

Design and development of a Web3-based student graduation badge system for FIKTI UMSU using non-transferable NFTs and smart contracts on the Ethereum testnet

Zaid Ahlun Ulumuddin¹, Halim Maulana²

^{1,2}Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia
Email: zaidahlun93@gmail.com; halimmaulana@umsu.ac.id

ABSTRAK

Pengelolaan dan verifikasi kredensial akademik secara konvensional masih menghadapi keterbatasan dalam proses verifikasi dan pengelolaan dokumen. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem *badge* kelulusan mahasiswa berbasis *Web3* menggunakan *Non-Fungible Token* (NFT) *non-transferable* atau *Soulbound Token* (SBT) melalui *smart contract* pada jaringan Ethereum Sepolia Testnet. Pengembangan sistem menggunakan model *Waterfall* yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. *Smart contract* dikembangkan menggunakan Solidity dan Hardhat dengan modifikasi standar ERC-721 untuk membatasi transfer token, sedangkan antarmuka berbasis *web* dikembangkan menggunakan React.js dan diintegrasikan dengan *blockchain* melalui Ethers.js. Metadata *badge* disimpan menggunakan *InterPlanetary File System* (IPFS). Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa seluruh sembilan skenario pengujian berhasil dijalankan sesuai dengan hasil yang diharapkan. Sistem dapat melakukan penerbitan *badge* secara massal melalui *mintBatch*, mencegah transfer token, melakukan pencabutan dan pemulihan validitas melalui *softRevokeBatch* dan *hardRevokeBatch*, serta mendukung verifikasi kredensial melalui halaman publik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa SBT dapat diterapkan sebagai alternatif dalam pengelolaan *badge* kelulusan digital dengan menyediakan mekanisme penerbitan, pengelolaan, dan verifikasi kredensial berbasis *blockchain*.

Kata Kunci: blockchain; kredensial akademik; Soulbound Token; smart contract; Web3

ABSTRACT

Conventional management and verification of academic credentials still face limitations regarding document processing and verification workflows. This research aims to design and develop a Web3-based student graduation badge system utilizing non-transferable Non-Fungible Tokens (NFTs)—specifically Soulbound Tokens (SBTs)—via smart contracts on the Ethereum Sepolia Testnet. The system was developed using the Waterfall model, encompassing requirements analysis, system design, implementation, and testing. Smart contracts were developed using Solidity and Hardhat, incorporating modifications to the ERC-721 standard to restrict token transfers, while the web-based interface was built using React.js and integrated with the blockchain via Ethers.js. Badge metadata is stored using the InterPlanetary File System (IPFS). Functional testing results demonstrate that all nine test scenarios were successfully executed, yielding the expected outcomes. The system supports mass badge issuance via `mintBatch`, prevents token transfers, enables validity revocation and restoration through `softRevokeBatch` and `hardRevokeBatch`, and facilitates credential verification via a public webpage. These results indicate that SBTs serve as a viable alternative for managing digital graduation badges by providing a blockchain-based mechanism for credential issuance, management, and verification.

Keyword: blockchain; academic credentials; Soulbound Token; smart contract; Web3

Corresponding Author:

Zaid Ahlun Ulumuddin,
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, 20238, Indonesia
Email: zaidahlun93@gmail.com



1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah mendorong transformasi berbagai proses di lingkungan pendidikan tinggi, termasuk pengelolaan dan verifikasi kredensial akademik. Namun, proses validasi pencapaian akademik seperti kelulusan masih dapat bergantung pada dokumen konvensional atau sistem yang membutuhkan proses verifikasi secara manual. Kondisi tersebut menghadirkan beberapa kendala, seperti risiko pemalsuan dokumen, kehilangan kredensial, serta proses verifikasi yang membutuhkan waktu dan keterlibatan institusi penerbit (Kodir, 2025). Permasalahan tersebut menunjukkan perlunya mekanisme kredensial digital yang memungkinkan informasi akademik diverifikasi secara lebih mudah dengan tetap menjaga integritas data.

