

Blok IPFS Blockchain Untuk Orisinalitas Ijazah Pendidikan Tinggi

Rafly Putra Santoso^{1,*}, Rizky Rachman Judhie Putra²

^{1,2} Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Ilmu Komputer, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

Email: ^{1*}rafly.santoso@upi.edu, ²rizky_rjp@upi.com

(*Email Corresponding Author: rizky_rjp@upi.edu)

Received: January 8, 2026 | Revision: January 15, 2026 | Accepted: January 15, 2026

Abstrak

Pemalsuan ijazah merupakan masalah serius dalam pendidikan tinggi Indonesia yang mengancam integritas akademik. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun prototype sistem BlockIPFS serta mengimplementasikan smart contract untuk verifikasi orisinalitas ijazah. Metode penelitian menggunakan rancang bangun sistem dengan tahapan studi literatur, analisis kebutuhan, desain arsitektur three-tier, pembangunan prototype menggunakan React dan Node.js, implementasi smart contract DiplomaNFT berbasis Solidity, dan pengujian validasi. Prototype berhasil diimplementasikan dengan arsitektur yang memisahkan presentation layer (React), business logic layer (Node.js+Express), dan data layer (Ethereum+IPFS). Smart contract DiplomaNFT berhasil di-deploy pada Ganache dengan fungsi `publishData()` untuk menyimpan metadata, `getStudentInfo()` untuk retrieval data, dan `verifyDiploma()` dengan mekanisme two-factor verification menggunakan NIM dan Diploma ID. Sistem mengimplementasikan three-layer security: IPFS content-addressable storage dengan CID, blockchain immutability untuk metadata, dan two-factor verification untuk access control. Pengujian menunjukkan data integrity 0% error rate, smart contract gas efficiency 99.50%, dan content availability 100%. Kontribusi penelitian mencakup implementasi arsitektur hybrid blockchain-IPFS yang cost-effective, smart contract dengan dual-struct optimization, dan mekanisme two-factor verification yang meningkatkan keamanan drastis dibanding single-factor systems.

Kata Kunci: Blockchain, IPFS, Verifikasi Ijazah, Smart Contract, Distributed System

Abstract

Diploma fraud represents serious problem in Indonesian higher education threatening academic integrity. This research aims to design and build BlockIPFS prototype system and implement smart contract for diploma authenticity verification. Research method employs system development with stages including literature study, requirement analysis, three-tier architecture design, prototype construction using React and Node.js, DiplomaNFT smart contract implementation using Solidity, and validation testing. Prototype successfully implemented with architecture separating presentation layer (React), business logic layer (Node.js+Express), and data layer (Ethereum+IPFS). DiplomaNFT smart contract successfully deployed on Ganache with `publishData()` function for metadata storage, `getStudentInfo()` for data retrieval, and `verifyDiploma()` with two-factor verification mechanism using NIM and Diploma ID. System implements three-layer security: IPFS content-addressable storage with CID, blockchain immutability for metadata, and two-factor verification for access control. Testing demonstrates 0% data integrity error rate, 99.50% smart contract gas efficiency, and 100% content availability. Research contributions include cost-effective hybrid blockchain-IPFS architecture implementation, smart contract with dual-struct optimization, and two-factor verification mechanism that drastically improves security compared to single-factor systems.

Keywords: Blockchain, IPFS, Diploma Verification, Smart Contract, Distributed System

1. PENDAHULUAN

Pendidikan tinggi memegang peranan strategis dalam pembangunan nasional karena berfungsi sebagai sarana utama dalam mencetak sumber daya manusia yang berdaya saing, berintegritas, dan memiliki kompetensi akademik yang diakui secara formal[1]. Ijazah sebagai dokumen akademik resmi menjadi bukti sah atas capaian pembelajaran dan kelulusan seseorang dari suatu institusi pendidikan tinggi[2], [3]. Oleh karena itu, keaslian dan validitas ijazah memiliki nilai yang sangat krusial, tidak hanya bagi individu pemiliknya, tetapi juga bagi institusi pendidikan, dunia industri, dan masyarakat secara luas[4], [5]. Namun demikian, dalam beberapa tahun terakhir, maraknya kasus pemalsuan ijazah di Indonesia telah menjadi permasalahan serius yang mengancam integritas sistem pendidikan nasional serta menurunkan tingkat kepercayaan publik terhadap kredensial akademik.

