

RANCANG BANGUN SISTEM PENERBITAN SERTIFIKAT KOMPETENSI SEBAGAI ASET NON-FUNGIBLE-TOKEN (NFT) BERBASIS BLOCKCHAIN DAN WEB3

Avinanta Tarigan
Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Gunadarma
avinanta@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Surat Keterangan Pendamping Ijazah (SKPI) sangat berharga bagi para lulusan perguruan tinggi yang sedang mencari pekerjaan, oleh karena itu rentan terhadap pemalsuan dan manipulasi. Blockchain merupakan teknologi basis data terdistribusi yang mendukung integritas data, keterbukaan, dan ketelurusan. Teknologi ini tepat digunakan untuk mencatat dan menyimpan surat berharga sebagai suatu aset digital yang bersifat terbuka dan interoperable. Standard ERC721 digunakan untuk merepresentasikan SKPI sebagai Non Fungible Token. Tujuan penelitian ini membangun sistem penerbitan SKPI sebagai aset digital dalam standar NFT yang membutuhkan ekosistem pengembangan teknologi Web3. Sistem berhasil dibangun, diimplementasikan, dan diujicobakan pada sebuah jaringan blockchain (Test-Net).

Kata Kunci: SKPI, Integritas, Blockchain, Smart Contract, NFT, Web3.

Abstract

Surat Keterangan Pendamping Ijazah (SKPI) are valuable documents for graduates who are looking for the job. Therefore, there is possibility of document falsification and manipulation. Blockchain is a distributed ledger technology that promotes data integrity, openness, and traceability. This technology can be used to securely store valuable digital assets that can be accessed openly and promotes interoperability. This research aims to develop SKPI publication system which is based on NFT and Web3 framework. The system is successfully built, implemented, and tested on a blockchain Test-Net.

Keywords: SKPI, Integrity, Blockchain, Smart Contract, NFT, Web3.

PENDAHULUAN

Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan (Permendikbud) Nomor 6 tahun 2022 tentang Ijazah, Sertifikat Kompetensi, Sertifikat Profesi, Gelar dan Ijazah Perguruan Tinggi Negara Lain, mengharuskan setiap perguruan tinggi memberikan sertifikat kompetensi bagi setiap lulusannya dalam

bentuk SKPI (Surat Keterangan Pendamping Ijazah). Surat tersebut adalah keterangan resmi tentang kompetensi yang dipunyai lulusan perguruan tinggi dan sekaligus bisa digunakan untuk melamar pekerjaan sesuai dengan keahliannya. SKPI adalah dokumen yang sangat berharga bagi para lulusan perguruan tinggi. Beberapa kasus pemalsuan SKPI menunjukkan bahwa informasi yang

terkandung dalam SKPI sangat berharga dan rentan terhadap pemalsuan dan manipulasi [1], [2].

Blockchain merupakan basis data terdistribusi berbentuk buku besar / *ledger* yang disimpan pada simpul-simpul Blockchain secara terdesentralisasi [3], [4]. Dalam Blockchain, kriptografi digunakan untuk membuktikan keaslian dan menjaga integritas data. Struktur data berbentuk rantai pada Blockchain menyediakan ketertelusuran transaksi. Jaringan Blockchain yang terdiri dari banyak simpul ditambah dengan adanya aplikasi *Block Explorer* memfasilitasi keterbukaan data dan informasi yang disimpan dalam Blockchain.

Teknologi Blockchain pada saat ini telah berkembang dimana sistem ini tidak hanya mencatat transaksi Cryptocurrency saja, tetapi dapat mengeksekusi code atau program yang disebut sebagai smart contract [5], [6]. Smartcontract akan dieksekusi jika sejumlah kondisi memenuhi, sehingga mekanisme tersebut dapat dianalogikan sebagai sebagai eksekusi otomatis dari sebuah kontrak. Perkembangan framework Web3 memungkinkan pengembangan aplikasi baik berbasis web maupun gawai yang dapat berinteraksi dengan Blockchain dan smart contract [7]. Aplikasi Terdesentralisasi (Decentralized Applications / Dapps), adalah nama dari arsitektur software ini, yang telah memperluas spektrum aplikasi Blockchain sehingga dapat diimplementasikan di berbagai bidang. DApps memungkinkan pencatatan

aset yang aman dalam jaringan bisnis. Aset dapat berwujud (rumah, mobil, uang tunai) atau tidak berwujud seperti kekayaan intelektual (paten, hak cipta, atau merek). Sehingga hampir segala sesuatu yang berharga dapat dipertukarkan dan dilacak dalam jaringan Blockchain.

