

Implementasi *Smart Contract Blockchain* dan NFC dalam Verifikasi Keaslian Produk Pakaian Suatu Merek

Ida Bagus Paalaka^{*1}, Fajar Purnama², Yogiswara Dharma Putra³
Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Indonesia^{1,2,3}
e-mail: paalaka.2205551003@student.unud.ac.id^{*1}, fajarpurnama@unud.ac.id²,
yogiswaradharmaputra@unud.ac.id³

ABSTRAK

Pemalsuan produk pakaian menjadi persoalan penting bagi industri fesyen karena berdampak pada kerugian produsen, penurunan kepercayaan konsumen, dan lemahnya perlindungan terhadap identitas merek. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem verifikasi keaslian produk pakaian berbasis situs web dengan mengintegrasikan *smart contract blockchain*, kode QR, dan NFC. Penelitian menggunakan pendekatan terapan berbasis pengembangan sistem melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian fungsional, analisis risiko, dan evaluasi kegunaan. Sistem dikembangkan menggunakan *smart contract ProductVerification.sol* berbasis Solidity pada jaringan Polygon Amoy, React.js sebagai antarmuka, Ethers.js sebagai penghubung *blockchain*, dan MetaMask sebagai dompet kripto. Mekanisme verifikasi dilakukan dengan mencocokkan UID NFC, ID produk pada kode QR, dan *wallet address* pemilik yang tersimpan pada *blockchain*. Hasil pengujian *black box* menunjukkan seluruh 21 skenario pengujian terpenuhi. Hasil *usability testing* terhadap 20 responden menunjukkan seluruh aspek berada pada kategori sangat layak, yaitu *learnability* 92,33%, *efficiency* 94,50%, *memorability* 89,80%, *errors* 92,00%, dan *satisfaction* 92,14%. Sistem ini layak sebagai prototipe verifikasi produk pakaian, meskipun keamanan fisik tag NFC masih perlu ditingkatkan. Pengembangan selanjutnya disarankan menggunakan NFC tipe *tamper* dan pengujian skalabilitas agar keterikatan produk fisik dan data digital menjadi lebih kuat.

Kata kunci : Autentikasi Produk; Blockchain; Kode QR; NFC; Smart Contract.

ABSTRACT

Counterfeit clothing products remain a serious challenge for the fashion industry because they harm brand owners, reduce consumer trust, and weaken product identity protection. This study aims to develop a web-based clothing product authentication system by integrating smart contract blockchain, QR code, and NFC technologies. The research applied a system development approach consisting of requirements analysis, design, implementation, functional testing, risk analysis, and usability evaluation. The system was implemented using ProductVerification.sol smart contract written in Solidity on the Polygon Amoy network, React.js for the interface, Ethers.js for blockchain interaction, and MetaMask as the crypto wallet. Product authentication was performed by synchronizing three elements, namely the NFC UID, product ID embedded in the QR code, and the owner's wallet address stored on the blockchain. Black box testing showed that all 21 functional scenarios were successfully fulfilled. Usability testing involving 20 respondents produced very feasible results for learnability 92.33%, efficiency 94.50%, memorability 89.80%, errors 92.00%, and satisfaction 92.14%. The system is feasible as a prototype, although NFC physical security still requires improvement. Future work should adopt tamper-resistant tags and scalability testing procedures.

Keywords : Blockchain; NFC; Product Authentication; QR Code; Smart Contract.

PENDAHULUAN

Industri fesyen global menghadapi tantangan serius akibat peredaran produk palsu yang semakin mudah ditemukan di pasar luring maupun daring. Pemalsuan produk tidak hanya berdampak pada kerugian ekonomi bagi produsen resmi, tetapi juga menurunkan kepercayaan konsumen terhadap merek yang sah. Nilai perdagangan barang palsu secara global dilaporkan mencapai ratusan miliar dolar setiap tahun, dengan produk fesyen seperti pakaian, sepatu, tas, dan aksesoris sebagai salah satu kategori yang paling rentan

terhadap pemalsuan (OECD & European Union Intellectual Property Office, 2021). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemalsuan produk bukan hanya menjadi persoalan hukum dan ekonomi, melainkan juga berkaitan dengan perlindungan konsumen, reputasi merek, dan keberlanjutan usaha. Dalam konteks usaha lokal, permasalahan serupa juga dapat dialami oleh pelaku usaha mikro, kecil, dan menengah yang bergerak di bidang pakaian, termasuk Earth Club sebagai salah satu merek lokal yang berisiko menghadapi praktik peniruan produk. Hal ini sejalan dengan temuan Wasnik et al. (2022) yang menjelaskan bahwa sistem deteksi produk palsu perlu dikembangkan untuk menjaga transparansi, meningkatkan kepercayaan konsumen, dan mengurangi risiko kerugian produsen akibat penyalahgunaan identitas produk.

Sistem verifikasi keaslian produk yang umum digunakan, seperti kode QR dan nomor seri, masih memiliki kelemahan karena relatif mudah disalin, dicetak ulang, atau ditempelkan pada produk tiruan. Katageri et al. (2024) menegaskan bahwa mekanisme verifikasi berbasis kode digital tanpa perlindungan tambahan masih memiliki celah terhadap duplikasi oleh pihak yang tidak bertanggung jawab. Kelemahan tersebut menunjukkan perlunya sistem autentikasi yang tidak hanya mampu menampilkan informasi produk, tetapi juga mampu memastikan keterhubungan antara identitas digital, kepemilikan yang sah, dan produk fisik yang diverifikasi. Dalam konteks ini, teknologi *blockchain* menjadi salah satu alternatif yang relevan karena memiliki karakteristik pencatatan data yang bersifat *immutable*, transparan, dan dapat diverifikasi oleh pihak yang berwenang maupun pengguna sistem (Tanley et al., 2024). Melalui pencatatan berbasis *blockchain*, setiap produk dapat diberi identitas unik yang tersimpan secara permanen sehingga perubahan, transfer kepemilikan, atau proses verifikasi dapat ditelusuri dengan lebih aman.

Penerapan *smart contract* pada *blockchain* semakin memperkuat sistem verifikasi karena memungkinkan proses pencatatan dan validasi berjalan secara otomatis berdasarkan aturan yang telah ditentukan. *Smart contract* merupakan protokol digital yang dapat menjalankan perjanjian atau instruksi tertentu tanpa memerlukan perantara ketika kondisi yang ditetapkan telah terpenuhi (Oktaviani & Setyono, 2021). Dalam sistem verifikasi keaslian produk, *smart contract* dapat digunakan untuk mencatat data produk, identitas pemilik, alamat dompet digital atau *wallet address*, serta identitas fisik unik yang melekat pada produk. Singh et al. (2025) menunjukkan bahwa integrasi *blockchain* dan kode QR dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi produk palsu secara waktu nyata melalui jaringan terdesentralisasi. (Gupta et al., 2024) juga menjelaskan bahwa mekanisme pemindaian kode QR banyak digunakan karena mudah diakses pengguna, meskipun tantangan utamanya terletak pada keamanan kode QR tersebut agar tidak mudah dipalsukan atau digunakan ulang pada produk lain.