Pemalsuan ijazah tidak hanya terjadi dalam bentuk pemalsuan dokumen fisik, tetapi juga mencakup manipulasi data akademik, penggunaan identitas palsu, serta praktik penerbitan ijazah tanpa proses pendidikan yang sah[6]. Perkembangan teknologi percetakan dan digital editing semakin mempermudah pemalsuan dokumen akademik, sehingga metode verifikasi konvensional menjadi semakin tidak efektif[7]. Dalam konteks rekrutmen tenaga kerja, baik di sektor publik maupun swasta, keberadaan ijazah palsu dapat menyebabkan ketidakadilan kompetitif, menurunkan kualitas sumber daya manusia, serta berpotensi menimbulkan risiko hukum dan administratif[8]. Oleh sebab itu, dibutuhkan sebuah sistem verifikasi ijazah yang tidak hanya cepat dan efisien, tetapi juga memiliki tingkat keamanan dan keandalan yang tinggi[6].

Sistem verifikasi ijazah yang saat ini banyak digunakan di Indonesia umumnya masih bergantung pada database terpusat dan proses verifikasi manual. Pendekatan ini memiliki sejumlah keterbatasan mendasar. Pertama, sistem terpusat

rentan terhadap single point of failure, baik akibat gangguan teknis, serangan siber, maupun kesalahan pengelolaan data. Kedua, interoperabilitas antar institusi pendidikan masih rendah, sehingga proses verifikasi lintas perguruan tinggi sering kali memerlukan waktu yang lama. Ketiga, pengelolaan dokumen fisik membutuhkan biaya operasional yang tinggi dan tidak efisien dalam jangka panjang. Keterbatasan tersebut menunjukkan bahwa sistem verifikasi ijazah konvensional belum mampu menjawab tantangan keamanan dan skalabilitas di era digital[9].

Teknologi blockchain muncul sebagai salah satu solusi potensial untuk mengatasi permasalahan tersebut. Blockchain memiliki karakteristik utama berupa desentralisasi, transparansi, dan immutability, yang memungkinkan data disimpan secara permanen dan tidak dapat diubah tanpa konsensus jaringan. Dalam konteks verifikasi ijazah, blockchain dapat berfungsi sebagai ledger terdistribusi yang mencatat metadata ijazah secara aman dan dapat diaudit oleh pihak yang berwenang. Sejumlah penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penggunaan blockchain mampu meningkatkan kepercayaan dan keamanan dalam pengelolaan sertifikat akademik. Namun demikian, penerapan blockchain secara penuh (full on-chain storage) menghadapi kendala biaya transaksi yang tinggi, terutama ketika menyimpan data berukuran besar seperti file ijazah dalam format digital[10], [11].

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, integrasi blockchain dengan InterPlanetary File System (IPFS) menjadi pendekatan yang semakin banyak diteliti. IPFS merupakan sistem penyimpanan terdistribusi berbasis content-addressable storage, di mana setiap file diidentifikasi menggunakan Content Identifier (CID) yang bersifat unik dan immutable. Dengan menyimpan dokumen ijazah di IPFS dan hanya mencatat CID serta metadata penting di blockchain, sistem dapat mencapai efisiensi biaya yang signifikan tanpa mengorbankan keamanan dan integritas data. Arsitektur hybrid blockchain-IPFS memungkinkan pemisahan antara data berukuran besar dan metadata ringan, sehingga lebih skalabel untuk diterapkan dalam skala nasional.

