

RANCANG BANGUN SISTEM RANTAI PASOK INDUSTRI KULIT KAYU MANIS (*Cinnamomum burmannii*) BERBASIS TEKNOLOGI BLOCKCHAIN

Design and Development of A Blockchain Based Supply Chain System for The Cinnamon (*Cinnamomum Burmannii*) Industry

Fauzan Aulia¹, Santosa^{2*}, Azrifirwan²

¹ Mahasiswa Pascasarjana Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

² Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

Email: santosa@ae.unand.ac.id

ABSTRAK

Rantai pasok kulit kayu manis melibatkan petani, pengumpul, industri pengolahan, retailer, dan konsumen dengan tantangan utama berupa pencatatan manual, keterbatasan transparansi asal-usul, kesulitan menjaga konsistensi pasokan, dan lemahnya integrasi informasi antar pelaku. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasi prototipe sistem *e-commerce* rantai pasok kulit kayu manis berbasis teknologi blockchain yang dirancang meningkatkan transparansi, ketertelusuran, dan konsistensi pencatatan. Ruang lingkup penelitian berfokus pada ekosistem domestik di sekitar PT XYZ, sedangkan alur ekspor diperlakukan sebagai konteks di luar cakupan sistem digital yang dikembangkan. Metodologi mencakup analisis proses bisnis eksisting, identifikasi kebutuhan fungsional dan nonfungsional, perancangan arsitektur digital tiga lapisan, implementasi prototipe yang mengelola produk, transaksi, pergerakan stok, dan pencatatan asal usul produk secara bertingkat. Teknologi blockchain dimanfaatkan untuk menyimpan rekaman transaksi dalam bentuk nilai hash dan identitas pihak yang terlibat sebagai bukti transaksi yang sulit dimanipulasi. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah dirumuskan, termasuk manajemen akun, transaksi jual beli, transformasi dan agregasi produk, serta penyajian riwayat ketertelusuran produk dari berbagai sumber. Pengujian ini menegaskan bahwa prototipe sistem telah berfungsi secara teknis dan fungsional sesuai desain. Pencatatan transaksi ke blockchain menyediakan bukti transaksi yang bersifat immutable, sehingga secara konseptual mendukung auditabilitas rantai pasok, meskipun dampak operasionalnya belum diukur secara kuantitatif pada penelitian ini.

Kata kunci; blockchain rantai pasok; ketertelusuran produk; kulit kayu manis; sistem e-commerce

ABSTRACT

The cinnamon supply chain involves farmers, collectors, processing industries, retailers, and consumers, and faces major challenges such as manual record keeping, limited transparency regarding product origin, difficulties in maintaining consistent supply, and weak information integration among actors. This research aims to design and implement a prototype of a web based commerce system for the cinnamon supply chain that integrates blockchain technology in order to support transparency, traceability, and consistency of records. The scope of the study focuses on the domestic ecosystem around Sumatera Tropical Spices Company, while export flows are treated as contextual information outside the digital system that is developed. The methodology includes analysis of existing business processes, identification of functional and non functional requirements, the design of a three layer digital architecture, and the implementation of a prototype that manages products, transactions, stock movements, and multi level product provenance. Blockchain technology is used to store transaction records in the form of cryptographic hashes and identities of the involved parties as tamper resistant evidence. Functional testing results indicate that all core system functions operate in accordance with the defined requirements, including account management, commercial transactions, product transformation and aggregation, and the presentation of traceability histories for products originating from multiple sources. These results demonstrate that the prototype system functions technically and operationally as designed. Transaction recording on the blockchain provides immutable transaction evidence, thereby conceptually supporting supply

chain auditability, although the operational impact has not yet been quantitatively evaluated in this study..

Kata kunci: blockchain supply chain; cinnamon bark; e-commerce system; product traceability

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu produsen utama *Cinnamomum burmannii*, komoditas rempah bernilai ekonomi tinggi yang digunakan secara luas pada industri pangan, minuman, kosmetik, dan farmasi (Nabavi et al., 2015). Sentra produksi utama kayu manis berada di Sumatera Barat dan Jambi, dengan kontribusi signifikan terhadap pendapatan petani dan rantai pasok agroindustri regional (Menggala & Damme, 2018; Supriana et al., 2022). Meskipun Indonesia menempati posisi teratas dalam volume ekspor kayu manis dunia, nilai jualnya relatif rendah karena mayoritas produk diekspor dalam bentuk bahan mentah (Rochdiani & Wulandari, 2023) sementara penguatan ketelusuran dan dokumentasi rantai pasok masih terbatas di banyak skema pemasaran. Kondisi ini menunjukkan perlunya penguatan sistem informasi dan digitalisasi pada level hulu hingga hilir agar pelaku memperoleh nilai tambah optimal.

Rantai pasok kulit kayu manis secara umum melibatkan petani, pengumpul, industri pengolahan, retailer, dan konsumen. Setiap aktor memiliki alur bisnis berbeda dan menghadapi tantangan spesifik. Di tingkat hulu, petani beroperasi secara tradisional dengan keterbatasan akses data pasar, teknologi pencatatan, dan mekanisme pembuktian mutu produk (Asrini et al., 2021). Proses pencatatan stok, kualitas, dan asal-usul umumnya masih manual sehingga menyulitkan verifikasi kredibilitas produk saat bertransaksi dengan pengumpul atau retailer (Siregar et al., 2025). Di tingkat pengumpul, agregasi pasokan dari banyak petani sering dilakukan tanpa pencatatan asal-usul sehingga komposisi batch tidak dapat ditelusuri (Albshaier et al., 2024). Industri menghadapi tantangan konsistensi pasokan, ketidakpastian mutu bahan baku, serta keterbatasan data rantai pasok untuk proses produksi dan pemenuhan standar internasional (Y. Dong et al., 2023; Menggala & Damme, 2018). Di tingkat hilir, retailer kesulitan menelusuri kualitas maupun sumber produk, sedangkan konsumen semakin menuntut transparansi dan keamanan pangan (Ijabadeniyi, 2023; Sharma & Modgil, 2013).

Keterbatasan integrasi informasi merupakan akar masalah yang memperlemah efisiensi dan keandalan rantai pasok kayu manis. Sistem manual menyebabkan aliran informasi terputus, rentan manipulasi, sulit diaudit, serta tidak mampu menyediakan data *real time* bagi pelaku usaha (Yulian et al., 2024). Kebutuhan mekanisme ketelusuran bertingkat juga menyebabkan industri dan retailer kesulitan memverifikasi bahan baku ketika terjadi perbedaan kualitas, pencampuran batch, atau kebutuhan standardisasi mutu (Capece et al., 2020). Pada konteks global, permintaan ketelusuran penuh (*end-to-end traceability*) menjadi semakin penting, dari sisi regulator maupun konsumen, terutama pada komoditas rempah yang kerap dipalsukan atau tidak sesuai label asal (Kumar et al., 2024; Mirabelli & Solina, 2020).

Perkembangan teknologi digital dalam dekade terakhir menawarkan peluang peningkatan transparansi dan efisiensi rantai pasok agrikultur (Mohamed et al., 2021). Penerapan sistem informasi berbasis web, Internet of Things (IoT), dan teknologi cloud memungkinkan pencatatan distribusi produk, manajemen inventori, dan verifikasi mutu dilakukan secara lebih terstruktur (Vahdanjoo et al., 2025). Dalam konteks rempah dan produk pertanian, beberapa studi menunjukkan bahwa platform perdagangan elektronik mampu mempersingkat waktu distribusi secara signifikan, meningkatkan akses pasar petani, serta mengurangi biaya transaksi (Nur et al., 2021; Zulelli et al., 2024).