IPFS adalah protokol, *hypermedia*, dan sistem berbagi file pada jaringan *peer-to-peer* untuk menyimpan dan berbagi data dalam sistem file terdistribusi [8]. IPFS menggunakan pengalamatan konten untuk mengidentifikasi secara unik setiap file dalam *namespace global* yang menghubungkan antar simpul IPFS. Setiap konten yang disimpan dalam IPFS memiliki pengidentifikasi konten, atau CID (Content Identification), yang merupakan sidik data (hash) dari konten tersebut. IPFS dan Blockchain saling melengkapi dalam hal penyimpanan data yang besar seperti gambar atau video. Blockchain tidak didesain untuk menyimpan data yang besar, untuk itu data atau file yang berukuran besar disimpan dalam jaringan IPFS. Setelah itu, alamat dan CID data tersebut disimpan dalam Blockchain. Pada beberapa penelitian IPFS digunakan untuk membuktikan keaslian dokumen.

Beberapa penelitian sudah memanfaatkan blockchain untuk menyimpan surat atau sertifikat akademik. **Doc-Block** [10] adalah platform yang dikembangkan dalam sebuah penelitian untuk mengetahui dan menjamin otentikasi sebuah dokumen. Sebuah framework telah dikembangkan oleh [11]

untuk melakukan verifikasi terhadap dokumen dengan menyimpan metadata dan *hash* dari dokumen dan pemiliknya dalam jaringan blockchain. Sedangkan [12] mengembangkan framework dalam mengembangkan dokumen dan disimpan dalam blockchain. Proses verifikasi sertifikat akademik yang disimpan dalam blockchain dilakukan oleh beberapa peneliti [13] [12]–[14]. Verifikasi dokumen elektronik dilakukan dengan membandingkan dokumen yang diunggah dengan informasi yang disimpan dalam blockchain. Beberapa penelitian lainnya [11], [13]–[16] berfokus pada pemanfaatan integritas blok dan smart contract untuk melakukan pencatatan dalam blok dan memanfaatkan tautan antar blok untuk memeriksa integritas data. Sampai pada saat penelitian dilakukan belum ditemukan pengembangan sistem yang memanfaatkan standar terbuka yang sudah ada. Penggunaan standar dalam sistem berimplikasi pada interoperabilitas dan mudah untuk digunakan oleh pengguna, terutama pengguna yang sudah mengenal dunia Web3.

Berdasarkan penjelasan di atas, Blockchain adalah teknologi yang tepat digunakan untuk menyimpan dan mempublikasikan sertifikat kompetensi dalam bentuk data digital. Pada Ethereum Blockchain atau turunannya terdapat standar ERC721 (*Ethereum Request of Comments* no 721) yang berisi spesifikasi pembuatan dan pengoperasian Smart Contract NFT (*Non Fungible Token*) yang dapat digunakan sebagai representasi kepemilikan atas

sertifikat kompetensi yang diterbitkan oleh perguruan tinggi [9]. Dalam penelitian ini, sebuah sistem dibangun dimana sertifikat kompetensi diterbitkan sebagai token berstandar ERC721. Sertifikat dalam bentuk NFT ini kemudian dipindah-tangankan ke alamat Wallet mahasiswa atau lulusan. Lulusan menyimpan SKPI digitalnya dalam Blockchain Wallet dan dapat membagikannya tautannya kepada perusahaan pencari pekerja yang diminati oleh lulusan tersebut. Dengan menggunakan Blockchain Explorer, perusahaan pencari pekerja dapat menelusuri, memvalidasi, dan mendapatkan informasi kompetensi dari lulusan tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini membangun sistem penerbitan berbasis Web3 dan Blockchain menggunakan metodologi pengembangan perangkat lunak secara konvensional atau *System Development Life Cycle*. Fase pengembangan adalah sebagai berikut:

1. Analisis Kebutuhan

Pada fase ini dilakukan penentuan kebutuhan fungsional dan non-fungsional terutama dengan proses publikasi sertifikat dan batasan-batasan yang harus dipenuhi terkait blockchain dan web3 itu sendiri.