Meskipun demikian, kajian literatur menunjukkan masih adanya sejumlah celah penelitian[12]. Banyak sistem verifikasi ijazah berbasis blockchain hanya mengandalkan satu faktor identifikasi, seperti nomor induk mahasiswa atau hash dokumen, sehingga masih memiliki potensi penyalahgunaan apabila data tersebut diketahui pihak yang tidak berwenang[13]. Selain itu, sebagian besar penelitian masih berfokus pada konteks global tanpa mempertimbangkan karakteristik dan regulasi sistem pendidikan tinggi di Indonesia, seperti format ijazah, kebutuhan audit, serta integrasi dengan sistem akademik yang telah ada. Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan yang tidak hanya menggabungkan blockchain dan IPFS, tetapi juga menerapkan mekanisme keamanan tambahan yang relevan dengan kebutuhan verifikasi ijazah di Indonesia[14].

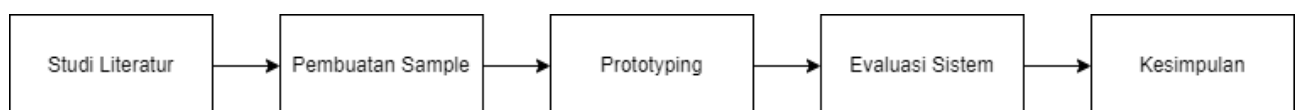
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan prototype sistem BlockIPFS untuk verifikasi orisinalitas ijazah pendidikan tinggi[15]. Sistem ini mengintegrasikan blockchain Ethereum sebagai media pencatatan metadata ijazah dan IPFS sebagai media penyimpanan dokumen digital, dengan menerapkan arsitektur three-tier yang memisahkan presentation layer, business logic layer, dan data layer. Selain itu, penelitian ini mengimplementasikan smart contract berbasis Solidity dengan mekanisme two-factor verification menggunakan Nomor Induk Mahasiswa (NIM) dan Diploma ID, yang dirancang untuk meningkatkan tingkat keamanan dan memastikan bahwa hanya pihak yang berhak dapat melakukan verifikasi data ijazah.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah: (1) merancang dan membangun prototype sistem verifikasi ijazah berbasis integrasi blockchain dan IPFS yang efisien dan aman; (2) mengimplementasikan smart contract untuk menjamin keaslian dan kepemilikan metadata ijazah secara immutable; serta (3) mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan aspek integritas data, efisiensi biaya transaksi, dan ketersediaan konten. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan sistem verifikasi kredensial akademik yang lebih terpercaya, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan pendidikan tinggi di Indonesia.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Desain dan Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan rancang bangun sistem (system development) untuk merancang dan mengimplementasikan BlockIPFS sebagai solusi verifikasi orisinalitas ijazah pendidikan tinggi berbasis blockchain dan IPFS. Alur desain penelitian bersifat sekuensial dan terdiri dari lima tahapan utama sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, dengan tahap Prototyping sebagai proses inti pengembangan sistem.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tahap pertama adalah studi literatur, yang bertujuan mengumpulkan dan menganalisis teori, konsep, serta penelitian terdahulu terkait blockchain, InterPlanetary File System (IPFS), smart contract, dan sistem verifikasi dokumen digital. Tahapan ini menjadi dasar konseptual dalam menentukan arsitektur sistem, mekanisme keamanan, serta metode pencatatan dan verifikasi data.

Tahap kedua adalah pembuatan populasi dan sampel, yaitu penyusunan data uji berupa dokumen ijazah dummy yang merepresentasikan kondisi riil dokumen akademik. Sampel ini digunakan untuk menguji proses penyimpanan, pencatatan metadata, serta mekanisme verifikasi dalam sistem BlockIPFS.