Teknologi *blockchain* telah dikembangkan sebagai salah satu pendekatan untuk mendukung penyimpanan dan verifikasi kredensial pendidikan secara digital. Pemanfaatan *blockchain* memungkinkan catatan transaksi disimpan pada jaringan terdistribusi sehingga perubahan data dapat ditelusuri dan diverifikasi. Turkanović et al. (2018) mengembangkan platform pendidikan tinggi berbasis *blockchain* untuk pengelolaan kredit akademik, sedangkan Chukowry et al. (2021) menerapkan teknologi tersebut pada sistem *digital badge* dan *microcredential*. Pendekatan berbasis *blockchain* juga telah dikembangkan untuk meningkatkan keamanan dan verifikasi kredensial pendidikan melalui pencatatan digital yang dapat diverifikasi (Alam et al., 2021). Penggunaan *blockchain* untuk kredensial akademik juga dikembangkan dengan mengombinasikan penyimpanan terdesentralisasi melalui IPFS untuk mendukung proses verifikasi kredensial (Rahman et al., 2023). Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan adanya potensi teknologi *blockchain* sebagai alternatif dalam pengelolaan dan verifikasi kredensial akademik.

Perkembangan *Web3* memperluas pemanfaatan teknologi *blockchain* melalui aplikasi terdesentralisasi dan penggunaan *smart contract*. Jaenudin et al. (2024) menjelaskan pemanfaatan *blockchain* dalam pengembangan aplikasi *Web3* yang aman dan terdesentralisasi. Salah satu bentuk aset digital yang dapat diterapkan dalam ekosistem tersebut adalah *Non-Fungible Token* (NFT), yang memiliki identitas unik pada jaringan *blockchain*. Dalam konteks kredensial, karakteristik NFT dapat digunakan untuk merepresentasikan informasi atau bukti pencapaian tertentu. Namun, NFT pada umumnya dapat dipindahtangankan, sehingga karakteristik tersebut kurang sesuai apabila token digunakan untuk merepresentasikan kredensial personal yang seharusnya tetap terasosiasi dengan penerimanya.

Salah satu pengembangan konsep NFT adalah *Soulbound Token* (SBT), yaitu token yang dirancang bersifat *non-transferable*. Berbeda dengan NFT yang dapat dipindahtangankan, SBT dapat dirancang agar fungsi transfernya dinonaktifkan sehingga token tetap terasosiasi dengan alamat dompet penerima. Karakteristik tersebut menjadikannya relevan untuk digunakan dalam representasi identitas atau kredensial yang tidak dimaksudkan untuk diperjualbelikan maupun dialihkan kepada pihak lain. Razi et al. (2023) membahas perkembangan dan berbagai aplikasi NFT, sedangkan Tumati et al. (2024) mengembangkan sistem verifikasi sertifikat menggunakan SBT. Pendekatan serupa juga telah dikembangkan melalui sistem identifikasi terdesentralisasi berbasis *Soulbound Token* (More et al., 2023). Dengan karakteristik tersebut, SBT memiliki potensi untuk diterapkan pada kredensial akademik digital dengan mempertahankan asosiasi token terhadap alamat penerima.

Di lingkungan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), sistem *badge* kelulusan yang memanfaatkan *blockchain* dan mekanisme *non-transferable token* belum diimplementasikan. Proses verifikasi pencapaian akademik masih belum didukung oleh sistem *Web3* yang memungkinkan pihak eksternal melakukan pemeriksaan kredensial secara langsung melalui data yang tercatat pada *blockchain*. Kondisi tersebut menjadi dasar pengembangan sistem *badge* kelulusan digital yang dapat mendukung penerbitan, pengelolaan, pencabutan, dan verifikasi kredensial secara terintegrasi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem *badge* kelulusan mahasiswa FIKTI UMSU berbasis *Web3* menggunakan NFT *non-transferable* atau *Soulbound Token* yang diimplementasikan melalui *smart contract* pada jaringan Ethereum *testnet*. Sistem dikembangkan untuk mendukung proses penerbitan dan pencabutan *badge* oleh administrator serta menyediakan fasilitas verifikasi kredensial bagi publik. Melalui pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan penerapan teknologi *blockchain* dan SBT sebagai alternatif dalam pengelolaan kredensial akademik digital yang lebih terstruktur, transparan, dan mudah diverifikasi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak dengan menerapkan model pengembangan *Waterfall*. Model ini digunakan untuk mengarahkan proses pengembangan sistem secara terstruktur melalui tahapan yang dilakukan secara berurutan. Pendekatan tersebut dipilih karena kebutuhan utama sistem, seperti penerbitan *badge*, pembatasan transfer token, pencabutan *badge*, serta verifikasi kredensial, dapat didefinisikan sejak tahap awal pengembangan. Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian.