2. Desain Sistem

Pada fase ini desain arsitektur perangkat lunak dikembangkan yang terdiri dari front-end, wallet, smart

contract, IPFS, serta jaringan blockchain.

3. Coding
Pada fase ini pemrograman terhadap smart contract, front-end, dan back-end, dilakukan untuk menghasilkan perangkat lunak yang siap untuk diuji dan diimplementasikan
4. Pengujian dan Implementasi
Fase terakhir adalah pengujian sistem sekaligus implementasinya. Pada fase ini smart contract *dideploy* pada sebuah testnet blockchain dan dijalankan melalui mekanisme yang ada dalam blockchain Wallet dan IPFS.\

HASIL DAN PEMBAHASAN

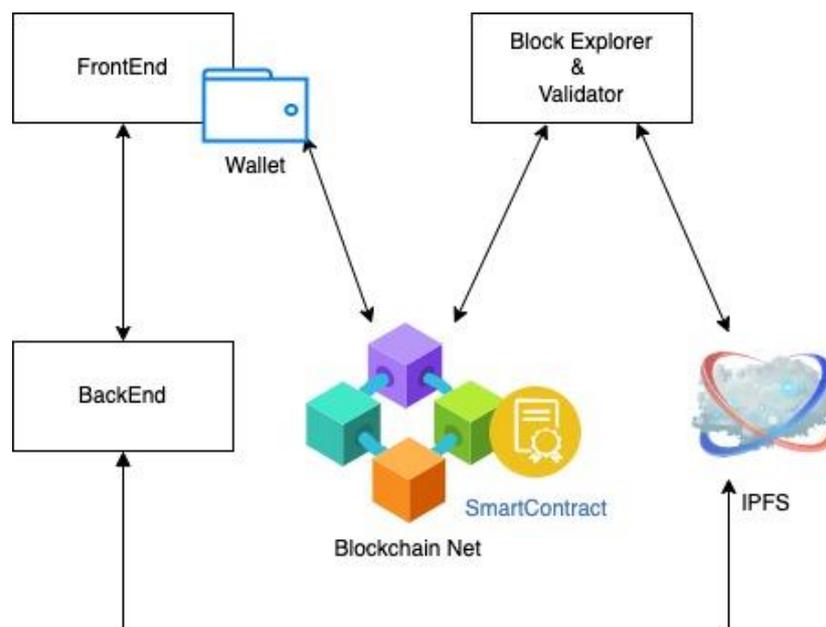
SKPI diterbitkan sebagai Token berstandar ERC721 (Tabel 1, FR0). Dengan menggunakan standar tersebut, sertifikat yang diterbitkan adalah aset unik yang hanya bisa dimiliki oleh satu orang saja. Namun, hal ini menimbulkan masalah baru, yaitu bagaimana penanganan mekanisme transfer standar ERC721. Transfer token adalah hal yang lazim dan wajar pada token aset, tetapi tidak untuk aset seperti ijazah, kredensial, maupun SKPI. Untuk itu kebutuhan fungsional pertama adalah bahwa token SKPI tidak dapat ditransfer dari satu pemilik ke pemilik lainnya (Tabel 1 - FR1).