Blockchain menjadi salah satu teknologi kunci dalam penguatan rantai pasok modern karena karakteristiknya yang aman, transparan, terdesentralisasi, dan *immutable* (Nehra et al., 2020; Nelaturu et al., 2022a). Blockchain memungkinkan pencatatan transaksi yang tidak dapat

diubah serta menyediakan mekanisme verifikasi bersama bagi seluruh pelaku rantai pasok. Pada sektor pertanian, blockchain terbukti dapat meningkatkan kepercayaan, mengurangi kecurangan, serta mendukung ketelusuran multi level mulai dari petani hingga konsumen akhir (Capece et al., 2020a; S. Dong et al., 2023; Zou et al., 2021). Integrasi *smart contract* memungkinkan otomatisasi proses seperti validasi transaksi, konfirmasi penerimaan, dan penelusuran komposisi bahan baku (Kabir et al., 2021).

Namun, adopsi blockchain pada komoditas rempah di Indonesia masih sangat terbatas, termasuk pada kayu manis, meskipun komoditas ini memiliki kebutuhan ketelusuran yang tinggi akibat variasi mutu antar daerah dan adanya rantai distribusi kompleks lintas daerah (Menggala & Damme, 2018; Siregar et al., 2025). Dalam kondisi ini, pengembangan sistem digital rantai pasok berbasis blockchain menjadi krusial untuk memastikan pencatatan transaksi, pergerakan stok, dan asal-usul bahan baku dapat dipertanggungjawabkan. Sistem *e-commerce* berbasis blockchain berpotensi menghasilkan visibilitas yang lebih baik terhadap produk, memperkuat posisi tawar petani, serta meningkatkan efisiensi distribusi (Sigalov et al., 2021).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem *e-commerce* rantai pasok kulit kayu manis berbasis blockchain yang dapat mendukung transparansi, ketertelusuran, dan konsistensi pencatatan. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan manajemen produk, transaksi, pergerakan stok, transformasi dan agregasi bahan baku, serta pencatatan hash transaksi ke blockchain sebagai bukti permanen yang tidak dapat dimodifikasi. Ruang lingkup penelitian berfokus pada ekosistem domestik di lingkungan PT XYZ, sementara alur ekspor diposisikan sebagai konteks eksternal. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan model teknologi rantai pasok agroindustri yang lebih transparan, akuntabel, dan adaptif terhadap tuntutan pasar global.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian menggunakan model Software Development Life Cycle (SDLC) dengan tahapan identifikasi rantai pasok, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. Model ini berupa pengembangan prototipe perangkat lunak berbasis web yang memiliki alur bisnis terstruktur dan integrasi lintas komponen digital. Identifikasi merupakan tahapan untuk memahami proses bisnis eksisting dalam rantai pasok kulit kayu manis. Tahap analisis berfokus pada perumusan kebutuhan fungsional maupun nonfungsional sistem. Tahap perancangan meliputi penyusunan model konseptual, use case, activity dan sequence diagram, rancangan basis data, serta desain smart contract. Implementasi dilakukan pada tiga lapisan sistem: front-end berbasis ReactJS, back-end berbasis Node.js/Express, dan lapisan blockchain menggunakan *smart contract* Ethereum Sepolia. Tahap akhir berupa pengujian fungsional menggunakan *black box testing* untuk memastikan kesesuaian sistem dengan kebutuhan pengguna.

Penelitian dilakukan pada wilayah operasional PT XYZ, mencakup jaringan petani di daerah operasional industri, serta pengumpul dan retailer yang terhubung dalam rantai pasok domestik. Wilayah tersebut dipilih karena mewakili struktur rantai pasok kulit kayu manis di Sumatera Barat serta memiliki variasi pasokan dan mutu produk yang relevan dengan tujuan penelitian. Pengumpulan data dilakukan dari Mei hingga November 2025 selama proses studi pendahuluan, analisis kebutuhan, dan validasi alur proses bisnis.

A. Kebutuhan Data Penelitian

Tiga kategori data digunakan dalam penelitian ini:

1. Data Proses Bisnis Eksisting (Data A)

Berupa alur nyata aktivitas petani, pengumpul, industri, retailer, dan konsumen. Data dikumpulkan melalui observasi dan wawancara untuk memetakan struktur rantai pasok, hubungan antar aktor, serta titik permasalahan utama.

2. Data Kebutuhan Sistem Digital (Data B)

Meliputi kebutuhan fungsional dan nonfungsional yang diperlukan pengguna untuk sistem digital, termasuk kebutuhan pencatatan stok, transaksi, transformasi, agregasi produk, serta ketelusuran bahan baku. Data diperoleh melalui wawancara semiterstruktur dan diskusi dengan pelaku rantai pasok.

3. Data Teknis untuk Rancang Bangun Sistem (Data C)

Merupakan data turunan dari analisis Data A dan Data B yang digunakan untuk membangun arsitektur sistem, merancang basis data, alur transaksi, serta struktur *smart contract*. Studi literatur dilakukan untuk mengidentifikasi pendekatan teknis rantai pasok berbasis blockchain dan praktik desain sistem sejenis.

B. Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data

Beberapa teknik pengumpulan data diterapkan sesuai karakteristik informasi yang diperlukan:

- Observasi langsung dengan mengamati alur fisik dan administratif pada petani, pengumpul, dan industri untuk memahami proses aktual serta identifikasi aktivitas yang belum terdigitalisasi.
- Wawancara semiterstruktur kepada petani, pengumpul, pelaku industri, retailer, dan konsumen untuk memperoleh detail kebutuhan sistem, hambatan operasional, serta aspek ketelusuran yang penting.
- Studi literatur ilmiah untuk mengidentifikasi konsep blockchain, digitalisasi rantai pasok, ketelusuran produk, dan pendekatan rekayasa perangkat lunak. Selain itu, termasuk juga studi dokumentasi terhadap dokumen internal PT XYZ yang berkaitan dengan proses pembelian, penjualan, pencatatan stok, serta persyaratan mutu.

C. Analisis

Analisis dilakukan secara bertahap sesuai tujuan tiap kategori data:

- Analisis proses bisnis eksisting melalui pemetaan aktivitas, identifikasi peran aktor, aliran informasi dan produk, serta permasalahan pada sistem manual. Hasil analisis divisualisasikan dalam Business Process Model and Notation (BPMN).
- Analisis kebutuhan sistem digital, di mana hasil wawancara dan observasi ditransformasikan menjadi kebutuhan fungsional, nonfungsional, dan alur input-proses-output. Hasilnya menjadi dasar penyusunan model arsitektur konseptual sistem.
- Analisis teknis dan rekayasa sistem, meliputi penyusunan use case, activity diagram, sequence diagram, rancangan basis data relasional, dan desain *smart contract*. Diagram teknis digunakan untuk memastikan keterhubungan antar komponen sebelum implementasi dilakukan.