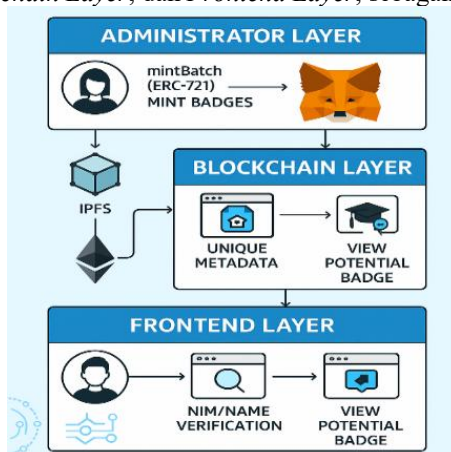
A. Analisis Kebutuhan

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi fungsi utama yang diperlukan dalam sistem *badge* kelulusan mahasiswa. Berdasarkan kebutuhan sistem, terdapat dua kelompok pengguna utama, yaitu administrator dan pengguna publik. Administrator memiliki kewenangan untuk menerbitkan dan mengelola *badge* kelulusan melalui sistem, sedangkan pengguna publik dapat melakukan verifikasi terhadap kredensial yang telah diterbitkan.

Kebutuhan fungsional utama sistem meliputi penerbitan *badge* kepada alamat *wallet* penerima yang ditentukan, penerbitan beberapa *badge* dalam satu transaksi melalui fungsi *mintBatch*, pencabutan *badge*, pencegahan perpindahan kepemilikan token, serta verifikasi kredensial berdasarkan data mahasiswa. Sistem juga membutuhkan penyimpanan metadata yang dapat dihubungkan dengan token serta antarmuka berbasis *web* untuk memudahkan interaksi pengguna dengan *smart contract*.

B. Perancangan Arsitektur Sistem

Pada tahap perancangan, sistem dibangun menggunakan arsitektur yang terdiri atas tiga lapisan utama, yaitu *Administrator Layer*, *Blockchain Layer*, dan *Frontend Layer*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Arsitektur Sistem

Administrator Layer digunakan oleh administrator untuk melakukan pengelolaan *badge* kelulusan. Administrator berinteraksi dengan sistem menggunakan *wallet* MetaMask untuk mengotorisasi transaksi pada jaringan *blockchain*. Salah satu fungsi utama pada lapisan ini adalah *mintBatch*, yang memungkinkan administrator menerbitkan beberapa *badge* dalam satu transaksi.

Blockchain Layer merupakan lapisan yang menangani eksekusi *smart contract* dan pencatatan status kepemilikan *badge*. *Smart contract* dirancang berdasarkan standar ERC-721 sebagai standar *Non-Fungible Token* pada Ethereum (Entriken et al., 2018), dengan modifikasi pada mekanisme transfer untuk menghasilkan token yang bersifat *non-transferable*. Dengan mekanisme tersebut, *badge* yang telah diterbitkan tidak dapat dipindahtangankan melalui fungsi transfer token. Metadata yang berkaitan dengan *badge* disimpan menggunakan *InterPlanetary File System* (IPFS), yang dapat digunakan sebagai mekanisme penyimpanan terdistribusi dalam sistem berbasis *blockchain* (Huang et al., 2022), sedangkan referensi terhadap metadata dihubungkan dengan token pada sistem.

Frontend Layer menyediakan antarmuka berbasis *web* bagi pengguna untuk berinteraksi dengan sistem. Melalui lapisan ini, pengguna dapat melakukan pencarian dan verifikasi *badge* berdasarkan informasi mahasiswa, seperti NIM atau nama. Informasi yang ditampilkan pada halaman verifikasi diperoleh dari data kredensial yang terhubung dengan sistem *blockchain*.

C. Implementasi Sistem

Tahap implementasi dilakukan dengan menerjemahkan rancangan sistem ke dalam *smart contract* dan aplikasi berbasis *web*. *Smart contract* dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Solidity dan perangkat pengembangan Hardhat. Kontrak kemudian di-*deploy* pada jaringan Ethereum Sepolia Testnet sehingga proses pengembangan dan pengujian dapat dilakukan tanpa menggunakan jaringan utama Ethereum.