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem deteksi produk palsu berbasis *blockchain*. Karhunesh (2024) mengusulkan sistem verifikasi produk menggunakan *blockchain*, *smart contract*, kode QR, MetaMask, dan jaringan Ethereum untuk mencatat siklus hidup produk dari produsen hingga konsumen. Katageri et al. (2024) mengembangkan sistem dengan modul registrasi produk, verifikasi, dan antarmuka pengguna yang memanfaatkan kode QR atau RFID untuk mencocokkan data produk dengan catatan pada *blockchain*. Penelitian lain oleh Ramya et al. (2024) memanfaatkan kode QR dan kriptografi hibrida ECC AES untuk meningkatkan autentikasi produk secara digital, sedangkan Bhere et al. (2025) menggunakan SHA 256, kode QR, dan *smart contract* pada jaringan Ethereum untuk mendukung identifikasi produk palsu. Berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa *blockchain* berpotensi meningkatkan transparansi dan keandalan verifikasi produk. Namun, sebagian besar sistem masih mengandalkan kode QR sebagai media autentikasi utama sehingga tetap memiliki risiko duplikasi apabila kode tersebut disalin dan ditempelkan pada produk tiruan.

Penggunaan NFC atau *Near Field Communication* menjadi salah satu pendekatan yang dapat memperkuat hubungan antara data digital dan produk fisik. Tanirika et al. (2022) melalui sistem NEARCHAIN menunjukkan bahwa integrasi NFC dan *blockchain* dapat digunakan untuk melacak serta memverifikasi keaslian produk dalam rantai pasok farmasi. NFC memiliki keunggulan karena dapat menyimpan identitas unik yang lebih sulit dipalsukan dibandingkan kode visual biasa. Dalam penelitian ini, tag NFC yang digunakan adalah NXP NTAG 424 DNA dalam bentuk *paper label*. Chip tersebut memiliki *Unique Identifier* atau UID permanen yang tertanam sejak proses produksi dan tidak dapat diubah (NXP Semiconductors, 2019). Dengan demikian, NFC dapat menjadi identitas fisik unik yang mengikat produk pakaian dengan data digital yang tercatat pada *blockchain*. Meskipun demikian, penerapan NFC pada produk tekstil memiliki tantangan tersendiri. Secara ideal, produk pakaian seharusnya menggunakan tag

seperti NTAG 424 DNA Tag Tamper atau NTAG 424 DNA Heat Press Interactive NFC Garment Badge yang dirancang khusus untuk kebutuhan garmen. Namun, keterbatasan ketersediaan tag tersebut di Indonesia menyebabkan penelitian ini menggunakan pendekatan alternatif melalui NFC *paper label* yang ditempelkan pada pakaian, kemudian dilapisi film *Direct to Film* dan diproses menggunakan metode *heat press* untuk meningkatkan daya lekat serta menyulitkan pelepasan tanpa merusak tag.

Kajian terhadap penelitian berbasis *blockchain* juga menunjukkan bahwa teknologi ini telah diterapkan pada berbagai objek verifikasi selain produk fisik. Nugraha et al. (2025) menerapkan *smart contract* untuk transaksi tiket konser berbasis NFT guna menjamin keaslian tiket dan mengurangi risiko penjualan ulang ilegal. Pangidoan et al. (2025) mengembangkan prototipe penyimpanan dokumen berbasis *blockchain* dan IPFS untuk mencatat metadata dokumen secara transparan. Putra dan Yung (2025) serta Wijayanto (2024) mengembangkan sistem verifikasi sertifikat berbasis *blockchain* yang dapat memvalidasi keaslian dokumen secara otomatis. Alfina dan Syafrinal (2022) mengusulkan model verifikasi ijazah digital berbasis konsep *blockchain*, sementara Noorhizama et al. (2023) menggunakan kode QR pada Ethereum untuk memverifikasi sertifikat Ph.D. Djajadi et al. (2023) merancang arsitektur otomatisasi validasi e sertifikat berbasis *blockchain*, sedangkan Swari dan Suartana (2025) mengembangkan aplikasi terdesentralisasi untuk pengelolaan sertifikat digital berbasis NFT. Selain itu, Althero et al. (2023) membahas autentikasi akun media sosial menggunakan *blockchain*, Vaher et al. (2025) mengusulkan pengamanan catatan akademik dengan *blockchain*, dan Bouafia dan Gulalov (2024) mengembangkan aplikasi terdesentralisasi untuk otorisasi dan autentikasi. Berbagai studi tersebut memperlihatkan luasnya potensi *blockchain* sebagai teknologi verifikasi, tetapi sebagian masih bersifat konseptual, belum menguji keterikatan kuat antara objek fisik dan data digital, serta belum sepenuhnya menyelesaikan persoalan biaya transaksi, skalabilitas, dan kerentanan metode autentikasi.

Berdasarkan celah tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem verifikasi keaslian produk pakaian berbasis situs web dengan mengintegrasikan *smart contract blockchain*, kode QR, dan NFC. Sistem dikembangkan pada jaringan Polygon Amoy karena jaringan Polygon dinilai lebih efisien dari sisi biaya transaksi dibandingkan Ethereum, terutama dalam konteks pengembangan prototipe yang memerlukan pencatatan data produk dan transaksi kepemilikan secara berulang. Mekanisme sistem dimulai dari proses pendaftaran produk oleh admin, yaitu data produk, *wallet address* pemilik awal, dan UID NFC dicatat ke dalam *blockchain* melalui *smart contract*. Pada tahap verifikasi, pengguna perlu menghubungkan dompet digital, memindai NFC untuk memperoleh UID produk, kemudian memindai kode QR yang terasosiasi dengan produk tersebut. Sistem selanjutnya melakukan pencocokan terhadap tiga komponen utama, yaitu UID NFC, ID produk, dan *wallet address* pemilik yang tercatat pada *blockchain*. Produk hanya dinyatakan asli apabila seluruh komponen tersebut sesuai dengan data yang tersimpan dalam sistem.

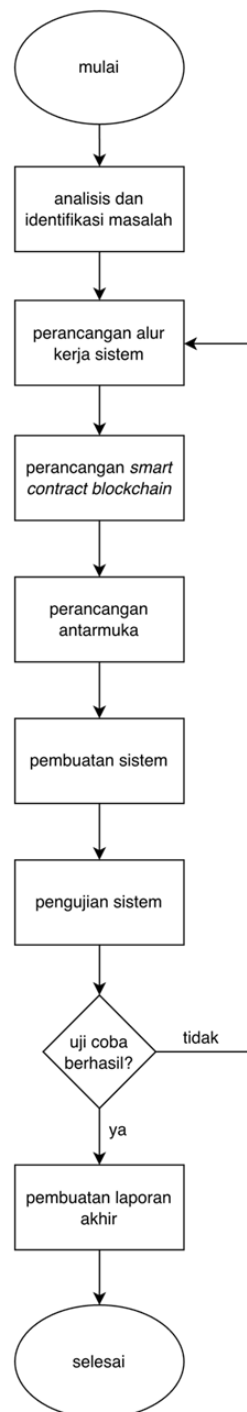
Kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan verifikasi digital melalui kode QR, validasi kepemilikan melalui *wallet address*, dan autentikasi fisik melalui UID NFC dalam satu sistem berbasis *smart contract blockchain*. Pendekatan tersebut dirancang untuk mengurangi risiko duplikasi kode QR, penyalahgunaan data produk, serta pemisahan antara produk fisik dan identitas digitalnya. Selain itu, sistem juga mendukung fitur transfer kepemilikan agar perubahan pemilik produk dapat tercatat secara transparan dan aman. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada pembuatan sistem verifikasi, tetapi juga pada penguatan hubungan antara produk, pemilik, dan catatan digital yang tersimpan di *blockchain*. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan solusi praktis bagi merek pakaian lokal dalam menekan peredaran produk palsu, meningkatkan kepercayaan konsumen, serta mendorong pemanfaatan teknologi *blockchain* dan NFC dalam ekosistem perdagangan digital yang lebih aman, transparan, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian terapan berbasis pengembangan sistem yang bertujuan merancang sistem verifikasi keaslian produk pakaian berbasis situs web dengan memanfaatkan *smart contract blockchain*, kode QR, dan NFC. Penelitian dilaksanakan di Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Udayana mulai September 2025. Data penelitian diperoleh melalui wawancara dengan pemilik usaha sebagai studi kasus dan studi literatur terhadap artikel jurnal, dokumentasi teknis, serta referensi yang berkaitan dengan *blockchain*, *smart contract*, kode QR, NFC, dan autentikasi produk. Data