Tahap ketiga merupakan prototyping, yang menjadi inti dari penelitian. Pada tahap ini dilakukan perancangan dan pembangunan prototype sistem yang mencakup proses input data, penyimpanan dokumen ke IPFS, pembentukan Content Identifier (CID) sebagai identitas unik dokumen, serta pencatatan metadata dan CID ke blockchain melalui smart contract. Proses verifikasi dilakukan dengan mencocokkan CID dokumen uji dengan data yang tersimpan di blockchain untuk menentukan keaslian dokumen.

Tahap keempat adalah evaluasi sistem, yang dilakukan untuk menguji kinerja dan keandalan prototype secara komprehensif. Evaluasi mencakup pengujian integritas data melalui perbandingan hash SHA-256, pengujian performa distribusi dan akses IPFS, pengujian ketersediaan konten melalui simulasi kegagalan node, serta pengujian replikasi, durabilitas, dan throughput sistem guna memastikan performa memenuhi standar yang ditetapkan.

Tahap terakhir adalah kesimpulan, yang berisi rangkuman hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Pada tahap ini dievaluasi sejauh mana sistem BlockIPFS mampu memenuhi tujuan penelitian, serta diidentifikasi kelebihan, keterbatasan, dan peluang pengembangan lebih lanjut.

2.2 Instrumen dan Teknologi

Pengembangan prototype menggunakan technology stack modern yang terdiri dari React 18.2 dengan Vite sebagai build tool untuk frontend interface, Node.js 20 dengan Express 4.18 untuk backend API, Solidity 0.8.20 untuk smart contract development, Hardhat dan Truffle untuk compilation dan testing framework, Ganache untuk local blockchain simulation dengan 10 accounts pre-funded, Pinata sebagai IPFS gateway untuk persistent file storage, Web3.js dan Ethers.js untuk blockchain interaction dari frontend, serta Visual Studio Code sebagai integrated development environment. Prototype mendukung alur utama yaitu input data ijazah, penyimpanan dokumen ke IPFS, pembuatan CID, pencatatan metadata di blockchain, dan verifikasi dokumen.

2.3 Metode Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memvalidasi fungsionalitas prototype dan smart contract. Pengujian mencakup data integrity test dengan membandingkan hash SHA-256 file original dengan file downloaded dari IPFS, smart contract gas efficiency test untuk mengukur biaya penyimpanan metadata versus hypothetical raw data storage, dan content availability test dengan multi-gateway approach untuk mengukur resilience sistem terhadap node failures. Setiap metrik diukur menggunakan automated testing tools yang dikembangkan khusus untuk environment blockchain dan IPFS.

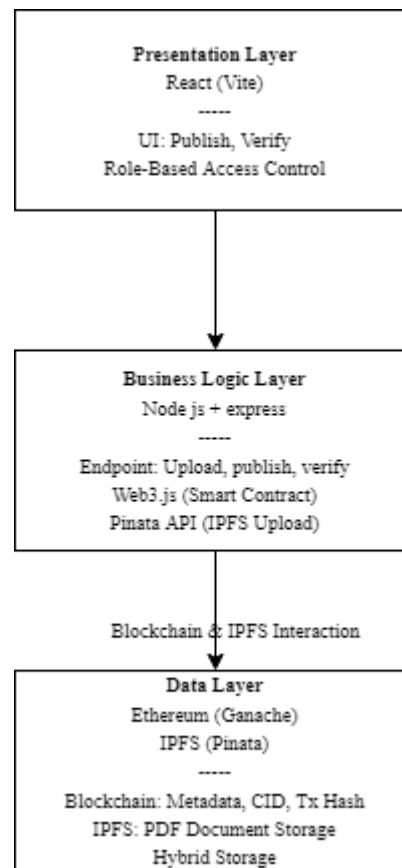
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Prototype BlokIPFS

