOI 10.30865/jurikom.v15i5.10231
Hal 1452-1464
https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom

UCAPAN TERIMAKASIH

Para penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Bisnis Indonesia yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

REFERENCES

[1] J. Kirchherr, N.-H. N. Yang, F. Schulze-Spüntrup, M. J. Heerink, and K. Hartley, "Conceptualizing the circular economy (revisited): An analysis of 221 definitions," Resources, Conservation and Recycling, vol. 194, p. 107001, 2023, doi: 10.1016/j.resconrec.2023.107001.

[2] N. M. P. Bocken, I. de Pauw, C. Bakker, and B. van der Grinten, "Product design and business model strategies for a circular economy," *Journal of Industrial and Production Engineering*, vol. 33, no. 5, pp. 308–320, 2016, doi: 10.1080/21681015.2016.1172124.

[3] C. Weetman, *A Circular Economy Handbook: How to Build a More Resilient, Competitive and Sustainable Business*, 2nd ed. London, U.K.: Kogan Page, 2021.

[4] S. A. Bening, M. Dachyar, N. R. Pratama, J. Park, and Y. Chang, "E-commerce technologies adoption strategy selection in Indonesian SMEs using the decision-makers, technological, organizational and environmental (DTOE) framework," *Sustainability*, vol. 15, no. 12, p. 9361, 2023, doi: 10.3390/su15129361.

[5] R. Wirdiyanti *et al.*, "How does e-commerce adoption impact micro, small, and medium enterprises' performance and financial inclusion? Evidence from Indonesia," *Electronic Commerce Research*, vol. 23, no. 4, pp. 2485–2515, 2023, doi: 10.1007/s10660-022-09547-7.

[6] Rizalina, J. Eska, D. Djesmedi, and A. N. Sari, "Model Evaluasi Kesiapan Digitalisasi UMKM Daerah 3T Menggunakan AHP-TOPSIS sebagai Sistem Penunjang Keputusan," *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, vol. 13, no. 4, pp. 1201–1207, 2026, doi: 10.30865/jurikom.v13i4.10103.

[7] A. Fernando, "Driving sustainable transformation: Organizational factors fueling circular economy in Indonesian SMEs," *International Journal of Family Business Practices*, vol. 7, no. 1, pp. 64–88, 2024, doi: 10.33021/ijfbp.v7i1.5428.

[8] N. M. Zuhri, Z. Abdullah, N. Puspita, and M. A. S. Antoro, "Assessing the viability of circular economy in Indonesia's MSMEs agribusiness sector," *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 19, no. 11, pp. 4227–4237, 2024, doi: 10.18280/ijsdp.191112.

[9] S. Anistia, R. A. Utami, and I. Hasvi, "Peran dan strategi digitalisasi UMKM dalam mendukung ekonomi sirkular," *Journal of Business and Economics Research*, vol. 6, no. 1, pp. 36–44, 2025, doi: 10.47065/jbe.v6i1.6604.

[10] D. Khairani, P. S. Ramadhan, and R. Mahyuni, "Penerapan Algoritma C4.5 dalam Klasifikasi Tingkat Konsumsi Harian Masyarakat untuk Mengurangi Food Waste pada UMKM di Kota Medan," *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, vol. 13, no. 2, pp. 569–579, 2026, doi: 10.30865/jurikom.v13i2.9660.

[11] J. Ismail, P. A. Ambarita, R. M. Situmorang, E. M. Siburian, and I. E. E. Simarmata, "Analisis Komparatif YOLO11 dan RT-DETR untuk Deteksi Sampah pada Variasi Pencahayaan," *Jurnal Komputer Teknologi Informasi Sistem Komputer (JUKTISI)*, vol. 5, no. 2, pp. 1360–1368, 2026, doi: 10.62712/juktisi.v5i2.1358.

[12] Z. Huang, Y. Shi, and M. Jia, "Greenwashing: A systematic literature review," *Accounting & Finance*, vol. 65, no. 1, pp. 857–882, 2025, doi: 10.1111/acfi.13352.

[13] I. Eleftheriadis and E. Anagnostopoulou, "Developing a tool for calculating the carbon footprint in SMEs," *Sustainability*, vol. 16, no. 5, p. 1905, 2024, doi: 10.3390/su16051905.