D. Perancangan, Implementasi, dan Pengujian Sistem

Perancangan sistem dilakukan berdasarkan integrasi analisis kebutuhan dengan pendekatan arsitektur tiga lapisan:

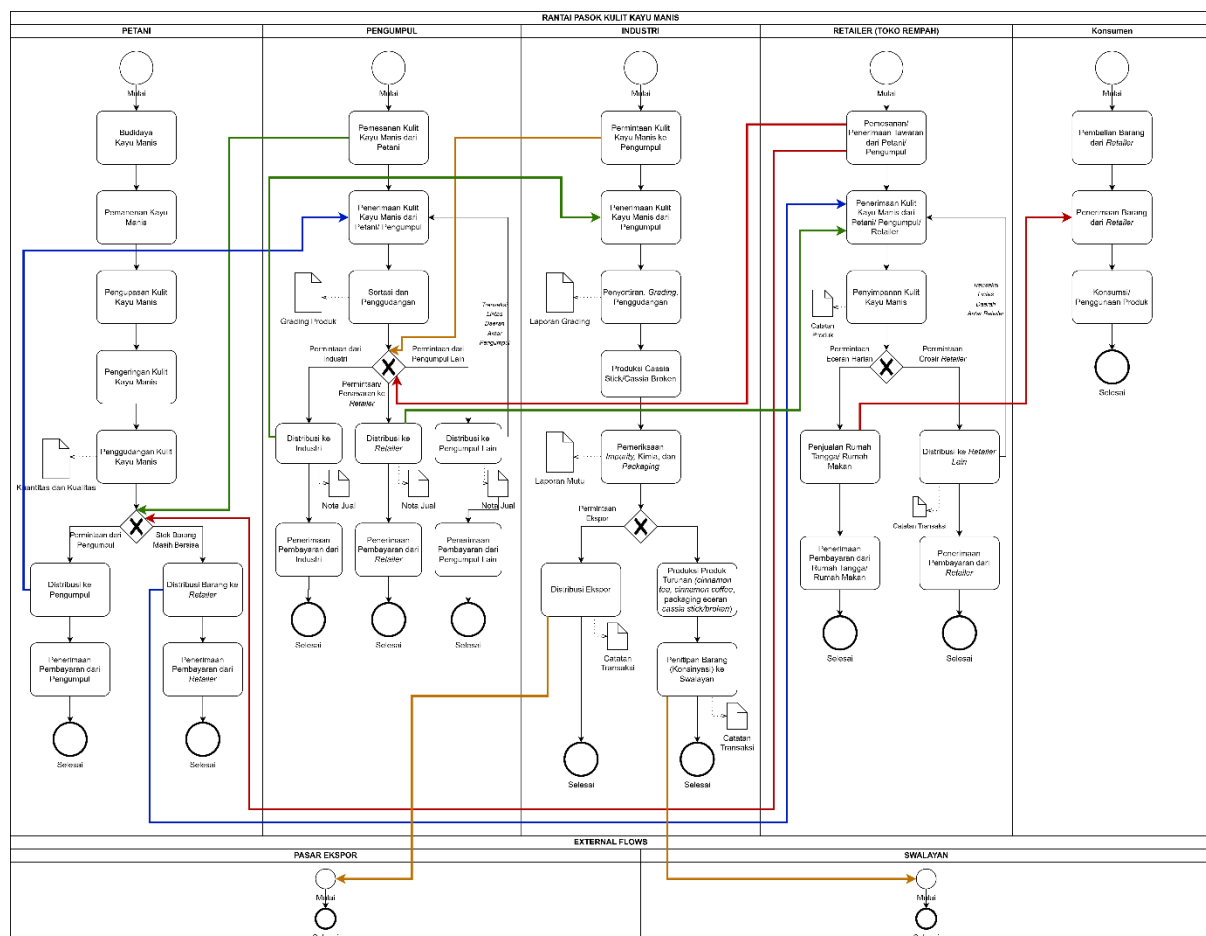
- Lapisan antarmuka menggunakan ReactJS untuk menyediakan mekanisme interaksi pengguna berbasis web.
- Lapisan logika bisnis menggunakan Node.js dan Express untuk pengelolaan autentikasi, transaksi, stok, transformasi, agregasi, serta interaksi dengan blockchain.
- Lapisan blockchain menggunakan smart contract pada jaringan Ethereum Sepolia untuk mencatat hash transaksi, identitas pihak, dan tanda bukti *immutable*.

- d. Basis data dibangun menggunakan MySQL dengan enam entitas utama: users, products, transactions, stock_movements, product_sources, dan blockchain_records. Smart contract dirancang untuk mendukung fungsi addTransaction dan isRecorded, serta menghasilkan event log untuk divalidasi oleh back-end.
- e. Pengujian sistem dilakukan menggunakan pendekatan black box testing untuk mengevaluasi kesesuaian fungsi-fungsi utama sistem terhadap kebutuhan yang telah dirumuskan. Metode ini berfokus pada pengujian fungsional tanpa memperhatikan struktur internal kode program. Indikator keberhasilan perancangan sistem ditetapkan berdasarkan kesesuaian antara output aktual sistem dengan *expected output* pada setiap skenario pengujian. Skenario pengujian meliputi autentikasi pengguna, pembuatan dan publikasi produk, pemesanan dan konfirmasi transaksi, transformasi dan agregasi produk, manajemen stok, serta pencatatan transaksi ke blockchain. Suatu fungsi dinyatakan berhasil apabila sistem mampu menjalankan alur proses sesuai desain, menghasilkan status dan data yang benar, serta tidak menimbulkan kesalahan fungsional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Rantai Pasok Eksisting

Pemetaan lengkap alur proses divisualisasikan melalui BPMN (Gambar 1), yang menegaskan perlunya sistem digital terintegrasi sebagai pondasi peningkatan efisiensi dan akuntabilitas. Diagram ini juga digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi titik-titik kritis dalam alur rantai pasok yang memerlukan dukungan sistem digital.



Gambar 1. BPMN Rantai Pasok Kulit Kayu Manis

Hasil observasi lapangan dan wawancara dengan pelaku rantai pasok menunjukkan bahwa struktur distribusi komoditas kulit kayu manis di Sumatera Barat bersifat kompleks dan tidak linear. Rantai pasok melibatkan lima aktor utama, yaitu petani, pengumpul, industri, retailer, dan konsumen. Namun, hubungan antar aktor tidak statis; melainkan membentuk jaringan dengan alur distribusi yang dapat bergerak ke berbagai arah tergantung kebutuhan pasokan dan kondisi lokal. Temuan ini diperkuat oleh dokumentasi internal industri yang mengidentifikasi hubungan lintas daerah antar petani dan pengumpul serta alur pasokan tidak langsung yang menyulitkan pencatatan dan pemantauan.

Pada tingkat hulu, petani menghasilkan kulit kayu manis dari berbagai daerah seperti Malalak, Solok, Padang Panjang, Lima Puluh Kota, dan Kerinci. Setiap daerah memiliki karakteristik mutu berbeda yang berpengaruh terhadap preferensi industri, terutama dalam konteks perbedaan kadar volatile oil dan kualitas kulit yang menyebabkan variasi harga pasar. Namun demikian, sistem pencatatan pada tingkat petani masih bersifat manual dan tidak menyediakan rekam jejak yang dapat diverifikasi, baik terkait kuantitas pasokan, kualitas, maupun bukti transaksi. Kondisi ini membuat petani memiliki posisi tawar lemah dan bergantung pada pengumpul (Asrini et al., 2021; Siregar et al., 2025).