Tabel 1. Kebutuhan Fungsional Sistem Penerbitan SKPI

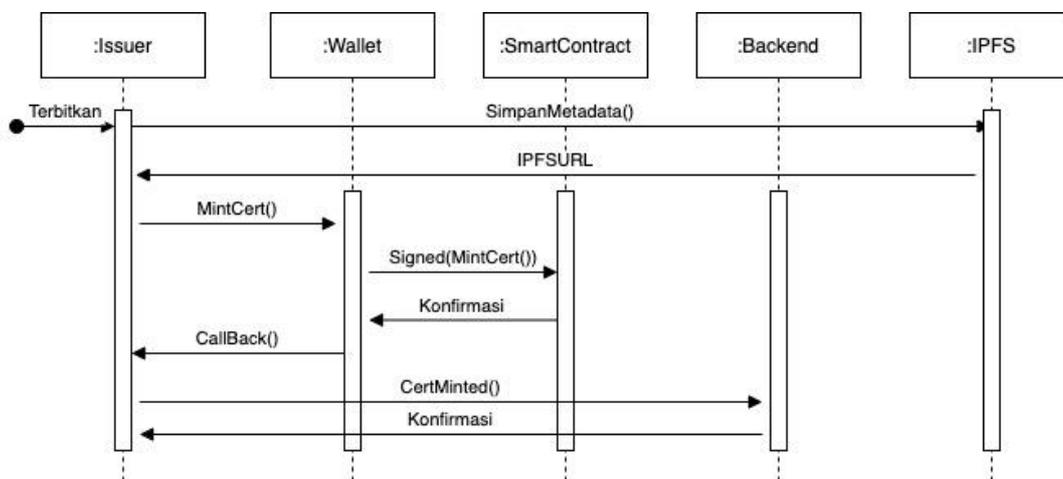
No	Nama	Keterangan
FR0	Sistem menerbitkan SKPI yang direpresentasikan dengan Non Fungible Token dan menjadi milik seseorang yang merupakan lulusan perguruan tinggi penerbit token SKPI	Sistem terhubung ke jaringan Blockchain dan menerbitkan (<i>minting</i>) Token SKPI dalam bentuk NFT dengan menggunakan Smart Contract berbasis ERC721
FR1	Token SKPI tidak dapat ditransfer dari satu pemilik ke pemilik lainnya.	Perubahan dilakukan pada standar implementasi ERC721
FR2	Token SKPI hanya boleh ditransfer oleh alamat Wallet penerbit token aset SKPI kepada alamat Wallet lulusan	Token diterbitkan (<i>minting</i>) oleh universitas dan dapat ditransfer ke mahasiswa atau lulusan setelah melalui validasi identitas dan kepemilikan atas alamat wallet.
FR3	Metadata token berisi informasi penting terkait penerbit, pemilik token (lulusan), serta kompetensi dalam ukuran yang kecil. Data terkait kompetensi lainnya dalam ukuran besar disimpan pada jaringan IPFS.	Alamat dan hash data yang disimpan pada IPFS menjadi tautan yang disimpan dalam metadata token SKPI
FR4	Sistem menyediakan fungsi untuk melihat SKPI (view) dan ketelusurannya dalam Blockchain	Pengguna dapat memanfaatkan public Block Explorer untuk menelusuri penerbitan token SKPI

Untuk memenuhi kebutuhan ini, standar implementasi ERC721 perlu diubah agar hanya penerbit token yang berhak melakukan transfer token [17]. Sebagai contoh, sebuah perguruan tinggi adalah otoritas penerbit token SKPI yang akan mentransfer token yang telah diterbitkan ke alamat wallet mahasiswa atau lulusan. Untuk melakukan transfer token SPKI ke alamat Wallet, mahasiswa atau lulusan harus dapat memberikan bukti atas kepemilikan alamat Wallet melalui suatu proses validasi. Setelah melalui proses tersebut maka token SKPI dapat ditransfer ke alamat Wallet yang bersangkutan (Tabel 1-FR2). Melalui penjelasan di atas maka Informasi yang merupakan isi dari SKPI disimpan dalam metadata token. Tetapi hal ini tidak dimungkinkan untuk data yang besar atau yang berbentuk binary. Untuk itu data yang besar seperti foto atau hasil scan SKPI akan

disimpan dan dapat diakses melalui IPFS (Tabel 1 - FR3). Selain itu sistem menyediakan fungsi bagi calon perusahaan yang sedang menyeleksi calon pekerja untuk melihat SKPI dan menelusuri SKPI dalam konteks Blockchain (Tabel 1 - FR4). Rancangan arsitektur penerbitan SKPI sebagai NFT digambarkan pada Gambar 1. FrontEnd penerbitan SKPI adalah antar muka pengguna berbasis JavaScript Web3 yang berinteraksi dengan pengguna yang berwenang menerbitkan SKPI. Sebagai aplikasi berbasis Web3, FrontEnd memanggil API program Wallet untuk melakukan interaksi dengan Blockchain dan SmartContract. Wallet adalah program dalam bentuk plugin pada Browser yang mengelola dan menyimpan kunci privat pengguna, menghubungkan program FrontEnd yang ditulis dalam JavaScript ke jaringan Blockchain.



