

Pengujian Sistem Identitas Digital Siswa Berbasis *Blockchain* untuk Keamanan dan Transparansi Menggunakan *Black-Box Testing*

Berta Erwin Slam^{1*}, Feri Irawan², Nolan Efranda³, Rifaldi Herikson⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Informatika, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Indonesia

¹ bertaerwinslam@umrah.ac.id, ² feriirawan@umrah.ac.id, ³ nolanefranda@umrah.ac.id,

⁴ rifaldiherikson@umrah.ac.id

Diajukan: 7 Mei 2025 | Direvisi: 14 Juni 2025 | Diterima: 16 Juni 2025 | Diterbitkan: 30 Juni 2025

Abstrak

Penelitian ini mengusulkan sistem kartu identitas siswa berbasis teknologi blockchain sebagai solusi yang aman dan transparan untuk manajemen identitas digital di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA). Sistem ini dirancang untuk mengatasi berbagai permasalahan pada metode identifikasi konvensional, seperti pemalsuan data, kerusakan kartu fisik, serta keterbatasan dalam proses verifikasi. Sistem dikembangkan menggunakan framework Laravel yang terintegrasi dengan jaringan blockchain privat, di mana data identitas siswa di-hash dan disimpan secara permanen. Identitas digital ini direpresentasikan dalam bentuk QR code yang dicetak pada kartu pelajar. Proses verifikasi identitas dapat dilakukan secara mandiri melalui aplikasi web tanpa bergantung pada otoritas pusat. Evaluasi sistem dilakukan melalui pengujian fungsionalitas menggunakan metode black-box testing, serta uji coba pengguna (user testing) untuk menilai keandalan, efisiensi, dan kemudahan penggunaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memverifikasi identitas dengan rata-rata waktu respons QR code kurang dari 3 detik dan tingkat keberhasilan login mencapai 98%. Dengan demikian, integrasi teknologi blockchain dalam sistem web terbukti menjadi pendekatan yang inovatif dan layak dalam modernisasi manajemen identitas siswa. Sistem ini berkontribusi pada penguatan transformasi digital pendidikan menengah yang aman, efisien, dan terdesentralisasi.

Kata Kunci: Aplikasi Berbasis Web, Blockchain, Identitas Digital, Sistem Terdesentralisasi

Abstract

This study proposes a blockchain-based student identity card system as a secure and transparent solution for managing digital identities at the senior high school level. The system is designed to address various issues found in conventional identification methods, such as data forgery, physical card damage, and limited verification capabilities. Developed using the Laravel framework and integrated with a private blockchain network, student identity data is hashed and stored permanently. The digital identity is represented as a QR code printed on the student ID card. Identity verification can be performed independently through a web-based application without relying on a central authority. System evaluation was conducted through functional testing using the black-box testing method, as well as user testing to assess reliability, efficiency, and usability. Test results showed that the system was able to verify identities with an average QR code response time of less than 3 seconds and a login success rate of 98%. Therefore, the integration of blockchain technology into the web platform proves to be an innovative and feasible approach to modernizing student identity management. This system contributes to strengthening the digital transformation of secondary education in a secure, efficient, and decentralized manner.

Keywords: Blockchain, Decentralized System, Digital Identity, Web-Based Application



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-NC-SA 4.0). Copyright (C) Author's.

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi digital telah secara signifikan mengubah paradigma pengelolaan data identitas, khususnya dalam aspek keamanan dan transparansi. Salah satu solusi yang

Berta Erwin Slam, Feri Irawan, Nolan Efranda, Rifaldi Herikson

berkembang pesat adalah penerapan teknologi *blockchain* dalam pengelolaan identitas digital. Di sektor pendidikan, khususnya pada tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA), sistem identifikasi pelajar konvensional yang menggunakan kartu fisik sering menghadapi tantangan seperti pemalsuan data, kerusakan fisik kartu, serta proses verifikasi yang lambat dan tersentralisasi [1], [2]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan berbasis teknologi yang inovatif untuk meningkatkan keamanan, efisiensi, dan keandalan sistem identifikasi pelajar.

Teknologi *blockchain* menawarkan pendekatan terdesentralisasi yang menjamin integritas data melalui mekanisme hashing, consensus algorithms, dan smart contracts [3], [4]. Identitas siswa disimpan dalam bentuk data yang terenkripsi pada jaringan *blockchain*, sehingga tidak dapat diubah dan dapat diverifikasi tanpa bergantung pada otoritas pusat [5], [6]. Sistem ini diperkuat dengan penggunaan kode QR yang mewakili identitas unik setiap siswa dan dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti absensi, ujian, akses fasilitas, serta fungsi administrasi lainnya di lingkungan sekolah [7], [8].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem identitas digital berbasis *blockchain* telah berhasil diimplementasikan di sektor pendidikan, memberikan berbagai manfaat seperti pengurangan pemalsuan identitas, penyederhanaan proses administrasi, dan peningkatan transparansi [9], [10], [11], [12], [13]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut belum secara eksplisit mengembangkan dan menguji sistem identitas digital yang diterapkan langsung pada konteks kartu identitas pelajar di lingkungan SMA. Hal ini menjadi celah penelitian (research gap) yang coba dijawab dalam studi ini. Selain itu, pentingnya interoperabilitas dan standar terbuka seperti *Blockchain Academic Credential Interoperability Protocol* (BACIP) menjadi aspek kunci agar kredensial dapat diverifikasi lintas platform secara global. Pendekatan seperti *Self-Sovereign Identity* (SSI) memungkinkan siswa untuk mengelola penuh data pribadinya [6], [14], sejalan dengan prinsip privasi dan keamanan yang dijunjung tinggi dalam sistem pendidikan digital modern [15], [16].