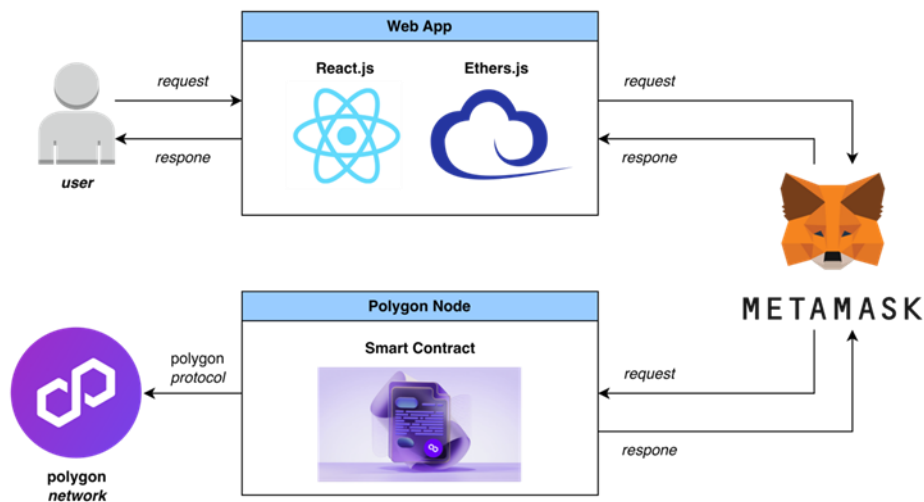
primer digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem dan permasalahan pemalsuan produk, sedangkan data sekunder digunakan sebagai dasar perancangan dan pengembangan sistem.

Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, perancangan *smart contract*, implementasi, pengujian, analisis risiko, dan evaluasi kegunaan sistem. Alur pengembangan sistem disajikan pada Gambar 1. Gambar tersebut menunjukkan bahwa proses penelitian dimulai dari identifikasi kebutuhan sistem, perancangan alur kerja, perancangan *smart contract blockchain*, pembuatan antarmuka, implementasi sistem, pengujian, dan penyusunan laporan. Perancangan sistem dilakukan untuk memastikan setiap fitur memiliki alur kerja yang jelas, terutama fitur koneksi dompet kripto, pendaftaran produk, pembuatan kode QR, pencatatan UID NFC, verifikasi produk, transfer kepemilikan, dan penelusuran transaksi melalui Polygonscan.



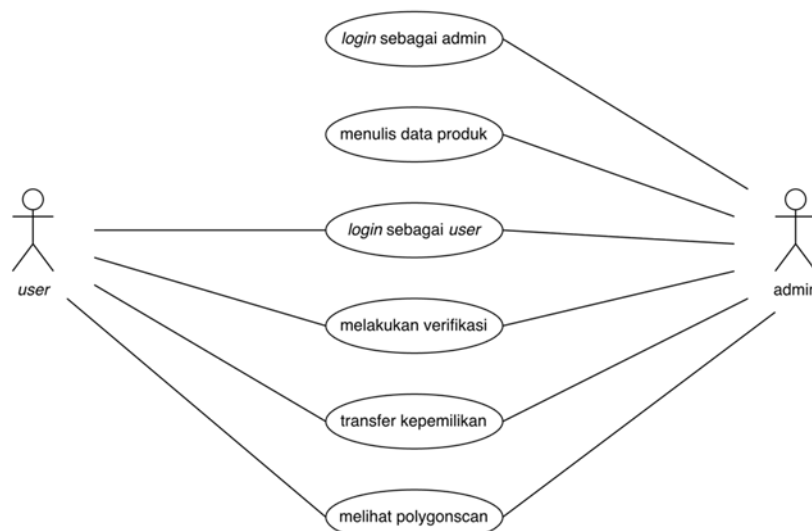
Gambar 1. Alur Pengembangan Sistem

Sistem dikembangkan dalam bentuk aplikasi web menggunakan React.js sebagai antarmuka pengguna dan Ethers.js sebagai penghubung antara aplikasi dengan *smart contract*. Pengguna dan admin berinteraksi dengan sistem melalui MetaMask yang terhubung pada jaringan Polygon Amoy. Arsitektur sistem disajikan pada Gambar 2. Gambar tersebut menjelaskan hubungan antara aplikasi web, MetaMask, Polygon Node, *smart contract*, kode QR, dan NFC. Dalam sistem ini, *smart contract* berfungsi mencatat ID produk, UID NFC, data produk, dan *wallet address* pemilik agar proses verifikasi dapat dilakukan secara transparan melalui jaringan *blockchain*.



Gambar 2. Arsitektur Sistem Verifikasi Keaslian Produk

Interaksi pengguna dengan sistem dimodelkan melalui *use case diagram* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3. Sistem memiliki dua aktor utama, yaitu admin dan pengguna umum. Admin berperan dalam menambahkan data produk, menghasilkan kode QR, melakukan verifikasi, melakukan transfer kepemilikan, dan melihat transaksi melalui Polygonscan. Pengguna umum dapat menghubungkan dompet kripto, melakukan verifikasi produk, melakukan transfer kepemilikan, dan melihat riwayat transaksi. Pembagian peran ini diperlukan agar sistem memiliki batasan akses yang jelas antara pengelola produk dan pengguna.