Pengumpul berperan mengakumulasi pasokan dari banyak petani. Data lapangan menunjukkan bahwa agregasi bahan baku dilakukan tanpa dokumentasi asal-usul, sehingga batch pasokan yang dikirimkan ke industri dapat terdiri dari campuran bahan baku dari berbagai daerah. Hal ini menimbulkan tantangan bagi industri, terutama ketika terjadi ketidaksesuaian mutu produk akhir, karena tidak tersedia jejak digital untuk mengetahui sumber perbedaan kualitas. Fenomena ini dijelaskan pada riset rantai pasok agrikultur yang menyebutkan bahwa kurangnya ketelusuran dan pencatatan sistematis pada titik akumulasi pasokan menjadi sumber utama risiko kualitas dan inefisiensi (Albshaier et al., 2024; Y. Dong et al., 2023).

Industri PT XYZ mengolah kulit kayu manis menjadi produk ekspor dan produk turunan untuk pasar domestik. Industri memerlukan pasokan stabil dengan mutu konsisten, namun proses manual pada tingkat hulu membuat verifikasi asal bahan baku dan kesesuaian mutu sering menjadi tantangan. Selain itu, terdapat aktivitas transformasi bahan baku menjadi berbagai bentuk olahan, sehingga keterlacakan multi level terhadap struktur komposisi bahan baku menjadi penting untuk memenuhi standar kualitas dan audit internal. Analisis proses bisnis menyatakan bahwa struktur pelacakan batch saat ini belum memadai untuk kebutuhan tersebut.

Retailer, yaitu toko rempah juga menghadapi masalah ketidakpastian stok dan mutu karena tidak tersedia data rinci mengenai asal-usul produk. Sementara konsumen akhir menunjukkan peningkatan permintaan terhadap transparansi dan keamanan pangan, yang dalam sistem eksisting tidak dapat dipenuhi karena minimnya alur data digital yang dapat diverifikasi (Ijabadeniyi, 2023; Sharma & Modgil, 2013).

B. Analisis Kebutuhan Sistem Digital

Kebutuhan fungsional diidentifikasi pada Tabel 1, yang memetakan fungsi sistem terhadap aktor petani, pengumpul, industri, retailer, dan konsumen. Pemetaan ini digunakan untuk memastikan bahwa setiap fungsi yang dirancang relevan dengan peran dan aktivitas masing-masing aktor dalam rantai pasok.

Kebutuhan nonfungsional meliputi aspek keamanan (autentikasi berbasis JSON Web Token dan kontrol akses berbasis peran), kemudahan penggunaan antarmuka, ketersediaan fitur di berbagai peran pengguna, auditabilitas transaksi, serta efisiensi integrasi blockchain melalui pendekatan arsitektur hibrida on-chain/off-chain.

Tabel 1. Kebutuhan Fungsional Sistem

Fungsi Sistem	Petani	Pengumpul	Industri	Retailer	Konsumen	Keterangan
Manajemen Akun dan Autentikasi	√	√	√	√	√	Registrasi, login, dan pengelolaan profil pengguna.
Input dan Publikasi Produk	√	√	√	√	-	Menambahkan produk sesuai perannya;
Transaksi Jual Beli	√	√	√	√	√	Proses pemesanan, pengiriman, dan konfirmasi penjualan
Pencatatan Transaksi Blockchain	-	√	√	√	√	Pencatatan dilakukan oleh <i>back-end</i> setelah konfirmasi.
Pelacakan dan Riwayat Produk	√	√	√	√	√	Menampilkan riwayat asal usul produk dari hulu.
Manajemen Stok dan Gudang	-	√	√	√	-	Mengatur gudang termasuk agregasi dan transformasi.
Konfirmasi dan Validasi Transaksi	√	√	√	√	√	Setiap aktor mengonfirmasi penerimaan atau pengiriman produk.

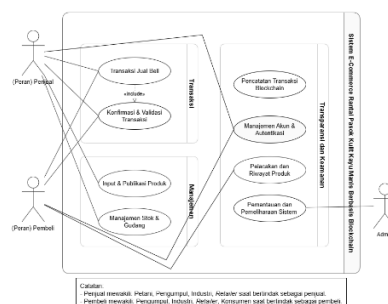
Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, disusun model arsitektur konseptual sistem. Model arsitektur konseptual dirancang sebagai sistem tiga lapisan yang mengintegrasikan antarmuka web, logika bisnis, dan blockchain. Lapisan pengguna merepresentasikan berbagai aktor yang berinteraksi dengan sistem. Lapisan aplikasi mengelola logika bisnis transaksi, stok, transformasi, agregasi, dan relasi asal-usul produk. Lapisan blockchain digunakan untuk mencatat hash transaksi pada titik-titik transaksi utama. Arsitektur konseptual ini memastikan bahwa seluruh pihak dalam rantai pasok dapat berpartisipasi tanpa harus berinteraksi langsung dengan infrastruktur blockchain. Pencatatan on-chain difokuskan pada titik perpindahan kepemilikan untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi operasional dan jaminan transparansi.

C. Perancangan Sistem *E-Commerce* Rantai Pasok Berbasis Blockchain

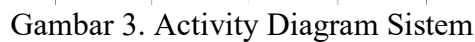
Tahap perancangan menerjemahkan kebutuhan sistem menjadi model-model teknis berupa diagram *use case*, *activity*, *sequence*, rancangan basis data, desain *smart contract*, dan desain integrasi sistem dengan blockchain. Model-model ini digunakan untuk memastikan bahwa kebutuhan fungsional sistem dapat diimplementasikan secara konsisten dan terstruktur pada tahap pengembangan.

1. *Use Case*, *Activity*, dan *Sequence Diagram*

Use case utama dan aktor yang terlibat direpresentasikan dalam Gambar 2, yang menunjukkan hubungan antara aktor (petani, pengumpul, industri, retailer, konsumen, dan admin) dengan fungsi sistem seperti manajemen akun, pengelolaan produk, transaksi, manajemen stok, dan pelacakan produk.



Gambar 2. Use Case Diagram Sistem *E-Commerce*



2. Perancangan Basis Data dan Smart Contract

Struktur basis data relasional dirangkum dalam Gambar 5, dengan enam entitas utama: users, products, transactions, stock_movements, product_sources, dan blockchain_records. Perancangan basis data ini bertujuan mendukung pencatatan transaksi, pergerakan stok, serta hubungan asal-usul produk secara terstruktur dan dapat diaudit.



Gambar 5. Relasi Basis Data

Struktur basis data relasional dirancang untuk mendukung pengelolaan identitas pengguna, transaksi, pergerakan stok, serta ketelusuran produk secara bertingkat. Tabel *users* menyimpan informasi identitas pengguna, termasuk alamat Ethereum yang dimanfaatkan oleh backend saat berinteraksi dengan smart contract. Tabel *products* memuat data produk beserta atribut *parent_produk_id* yang digunakan untuk merepresentasikan hubungan transformasi dan agregasi produk.