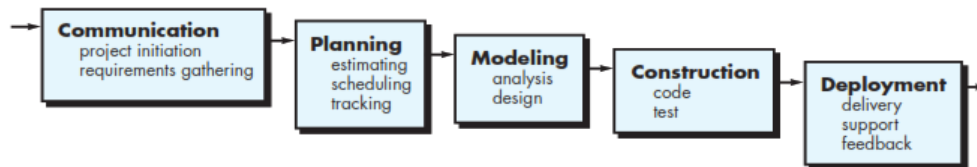
Penggunaan framework Laravel yang dikombinasikan dengan jaringan *blockchain* privat memfasilitasi pengembangan aplikasi berbasis web yang terintegrasi dengan infrastruktur pendidikan yang telah ada. Sistem ini mendukung pendaftaran siswa, verifikasi, dan penyimpanan identitas digital dalam bentuk data hash pada *blockchain* [17], [18]. Dalam implementasinya, administrator sekolah atau pihak verifikasi dapat memindai kode QR siswa untuk mengakses dan memverifikasi data tanpa bergantung pada basis data terpusat. Penelitian sebelumnya juga mengonfirmasi bahwa *blockchain* meningkatkan keamanan, transparansi, dan efisiensi dalam verifikasi identitas dan kredensial [19], [20], [21], [22], [23], [24]. Teknologi ini memungkinkan kontrol data secara mandiri, mencegah pemalsuan, serta mendukung sistem identitas digital terintegrasi yang terdesentralisasi.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi sistem kartu identitas pelajar berbasis *blockchain* yang terintegrasi dalam aplikasi web. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan keamanan, efisiensi, dan fleksibilitas manajemen identitas bagi pelajar tingkat SMA. Proses pengembangan mengikuti model Waterfall, yang terdiri atas tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan sistem identitas digital yang aman dan andal serta mendukung transformasi digital pendidikan di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak dengan model pengembangan Waterfall. Pemilihan model ini dilakukan karena sifatnya yang terstruktur dan cocok digunakan dalam proyek dengan kebutuhan yang telah ditentukan sejak awal. Dalam model ini, proses pengembangan perangkat lunak dibagi menjadi serangkaian tahapan yang terdefinisi dengan baik, yaitu: (1) analisis kebutuhan, (2) perancangan sistem dan perangkat

lunak, (3) implementasi dan pengujian unit, (4) integrasi dan pengujian sistem, serta (5) operasi dan pemeliharaan, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1. Setiap tahap harus diselesaikan sepenuhnya sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya, mencerminkan sifat linier dan intensif dokumentasi dari model ini [25]



Gambar 1. Alur proses dari model *Waterfall* [26]

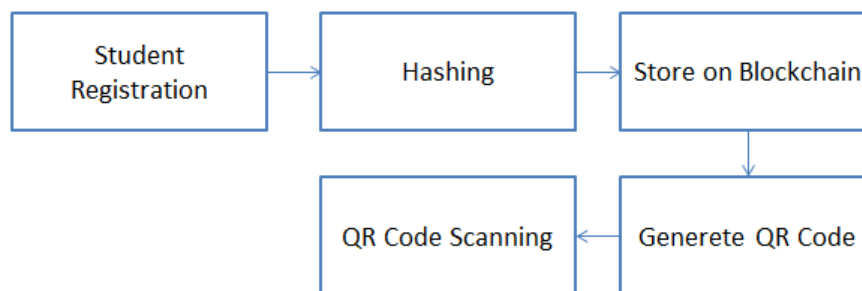
Tahapan pengembangan yang dilakukan pada penelitian menggunakan tahapan *Waterfall* dengan tahapan kerja sebagai berikut :

1. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan dilakukan melalui tiga pendekatan utama: observasi langsung di sekolah yaitu pada sekolah SMA 1 Bengkulu Utara, wawancara semi-terstruktur dengan 3 staf TU dan 1 guru IT, dan studi dokumentasi. Kriteria pemilihan responden menggunakan metode purposive sampling, didasarkan pada peran mereka dalam proses administrasi dan penggunaan kartu identitas siswa. Data yang diperoleh dianalisis untuk mengidentifikasi permasalahan dalam sistem identifikasi konvensional dan kemudian dirumuskan ke dalam kebutuhan fungsional dan non-fungsional. Hasil akhir tahap ini adalah dokumen Software Requirements Specification (SRS) yang menjadi acuan desain sistem.