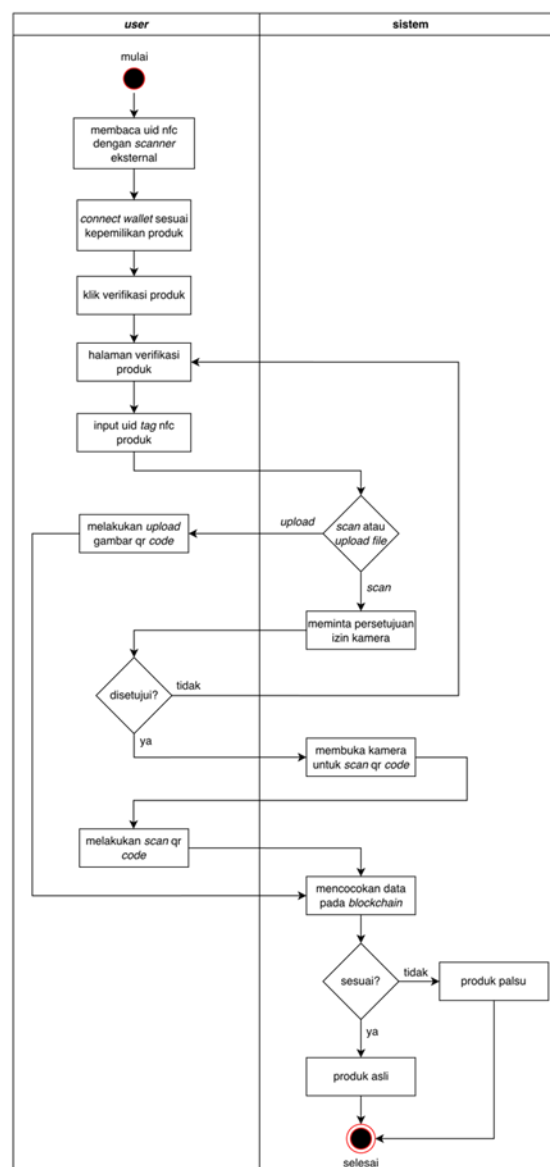


Gambar 3. Use Case Diagram Sistem

Proses pendaftaran produk dilakukan oleh admin dengan membaca UID NFC menggunakan pemindai NFC eksternal, kemudian memasukkan data produk melalui formulir sistem atau berkas CSV. Data yang dimasukkan meliputi ID produk, UID NFC, nama produk, kategori, ukuran, warna, dan alamat dompet

pemilik awal. Setelah transaksi dikonfirmasi melalui MetaMask, data produk dicatat ke dalam jaringan Polygon melalui *smart contract* dan sistem menghasilkan kode QR yang terhubung dengan produk. *Smart contract* dirancang dengan beberapa fungsi utama, yaitu *addProducts* untuk menambahkan data produk, *verifyProductByNFC* untuk membaca data berdasarkan UID NFC, *checkProductByID* untuk membaca detail produk berdasarkan ID produk, dan *transferOwnershipBatch* untuk memindahkan kepemilikan produk.

Alur verifikasi keaslian produk disajikan pada Gambar 4. Proses verifikasi dimulai ketika pengguna membaca UID NFC pada produk, menghubungkan dompet kripto melalui MetaMask, dan memindai kode QR yang terpasang pada produk. Sistem kemudian mencocokkan tiga komponen utama, yaitu UID NFC, ID produk dari kode QR, dan *wallet address* pengguna dengan data yang tersimpan pada *blockchain*. Produk dinyatakan asli apabila seluruh komponen tersebut sesuai. Apabila salah satu komponen tidak sesuai, sistem menampilkan status bahwa produk tidak valid atau berpotensi palsu.



Gambar 4. Alur Verifikasi Keaslian Produk

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *black box testing* untuk memastikan setiap fitur berjalan sesuai kebutuhan fungsional. Pengujian mencakup koneksi dompet kripto, penulisan data produk, transfer kepemilikan, dan verifikasi keaslian produk. Pada fitur verifikasi, pengujian dilakukan dengan mengombinasikan UID NFC, kode QR, dan *wallet address* untuk memastikan sistem hanya menampilkan status asli apabila seluruh data sesuai. Selain itu, analisis risiko dilakukan terhadap beberapa potensi

kendala, seperti biaya transaksi, pencatatan produk melalui *smart contract* lain, kebocoran akses admin, serta duplikasi produk dan kode QR. Mitigasi dilakukan dengan menggunakan jaringan Polygon Amoy, membatasi validasi pada *smart contract* resmi, membatasi akses admin, dan memperkuat verifikasi melalui sinkronisasi UID NFC, kode QR, dan *wallet address*.

Evaluasi kegunaan sistem dilakukan melalui *usability testing* dengan melibatkan 20 responden dari masyarakat umum. Responden diminta mencoba sistem berdasarkan skenario penggunaan, yaitu menambahkan data produk, melakukan verifikasi keaslian produk, dan melakukan transfer kepemilikan. Setelah itu, responden mengisi kuesioner melalui Google Form. Instrumen kuesioner disusun berdasarkan lima aspek kegunaan, yaitu *learnability*, *efficiency*, *memorability*, *errors*, dan *satisfaction*. Hasil kuesioner diolah untuk mengetahui tingkat kelayakan sistem berdasarkan pengalaman pengguna.

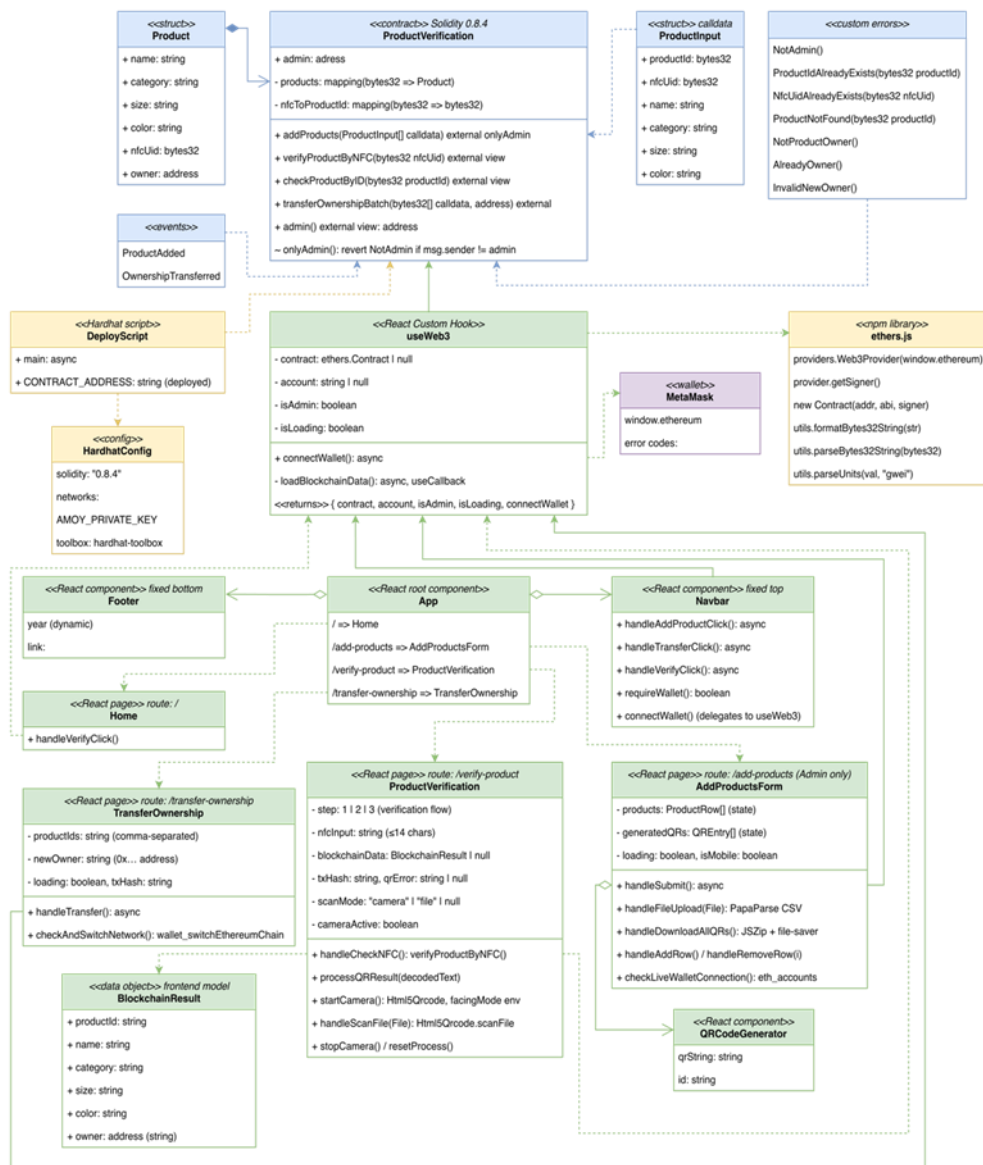
HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Smart Contract dan Integrasi Sistem