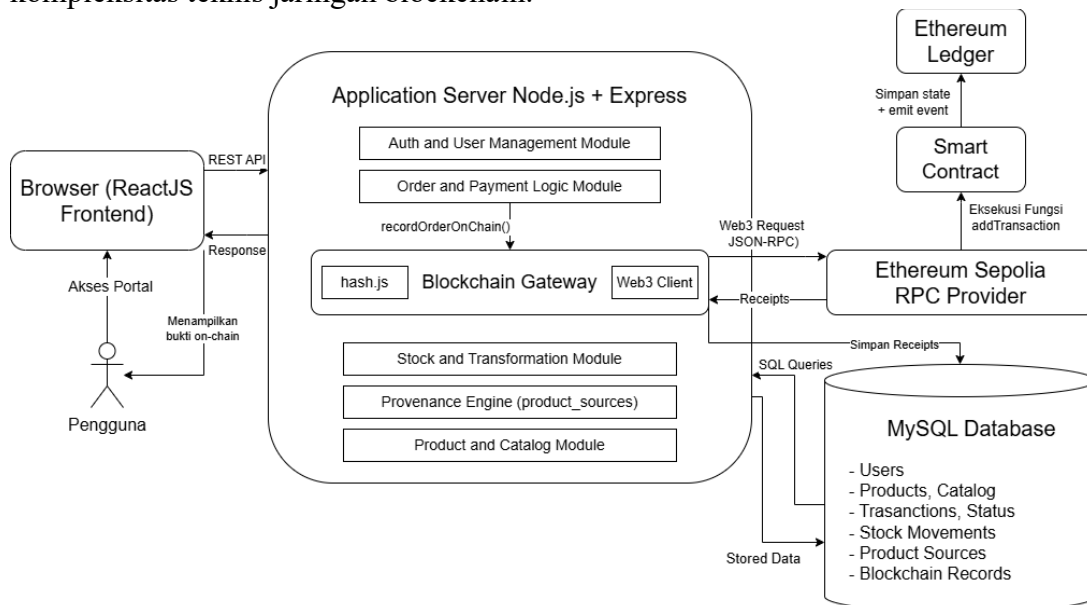
Informasi transaksi jual beli disimpan pada tabel *transactions* dengan status transaksi yang merepresentasikan tahapan proses bisnis, yaitu *PENDING*, *DIKIRIM*, *DITERIMA*, *CONFIRMED*, dan *TERCATAT_ONCHAIN*. Hubungan asal-usul produk dicatat pada tabel *product_sources*, yang merepresentasikan relasi multi-level antara produk turunan dan produk sumber beserta kontribusi kuantitasnya, sehingga mendukung mekanisme ketelusuran bertingkat. Setiap pergerakan stok dicatat pada tabel *stock_movements* sebagai *ledger* stok

yang dapat diaudit. Selain itu, tabel *blockchain_records* menyimpan informasi pencatatan transaksi on-chain berupa *tx_hash*, *block_number*, *chain*, *status_receipt*, serta *event log*, yang direlasikan secara satu-ke-satu dengan tabel *transactions* sebagai arsip bukti pencatatan blockchain.

Smart contract dirancang dengan fungsi utama *addTransaction* dan *isRecorded* untuk mencatat hash transaksi dan identitas pihak yang terlibat di jaringan Ethereum Sepolia. Pencatatan ini berfungsi sebagai bukti transaksi yang bersifat *immutable* dan dapat diverifikasi kembali oleh sistem.

3. Desain Integrasi Sistem dan Blockchain

Integrasi teknis sistem dan blockchain ditunjukkan pada Gambar 6, yang menggambarkan alur komunikasi antara pengguna (front-end ReactJS), backend Node.js/Express, modul *Blockchain Gateway* (encoder dan hasher), smart contract di jaringan Ethereum Sepolia, serta basis data MySQL lokal. Desain integrasi ini memastikan bahwa interaksi blockchain dapat dijalankan oleh backend tanpa membebani pengguna dengan kompleksitas teknis jaringan blockchain.



Gambar 6. Desain Teknis Sistem *E-Commerce*

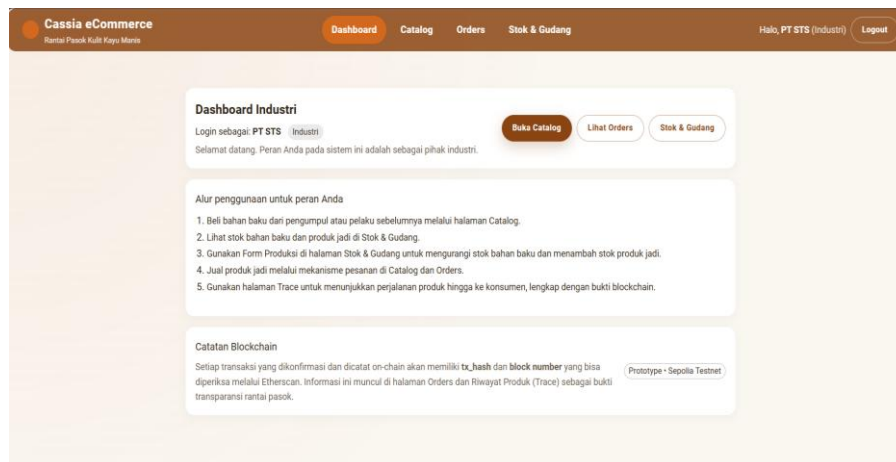
Pada saat pembeli menekan konfirmasi penerimaan barang (status CONFIRMED), backend akan mengambil alamat Ethereum penjual dan pembeli dari tabel *users*; menghitung *orderIdBytes32* dan *dataHashFromOrder(order)*; memanggil fungsi smart contract *addTransaction(orderId, sellerAddr, buyerAddr, dataHash)* melalui JSON-RPC; menyimpan *tx_hash*, *block_number*, *chain*, *status_receipt*, dan *event_data* ke tabel *blockchain_records*; dan memperbarui status transaksi menjadi *TERCATAT_ONCHAIN* serta menyediakan tautan Etherscan di antarmuka pengguna. Seluruh interaksi blockchain ditangani oleh backend sehingga pengguna tidak perlu mengelola dompet digital maupun berhadapan langsung dengan kompleksitas jaringan blockchain.

D. Pengembangan Prototipe dan Hasil Pengujian

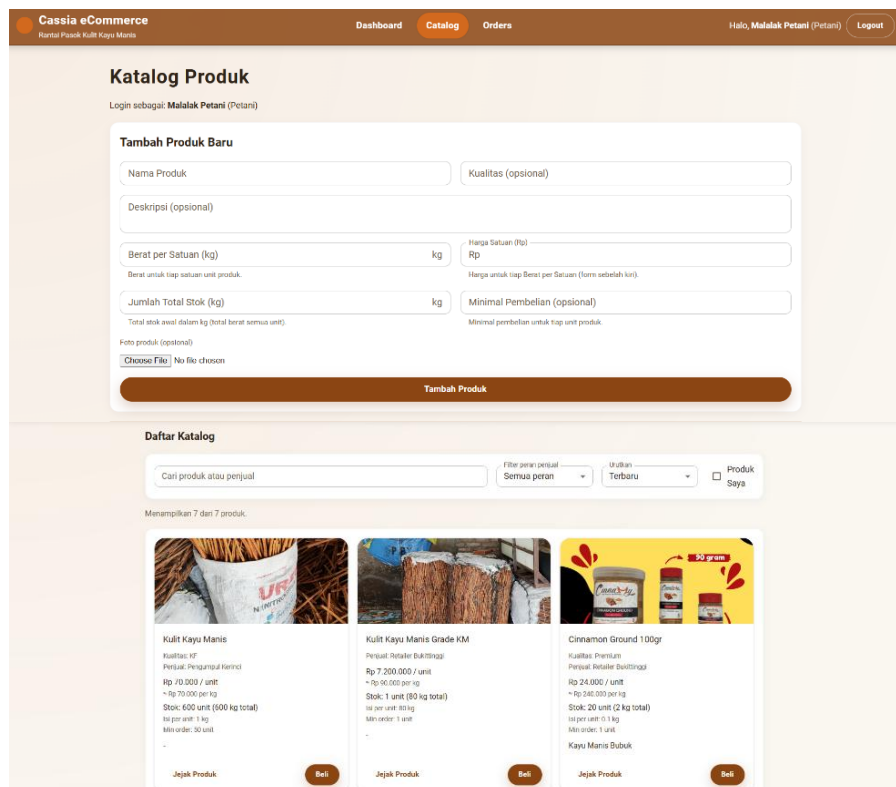
Tahap implementasi mewujudkan rancangan sistem ke dalam prototipe sistem *e-commerce* tiga lapisan yang terdiri dari antarmuka web ReactJS, backend Node.js/Express, basis data MySQL, dan smart contract di jaringan Ethereum Sepolia. Implementasi ini dilakukan untuk memvalidasi keterpaduan antar komponen sistem sesuai dengan desain arsitektur yang telah dirancang.