2. Perancangan Sistem dan Perangkat Lunak

Berdasarkan kebutuhan yang telah dirumuskan, dilakukan perancangan arsitektur sistem secara menyeluruh, termasuk perancangan database, antarmuka pengguna, serta alur sistem. Perancangan sistem dilakukan dalam dua tingkatan yang saling melengkapi. Perancangan pertama mencakup pengembangan arsitektur aplikasi berbasis web dan struktur modular sistem secara konseptual. Pada tahap ini, digunakan alat bantu pemodelan seperti Use Case Diagram untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai interaksi sistem dengan aktor eksternal serta relasi logis antar entitas dalam sistem. Sementara itu, perancangan kedua fokus pada implementasi teknis dari desain konseptual sebelumnya. Tahapan ini mencakup perancangan struktur tabel database menggunakan MySQL, perancangan alur logika sistem menggunakan framework Laravel, serta pengembangan skema koneksi dan integrasi sistem dengan jaringan private blockchain. Pada tahap ini juga dilakukan perancangan algoritma hashing untuk penyimpanan identitas siswa secara terenkripsi, serta mekanisme komunikasi sistem dengan smart contract melalui pustaka web3 PHP. Perancangan ini memastikan sistem dapat berjalan secara fungsional sesuai kebutuhan pengguna dan mendukung arsitektur yang aman, efisien, serta terdesentralisasi. Alur proses sistem secara keseluruhan di tunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Proses Sistem Identitas Digital Berbasis Blockchain

3. Implementasi dan Pengujian Unit

Implementasi dilakukan menggunakan bahasa pemrograman PHP dengan framework Laravel. Fungsi-fungsi utama seperti registrasi, login, dan verifikasi identitas dikembangkan dalam modul-modul terpisah. Unit testing Laravel digunakan untuk menguji setiap fungsi secara independen.

Platform *blockchain* yang digunakan adalah Ethereum berbasis jaringan lokal (Ganache) yang berjalan dalam konfigurasi 3 node. Protokol konsensus yang dipilih adalah Proof of Authority (PoA) karena lebih ringan dan cocok untuk jaringan tertutup dengan kontrol entitas yang jelas seperti dalam lingkungan sekolah. PoA dipilih karena tidak memerlukan komputasi berat seperti Proof of Work (PoW), serta lebih cepat dalam konfirmasi transaksi.

4. Integrasi dan Pengujian Sistem

Setelah seluruh modul berhasil diuji secara terpisah, dilakukan integrasi sistem secara menyeluruh. Pengujian dilakukan melalui metode black-box testing, yang mencakup pengujian fungsionalitas, keamanan, dan performa sistem. Metrik yang digunakan meliputi:

- Akurasi verifikasi data
- Waktu respons verifikasi QR Code (diharapkan <3 detik)
- Keberhasilan transaksi hash ke blockchain
- Tingkat keberhasilan login dan registrasi pengguna

Selain itu, dilakukan pengujian keamanan dan performa pada modul blockchain, termasuk:

- Waktu rata-rata pencatatan hash ke blockchain
- Simulasi 100 permintaan verifikasi berurutan untuk menilai performa jaringan
- Deteksi ketahanan hash terhadap manipulasi data

Selain itu, dilakukan uji coba pengguna (user testing) dengan 50 siswa dan 2 admin sekolah untuk menilai aspek usability.

5. Operasional dan Pemeliharaan

Setelah sistem berhasil diuji, aplikasi diuji coba di lingkungan sekolah secara terbatas. Tahap ini mencakup:

- Pemantauan bug dan kesalahan selama penggunaan
- Pengumpulan feedback pengguna
- Perbaikan fitur minor dan peningkatan performa

Sistem dirancang dengan prinsip skalabilitas, sehingga dapat diperluas untuk jumlah pengguna lebih besar atau diimplementasikan di sekolah lain dengan penyesuaian minimal.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam konteks pengembangan sistem kartu identitas siswa berbasis *blockchain*, analisis kebutuhan dilakukan melalui observasi langsung di lingkungan sekolah, wawancara dengan pemangku kepentingan terkait (seperti staf administrasi, guru, siswa, dan kepala sekolah), serta studi dokumentasi terhadap sistem identifikasi siswa yang telah ada. Temuan lapangan mengungkapkan beberapa kelemahan pada sistem konvensional, antara lain:

- Kerentanan terhadap pemalsuan data akibat pencatatan manual dan tidak adanya mekanisme verifikasi yang memadai;
- Kartu fisik rentan terhadap kerusakan atau kehilangan, sehingga menimbulkan biaya cetak ulang sehingga kurang praktis;
- Proses verifikasi identitas hanya dapat dilakukan oleh otoritas pusat sekolah, sehingga menyulitkan pihak ketiga (misalnya pada saat lomba atau ujian eksternal) untuk melakukan verifikasi secara mandiri;
- Tidak adanya integrasi digital serta tidak adanya sistem pelacakan riwayat penggunaan kartu.