Hasil utama dari penelitian ini adalah sistem verifikasi keaslian produk pakaian berbasis situs web yang mengintegrasikan *smart contract blockchain*, kode QR, dan NFC. *Smart contract* dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Solidity versi 0.8.4 dengan nama *ProductVerification.sol*. Kontrak tersebut dirancang untuk mengelola pendaftaran produk, verifikasi keaslian produk, dan transfer kepemilikan produk pada jaringan Polygon Amoy. Struktur utama *smart contract* terdiri atas *Product*, *ProductInput*, *mapping products*, dan *mapping nfcToProductId*. Struktur tersebut memungkinkan sistem menyimpan identitas produk, UID NFC, kategori, ukuran, warna, serta *wallet address* pemilik secara terorganisasi di dalam *blockchain*.

Fungsi utama yang dihasilkan dalam *smart contract* meliputi *addProducts*, *verifyProductByNFC*, *checkProductByID*, dan *transferOwnershipBatch*. Fungsi *addProducts* digunakan oleh admin untuk menambahkan satu atau beberapa data produk ke dalam *blockchain*. Fungsi ini dilengkapi validasi agar ID produk dan UID NFC tidak dapat didaftarkan lebih dari satu kali. Fungsi *verifyProductByNFC* digunakan untuk membaca data produk berdasarkan UID NFC, sedangkan *checkProductByID* digunakan untuk membaca detail produk berdasarkan ID produk yang diperoleh dari kode QR. Fungsi *transferOwnershipBatch* digunakan untuk memindahkan kepemilikan produk dari pemilik lama kepada pemilik baru. Dengan adanya fungsi tersebut, sistem tidak hanya memverifikasi keberadaan data produk, tetapi juga memeriksa hubungan antara identitas fisik produk, identitas digital, dan kepemilikan yang tercatat pada *blockchain*.

Smart contract di-deploy ke jaringan Polygon Amoy menggunakan Hardhat. Konfigurasi *deployment* dilakukan melalui berkas *hardhat.config.js* dengan menentukan versi Solidity, RPC jaringan Polygon Amoy, *chainId*, dan akun *deployer* yang digunakan untuk membayar biaya gas. Pemanfaatan jaringan Polygon Amoy dalam penelitian ini mendukung proses pengujian karena transaksi dapat dilakukan pada jaringan *testnet* tanpa menggunakan aset kripto asli. Integrasi antara *smart contract* dan aplikasi situs web dilakukan menggunakan *React.js* sebagai antarmuka pengguna, *Ethers.js* sebagai penghubung aplikasi dengan *blockchain*, dan *MetaMask* sebagai dompet kripto untuk autentikasi serta konfirmasi transaksi. Hubungan antar komponen sistem ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Class Diagram Integrasi Smart Contract dan Frontend

Gambar 5 menunjukkan bahwa sistem terdiri atas beberapa lapisan, yaitu lapisan *smart contract blockchain*, konfigurasi *deployment*, integrasi *frontend* dengan *blockchain*, struktur aplikasi React, serta objek data pada sisi *frontend*. Lapisan *smart contract* berperan sebagai pusat penyimpanan dan validasi data produk. Lapisan integrasi menggunakan Ethers.js dan MetaMask untuk menghubungkan pengguna dengan jaringan Polygon Amoy. Sementara itu, aplikasi React menyediakan halaman utama, halaman penambahan produk, halaman verifikasi, dan halaman transfer kepemilikan. Integrasi ini menunjukkan bahwa sistem telah berhasil menghubungkan proses bisnis pada *smart contract* dengan antarmuka pengguna berbasis situs web.

Antarmuka dan Mekanisme Verifikasi Produk

Sistem yang dikembangkan memiliki beberapa antarmuka utama, yaitu halaman utama, koneksi dompet kripto, penambahan produk, transfer kepemilikan, verifikasi produk, serta penelusuran transaksi melalui Polygonscan. Pada halaman utama, pengguna dapat mengakses fitur Add Products, Transfer Owner, Verify Product, dan Connect Wallet. Hak akses pengguna dibedakan berdasarkan *wallet address* yang terhubung. Admin dapat menambahkan produk ke *smart contract*, sedangkan pengguna umum dapat melakukan verifikasi produk dan transfer kepemilikan.

Proses pendaftaran produk dilakukan melalui halaman Add Products. Admin mengisi data produk berupa ID produk, UID NFC, nama produk, kategori, ukuran, dan warna. Sistem juga menyediakan fitur

penambahan beberapa baris produk dan impor data melalui berkas CSV. Setelah data dikirim, MetaMask menampilkan konfirmasi transaksi. Apabila transaksi dikonfirmasi, data produk dicatat ke dalam *blockchain* dan sistem menghasilkan kode QR yang berisi ID produk serta *transaction hash*. Antarmuka proses pendaftaran produk dan pembentukan kode QR disajikan pada Gambar 6.

Gambar 6. Antarmuka Pendaftaran Produk dan Pembentukan Kode QR

Gambar 6 menunjukkan bahwa sistem mampu memfasilitasi proses pendaftaran produk secara digital, mulai dari input data produk, konfirmasi transaksi melalui MetaMask, hingga pembentukan kode QR. Kode QR yang dihasilkan tidak berdiri sendiri sebagai satu-satunya alat autentikasi, tetapi digunakan bersama UID NFC dan *wallet address* pemilik. Dengan demikian, duplikasi kode QR saja tidak cukup untuk membuat produk palsu terbaca sebagai produk asli karena sistem tetap melakukan pencocokan terhadap UID NFC dan kepemilikan yang tercatat pada *blockchain*.