Gambar 1. Arsitektur Sistem



Gambar 2. Alur Interaksi antar Sub-Sistem Penerbitan Token SKPI

Wallet juga berfungsi dalam pengelolaan aset digital baik dalam bentuk *native token* maupun standar token lainnya seperti ERC20 maupun ERC721. FrontEnd terhubung ke Backend melalui API untuk pengelolaan data.

Data disimpan dalam basis data RDBMS maupun dalam jaringan IPFS. Salah contoh data yang disimpan dalam IPFS adalah file gambar hasil pindaian (*scan*) dari lembar SKPI asli. Untuk memeriksa validitas SKPI dan melihat isi dari SKPI yang dikirimkan, perusahaan pencari kerja dapat memanfaatkan program validator NFT maupun Block Explorer yang tersedia untuk diakses publik secara terbuka. ERC721 mendefinisikan sebuah field metadata yang disimpan dalam bentuk string berformat JSON.

Metadata berisi informasi penting yang melekat pada token SKPI yang diterbitkan. Alur penerbitan token SKPI dan interaksi antar

subsistem digambarkan pada Gambar 2 sebagai berikut :

1. Pengguna yang mempunyai otoritas menerbitkan SKPI menginisiasi terbitnya SKPI dengan menyimpan metadata lengkap ke jaringan IPFS. Setelah metadata tersimpan, sistem IPFS akan merespon dengan alamat URL dan ID yang merupakan hash dari data metadata tersebut.
2. Setelah mendapatkan alamat dan CID atas data yang disimpan dalam IPFS, FrontEnd Issuer mengkonstruksi metadata token SKPI dan memanggil API penerbitan token SKPI melalui Wallet yang terinstall di browser. Wallet menandatangani pemanggilan tersebut dengan kunci privat pengguna dan mengirimkannya secara asinkronous ke SmartContract melalui

salah satu simpul Blockchain yang terkoneksi dengan Wallet.

3. Simpul Blockchain akan melakukan validasi terhadap tanda tangan digital dan mengirimkannya sebelum mengeksekusi SmartContract. Konfirmasi dari SmartContract atas penerbitan tersebut dikirimkan kembali ke Wallet dengan respon berupa **ID transaksi**, **ID token**, serta **nomor Blok**. Pada saat ini, token SKPI yang sudah diterbitkan akan muncul pada Wallet penerbit, siap untuk ditransfer ke alamat Wallet pengguna.
4. Pemanggilan API secara asinkron dilanjutkan dengan pemanggilan fungsi Callback oleh Wallet kembali kepada FrontEnd Issuer. Fungsi Callback ini kemudian memberikan notifikasi ke pengguna sekaligus memanggil API penyimpanan informasi terbitnya token SKPI ke Backend. Backend menyimpan hasil penerbitan berupa ID transaksi, ID token, dan nomor Blok beserta atribut lain yang diperlukan.

Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini, SmartContract ERC721 dibangun dengan bahasa Solidity 0.8.9 dan menggunakan *framework* OpenZeppelin 4.8.1. Solidity adalah bahasa pemrograman yang digunakan dalam membangun SmartContract berbasis

Ethereum. Sedangkan OpenZeppelin adalah *framework* Open Source yang digunakan untuk mempermudah membangun smart contract pada jaringan blockchain berbasis Ethereum. OpenZeppelin menyediakan pustaka pemrograman yang sudah divalidasi dan diverifikasi keamanannya. Terutama yang berhubungan dengan fungsi *safemath* dan kontrol akses.