Berdasarkan data yang dikumpulkan tersebut, sehingga didapatkan kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem. Kebutuhan fungsional disajikan dalam Tabel 1, sedangkan kebutuhan non-fungsional dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 1. Kebutuhan Fungsional

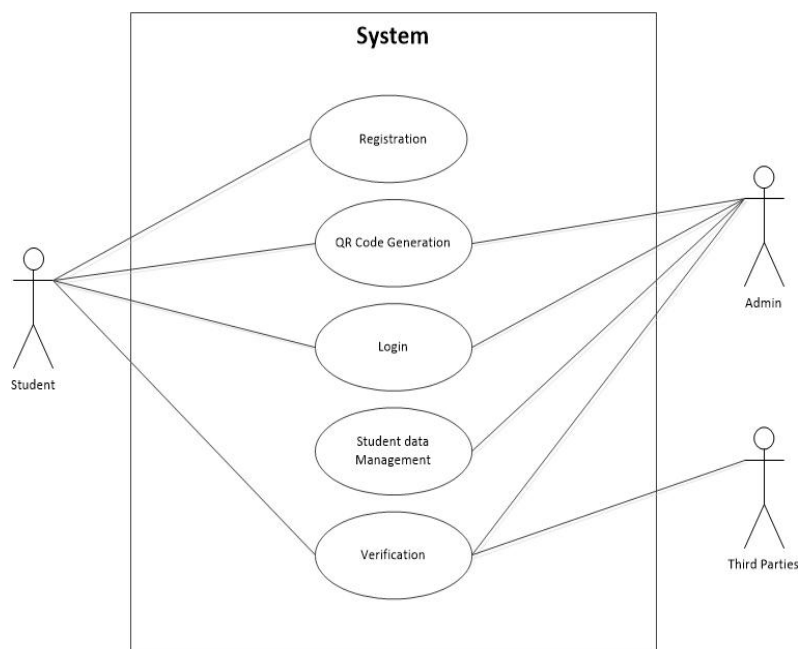
No.	Kebutuhan Fungsional	Deskripsi
1	Registrasi Siswa	Siswa mengisi data pribadi seperti nama, nomor induk siswa (NIS), kelas, dan foto.
2	Penyimpanan Data pada Blockchain	Data yang telah divalidasi di-hash dan disimpan dalam jaringan <i>blockchain</i> .
3	Pembuatan Kode QR	Sistem menghasilkan kode QR berdasarkan identitas siswa yang telah di-hash.
4	Login Pengguna (Siswa & Admin)	Sistem menyediakan autentikasi login bagi siswa maupun admin.
5	Verifikasi Identitas oleh Pihak Ketiga	Pihak verifikator dapat memindai kode QR dan memverifikasi identitas siswa melalui aplikasi web.
6	Manajemen Data Siswa oleh Admin	Admin dapat mengedit atau menghapus data siswa sesuai kebutuhan.

Tabel 2. Kebutuhan Non-Fungsional

No.	Kebutuhan Non-Fungsional	Deskripsi
1	Keamanan	Seluruh data harus dienkripsi dan hanya dapat diakses oleh pengguna yang berwenang untuk menjaga

		kerahasiaan dan integritas.
2	Ketersediaan Sistem	Sistem harus dapat diakses oleh pengguna selama 24 jam sehari dan 7 hari seminggu (24/7) guna memastikan ketersediaan tinggi.
3	Performa	Proses verifikasi kode QR harus berjalan dengan cepat, dengan waktu respons kurang dari 3 detik.
4	Kemudahan Penggunaan	Antarmuka pengguna harus intuitif dan mudah digunakan oleh siswa, administrator, serta pihak verifikasi.
5	Skalabilitas	Sistem harus mampu menangani peningkatan jumlah pengguna dan data tanpa menurunkan kinerja.
6	Kompatibilitas	Aplikasi harus berfungsi dengan baik di berbagai platform, termasuk perangkat desktop dan seluler.

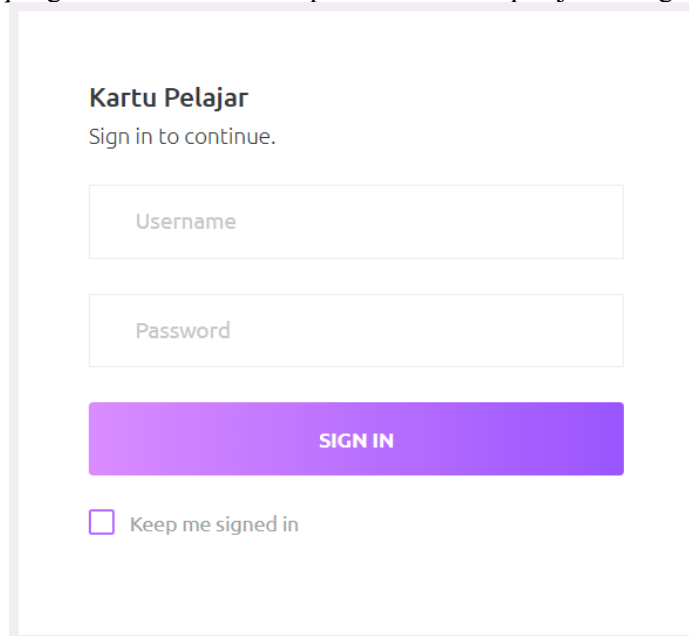
Setelah menyelesaikan fase analisis, yang mencakup kebutuhan fungsional dan non-fungsional, langkah selanjutnya adalah tahap perancangan sistem. Tahap ini bertujuan untuk mengembangkan cetak biru (blueprint) menyeluruh mengenai arsitektur dan fungsionalitas sistem. Salah satu alat utama yang digunakan dalam tahap ini adalah *use case diagram*, yaitu representasi visual yang menggambarkan interaksi antara sistem dan aktor eksternal [26]. Diagram ini menjelaskan berbagai fungsi yang harus didukung oleh sistem, sebagaimana telah diidentifikasi dalam proses analisis kebutuhan.