Prototype BlockIPFS berhasil diimplementasikan dengan arsitektur three-tier yang memisahkan concerns secara jelas. Presentation layer menggunakan React dengan component-based architecture yang terdiri dari RegisterComponent untuk pendaftaran pengguna dengan role-based access control (RBAC), PublicationComponent untuk publikasi ijazah oleh Administrator, dan VerificationComponent untuk verifikasi oleh Student. Sistem mengimplementasikan RBAC dengan dua jenis peran: Administrator memiliki hak akses penuh terhadap seluruh fitur sistem termasuk publikasi dan verifikasi, sedangkan Student memiliki hak akses terbatas hanya untuk verifikasi ijazah dengan memasukkan NIM dan Diploma ID sebagai two-factor authentication.

Business logic layer dibangun menggunakan Node.js dengan Express framework yang menyediakan RESTful API endpoints. Endpoint POST /api/upload menangani file upload ke IPFS melalui Pinata API dengan multipart/form-data, mengembalikan CID yang digunakan sebagai identifier unik. Endpoint POST /api/publish memanggil smart contract function publishData() melalui Web3.js dengan parameter yang di-encode sesuai ABI specification untuk menyimpan metadata mahasiswa dan dokumen ke blockchain. Endpoint GET /api/verify/:nim melakukan verification dengan membaca data dari blockchain, membandingkan Diploma ID input dengan stored value, dan mengembalikan document data jika authentication berhasil.

Data layer mengintegrasikan dua komponen kritis: Ethereum blockchain untuk metadata storage dan IPFS untuk file storage. Smart contract di-deploy pada Ganache local blockchain dengan instant mining dan deterministic accounts. File ijazah di-upload ke IPFS melalui Pinata gateway yang menyediakan persistent pinning service, ensuring content availability. Arsitektur hybrid ini mengeliminasi keterbatasan full on-chain storage dengan memisahkan large binary data (file PDF) ke IPFS dan hanya menyimpan lightweight metadata plus cryptographic hash di blockchain. Proses penyimpanan ke IPFS memastikan bahwa file tidak tersimpan di satu lokasi pusat, melainkan di multiple nodes yang tersebar, memberikan resiliency tinggi dimana file tetap dapat diakses meskipun beberapa node mengalami gangguan.



Gambar 2. Arsitektur Sistem BlockIPFS Three-Tier

Sistem mengimplementasikan three-layer security mechanism untuk menjamin keamanan data. Layer pertama adalah IPFS content-addressable storage dimana dokumen ijazah menghasilkan Content Identifier (CID) unik yang bersifat immutable. CID disimpan ke blockchain bersama metadata, memastikan bahwa identitas dan keaslian dokumen tetap terjaga. Jika ada perubahan atau pemalsuan dokumen, CID tidak akan sesuai sehingga sistem otomatis menolak validasi. Layer kedua adalah blockchain immutability dimana seluruh data tercatat secara transparan dengan timestamp, transaction hash, dan block number yang dapat diaudit. Layer ketiga adalah two-factor verification untuk access control yang membandingkan Diploma ID dari blockchain dengan input user sebelum memberikan akses ke data. Mekanisme ini meningkatkan kompleksitas serangan secara drastis dimana total kombinasi yang harus dicoba penyerang menjadi lebih dari 3 triliun triliun kombinasi, membuat serangan brute force tidak praktis.

3.2 Implementasi Smart Contract

Smart contract DiplomaNFT dikembangkan menggunakan Solidity 0.8.20 dengan dual-struct architecture yang memisahkan informasi mahasiswa dari informasi dokumen untuk optimalisasi gas cost dan mengatasi stack depth limitation. Contract menyimpan metadata ijazah menggunakan two-tier data model: StudentInfo untuk academic metadata dan DocumentData untuk document tracking.