Gambar 4 menyetengahkan cuplikan program utama Token SKPI dalam bahasa Solidity. Untuk memenuhi kebutuhan fungsional FR1 dan FR2 maka implementasi ERC721 diturunkan dari class **ERC721**, **ERC721BurnAble**, dan **AccessControl**. Untuk mengamankan penerbitan dan transfer, kontrol akses diimplementasikan pada dua fungsi penting, yaitu fungsi **mint()** untuk menerbitkan token SKPI dan fungsi **transferOwnership()** untuk mentransfer token SKPI kepada pemiliknya. Pemanggilan kedua fungsi ini dibatasi oleh kontrol akses berbasis RBAC (*Role Based Access Control*). Alamat Wallet pemanggil (*caller*) yang mempunyai hak untuk melakukan penerbitan didefinisikan dalam **PENERBIT_ROLE** dan yang mempunyai hak untuk melakukan transfer didefinisikan dalam **TRANSFER_ROLE**. Selanjutnya keduanya dikelola oleh administrator perguruan tinggi dengan fungsi **grantRole()** dan **revokeRole()**. Selanjutnya adalah melakukan inialisasi dan penyebaran (*deployment*) Smart Contract yang telah dibuat ke jaringan Blockchain berbasis EVM (*Ethereum Virtual Machine*).

Untuk itu digunakan beberapa perangkat lunak dan lingkungan EVM sebagai berikut :

- Compiler dan Deployment Tools :
REMIX (<https://remix.ethereum.org>)
- Blockchain Wallet : Metamask
- Blockchain TestNet : EVM TestNet dengan protokol konsensus PoA & Clique
- Hardware Wallet : LedgerX

```
pragma solidity ^0.8.9;

import "@openzeppelin/contracts@4.8.1/token/ERC721/ERC721.sol";
import "@openzeppelin/contracts@4.8.1/token/ERC721/extensions/ERC721Burnable.sol";
import "@openzeppelin/contracts@4.8.1/access/AccessControl.sol";

contract UGSKPI is ERC721, ERC721Burnable, AccessControl {
    bytes32 public constant PENERBIT_ROLE = keccak256("PENERBIT_ROLE");
    bytes32 public constant TRANSFER_ROLE = keccak256("TRANSFER_ROLE");

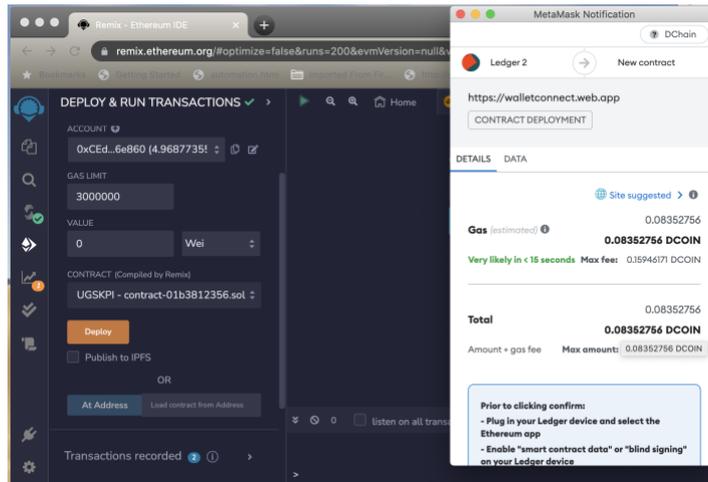
    constructor() ERC721("UGSKPI", "UGK") {
        _grantRole(DEFAULT_ADMIN_ROLE, msg.sender);
        _grantRole(PENERBIT_ROLE, msg.sender);
        _grantRole(TRANSFER_ROLE, msg.sender);
    }

    function _baseURI() internal pure override returns (string memory) {
        return "https://skpi.gunadarma.net";
    }

    function safeMint(address to, uint256 tokenId) public onlyRole(PENERBIT_ROLE) {
        _safeMint(to, tokenId);
    }

    function mint(address to, uint256 amount) public {
```