Gambar 3. *Use Case Diagram*

Berdasarkan use case diagram yang ditampilkan pada Gambar 3, sebuah sistem informasi dapat dirancang dan diimplementasikan untuk mendukung proses pendaftaran, manajemen data, serta verifikasi kartu pelajar digital. Sistem ini terdiri atas beberapa komponen inti, masing-masing memiliki peran dan fungsi khusus yang disesuaikan dengan kebutuhan

pengguna. Desain sistem ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem tidak hanya efektif secara fungsional, tetapi juga berorientasi pada pengguna, sehingga mampu menyediakan solusi terintegrasi dalam pengelolaan identitas dan proses verifikasi pelajar di lingkungan pendidikan.



Kartu Pelajar
Sign in to continue.

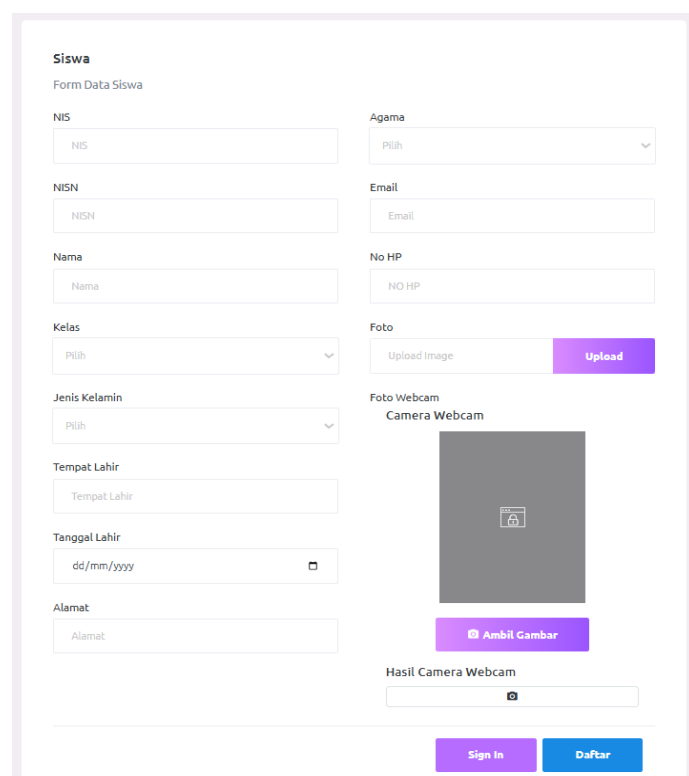
Username

Password

SIGN IN

☐ Keep me signed in

Gambar 4. Halaman Login



Siswa
Form Data Siswa

NIS

Agama

Pilih

NISN

Email

Nama

No HP

Kelas

Pilih

Foto

Upload Image

Upload

Jenis Kelamin

Pilih

Foto Webcam

Ambil Gambar

Tempat Lahir

Tanggal Lahir

dd/mm/yyyy

Alamat

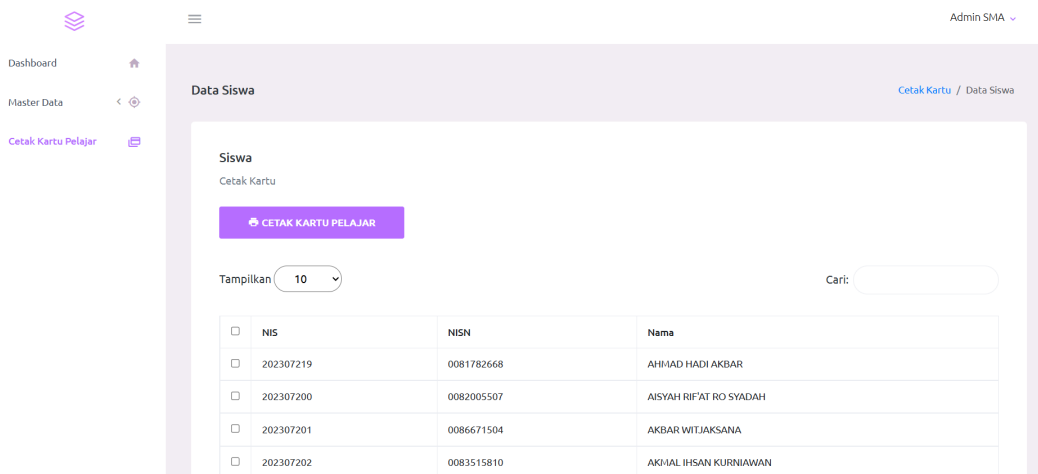
Hasil Camera Webcam

Sign In **Daftar**

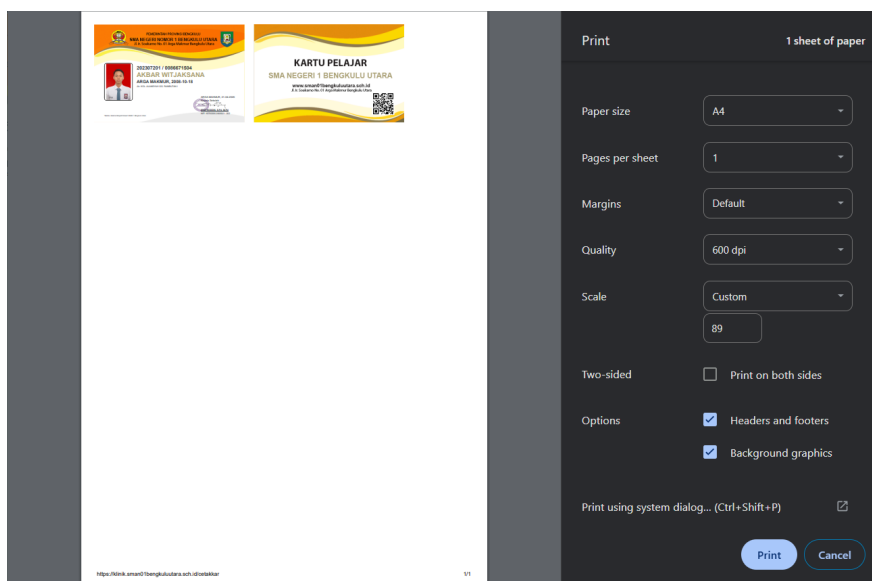
Gambar 5. Halaman Registrasi

Halaman pendaftaran, sebagaimana ditampilkan pada gambar 5, dirancang agar siswa dapat melakukan proses registrasi secara mandiri dengan mengisi informasi pribadi yang