Pada lapisan antarmuka, dikembangkan halaman-halaman utama yaitu: katalog dan detail produk; transaksi pemesanan dan konfirmasi; manajemen stok; transformasi dan agregasi produk; pelacakan riwayat produk; dashboard ringkasan aktivitas; serta login dan register pengguna. Komponen-komponen ini menyesuaikan dengan fungsi yang dirancang pada kebutuhan fungsional dan perancangan sistem.

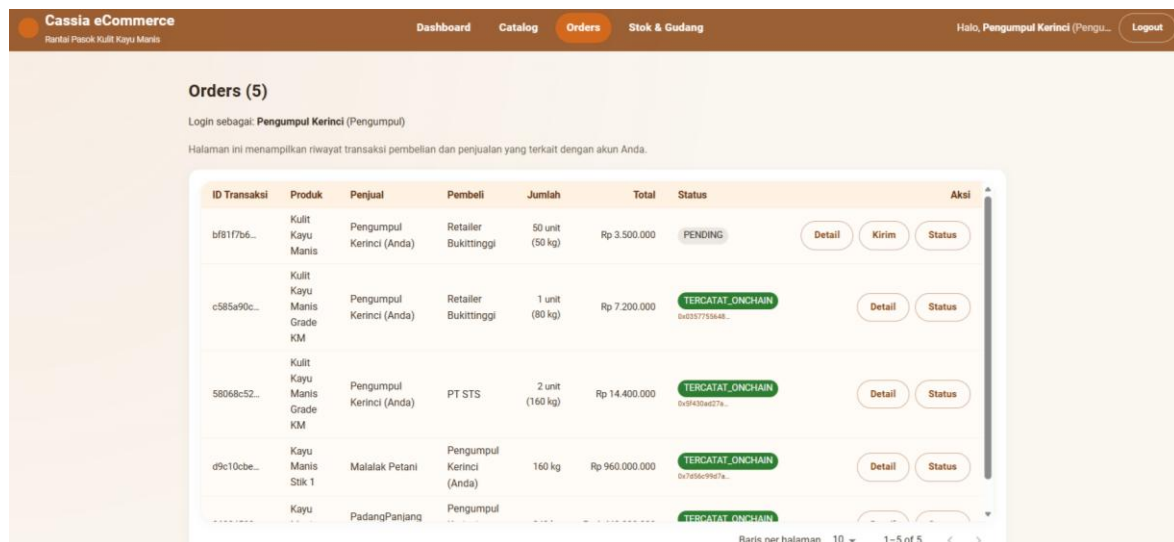
Backend Node.js/Express mengimplementasikan endpoint RESTful untuk autentikasi, manajemen produk, transaksi, stok, transformasi/agregasi, dan pencatatan blockchain, dengan middleware autentikasi JWT dan kontrol akses berbasis peran. Smart contract di-deploy pada jaringan Ethereum Sepolia dan diakses melalui modul Blockchain Gateway di backend sebagaimana dijelaskan pada bagian integrasi sistem. Tampilan akhir dari sistem dapat dilihat pada Gambar 7, 8, 9, dan 10.



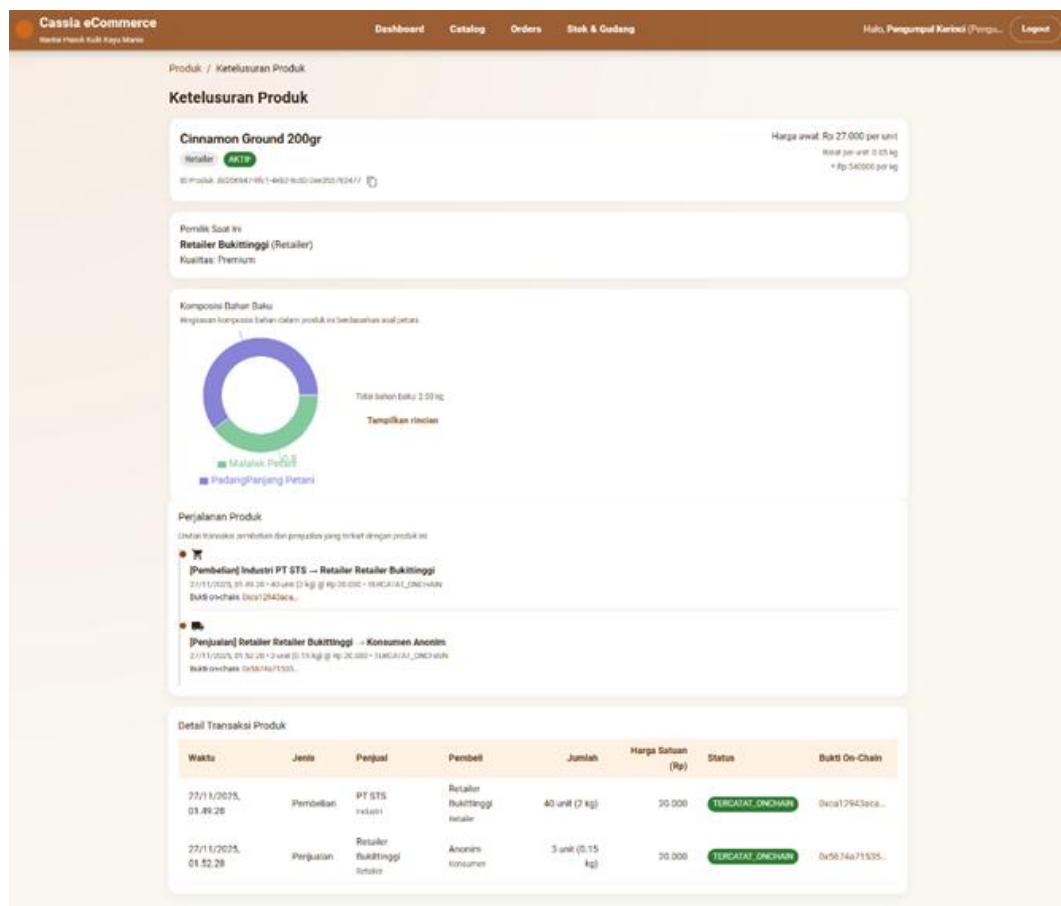
Gambar 7. Tampilan Dashboard



Gambar 8. Tampilan Halaman Katalog Produk



Gambar 9. Tampilan Halaman Orders



Gambar 10. Tampilan Halaman Product trace

E. Hasil Pengujian Black Box

Pengujian fungsional prototipe dilakukan menggunakan metode *black box testing* pada berbagai skenario pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh skenario uji menghasilkan keluaran yang sesuai dengan *expected output* dan dinyatakan *PASS* pada setiap kasus. Hasil ini menunjukkan bahwa setiap fitur utama prototipe telah berfungsi sesuai dengan spesifikasi fungsional yang dirancang, termasuk mekanisme pencatatan transaksi ke dalam blockchain yang dapat dijalankan secara konsisten dan dapat