Smart contract mengimplementasikan mekanisme penerbitan *badge*, penerbitan secara *batch*, pencegahan transfer, serta pencabutan *badge*. Mekanisme pencabutan terdiri atas *softRevokeBatch* dan *hardRevokeBatch*. *softRevokeBatch* digunakan untuk mengubah status validitas *badge* tanpa menghapus token, sedangkan *hardRevokeBatch* digunakan untuk melakukan pencabutan dengan mekanisme *burn* terhadap token. Pembagian mekanisme tersebut memungkinkan sistem membedakan kredensial yang dinyatakan tidak lagi valid dengan token yang dihapus dari sistem.

Antarmuka sistem dikembangkan sebagai *Single Page Application* (SPA) menggunakan React.js. Integrasi antara aplikasi *frontend* dan *smart contract* dilakukan menggunakan pustaka Ethers.js, sedangkan MetaMask digunakan sebagai *wallet* untuk mengotorisasi transaksi administrator. Sistem juga memanfaatkan IPFS sebagai media penyimpanan metadata yang terkait dengan *badge*.

Pada sisi *frontend*, mekanisme *multicall* digunakan untuk mendukung pengambilan beberapa data dalam satu proses permintaan, sedangkan *infinite scroll* diterapkan untuk mengatur penyajian data *badge* pada antarmuka.

D. Pengujian Sistem

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa fungsi-fungsi utama sistem berjalan sesuai dengan rancangan. Pengujian dilakukan secara fungsional terhadap *smart contract* dan integrasinya dengan antarmuka aplikasi. Pengujian mencakup fungsi penerbitan *badge*, pembatasan transfer token, pencabutan dan pemulihan validitas *badge*, koneksi *wallet*, serta alur interaksi antara *frontend* dan *smart contract*.

Pengujian fungsional dilakukan terhadap skenario utama sistem yang mencakup penerbitan *badge* melalui *mintBatch*, pencegahan transfer token, pencabutan melalui *softRevokeBatch* dan *hardRevokeBatch*, verifikasi *badge* pada halaman publik, serta pengelolaan *badge* melalui halaman administrator. Keberhasilan setiap skenario ditentukan berdasarkan kesesuaian keluaran sistem dengan fungsi yang dirancang. Hasil dari pengujian tersebut selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan implementasi sistem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan prototipe fungsional sistem *badge* kelulusan digital berbasis *Web3* yang terdiri atas *smart contract* pada jaringan Ethereum Sepolia Testnet dan antarmuka berbasis *web*. Implementasi sistem mencakup mekanisme penerbitan *badge*, pembatasan transfer token, pencabutan dan pemulihan validitas *badge*, serta fasilitas verifikasi kredensial melalui halaman publik.

A. Implementasi Smart Contract

Smart contract *BadgeSBT.sol* berhasil dikembangkan menggunakan Solidity dan di-*deploy* pada jaringan Ethereum Sepolia Testnet. Kontrak memanfaatkan implementasi ERC-721 dari pustaka OpenZeppelin, termasuk ERC721URIStorage dan Ownable, kemudian dimodifikasi untuk menerapkan karakteristik token *non-transferable*. Implementasi menghasilkan tiga fungsi utama sebagai berikut.

1. Penerbitan massal (*mintBatch*). Fungsi *mintBatch* memungkinkan administrator menerbitkan beberapa *badge* dalam satu transaksi. Pada pengujian yang dilakukan menggunakan data delapan mahasiswa, seluruh token berhasil dibuat dan tercatat pada *blockchain* dengan kepemilikan sesuai data yang digunakan dalam pengujian.
2. Mekanisme *non-transferable*. Mekanisme transfer standar ERC-721 dibatasi untuk menerapkan karakteristik *Soulbound Token*. Berdasarkan pengujian, pemanggilan fungsi *transferFrom* terhadap salah satu token menghasilkan *revert* dengan pesan "SBT: non-transferable". Hasil tersebut menunjukkan bahwa mekanisme pembatasan transfer pada *smart contract* berjalan sesuai dengan rancangan.
3. Mekanisme pencabutan (*softRevokeBatch* dan *hardRevokeBatch*). Sistem menyediakan dua mekanisme pencabutan *badge*. *softRevokeBatch* digunakan untuk mengubah status validitas token tanpa menghapus token tersebut. Status *badge* yang telah di-*soft revoke* juga dapat dipulihkan kembali. Sementara itu, *hardRevokeBatch* digunakan untuk melakukan *burn* terhadap token sehingga token tidak lagi dapat diakses melalui fungsi tokenURI. Kedua mekanisme memberikan administrator pilihan dalam mengelola status kredensial sesuai kebutuhan.