[14] C. Chauhan, V. Parida, and A. Dhir, "Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises," Technological Forecasting and Social Change, vol. 177, p. 121508, 2022, doi: 10.1016/j.techfore.2022.121508.

[15] Q. Liu, A. H. Trevisan, M. Yang, and J. Mascarenhas, "A framework of digital technologies for the circular economy: Digital functions and mechanisms," Business Strategy and the Environment, vol. 31, no. 5, pp. 2171–2192, 2022, doi: 10.1002/bse.3015.

[16] A. Neligan, R. J. Baumgartner, M. Geissdoerfer, and J.-P. Schöggl, "Circular disruption: Digitalisation as a driver of circular economy business models," Business Strategy and the Environment, vol. 32, no. 3, pp. 1175–1188, 2023, doi: 10.1002/bse.3100.

[17] V. Ranta, L. Aarikka-Stenroos, and J.-M. Väisänen, "Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy—Multiple case study," Resources, Conservation and Recycling, vol. 164, p. 105155, 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105155.

[18] S. Tian, A. Sharma, L. Wu, and K. S. Pawar, "A systematic literature review on the digital platform and its role in the circular economy: State-of-the-art and future research directions," *Journal of Digital Economy*, vol. 3, pp. 132–145, 2024, doi: 10.1016/j.jdec.2024.12.001.

[19] A. Tewary and P. Upadhyay, "Proposing a 6R framework promoting circular strategies for platform organizations," *Digital Policy, Regulation and Governance*, vol. 27, no. 2, pp. 145–174, 2025, doi: 10.1108/DPRG-11-2023-0169.

[20] P. Hinojo, D. Suárez, and B. García-Mariñoso, "Drivers of consumer participation in online second-hand transactions," *Sustainability*, vol. 14, no. 7, p. 4318, 2022, doi: 10.3390/su14074318.

[21] S. F. Jensen, J. H. Kristensen, S. Adamsen, A. Christensen, and B. V. Waehrens, "Digital product passports for a circular economy: Data needs for product life cycle decision-making," Sustainable Production and Consumption, vol. 37, pp. 242–255, 2023, doi: 10.1016/j.spc.2023.02.021.

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

[22] P. Ambilkar, V. Dohale, A. Gunasekaran, and V. Bilolikar, "Product returns management: A comprehensive review and future research agenda," International Journal of Production Research, vol. 60, no. 12, pp. 3920–3944, 2022, doi: 10.1080/00207543.2021.1933645.

[23] P. R. Nanayakkara, M. M. Jayalath, A. Thibbotuwawa, and H. N. Perera, "A circular reverse logistics framework for handling e-commerce returns," *Cleaner Logistics and Supply Chain*, vol. 5, p. 100080, 2022, doi: 10.1016/j.clscn.2022.100080.

[24] F. Saputra and E. I. H. Ujianto, "Sistem Pengelolaan Inventori Real-Time untuk UMKM Berbasis Flutter dan QR Code Menggunakan Metode R&D," *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, vol. 12, no. 6, pp. 908–915, 2025, doi: 10.30865/jurikom.v12i6.9309.

[25] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, "A design science research methodology for information systems research," *Journal of Management Information Systems*, vol. 24, no. 3, pp. 45–77, 2007, doi: 10.2753/MIS0742-1222240302.

[26] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, and S. Ram, "Design science in information systems research," *MIS Quarterly*, vol. 28, no. 1, pp. 75–106, 2004, doi: 10.2307/25148625.

[27] P. Johannesson and E. Perjons, *An Introduction to Design Science*, 2nd ed. Cham, Switzerland: Springer, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-78132-3.

[28] A. Anas, S. Elgamal, and B. Youssef, "Survey on detecting and preventing web application broken access control attacks," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 772–781, 2024, doi: 10.11591/ijece.v14i1.pp772-781.

[29] M. Hyzy *et al.*, "System Usability Scale benchmarking for digital health apps: Meta-analysis," JMIR mHealth and uHealth, vol. 10, no. 8, p. e37290, 2022, doi: 10.2196/37290.

Copyright © 2026 The **Erwin Sirait**, Page 1464
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License