Gambar 4. Cuplikan Program Inisialisasi Token SKPI



Gambar 5. Smart Contract Deployment

Tabel 2. Hasil Pengujian

No	Pengujian	Output yang Diharapkan	Hasil
FR0 FR4	Menerbitkan token SKPI dengan metadata yang sudah disiapkan dan ditransfer ke alamat Wallet lain yang sudah disiapkan dan alamat IPFS untuk mengisi	Token SKPI terbentuk dan metadata tersimpan dalam Blockchain dan IPFS. Aplikasi dapat memindahkan ke token menjadi asset alamat Wallet alumni yang sudah disiapkan	Token terbentuk dan terkonfirmasi melalui Block Explorer. Metadata dapat diambil melalui URL yang tercantum di NFT. Kepemilikan token berpindah kepada alamat Wallet Baru. Metadata tersimpan di IPFS sesuai dengan CID yang tersimpan di token SKPI.
FR1	Mentransfer token SKPI yang sudah diterbitkan dari alamat Wallet lulusan1 ke alamat Wallet lulusan2, dengan menggunakan alamat Wallet lulusan 1	Transfer gagal	Token gagal ditransfer ke alamat Wallet lulusan 2
FR2	Mentransfer token SKPI yang sudah diterbitkan ke alamat Wallet pengguna 2 dengan menggunakan otoritas penerbit token	Transfer Berhasil	Token berhasil ditransfer ke alamat Wallet lulusan 2
FR5	Memeriksa apakah token dapat dilihat / dicari menggunakan Block Explorer berdasarkan alamat Token.	View Berhasil, Traceability Berhasil	Token dapat dicari melalui alamat token pada Block Explorer. Perpindahan kepemilikan token dapat dilacak pada Block Explorer

Smart Contract UGSKPI di-*deploy* (Gambar 5) pada sebuah jaringan blockchain yang diperuntukkan untuk menguji smart contract (test-net). Hal ini membutuhkan *gas fee*, sejumlah kecil mata uang kripto yang dibayarkan kepada simpul blockchain yang berhasil memenangkan blok baru. TestNet untuk pengujian ini menggunakan protokol konsensus *Proof of Authority* (PoA) dan *Clique*. Pengujian fungsional dilakukan dengan menggunakan Smart Contract yang sudah terpasang pada jaringan Blockchain dengan data uji sebagai berikut :

- Blockchain : TestNet
- Alamat SmartContract :
0x3C398E3516C2953063Fb20176E1bAdEba5d6A9a4
- Alamat Wallet Minter :
0x531F7d3f3665854A1fEa336739bF672F4B5afDc5
- Alamat Wallet Lulusan 1 :
0xd075f0d226d0a09645EFC50716055a679Ee9595b
- Alamat Wallet Lulusan 2:
0x6b1D801DB96786C0E8B7bfe5CE22F7cA70dCcBf6

Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian sistem penerbitan token SKPI. Pengujian FR0 aan FR4 dilakukan dengan menerbitkan token SKPI, memindahkan kepemilikannya ke alamat Wallet pemilik dan memeriksa konten dan metadata yang ada di IPFS. Pengujian FR1 dilakukan dengan mentransfer token dari

Wallet 1 ke Wallet 2 oleh pemilik token (alamat Wallet 1). Pengujian FR2 dilakukan dengan mentransfer token yang sudah terbit ke dari Wallet 1 ke Wallet 2 oleh Wallet *minter*. Pengujian FR5 dilakukan dengan memeriksa dan menjelajah tautan dan isi blok pada Blockchain test-net dengan menggunakan block-explorer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem telah bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah didefinisikan sebelumnya (FR0 – FR5)

KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian ini, sebuah sistem penerbitan SKPI sebagai NFT berbasis blockchain, smart contract dan web3 telah dibangun untuk mengakomodir kebutuhan token SKPI sebagai *non-transferable token*, ditambahkan fitur kontrol akses pada smart contract. Dengan tujuan pemilik NFT tidak dapat mentransfer token SKPI kepada orang lain. Smart contract dipasang pada jaringan blockchain test-net publik untuk mensimulasikan lingkungan jaringan blockchain sebenarnya. Pengujian fungsional telah dilakukan pada sistem yang dibangun dimana sistem telah berfungsi sesuai dengan didefinisikan.