Implementasi tersebut menunjukkan bahwa karakteristik *non-transferable* tidak hanya diterapkan sebagai atribut pada antarmuka, tetapi diatur melalui logika *smart contract*. Hal ini penting dalam konteks kredensial akademik karena pembatasan transfer mencegah *badge* dialihkan menggunakan fungsi transfer yang diuji pada kontrak. Namun, hasil tersebut terbatas pada pengujian fungsional kontrak dan tidak dimaksudkan sebagai bukti bahwa sistem telah melalui audit keamanan *smart contract* secara menyeluruh.

B. Implementasi Antarmuka Pengguna

Antarmuka sistem dikembangkan untuk melayani dua kelompok pengguna, yaitu pengguna publik dan administrator. Implementasi kedua antarmuka ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

1) Halaman Publik

Halaman publik pada Gambar 2 berfungsi sebagai galeri sekaligus fasilitas verifikasi *badge* kelulusan. Pengguna dapat melakukan pencarian *badge* berdasarkan nama atau Nomor Induk Mahasiswa (NIM). Sistem kemudian menampilkan informasi *badge* yang sesuai dengan data pencarian.

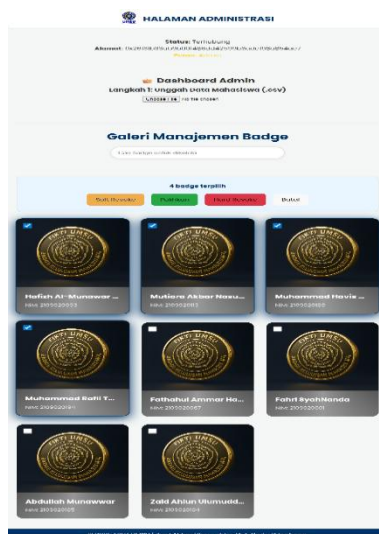


Gambar 2. Tampilan Halaman Utama (Publik)

Informasi detail *badge* ditampilkan melalui *pop-up* yang memuat metadata kredensial. Sistem juga menyediakan tautan menuju *blockchain explorer* Etherscan sehingga pengguna dapat melakukan pemeriksaan terhadap data transaksi atau token pada jaringan Sepolia. Mekanisme tersebut memberikan alternatif verifikasi yang tidak hanya bergantung pada informasi yang ditampilkan oleh antarmuka aplikasi.

2) Halaman Administrasi

Halaman administrasi pada Gambar 3 digunakan untuk mendukung proses pengelolaan *badge*. Akses administrator dilakukan melalui koneksi *wallet* MetaMask yang digunakan untuk mengotorisasi transaksi pada *smart contract*.



Gambar 3. Tampilan Halaman Administrasi

Melalui halaman ini, administrator dapat mengunggah data mahasiswa dalam format .csv untuk mendukung proses *minting* secara massal serta memilih beberapa *badge* untuk menjalankan mekanisme pencabutan atau pemulihan status. Antarmuka juga menyediakan umpan balik selama proses transaksi, seperti status konfirmasi, proses transaksi, dan keberhasilan operasi.

C. Hasil Pengujian Fungsional

Pengujian dilakukan terhadap fungsi utama *smart contract* dan *frontend* untuk mengetahui kesesuaian implementasi dengan rancangan sistem. Skenario pengujian mencakup penerbitan *badge*, pembatasan transfer, pencabutan dan pemulihan *badge*, verifikasi publik, alur *minting*, pengelolaan *revoke*, serta koneksi *wallet*. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem

Komponen/Fungsi	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
<i>Smart Contract:</i> mintBatch	Admin memanggil mintBatch dengan data 8 mahasiswa	8 NFT berhasil dibuat dan tercatat sesuai kepemilikan yang ditentukan	8 NFT berhasil dibuat dan tercatat pada <i>blockchain</i> dengan kepemilikan yang sesuai	Berhasil
<i>Smart Contract: Non-Transferable</i>	Pemanggilan transferFrom pada salah satu NFT	Transaksi gagal (<i>revert</i>) dengan pesan "SBT: non-transferable"	Transaksi berhasil digagalkan dengan pesan <i>error</i> yang sesuai	Berhasil
<i>Smart Contract:</i> softRevokeBatch	Admin memilih 3 NFT dan memanggil softRevokeBatch dengan nilai true	isValid() pada ketiga NFT mengembalikan false	Status validitas ketiga NFT berubah menjadi false	Berhasil
<i>Smart Contract:</i> Pemulihan Soft Revoke	Admin memanggil softRevokeBatch dengan nilai false pada 3 NFT yang sama	isValid() kembali menghasilkan true	Status validitas ketiga NFT berhasil dipulihkan menjadi true	Berhasil
<i>Smart Contract:</i> hardRevokeBatch	Admin memilih 2 NFT dan memanggil hardRevokeBatch	2 NFT di-burn dan pemanggilan tokenURI gagal	2 NFT berhasil di-burn dan tokenURI menghasilkan <i>error</i>	Berhasil
<i>Frontend:</i> Verifikasi Publik	Pengguna membuka halaman utama dan melakukan pencarian	Galeri menampilkan <i>badge</i> valid dan hasil pencarian sesuai nama/NIM	Halaman utama dan fitur pencarian berfungsi sesuai rancangan	Berhasil
<i>Frontend:</i> Minting	Alur Admin menghubungkan <i>wallet</i> , mengunggah .csv, dan mengonfirmasi transaksi	Umpan balik proses muncul dan NFT baru ditampilkan pada galeri	Seluruh alur dari pengunggahan hingga penampilan <i>badge</i> berjalan sesuai rancangan	Berhasil
<i>Frontend:</i> Revoke	Alur Admin memilih beberapa <i>badge</i> dan menjalankan aksi massal	Umpan balik muncul dan status visual <i>badge</i> berubah	Seleksi dan aksi massal berjalan sesuai rancangan	Berhasil
<i>Frontend:</i> Wallet	Koneksi Admin melakukan <i>minting/revoke</i> dan menutup modal umpan balik	Koneksi <i>wallet</i> tetap dipertahankan	Koneksi <i>wallet</i> tetap aktif setelah transaksi	Berhasil

Berdasarkan Tabel 1, seluruh sembilan skenario pengujian fungsional menghasilkan keluaran yang sesuai dengan hasil yang diharapkan. Pada sisi *smart contract*, pengujian menunjukkan bahwa fungsi penerbitan massal, pembatasan transfer, *soft revoke*, pemulihan status, dan *hard revoke* dapat dijalankan sesuai rancangan. Pada sisi *frontend*, fungsi verifikasi publik, alur *minting*, pengelolaan pencabutan, dan pemeliharaan koneksi *wallet* juga berjalan sesuai dengan skenario pengujian.

Hasil pengujian mekanisme *non-transferable* merupakan bagian penting dari implementasi SBT pada penelitian ini. Kegagalan transaksi ketika fungsi transferFrom dijalankan menunjukkan bahwa token tidak dapat dialihkan melalui mekanisme transfer yang diuji. Karakteristik tersebut sesuai dengan tujuan penggunaan SBT sebagai representasi kredensial yang tetap terasosiasi dengan alamat *wallet* penerima. Mekanisme softRevokeBatch dan hardRevokeBatch selanjutnya memberikan fleksibilitas kepada administrator dalam mengelola validitas kredensial tanpa menyamakan seluruh bentuk pencabutan.

Pada sisi aplikasi, keberhasilan alur verifikasi publik menunjukkan bahwa informasi *badge* dapat diakses dan ditelusuri melalui antarmuka yang dikembangkan. Integrasi dengan Etherscan juga memungkinkan pengguna melakukan pemeriksaan lebih lanjut terhadap data yang tercatat pada jaringan Sepolia. Sementara itu, fungsi *minting* dan *revoke* secara massal mendukung administrator dalam mengelola beberapa *badge* melalui satu alur operasi.