diperlukan. Setelah formulir pendaftaran dikirimkan, sistem secara otomatis mencatat data tersebut ke dalam jaringan *blockchain* sehingga data tidak dapat dirubah (*immutability*) dan keamanan data. Setelah proses registrasi berhasil, pengguna dapat mengakses sistem melalui halaman *login* yang ditampilkan pada gambar 4, di mana proses autentikasi dilakukan untuk memastikan keamanan serta validitas akses pengguna.

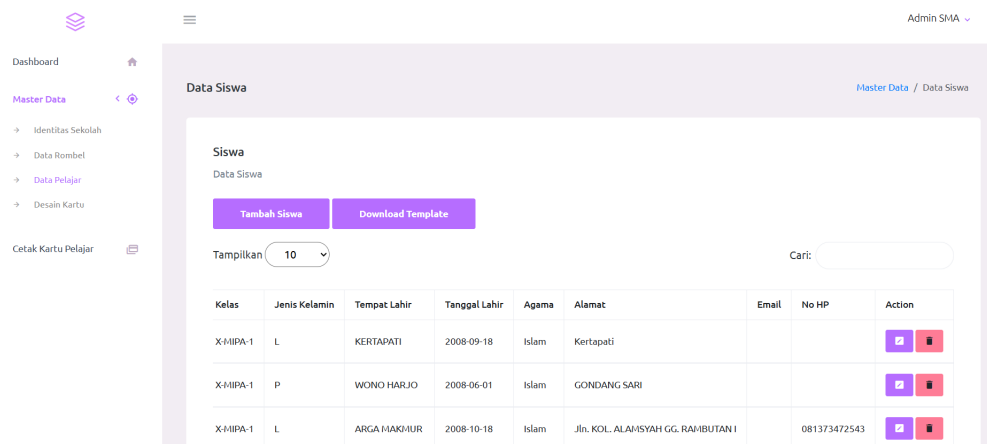


Gambar 6. Halaman untuk Generet Kartu Digital Siswa



Gambar 7. Halaman untuk Generet QR

Pengguna yang telah terverifikasi, baik siswa maupun administrator, dapat memanfaatkan fitur pembuatan QR code atau kartu pelajar digital yang berfungsi sebagai identitas resmi siswa di lingkungan sekolah. QR code yang dihasilkan memuat informasi siswa yang telah dienkripsi dan dapat diverifikasi dengan mudah melalui sistem, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 8. Halaman Management

Bagi administrator atau pihak yang berwenang, sistem menyediakan halaman manajemen data siswa sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8. Halaman ini memungkinkan pengelolaan informasi siswa secara efisien, termasuk menampilkan, menambah, memperbarui, atau menghapus data siswa sesuai kebutuhan.