diverifikasi (Ekawati et al., 2023) . Pendekatan evaluasi fungsional menggunakan *black box testing* pada tahap prototipe sejalan dengan praktik umum dalam penelitian rancang bangun sistem dan pengembangan aplikasi berbasis blockchain (Capece et al., 2020; Nelaturu et al., 2022). Hasil pengujian ini selaras dengan temuan Gómez & Garbinato (2025) yang melaporkan keberhasilan implementasi prototipe ketertelusuran berbasis Ethereum pada tahap pengembangan sistem. Kelulusan seluruh skenario uji menunjukkan prototipe yang dikembangkan telah memenuhi kriteria sebagai bukti konsep (*proof-of-concept*) pada tahap validasi fungsional.

Tabel 2. Skenario Pengujian Sistem

Kategori Uji	Deskripsi Skenario	Input	Expected Output	Actual Output	Status
Autentikasi	Registrasi pengguna baru	Data registrasi valid	Akun tersimpan, diarahkan untuk login	Sesuai	PASS
Autentikasi	Login pengguna	Email dan password valid	Token diterbitkan, katalog tampil	Sesuai	PASS
Role Access	Akses halaman khusus industri oleh industri	Industri membuka fitur transformasi produk	Akses dibuka dan muncul “Form Transformasi Produk”	Sesuai	PASS
Role Access	Akses halaman khusus industri oleh petani	Petani mencari halaman untuk transformasi produk	Akses tidak ditemukan	Sesuai	PASS
Produk	Input produk oleh petani	Form produk valid	Produk tersimpan di DB dan tampil di katalog	Sesuai	PASS
Transaksi	Pembeli membuat pesanan	Klik “Beli” dan “Konfirmasi Pesanan”	Status transaksi: PENDING	Sesuai	PASS
Transaksi	Penjual menandai barang telah dikirim	Klik “Kirim”	Status: DIKIRIM	Sesuai	PASS
Transaksi	Pembeli melakukan konfirmasi barang diterima	Klik “Diterima” kemudian “Confirm”	Status: DITERIMA lalu CONFIRMED dan proses on-chain dipicu	Sesuai	PASS
Blockchain	Pencatatan transaksi ke smart contract	Order diterima	txHash tercatat dan disimpan di blockchain records	Sesuai	PASS
Blockchain	Verifikasi hash di front-end	Klik detail transaksi dan hash	Tautan ke Etherscan muncul dan valid	Sesuai	PASS
Stok	Stok keluar pada penjual	Order selesai 160 kg	stok_akhir berkurang 160 kg	Sesuai	PASS
Stok	Stok masuk pada pembeli	Order selesai 160 kg	stok_akhir bertambah 160 kg	Sesuai	PASS
Agregasi	Pengumpul melakukan agregasi	Pengisian form agregasi	Hubungan dicatat di product_sources	Sesuai	PASS
Transformasi	Industri melakukan transformasi produk	Pengisian form produksi industri	Produk turunan tercipta, stok berubah	Sesuai	PASS
Traceability	Melihat riwayat lengkap produk	Klik “Jejak Produk”	Riwayat tampil termasuk sumber dan blockchain	Sesuai	PASS

Hasil pengujian menunjukkan bahwa fungsi autentikasi dan manajemen akses berjalan sesuai dengan rancangan sistem. Registrasi dan login berhasil dilakukan ketika pengguna memasukkan kredensial yang valid, serta token autentikasi diterbitkan oleh sistem. Mekanisme *role based access* juga berfungsi dengan baik dalam membatasi akses fitur sesuai peran pengguna, di mana petani tidak dapat mengakses fitur transformasi produk, sementara industri memiliki akses terhadap form transformasi.

Fitur input produk mampu menyimpan data produk baru ke dalam basis data dan menampilkannya secara langsung pada katalog sistem. Proses validasi input berhasil menolak data yang tidak lengkap, sehingga kualitas data yang tersimpan tetap terjaga. Sistem juga mampu menjalankan alur transaksi secara lengkap, mulai dari pembuatan pesanan dengan status *PENDING*, konfirmasi pengiriman oleh penjual (*DIKIRIM*), konfirmasi penerimaan oleh pembeli (*DITERIMA* dan *CONFIRMED*), hingga pembaruan stok pada pihak penjual dan pembeli sesuai dengan kuantitas transaksi yang terjadi.

Pada tahap konfirmasi transaksi, backend berhasil memanggil *smart contract* dan menyimpan nilai *tx_hash* hasil eksekusi ke dalam tabel *blockchain_records*. Antarmuka sistem menampilkan tautan menuju *blockchain explorer* (Etherscan) sehingga pengguna dapat melakukan verifikasi bukti pencatatan transaksi pada jaringan Ethereum Sepolia. Selain itu, fitur transformasi memungkinkan industri menghasilkan produk turunan sekaligus memperbarui stok bahan baku, sementara fitur agregasi pada pengumpul mencatat hubungan multi-sumber ke dalam tabel *product_sources* sesuai dengan desain ketelusuran bertingkat. Fitur *traceability* kemudian menampilkan riwayat lengkap perjalanan produk, termasuk informasi transaksi, komposisi bahan baku, dan status pencatatan on-chain, serta mampu menelusuri hubungan produk ke level sebelumnya secara konsisten.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh skenario dinyatakan *PASS* dan tidak ditemukan kesalahan logika maupun ketidaksesuaian terhadap kebutuhan fungsional pada skenario yang diuji. Temuan ini menegaskan bahwa prototipe sistem telah berfungsi sesuai dengan alur proses dan kebutuhan fungsional yang dirancang.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan prototipe sistem *e-commerce* rantai pasok kulit kayu manis berbasis teknologi blockchain yang dirancang untuk mendukung transparansi dan ketelusuran pencatatan transaksi. Sistem yang dikembangkan mencakup fungsi autentikasi multi peran, transaksi jual beli, manajemen stok, transformasi dan agregasi produk, serta pencatatan transaksi ke blockchain. Berdasarkan hasil pengujian fungsional menggunakan pendekatan *black box testing*, seluruh skenario pengujian dinyatakan *PASS*, yang menunjukkan bahwa fungsi-fungsi utama sistem telah berjalan sesuai dengan kebutuhan fungsional yang dirumuskan. Penelitian ini dibatasi pada tahap perancangan dan pengujian fungsional prototipe, sehingga evaluasi dampak operasional secara kuantitatif, seperti efisiensi biaya, waktu, dan peningkatan kinerja rantai pasok, direkomendasikan sebagai agenda penelitian lanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Universitas Andalas melalui skema Penelitian Dosen Fakultas Teknologi Pertanian Tahun Anggaran 2025 di bawah koordinasi Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Andalas.