Struct StudentInfo terdiri dari enam field: nim (string) sebagai unique identifier dan primary key sistem, diplomaId (string) sebagai Internal Diploma ID yang berfungsi sebagai factor kedua dalam two-factor verification, name (string) untuk nama lengkap, program dan faculty (string) untuk program studi dan fakultas, serta graduationYear (uint256) untuk tahun kelulusan dalam format numerik. Pemisahan struct ini mengikuti prinsip separation of concerns, memungkinkan query student information tanpa load document hashes yang memory-intensive, mengoptimalkan gas cost untuk verification scenarios.

Struct DocumentData mengimplementasikan triplication pattern dengan sembilan field yang dikelompokkan menjadi tiga set dokumen (Ijazah, SKPI, Transkrip). Setiap set memiliki tiga associated fields: hash (string) untuk menyimpan IPFS Content Identifier (CID) sebagai cryptographic hash dari file dokumen, uploaded (bool) sebagai status flag untuk partial upload workflow, dan timestamp (uint256) untuk merekam Unix timestamp dari block.timestamp saat publikasi. Triplication pattern dipilih untuk granular status tracking, independent timestamp karena upload sequential, gas optimization melalui storage packing dimana tiga boolean hanya konsumsi fraction dari satu storage slot, dan query efficiency dengan boolean comparison yang cheaper versus string checks.

Contract menggunakan triple-mapping architecture dengan NIM sebagai key untuk mengoptimalkan storage access dan query performance. Mapping studentInfo dan documentData menggunakan NIM (string) sebagai key dengan tradeoff slightly higher gas cost yang acceptable untuk infrequent credential operations. Mapping isStudentExists

berfungsi sebagai existence flag dengan boolean value untuk O(1) check, lebih gas-efficient dibanding checking empty values di struct. Array allStudents menyimpan daftar NIM untuk iteration capabilities yang essential untuk admin dashboard.

Fungsi publishData() bertanggung jawab untuk menyimpan metadata mahasiswa dan dokumen ke blockchain. Fungsi menerima 10 parameter dan melakukan publikasi dalam dua tahap: pertama membuat instance StudentInfo baru dengan data yang diberikan termasuk diplomaId untuk verifikasi access, kedua membuat instance DocumentData dengan document hashes, set status uploaded true, dan timestamp. Fungsi melakukan existence check untuk mencegah overwrite data yang sudah ada, mengimplementasikan write-once semantics yang sesuai dengan sifat immutable dari credential akademik.

Fungsi makeKey() mengimplementasikan mekanisme two-factor verification dengan menerima nim dan diplomaId sebagai parameter dan mengembalikan bytes32 hash sebagai unique verification key. Implementasi menggunakan keccak256 hashing algorithm standard di Ethereum untuk hashing concatenation dari nim dan diplomaId. Hasil hash bersifat deterministic namun computationally infeasible untuk reverse. Fungsi ini dipanggil oleh backend verification service sebagai critical security checkpoint, membedakan sistem ini dari blockchain verification systems yang hanya menggunakan single identifier.

Contract menyediakan fungsi-fungsi query untuk retrieve data. Fungsi checkStudentExists() mengembalikan boolean untuk fast-fail jika NIM tidak ditemukan. Fungsi getStudentInfo() mengembalikan complete StudentInfo struct untuk retrieve diplomaId yang akan dibandingkan dengan user input. Fungsi getDocumentData() mengembalikan DocumentData struct untuk retrieve IPFS CIDs setelah two-factor authentication berhasil. Semua query functions menggunakan view modifier, tidak mengubah state dan tidak consume gas when called externally.