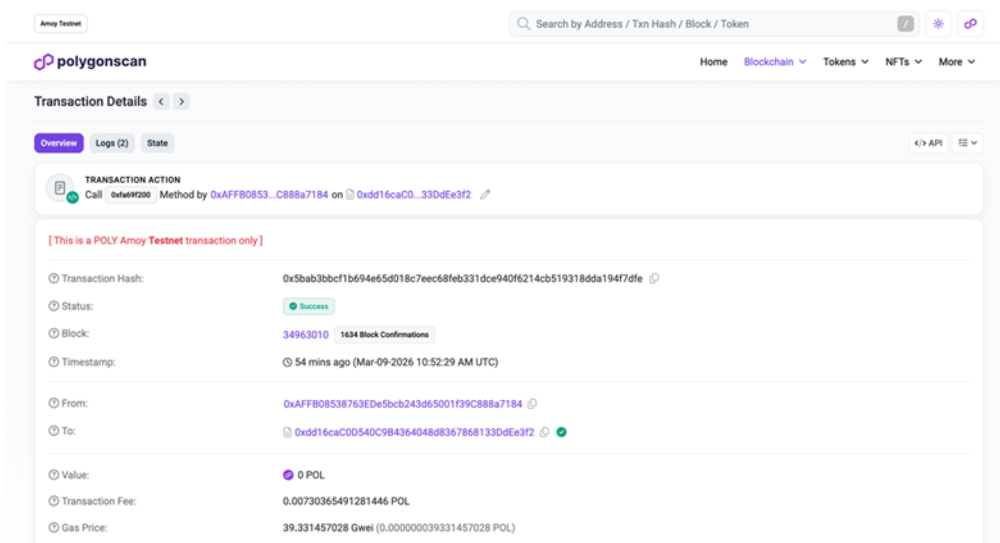
Proses verifikasi produk dilakukan melalui halaman Verify Product. Pengguna terlebih dahulu memasukkan UID NFC yang diperoleh dari pemindaian tag NFC pada produk. Apabila UID NFC valid, sistem mengaktifkan proses verifikasi lanjutan melalui pemindaian kode QR. Setelah kode QR dibaca, sistem mencocokkan UID NFC, ID produk, dan *wallet address* pengguna dengan data yang tersimpan pada *smart contract*. Produk dinyatakan asli apabila seluruh komponen tersebut sesuai. Sebaliknya, apabila UID NFC, kode QR, atau *wallet address* tidak sesuai, sistem menampilkan status bahwa produk tidak valid atau palsu. Antarmuka proses verifikasi disajikan pada Gambar 7.

Gambar 7. Antarmuka Verifikasi Produk

Gambar 7 memperlihatkan bahwa sistem mampu menampilkan hasil verifikasi dalam dua kondisi, yaitu produk asli dan produk palsu. Status produk asli ditampilkan ketika UID NFC, data kode QR, dan *wallet address* sesuai dengan data pada *blockchain*. Status produk palsu ditampilkan ketika salah satu komponen tidak sesuai. Hasil ini menunjukkan bahwa verifikasi yang dikembangkan tidak hanya berbasis kode QR, tetapi juga menggabungkan identitas fisik melalui NFC dan validasi kepemilikan melalui dompet kripto. Kombinasi tersebut memperkuat mekanisme autentikasi karena produk fisik, data digital, dan pemilik produk harus memiliki kesesuaian yang sama.

Biaya Transaksi dan Pencatatan pada Polygonscan

Setiap transaksi yang mengubah data pada *blockchain* memerlukan biaya transaksi. Dalam sistem ini, biaya transaksi muncul pada proses *deploy smart contract*, penambahan produk, dan transfer kepemilikan. Sementara itu, fungsi verifikasi seperti *verifyProductByNFC* dan *checkProductByID* bersifat *view*, sehingga hanya membaca data dari *blockchain* dan tidak memerlukan biaya gas. Bukti pencatatan transaksi dapat dilihat melalui Polygonscan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Bukti Transaksi pada Polygonscan

Gambar 8 menunjukkan bahwa transaksi yang dilakukan melalui *smart contract* dapat ditelusuri secara terbuka melalui Polygonscan. Informasi yang ditampilkan mencakup *transaction hash*, metode transaksi, nomor blok, alamat pengirim, alamat kontrak, nilai transaksi, biaya transaksi, gas used, dan gas price. Pencatatan tersebut mendukung transparansi sistem karena setiap aktivitas penting, seperti *deploy smart contract*, penambahan produk, dan transfer kepemilikan, dapat dilacak melalui jaringan *blockchain*. Ringkasan biaya transaksi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Biaya Transaksi pada Jaringan Polygon Amoy

Jenis Transaksi	Gas Used	Gas Price	Biaya Transaksi
<i>Deploy smart contract</i>	1.335.582 gas unit	0,000000048739915024 POL	0,065096153187583968 POL
Menambahkan produk	185.695 gas unit	0,000000039331457028 POL	0,00730365491281446 POL
Transfer kepemilikan produk	30.649 gas unit	0,000000029100000063 POL	0,000891885901930887 POL

Tabel 1 menunjukkan bahwa biaya tertinggi terdapat pada proses *deploy smart contract*, yaitu sebesar 0,065096153187583968 POL. Hal ini wajar karena proses *deployment* memerlukan pencatatan seluruh kode kontrak ke jaringan *blockchain*. Biaya penambahan produk lebih rendah, yaitu 0,00730365491281446 POL, sedangkan biaya transfer kepemilikan produk menjadi yang paling kecil, yaitu 0,000891885901930887 POL. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan Polygon Amoy cukup efisien untuk pengujian sistem berbasis *smart contract*, terutama karena biaya transaksi untuk operasi utama sistem relatif rendah dibandingkan kebutuhan pencatatan awal kontrak.

Hasil Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional dilakukan menggunakan metode *black box testing*. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa setiap fitur sistem menghasilkan keluaran sesuai dengan skenario yang telah dirancang. Fitur yang diuji meliputi koneksi dompet kripto, penulisan data produk, transfer kepemilikan, dan verifikasi keaslian produk. Hasil pengujian diringkas pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Hasil *Black Box Testing*

Fitur yang Diuji	Jumlah Skenario	Fokus Pengujian	Hasil
Login dan koneksi dompet kripto	3	Akses pengguna dengan ekstensi dompet kripto, akses admin, dan kondisi tanpa ekstensi dompet kripto	Seluruh skenario terpenuhi
Penulisan data produk	7	Input lengkap, input tidak lengkap, impor CSV, duplikasi ID produk, duplikasi UID NFC, dan saldo tidak mencukupi	Seluruh skenario terpenuhi
Transfer kepemilikan	7	Transfer oleh pemilik sah, transfer oleh bukan pemilik, transfer banyak produk, alamat tidak valid, saldo tidak cukup, dan jaringan tidak sesuai	Seluruh skenario terpenuhi
Verifikasi keaslian produk	4	Kombinasi UID NFC, kode QR, dan <i>wallet address</i> yang sesuai maupun tidak sesuai	Seluruh skenario terpenuhi
Total	21	Pengujian fitur utama sistem	Seluruh skenario terpenuhi

Berdasarkan Tabel 2, seluruh 21 skenario pengujian memperoleh status terpenuhi. Pada fitur login, sistem berhasil membedakan pengguna umum dan admin berdasarkan dompet kripto yang terhubung. Pada fitur penulisan data produk, sistem berhasil menangani input lengkap, input tidak lengkap, input melalui CSV, duplikasi ID produk, duplikasi UID NFC, serta kondisi saldo tidak mencukupi. Pada fitur transfer kepemilikan, sistem mampu memastikan bahwa hanya pemilik sah yang dapat memindahkan kepemilikan produk. Pada fitur verifikasi, sistem berhasil menampilkan status asli hanya ketika UID NFC, kode QR, dan *wallet address* sesuai dengan data yang tersimpan pada *blockchain*. Hasil ini menunjukkan bahwa fungsi utama sistem telah berjalan sesuai kebutuhan fungsional.