DAFTAR PUSTAKA

- Albshaier, L., Almarri, S., & Hafizur Rahman, M. M. (2024). A Review of Blockchain's Role in E-Commerce Transactions: Open Challenges, and Future Research Directions. In *Computers* (Vol. 13, Number 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/computers13010027>
- Asrini, Y. N., Hodijah, S., Prodi, N., Pembangunan, E., Ekonomi, F., & Bisnis, D. (2021). Analisis ekspor kayu manis Indonesia ke Amerika Serikat. In *Journal Perdagangan Industri dan Moneter* (Vol. 9, Number 2).

- Capece, G., Ghiron, N. L., & Pasquale, F. (2020a). Blockchain technology: Redefining trust for digital certificates. *Sustainability (Switzerland)*, 12(21), 1–12. <https://doi.org/10.3390/su12218952>
- Capece, G., Ghiron, N. L., & Pasquale, F. (2020b). Blockchain technology: Redefining trust for digital certificates. *Sustainability (Switzerland)*, 12(21), 1–12. <https://doi.org/10.3390/su12218952>
- Dong, S., Abbas, K., Li, M., & Kamruzzaman, J. (2023). Blockchain technology and application: an overview. *PeerJ Computer Science*, 9. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1705>
- Dong, Y., Ahmad, S. F., Irshad, M., Al-Razgan, M., Ali, Y. A., & Awwad, E. M. (2023). The Digitalization Paradigm: Impacts on Agri-Food Supply Chain Profitability and Sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/su152115627>
- Ekawati, R., Arkeman, Y., Suprihatin, & Sunarti, T. C. (2023). Implementation of ethereum blockchain on transaction recording of white sugar supply chain data. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 29(1), 396–403. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v29.i1.pp396-403>
- Gómez, C., & Garbinato, B. (2025). Blockchain technology to improve traceability in the coffee supply chain: A systematic literature review. In *International Journal of Information Management Data Insights* (Vol. 5, Number 2). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2025.100359>
- Ijabadeniyi, O. A. (2023). *Food science and technology: Fundamentals and innovation*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Kabir, R., Hasan, A. S. M. T., Islam, M. R., & Watanobe, Y. (2021). A Blockchain-based approach to secure cloud connected IoT devices. *2021 International Conference on Information and Communication Technology for Sustainable Development (ICICT4SD)*, 366–370.
- Kumar, V., Raj, R., Verma, P., Garza-Reyes, J. A., & Shah, B. (2024). Assessing risk and sustainability factors in spice supply chain management. *Operations Management Research*, 17(1), 233–252. <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00424-6>
- Menggala, S. R., & Damme, P. V. (2018). Improving Indonesian cinnamon (*c. burmannii* (Nees & t. nees) Blume) value chains for Greater Farmers Incomes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 129(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/129/1/012026>
- Mirabelli, G., & Solina, V. (2020). Blockchain and agricultural supply chains traceability: Research trends and future challenges. *Procedia Manufacturing*, 42, 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.054>
- Mohamed, E. S., Belal, A. A., Kotb Abd-Elmabod, S., El-Shirbeny, M. A., Gad, A., & Zahran, M. B. (2021). Smart farming for improving agricultural management. In *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* (Vol. 24, Number 3, pp. 971–981). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.007>
- Nabavi, S. F., Di Lorenzo, A., Izadi, M., Sobarzo-Sánchez, E., Daglia, M., & Nabavi, S. M. (2015). Antibacterial effects of cinnamon: From farm to food, cosmetic and pharmaceutical industries. In *Nutrients* (Vol. 7, Number 9, pp. 7729–7748). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu7095359>
- Nehra, V., Sharma, A. K., & Tripathi, R. K. (2020). Blockchain Implementation for Internet of Things Applications. In *Handbook of Research on Blockchain Technology* (pp. 113–132). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819816-2.00005-8>
- Nelaturu, K., Du, H., & Le, D. P. (2022a). A Review of Blockchain in Fintech: Taxonomy, Challenges, and Future Directions. In *Cryptography* (Vol. 6, Number 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/cryptography6020018>

- Nelaturu, K., Du, H., & Le, D. P. (2022b). A Review of Blockchain in Fintech: Taxonomy, Challenges, and Future Directions. In *Cryptography* (Vol. 6, Number 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/cryptography6020018>
- Nur, H. I., Nugroho, S., Devira, F., Lazuardi, S. D., Wuryaningrum, P., Riduwan, M., & Devitasari, D. V. (2021). E-commerce logistics system for Indonesia's cinnamon exports. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 649(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/649/1/012040>
- Rochdiani, D., & Wulandari, E. (2023). Competitiveness Analysis and Factors Affecting Indonesian Cinnamon Exports. *Economies*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/economies11020055>
- Sharma, S., & Modgil, S. (2013). Supply chain efforts among downstream and upstream: a developed view. *International Journal of Engineering Management and Economics*, 4(1), 54. <https://doi.org/10.1504/ijeme.2013.055986>
- Sigalov, K., Ye, X., König, M., Hagedorn, P., Blum, F., Severin, B., Hettmer, M., Hückinghaus, P., Wölkerling, J., & Groß, D. (2021). Automated payment and contract management in the construction industry by integrating building information modeling and blockchain-based smart contracts. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/app11167653>
- Siregar, Y. H., Purwandoko, P. B., Harsonowati, W., Nanda, M. A., Tjahjohutomo, R., Budiman, D. A., Rahmawati, L., & Susanti, N. D. (2025). A review and bibliometric analysis of traceability system development in the agricultural and food sector in Indonesia. In *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* (Vol. 37, Number 2, pp. 1064–1076). Institute of Advanced Engineering and Science. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v37.i2.pp1064-1076>
- Supriana, T., Pane, T. C., & Khaliqi, M. (2022). Export of Indonesian cinnamon in international market: competitiveand performance. *Journal of Central European Agriculture*, 23(3), 704–713. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.3.3601>
- Vahdanjoo, M., Sørensen, C. G., & Nørremark, M. (2025). Digital transformation of the agri-food system. In *Current Opinion in Food Science* (Vol. 63). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2025.101287>
- Yulian, C., Irwanto, R., Angtonius, F., Young Siahaan, P., Ng, J., Thamrin Nomor, J., Sei Rengas, K. I., Medan Area, K., & Utara, S. (2024). Analisis Implementasi Teknologi Blockchain dalam Meningkatkan Transparansi dan Kepercayaan di Sektor Keuangan di Indonesia. *Jurnal Sistem Informasi Dan Ilmu Komputer*, (4), 9–31. <https://doi.org/10.59581/jusiik-widyakarya.v2i2.4158>
- Zou, W., Lo, D., Xuan-Bach, M., Le, D., Zou, W. ;, Lo, D. ;, Kochhar, P., Singh, ;, Le, X.-B. D. ;, Xia, X. ;, Feng, Y. ;, Chen, Z. ;, Xu, B., Kochhar, S., Le, Xuan-Bach D, Xia, X., Feng, Y., Chen, Z., & Le, Xuan-Bach Dinh. (2021). Smart contract development: Challenges and opportunities Smart contract development: Challenges and opportunities Pavneet Singh KOCHHAR Citation Citation Author Author Smart Contract Development: Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 47(10), 2084–2106. https://ink.library.smu.edu.sg/sis_research
- Zulelli, R., Hayat, A., & Yusniar, M. W. (2024). Challenges In Achieving Sustainability For Cinnamon Farmers. *Bengkulu International Conference on Economics, Management, Business and Accounting (BICEMBA)*, 1115–1128.