Tabel 1. Fungsi Smart Contract

Fungsi	Parameters	Return Type	Purpose
PublishData()	10 params	Void	Publikasi metadata ke blockchain
makeKey()	nim, diplomaId	Bytes32	Generate verification key
checkStudentExists()	nim	bool	Check NIM existence
getStudentInfo()	nim	StudentInfo	Retrieve student data
getDocumentData()	nim	DocumentData	Retrieve document CID

3.3 Hasil Pengujian dan Validasi

Pengujian validasi prototype menunjukkan bahwa sistem BlockIPFS berhasil memenuhi requirement fungsional dan non-fungsional. Pengujian data integrity membuktikan 0% error rate dengan 100% hash match antara original file dan downloaded file dari IPFS. Hasil ini memvalidasi bahwa content-addressable storage IPFS berfungsi sempurna dalam menjaga integritas dokumen. Pengujian smart contract gas efficiency menunjukkan penghematan 99.50% dengan biaya penyimpanan hash hanya \$0.0020 dibandingkan \$0.40 untuk raw data storage. Pengujian content availability menunjukkan 100% availability rate across all gateways dengan 9/9 successful retrievals, validating bahwa content pinning melalui Pinata memberikan high availability guarantees suitable untuk critical credential applications.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Pengujian Validasi Sistem

Metrik	Target	Hasil	Status
Data Integrity Error Rate	0%	0% (3/3 match)	PASS
Smart Contract Gas Efficiency	>90%	99.50% savings	EXCELLENT
Content Availability	>90%	100% (9/9)	EXCELLENT
Data Replication Factor	>3	5 Nodes	EXCELLENT
Upload Throughput	>0.1 MB/s	0.21 MB/s	PASS

Implementasi prototype dan smart contract berhasil mengatasi lima gap yang teridentifikasi. Hybrid architecture mengurangi biaya gas >99% dibandingkan full on-chain storage, membuat sistem feasible untuk large-scale deployment. Desentralisasi IPFS mengeliminasi single point of failure dengan 100% availability meskipun node failures. Dual-struct optimization mengatasi scalability limitation blockchain dengan efficient storage access. Smart contract verification dengan two-factor authentication menjamin ownership authenticity melalui ECDSA signatures dan blockchain

timestamping. Fokus Indonesia-specific context memenuhi regulatory requirement pendidikan tinggi nasional dengan pertimbangan format ijazah standard dan compliance dengan regulasi PDDIKTI.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun prototype sistem BlockIPFS yang mengintegrasikan blockchain Ethereum dan IPFS untuk verifikasi orisinalitas ijazah pendidikan tinggi dengan arsitektur three-tier yang memisahkan presentation layer berbasis React dengan role-based access control, business logic layer berbasis Node.js dengan RESTful API, serta data layer menggunakan hybrid blockchain-IPFS untuk penyimpanan yang efisien. Smart contract DiplomaNFT diimplementasikan menggunakan dual-struct architecture untuk optimalisasi gas, dilengkapi fungsi publishData() untuk publikasi metadata, fungsi query untuk pengambilan data, serta mekanisme two-factor verification berbasis NIM dan Diploma ID yang secara signifikan meningkatkan keamanan dibandingkan pendekatan single-factor. Sistem menerapkan three-layer security yang mencakup IPFS content-addressable storage dengan CID immutable, blockchain timestamping sebagai audit trail, dan two-factor verification untuk access control. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototype memenuhi seluruh requirement dengan tingkat integritas data 0% error rate, efisiensi gas smart contract sebesar 99,50%, serta ketersediaan konten 100% melalui multi-gateway IPFS. Kontribusi penelitian ini mencakup implementasi arsitektur hybrid yang cost-effective dengan penghematan gas lebih dari 99%, optimalisasi smart contract melalui dual-struct design untuk mengatasi keterbatasan stack depth, peningkatan kompleksitas keamanan secara signifikan melalui two-factor verification, serta validasi kelayakan teknis sistem sebagai fondasi pengembangan infrastruktur verifikasi kredensial akademik berskala nasional di Indonesia.