Karakteristik Responden dan Hasil *Usability Testing*

Usability testing dilakukan kepada 20 responden dari masyarakat umum setelah responden mencoba fitur utama sistem. Karakteristik responden menunjukkan bahwa sebagian besar responden berada pada usia 22 tahun, memiliki literasi digital yang baik, serta memiliki pengetahuan yang cukup terhadap *blockchain* dan *cryptocurrency*. Namun, sebagian besar responden belum memiliki dompet kripto pribadi yang aktif pada jaringan Polygon Amoy. Ringkasan karakteristik responden disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Responden *Usability Testing*

Karakteristik	Kategori Dominan	Jumlah	Persentase
Usia responden	22 tahun	13 orang	65%
Literasi digital	Baik	19 orang	95%
Pengetahuan terhadap <i>blockchain</i>	Baik	15 orang	75%
Pengetahuan terhadap <i>cryptocurrency</i>	Baik	15 orang	75%
Pengalaman verifikasi produk konvensional	Belum pernah	15 orang	75%
Kepemilikan dompet kripto	Belum memiliki dompet kripto pribadi aktif di Polygon Amoy	13 orang	65%

Tabel 3 menunjukkan bahwa responden memiliki latar belakang teknologi yang cukup mendukung untuk mencoba sistem. Sebanyak 95% responden memiliki literasi digital yang baik, 75% memiliki pengetahuan terhadap *blockchain*, dan 75% memiliki pengetahuan terhadap *cryptocurrency*. Namun, 65% responden belum memiliki dompet kripto pribadi yang aktif di Polygon Amoy. Kondisi ini penting karena

sistem yang dikembangkan membutuhkan interaksi dengan MetaMask. Meskipun demikian, hasil pengujian tetap menunjukkan respons positif karena responden dapat menggunakan akun pengujian yang disediakan dan mengikuti skenario penggunaan dengan baik.

Penilaian *usability testing* dilakukan berdasarkan lima aspek, yaitu *learnability*, *efficiency*, *memorability*, *errors*, dan *satisfaction*. Hasil perhitungan kelayakan sistem disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Kelayakan Sistem Berdasarkan *Usability Testing*

Aspek	Nilai	Kategori
<i>Learnability</i>	92,33%	Sangat Layak
<i>Efficiency</i>	94,50%	Sangat Layak
<i>Memorability</i>	89,80%	Sangat Layak
<i>Errors</i>	92,00%	Sangat Layak
<i>Satisfaction</i>	92,14%	Sangat Layak

Tabel 4 menunjukkan bahwa seluruh aspek *usability testing* berada pada kategori sangat layak. Nilai tertinggi terdapat pada aspek *efficiency* sebesar 94,50%, yang menunjukkan bahwa fitur dan navigasi sistem dinilai efektif dalam mendukung proses verifikasi, pencatatan transaksi, dan perpindahan kepemilikan. Aspek *learnability* memperoleh nilai 92,33%, yang menunjukkan bahwa pengguna dapat mempelajari alur penggunaan sistem dengan mudah. Aspek *errors* memperoleh nilai 92,00%, yang mengindikasikan bahwa mayoritas pengguna tidak mengalami kegagalan berarti selama menggunakan sistem. Aspek *satisfaction* memperoleh nilai 92,14%, yang menunjukkan bahwa pengguna merasa cukup puas terhadap tampilan, informasi, dan fitur yang tersedia. Aspek *memorability* memperoleh nilai 89,80%, yaitu nilai terendah tetapi tetap berada pada kategori sangat layak. Hal ini menunjukkan bahwa beberapa pengguna masih memerlukan pembiasaan untuk mengingat kembali alur penggunaan sistem, terutama pada proses koneksi dompet kripto dan pembacaan transaksi melalui PolygonScan.

Hasil *usability testing* tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat digunakan oleh pengguna dengan tingkat pemahaman teknologi yang beragam. Temuan ini cukup penting karena sebagian besar responden belum memiliki dompet kripto pribadi aktif pada jaringan Polygon Amoy. Dengan demikian, kendala awal berupa keterbatasan pengalaman menggunakan dompet kripto tidak menghalangi responden untuk memahami fungsi utama sistem. Hal ini didukung oleh literasi digital responden yang mayoritas berada pada kategori baik.

Evaluasi Sistem

Berdasarkan hasil pengujian fungsional dan *usability testing*, sistem verifikasi keaslian produk berbasis *smart contract blockchain*, kode QR, dan NFC telah berjalan sesuai dengan tujuan pengembangan. Sistem mampu mencatat data produk ke *blockchain*, menghasilkan kode QR, memvalidasi UID NFC, mencocokkan *wallet address* pemilik, melakukan transfer kepemilikan, dan menampilkan bukti transaksi melalui PolygonScan. Penggunaan tiga komponen verifikasi, yaitu UID NFC, kode QR, dan *wallet address*, menjadi kekuatan utama sistem karena mampu mengurangi risiko duplikasi kode QR secara tunggal.

Meskipun demikian, evaluasi dari responden menunjukkan beberapa aspek yang masih perlu diperbaiki. Pada sistem operasi Windows, tampilan *dropdown* pada menu Add Product, khususnya bagian ukuran, kurang terbaca karena warna teks dan latar belakang terlalu mirip. Selain itu, notifikasi keberhasilan maupun kegagalan perlu dibuat lebih informatif agar mudah dipahami pengguna awam. Responden juga menyarankan penambahan tombol Download pada bagian kode QR agar pengguna lebih mudah menyimpan kode QR yang telah dihasilkan. Evaluasi tersebut menunjukkan bahwa perbaikan sistem ke depan lebih banyak berkaitan dengan aspek antarmuka dan pengalaman pengguna, sedangkan fungsi inti sistem telah berjalan sesuai hasil pengujian.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi *smart contract blockchain* yang dikombinasikan dengan kode QR dan NFC dapat digunakan sebagai mekanisme verifikasi keaslian produk pakaian berbasis situs web. Sistem ini memberikan transparansi melalui pencatatan transaksi pada *blockchain*, memperkuat validasi produk melalui UID NFC, serta memastikan kepemilikan melalui *wallet address*. Dengan hasil *black box testing* yang seluruhnya terpenuhi dan nilai *usability testing* yang berada

pada kategori sangat layak, sistem yang dikembangkan dapat dinilai layak sebagai prototipe verifikasi keaslian produk pakaian berbasis *blockchain*.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem verifikasi keaslian produk pakaian berbasis situs web dengan memanfaatkan *smart contract blockchain*, kode QR, dan NFC. *Smart contract ProductVerification.sol* telah dibangun menggunakan Solidity dan berhasil diterapkan pada jaringan *testnet Polygon Amoy* dengan alamat kontrak 0xdd16caC0D540C9B4364048d8367868133DdEe3f2. Sistem yang dikembangkan mampu mencatat data produk, UID NFC, dan *wallet address* pemilik ke dalam *blockchain*, sehingga proses verifikasi dan transfer kepemilikan dapat dilakukan secara lebih transparan serta dapat ditelusuri secara waktu nyata melalui Amoy Polygonscan. Mekanisme verifikasi berlapis melalui sinkronisasi UID NFC, kode QR, dan *wallet address* menunjukkan bahwa sistem dapat meningkatkan keamanan autentikasi produk dibandingkan verifikasi yang hanya mengandalkan kode QR. Hasil *usability testing* juga menunjukkan bahwa sistem memperoleh kategori sangat layak pada seluruh aspek pengujian, yaitu *learnability* sebesar 92,33%, *efficiency* sebesar 94,50%, *memorability* sebesar 89,80%, *errors* sebesar 92%, dan *satisfaction* sebesar 92,14%.