Sistem ini dapat dikembangkan sesuai dengan peta jalan ekosistem Web3. Pertama adalah pengembangan DID (Decentralized Identity) dimana identitas digital mahasiswa atau lulusan didefinisikan dalam sistem blockchain secara terdesentralisasi. Kedua

adalah mekanisme DAO (Decentralized Autonomous Organization) dimana keputusan penting seperti penerbitan SKPI dan pengalihan kepemilikan NFT dilakukan secara *voting* oleh beberapa departemen di dalam perguruan tinggi untuk mengurangi risiko *singe point of failure*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moedy, “Dugaan Pemalsuan Ijazah di IAIMNU Metro, PH Minta JPU Berikan Tuntutan Maksimal Terdakwa RML,” *IAMNU Metro Lampung*, 2021.
- [2] Andi Indra, “Berkas Tersangka SKPI Dilimpahkan ke Jaksa,” *Kompas Online*, 2020. Accessed: Jan. 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.kompasiana.com/andiimran/54ff1a1ea333115e4550f87f/berkas-tersangka-skpi-dilimpahkan-ke-jaksa>
- [3] J. H. Larrier, “A brief history of blockchain,” in *Transforming Scholarly Publishing With Blockchain Technologies and AI*, 2021. doi: 10.4018/978-1-7998-5589-7.ch005.
- [4] H. Guo and X. Yu, “A Survey on Blockchain Technology and its security,” *Blockchain: Research and Applications*, 2022.
- [5] Z. Zheng *et al.*, “An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 105, 2020, doi: 10.1016/j.future.2019.12.019.
- [6] S. N. Khan, F. Loukil, C. Ghedira-Guegan, E. Benkhelifa, and A. Bani-Hani, “Blockchain smart contracts: Applications, challenges, and future trends,” *Peer Peer Netw Appl*, vol. 14, no. 5, 2021, doi: 10.1007/s12083-021-01127-0.
- [7] M. Wagner, “Web3,” *schule verantworten / führungskultur_innovation_autonomie*, no. 1, 2022, doi: 10.53349/sv.2022.i1.a174.
- [8] M. Antony Saviour and D. Samiappan, “IPFS based file storage access control and authentication model for secure data transfer using block chain technique,” *Concurr Comput*, vol. 35, no. 2, Jan. 2023, doi: 10.1002/cpe.7485.
- [9] D. Chirtoaca, J. Ellul, and G. Azzopardi, “A Framework for Creating Deployable Smart Contracts for Non-fungible Tokens on the Ethereum Blockchain,” in *Proceedings - 2020 IEEE International Conference on Decentralized Applications and Infrastructures, DAPPS 2020*, 2020. doi: 10.1109/DAPPS49028.2020.00012.
- [10] T. Imam, Y. Arafat, K. Alam, and S. Shahriyar, “DOC-BLOCK: A Blockchain Based Authentication System for Digital Documents,” Feb. 2021, pp. 1262–1267. doi: 10.1109/ICICV50876.2021.9388428.

- [11] Mrs. L. S. S, Mrs. P. N, and Mrs. A. Shettar, "Block chain Based Framework for Document Verification," in *2022 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP)*, Feb. 2022, pp. 1–5. doi: 10.1109/AISP53593.2022.9760651.
- [12] M. Das, X. Tao, Y. Liu, and J. C. P. Cheng, "A blockchain-based integrated document management framework for construction applications," *Autom Constr*, vol. 133, p. 104001, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2021.104001.
- [13] H. Gaikwad, N. D'Souza, R. Gupta, and A. K. Tripathy, "A Blockchain-Based Verification System for Academic Certificates," in *2021 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)*, Jul. 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICSCAN53069.2021.9526377.
- [14] A. S. Alammary, S. Alhazmi, M. M. Almasri, and S. Gillani, "Blockchain-Based Applications in Education: A Systematic Review," *Applied Sciences*, 2019.
- [15] J.-C. Cheng, N.-Y. Lee, C. Chi, and Y.-H. Chen, "Blockchain and smart contract for digital certificate," *2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)*, pp. 1046–1051, 2018.
- [16] F. ul Hassan *et al.*, "Blockchain And The Future of the Internet: A Comprehensive Review," 2019, doi: 10.48550/ARXIV.1904.00733.
- [17] S. Alam, H. Abdullah, R. Abdulhaq, and A. Hayawi, "A Blockchain-based framework for secure Educational Credentials," *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, vol. 12, pp. 5157–5167, Apr. 2021.