Gambar 9. Halaman Verifikasi

Halaman verifikasi kartu pelajar, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 9, dirancang untuk digunakan oleh pihak verifikator atau petugas yang ditunjuk guna memindai kode QR siswa dan memverifikasi keasliannya secara *real-time*. Sistem akan mencocokkan data hasil pemindaian dengan informasi yang tersimpan di dalam *blockchain* untuk memastikan apakah siswa tersebut terdaftar secara resmi. Fitur ini ditujukan untuk mendukung proses validasi yang cepat dan akurat dalam berbagai konteks, seperti ujian, layanan perpustakaan, dan aktivitas sekolah lainnya.

Tabel 3. Hasil Pengujian Per Pengguna

ID Pengujian	Registrasi	Login	QR Code	Hash Berhasil	Waktu Verifikasi QR (detik)
Siswa_1	True	True	True	True	2.16
Siswa_2	True	True	True	True	2.16

Siswa_3	True	False	False	False	2.20
...		...		...	...
Siswa_50	True	True	True	True	2.59

Tabel 4. Hasil Pengujian

No.	Parameter	Hasil
1	Jumlah Pengujian	50
2	Registrasi Berhasil	50
3	Login Berhasil	48
4	Pembuatan QR Code Berhasil	48
5	Hash ke Blockchain Berhasil	48
6	Rata-rata Waktu Verifikasi QR (detik)	2.31
7	Algoritma Hashing	SHA-256
8	Konsensus Blockchain	Proof of Authority (PoA)
9	Jaringan	Ethereum Private Network

Sistem telah diuji menggunakan metode black-box pada fitur utama seperti registrasi, login, pembuatan dan verifikasi QR code, serta aspek performa dan blockchain seperti dilat pada table 3. Hasilnya menunjukkan kinerja tinggi dengan waktu verifikasi rata-rata 2,3 detik, tingkat keberhasilan login dan pencatatan hash 98%, serta sistem tetap stabil saat digunakan 50 pengguna secara bersamaan yang dapat dilihat pada table 4. Pada aspek blockchain, penggunaan jaringan Ethereum privat dengan konsensus PoA dan algoritma SHA-256 terbukti efisien dan aman untuk menyimpan data tanpa menyimpan informasi asli di blockchain. Sistem unggul karena cepat, aman, mudah diakses, dan modular, namun masih terbatas pada jaringan privat, belum diuji untuk >500 pengguna, dan belum sepenuhnya menerapkan enkripsi *end-to-end*.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem kartu identitas pelajar berbasis blockchain dalam bentuk aplikasi web yang aman, efisien, dan tahan terhadap pemalsuan. Sistem ini mengatasi berbagai kelemahan identifikasi konvensional, seperti risiko pemalsuan data, kerusakan kartu fisik, serta ketergantungan pada otoritas pusat. Identitas pelajar disimpan dalam bentuk hash terenkripsi menggunakan algoritma SHA-256, dan dapat diverifikasi secara independen melalui QR code unik. Hasil pengujian menunjukkan performa yang baik, dengan rata-rata waktu verifikasi QR sebesar 2,3 detik, tingkat keberhasilan login 98%, serta pencatatan hash dan pencocokan data yang mencapai tingkat keberhasilan 98%. Sistem tetap stabil saat digunakan oleh 50 pengguna secara serentak tanpa *error* atau keterlambatan signifikan. Skor kepuasan pengguna (SUS) sebesar 83,5 menunjukkan penerimaan pengguna yang sangat baik. Namun, sistem masih memiliki keterbatasan, antara lain: pengujian hanya dilakukan pada jaringan blockchain privat, belum diuji untuk skala besar (>500 pengguna), serta fitur keamanan tambahan seperti enkripsi *end-to-end* belum sepenuhnya diimplementasikan. Potensi riset lanjutan mencakup pengembangan sistem berbasis blockchain publik untuk meningkatkan interoperabilitas, pengujian performa pada skala institusi yang lebih besar, serta integrasi dengan sistem administrasi pendidikan lain seperti e-rapor dan sistem kehadiran otomatis berbasis blockchain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. and Y. Xu, "Development of blockchain-based academic credential verification system," *OALib*, vol. 11, no. 09, pp. 1–20, 2024, doi: 10.4236/oalib.1112130.
- [2] E. Tan, S. Lim, and A. Y. Vandika, "Blockchain based software development for digital identity management systems," *Journal of Moeslim Research Teknik*, vol. 1, no. 6, 2024, doi: 10.70177/technik.v1i6.1563.
- [3] R. McGreal, "Blockchain and micro-credentials in education," *Int. J. of Distance Educ.*, vol. 38, no. 1, 2023, doi: 10.55667/ijede.2022.v38.i1.1250.
- [4] T. Rahman, S. I. Mouno, A. M. Raatul, A. K. Al Azad, and N. Mansoor, "Verifi-Chain: A credentials verifier using blockchain and IPFS," *Jul. 2023*. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2307.05797>
- [5] W. Suktam, S. Lapchit, J. Supsin, S. Sonwa, and C. Suthamdee, "Blockchain in education: Transforming learning, credentialing, and academic data management," *Journal of Education and Learning Reviews*, vol. 1, no. 6, pp. 37–46, Oct. 2024, doi: 10.60027/jelr.2024.739.
- [6] W. Chan, K. Gai, J. Yu, and L. Zhu, "Blockchain-assisted self-sovereign identities on education: A survey," *Blockchains*, vol. 3, no. 1, p. 3, Feb. 2025, doi: 10.3390/blockchains3010003.
- [7] J. Alamiro and B. Moya, "Blockchain for academic integrity: Developing the blockchain academic credential interoperability protocol (BACIP)," 2024. [Online]. Available: <https://orcid.org/0009-0007-4713-3504>
- [8] D. Dudek, "Blockchain in OER: Students' perspectives on the use of blockchain technology for credential authentication," *Procedia Computer Science*, vol. 222, pp. 4648–4656, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.10.463.
- [9] J. Kaneriya and H. Patel, "A secure and privacy-preserving student credential verification system using blockchain technology," *Int. J. of Information and Education Technology*, vol. 13, no. 8, pp. 1251–1260, Aug. 2023, doi: 10.18178/ijiet.2023.13.8.1927.
- [10] P. Tasca and C. J. Tessone, "A taxonomy of blockchain technologies: Principles of identification and classification," *Ledger*, vol. 4, 2019, doi: 10.5195/LEDGER.2019.140.
- [11] M. Q. Mohammadi, A. J. Kohistani, A. M. Ghafori, and A. W. Fazil, "Blockchain integration in information systems: A systematic review of security, efficiency, and adoption barriers," *Int. J. on Advanced Technology Engineering and Information System*, vol. 4, no. 2, pp. 185–198, Apr. 2025, doi: 10.55047/ijateis.v4i2.1682.
- [12] B. Dash and P. Sharma, "Digital identity and authentication in the blockchain era," 2021. [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=4567733>
- [13] B. Awaji and E. Solaiman, "Design, implementation, and evaluation of blockchain-based trusted achievement record system for students in higher education," Apr. 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2204.12547>
- [14] Y. Liu, D. He, M. S. Obaidat, N. Kumar, M. K. Khan, and K. K. R. Choo, "Blockchain-based identity management systems: A review," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 170, pp. 102731, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.jnca.2020.102731.
- [15] S. Alotaibi, H. Alsobhi, M. Zhao, and F. K. Hussain, "Blockchain for identity management: Ensuring trust and integrity in the education sector," in *Proc. 2023 IEEE*