Sistem juga menerapkan mekanisme *multicall* dalam pengambilan data serta *infinite scroll* pada antarmuka untuk mendukung proses pengambilan dan penyajian data. Namun, penelitian ini belum melakukan pengujian performa, *load testing*, pengukuran biaya *gas*, maupun pengujian skalabilitas pada jumlah pengguna dan token yang besar. Oleh karena itu, penerapan kedua mekanisme tersebut pada penelitian ini diposisikan sebagai optimasi teknis pada prototipe dan belum dapat digunakan sebagai bukti skalabilitas sistem untuk implementasi pada lingkungan produksi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun prototipe sistem *badge* kelulusan digital berbasis Web3 dengan mengimplementasikan konsep *Soulbound Token* (SBT) melalui *smart contract* pada jaringan

(Zaid Ahlun Ulumuddin)

Ethereum Sepolia Testnet. Berdasarkan hasil pengujian fungsional, *smart contract* dapat menjalankan fungsi penerbitan *badge* secara massal melalui mintBatch, membatasi perpindahan token melalui mekanisme *non-transferable*, serta mengelola pencabutan dan pemulihan validitas *badge* melalui softRevokeBatch dan hardRevokeBatch sesuai dengan skenario yang dirancang. Antarmuka berbasis *web* juga berhasil mendukung proses verifikasi *badge* oleh pengguna publik serta pengelolaan kredensial oleh administrator.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan SBT dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengelolaan kredensial akademik digital karena memungkinkan *badge* tetap terasosiasi dengan alamat *wallet* yang ditentukan serta menyediakan mekanisme verifikasi melalui sistem berbasis *blockchain*. Namun, penelitian ini masih terbatas pada pengembangan prototipe dan pengujian fungsional pada jaringan Ethereum Sepolia Testnet sehingga belum mencakup pengujian performa, pengukuran biaya *gas*, pengujian skalabilitas, maupun audit keamanan *smart contract* secara menyeluruh.

Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan melalui integrasi sistem dengan Sistem Informasi Akademik (SIKAD) universitas untuk mendukung proses pertukaran dan input data akademik secara terintegrasi. Untuk implementasi pada lingkungan produksi, penelitian selanjutnya juga dapat mengevaluasi penggunaan jaringan *Layer-2*, seperti Base atau Arbitrum, dengan mempertimbangkan biaya transaksi dan kebutuhan sistem berdasarkan hasil pengujian. Selain itu, audit keamanan *smart contract* oleh pihak ketiga serta pengujian performa dan skalabilitas diperlukan sebelum sistem diterapkan dalam lingkungan operasional yang lebih luas.

REFERENSI

- Alam, S., Abdullah, H., Abdulhaq, R., & Hayawi, A. (2021). A blockchain-based framework for secure educational credentials. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(10), 5157–5167. <https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i10.5298>
- Chukowry, V., Nanuck, G., & Sungkur, R. K. (2021). The future of continuous learning—Digital badge and microcredential system using blockchain. *Global Transitions Proceedings*, 2(2), 355–361. <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2021.08.026>
- Entriiken, W., Shirley, D., Evans, J., & Sachs, N. (2018). ERC-721: Non-fungible token standard (EIP-721). *Ethereum Improvement Proposals*. <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-721>
- Huang, J., Chang, C., & Wu, Y. (2022). A secure file sharing system based on IPFS and blockchain. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.01728>
- Jaenudin, J., Zahran, A., & Mahdiana, D. (2024). Blockchain utilization in secure and decentralized Web 3.0 application development. *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, 8(1), 594–599. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v9i1.13411>
- Kodir, A. (2025). Implementasi dan evaluasi sistem E-Ijazah berbasis web. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 9(3), 5183–5189. <https://doi.org/10.36040/jati.v9i3.13734>
- More, A., Poddar, V., & Sarda, S. (2023). Blockchain-based decentralized identification system using SoulBound tokens. In *2023 International Conference on Integration of Computational Intelligent System (ICICIS)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICIS56802.2023.10430319>
- Rahman, T., Chowdhury, M. A., Rahman, M. H., Hossain, S. M., & Razu, A. A. (2023). Verifi-Chain: A credentials verifier using blockchain and IPFS. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2307.05797>
- Razi, Q., Devrani, A., Abhyankar, H., Chalapathi, G. S. S., Hassija, V., & Guizani, M. (2023). Non-fungible tokens (NFTs)—Survey of current applications, evolution, and future directions. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 5, 2765–2791. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2023.3343926>
- Tumati, T. V., Tian, Y., & Jiang, X. (2024). A Soulbound Token certificate verification system (SBTCert): Design and implementation. In *2024 IEEE 14th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 345–350). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CCWC60891.2024.10427736>
- Turkanović, M., Hölbl, M., Košič, K., Heričko, M., & Kamišalić, A. (2018). EduCTX: A blockchain-based higher education credit platform. *IEEE Access*, 6, 5112–5127. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2789929>