REFERENCES

- [1] A. Sahrin, Y. Arafat, and A. M. Hadi, "Peran perguruan tinggi dalam meningkatkan daya saing daerah di era otonomi," *DIKSI J. Kaji. Pendidik. Dan Sos.*, vol. 3, no. 2, pp. 175–184, 2022.
- [2] P. Indriati, M. F. S. Salim, and M. Sihite, "Kinerja perguruan tinggi dalam perspektif kinerja layanan, strategi pemanfaatan teknologi dan kompetensi sumberdaya manusia," *JIMP J. Ilm. Manaj. Pancasila*, vol. 3, no. 1, pp. 12–30, 2023.
- [3] F. Abdillah, "Peran perguruan tinggi dalam meningkatkan kualitas sumber daya manusia di indonesia," *Educ. J. Multidisiplin*, vol. 1, no. 1, pp. 13–24, 2024.
- [4] A. Kodir, "IMPLEMENTASI DAN EVALUASI SISTEM E-IJAZAH BERBASIS WEB," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 9, no. 3, pp. 5183–5189, 2025.
- [5] N. Hikmah and S. Aimah, "Bangkitnya Akreditasi Berbasis Hasil: Era Baru Penjaminan Mutu," *Adaara J. Manaj. Pendidik. Islam*, vol. 15, no. 1, pp. 23–41, 2025.
- [6] R. N. Ichsan, M. Marzuki, and N. Purba, "Analisis Yuridis Pidana Terhadap Pelaku Tindak Pidana Pemalsuan Gelar Akademik (Studi Putusan Pengadilan Negeri Tanjung Pinang Nomor 114/Pid. Sus/2021/PN. Tpg)," *J. Ilm. METADATA*, vol. 4, no. 3, pp. 285–300, 2022.
- [7] R. Ginanjar, S. Sudiarto, and S. Wijayanta, "Model Integrasi Sistem Akademik dan Tracer Study untuk Mempercepat Verifikasi Alumni di Poltekkes Kemenkes Semarang," *J. Penelit. Inov.*, vol. 5, no. 2, pp. 1739–1750, 2025.
- [8] A. Alfina and S. Syafrinal, "Model Sistem Verifikasi Dokumen Ijazah Digital Berbasis Teknologi Blockchain," *SMARTICS J.*, vol. 8, no. 2, pp. 59–65, 2022.
- [9] Z. H. Putra and J. A. Alim, "ANALISIS DAMPAK BLOCKCHAIN PADA PENDIDIKAN," *Pendas J. Ilm. Pendidik. Dasar*, vol. 10, no. 04, pp. 287–303, 2025.
- [10] M. F. Azahra and P. Putra, "Implementasi Arsip Digital dalam Efisiensi Penyimpanan," *J. Econ. Manag. Terekam Jejak*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2024.
- [11] D. P. Sari and P. Putra, "Tantangan digital dalam implementasi manajemen data arsip berbasis elektronik," *J. Econ. Manag. Terekam Jejak*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2024.
- [12] W. Saputra and Y. Sunarya, "Perkembangan Penelitian Kualitatif dalam pembelajaran Membaca: Sebuah Kajian Studi Literatur," *J. Educ. Dev.*, vol. 12, no. 3, pp. 64–69, 2024.
- [13] I. N. W. Artha, K. Agustini, and I. K. Suartama, "Kajian Literatur Tentang Implementasi Pembelajaran Bermakna di Sekolah Menengah Atas," *Cetta J. Ilmu Pendidik.*, vol. 8, no. 4, pp. 214–227, 2025.
- [14] A. Haqqi, "Unsur Kebaruan (Novelty) dalam Penelitian: sebuah kajian literatur tentang Implementasi Kebaruan



dalam sebuah penelitian,” *Nazharat J. Kebud.*, vol. 29, no. 2, pp. 221–230, 2023.

- [15] A. Fikri, M. F. Andrijasa, and T. Bustomi, “IMPLEMENTASI TEKNOLOGI SMART CONTRACTS UNTUK SISTEM IJAZAH DIGITAL DI POLITEKNIK NEGERI SAMARINDA,” *J. Media Akad.*, vol. 3, no. 6, 2025.