Meskipun demikian, sistem yang dikembangkan belum sepenuhnya optimal dalam mencegah pemalsuan produk dari sisi keamanan fisik karena penggunaan NFC *paper label* masih memungkinkan tag dilepas atau dipindahkan ke produk lain. Kondisi ini menunjukkan bahwa efektivitas verifikasi sangat bergantung pada kekuatan integrasi antara identitas digital dan produk fisik. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu menggunakan NFC tipe *tamper* atau *heat press garment* yang lebih sesuai untuk produk tekstil, serta mempertimbangkan penerapan sistem pada objek yang memiliki karakteristik fisik lebih stabil, seperti barang koleksi bernilai tinggi, produk elektronik, produk kesehatan, atau kosmetik dengan kemasan tetap. Pengembangan berikutnya juga perlu diarahkan pada peningkatan stabilitas *smart contract*, pengujian skalabilitas, penerapan manajemen rantai pasok, serta perluasan penggunaan sistem pada jaringan *blockchain* lain agar sistem verifikasi dapat digunakan secara lebih luas, andal, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfina, & Syafrinal. (2022). Model Sistem Verifikasi Dokumen Ijazah Digital Berbasis Teknologi Blockchain. *SMARTICS Journal*, 8(2), 59–65. <https://doi.org/10.21067/smartics.v8i2.7718>
- Althero, Z., Syahreza, J., & Ortiz, A. (2023). Blockchain Technology for Authentication and Validation Social Network Accounts. *Blockchain Frontier Technology*, 3(1), 32–38. <https://doi.org/10.34306/bfront.v3i1.358>
- Bhere, P., Bhoir, A., Bhoir, R., Dhole, P., & Shende, N. (2025). Fake Product Identification System Using Blockchain. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 13(3), 1705–1711. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.67643>
- Bouafia, K., & Gulalov, M. (2024). Blockchain Solutions for Authorization and Authentication. *Procedia Computer Science*, 237, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.086>
- Djajadi, A., Lestari, K. S., Englista, L. E., & Destaryana, A. (2023). Blockchain-Based E-Certificate Verification and Validation Automation Architecture to Avoid Counterfeiting of Digital Assets in Order to Accelerate Digital Transformation. *CCIT Journal*, 16(1), 68–85. <https://doi.org/10.33050/ccit.v16i1.2367>
- Gupta, S., Kuchipudi, R., Sohail, M., Singh, K., Mahalakshmi, J., & Sarabu, A. (2024). Fake Product Identification for Small and Medium Firms (FPISMF) Using Blockchain Technology. *Measurement: Sensors*, 33, 101164. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101164>
- Karhunes, H. A. (2024). Fake Product Detection Using Blockchain. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 12. <https://www.ijcrt.org/papers/IJCRT24A4588.pdf>
- Katageri, A., Chetana, A. T., Tandle, A., & Kumar, A. B. (2024). Detection of Fake Product Using Blockchain. *Indiana Journal of Multidisciplinary Research*, 4(3), 118–121. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12674537>
- Noorhizama, N. K., Abdullah, Z., Kasim, S., A Hamid, I. R., & Mat Isa, M. A. (2023). Verification of Ph.D. Certificate Using QR Code on Blockchain Ethereum. *JOIV: International Journal on Informatics*

- Visualization*, 7(3), 716–725. <https://doi.org/10.30630/joiv.7.3.1584>
- Nugraha, A. A. L. P., Dewi, N. W. E. R., & Purnama, F. (2025). Implementation of Blockchain Smart Contract for Online Concert Ticket Transactions Based on NFTs. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 9(4), 1115–1126. <https://doi.org/10.30871/jaic.v9i4.9598>
- NXP Semiconductors. (2019). *NT4H2421Gx: NTAG 424 DNA Secure NFC T4T Compliant IC*. <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/NT4H2421Gx.pdf>
- OECD, & European Union Intellectual Property Office. (2021). *Global Trade in Fakes: A Worrying Threat*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/74c81154-en>
- Oktaviani, S., & Setyono, Y. A. (2021). Implementasi Smart Contract pada Teknologi Blockchain dalam Kaitannya dengan Notaris sebagai Pejabat Umum. *Kertha Semaya: Journal Ilmu Hukum*, 9(11), 2205–2221. <https://doi.org/10.24843/KS.2021.v09.i11.p18>
- Pangidoan, A. M., Buana, P. W., & Purnama, F. (2025). Prototype of Implementation of Smart Contract for Blockchain-Based Document Storage. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 9(4), 1242–1253. <https://doi.org/10.30871/jaic.v9i4.9493>
- Putra, M. B. C., & Yung, S. (2025). Inovasi Verifikasi Sertifikat Pelatihan Menggunakan Blockchain: Studi Kasus PT Solusi Kecerdasan Buatan. *Hello World Jurnal Ilmu Komputer*, 3(4), 191–195. <https://doi.org/10.56211/helloworld.v3i4.641>
- Ramya, P., Karthiyayini, T. G., Mahalakshmi, T. G., & Monika, T. (2024). Enhancing Product Authenticity Using Blockchain Technology. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. <https://doi.org/10.56726/IRJMET53002>
- Singh, A., Shenoy, A., & Thanekar, N. (2025). Chain Thread: Blockchain-Powered Product Verification and Authenticity Tracking. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 13(4), 4976–4981. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.69592>
- Swari, B. A. I., & Suartana, I. M. (2025). Pengembangan Decentralized Application (DApp) untuk Manajemen Sertifikat Digital menggunakan Non-Fungible Tokens (NFT) berbasis Standar ERC-721 di Jaringan Ethereum. *Journal of Informatics and Computer Science*, 6(3), 661–668. <https://doi.org/10.26740/jinacs.v6n03.p661-668>
- Tanirika, R., Rekha, P. M., & Anil, B. C. (2022). NEARCHAIN: Leveraging NFC and Blockchain in Pharmaceutical Supply Chain to Prevent Counterfeiting of Drugs. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 9(8), 1597–1603. <https://www.irjet.net/archives/V9/i8/IRJET-V9I8262.pdf>
- Tanley, M., Albert, Roberto, A. B., Livanio, N., Nata, F., & Joosten. (2024). Analisis Potensi dan Tantangan Teknologi Blockchain dalam Mendukung Digitalisasi Ekonomi di Indonesia. *Indonesian Journal of Education and Computer Science*, 2(3), 161–171. <https://doi.org/10.60076/indotech.v2i3.933>
- Vaher, K., Simanjuntak, A., & Sugiharto, E. (2025). Securing Academic Records with Blockchain Technology: A Data-Driven Approach for University Management. *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan Dan Teknologi Informasi*, 4(1), 52–62. <https://doi.org/10.33050/mentari.v4i1.908>
- Wasnik, K., Sondawle, I., Wani, R., & Pulgam, N. (2022). Detection of Counterfeit Products Using Blockchain. *ITM Web of Conferences*, 44, 3015. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20224403015>
- Wijayanto, H. (2024). Aplikasi Verifikasi Sertifikat Berbasis Website Menggunakan Blockchain. *Infact: International Journal of Computers*, 8(2), 35–42. <https://doi.org/10.61179/jurnalinfact.v8i02.586>