- Int. Conf. on e-Business Engineering (ICEBE), pp. 122–128, 2023, doi: 10.1109/ICEBE59045.2023.00041.
- [16] A. Pfeiffer, T. Wernbacher, V. Vella, and A. Dingli, "Blockchain in educational gaming: Student perspectives on digital identity and credential management," in ICERI Proc., Nov. 2024, pp. 4925–4930, doi: 10.21125/iceri.2024.1215.
- [17] B. Lund, "Blockchain applications in higher education based on the NIST cybersecurity framework," J. of Cybersecurity Education, Research and Practice, vol. 2024, no. 1, Feb. 2024, doi: 10.62915/2472-2707.1178.
- [18] I. S. Ayebo and O. Ojo, "Digital identity and blockchain: Regulatory challenges and opportunities," 2025. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/388075797>
- [19] G. Zyskind, O. Nathan, and A. S. Pentland, "Decentralizing privacy: Using blockchain to protect personal data," in Proc. 2015 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW), pp. 180–184, Jul. 2015, doi: 10.1109/SPW.2015.27.
- [20] Y. Liu et al., "EduChain: A blockchain-based education data management system," in Smart Blockchain, Springer, pp. 65–76, Jun. 2023, doi: 10.1007/978-981-33-6478-3_5.
- [21] F. Molina, G. Betarte, and C. Luna, "A blockchain-based and GDPR-compliant design of a system for digital education certificates," Oct. 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2010.12980>
- [22] M. A. C. Quispe and A. Pacheco, "Blockchain ensuring academic integrity with a degree verification prototype," Sci. Rep., vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-93913-6.
- [23] A. A. Agarkar et al., "Blockchain-aware decentralized identity management and access control system," Measurement: Sensors, vol. 31, p. 101032, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.measen.2024.101032.
- [24] A. Tariq, H. B. Haq, and S. T. Ali, "Cerberus: A blockchain-based accreditation and degree verification system," Dec. 2019. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1912.06812>
- [25] R. S. Pressman and B. R. Maxim, "Software Engineering: A Practitioner's Approach", 8th ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2015.
- [26] B. S. Y. E. Kurniawan and R. D. A. Z. Niqotaini, "Analisa dan perancangan sistem informasi dengan Unified Modelling Language," 2022.