

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pendidikan merupakan sektor penting yang menghasilkan berbagai dokumen pencapaian akademik, salah satunya adalah rapor sekolah, yang sangat krusial karena berperan dalam menentukan arah pendidikan dan karier siswa ke depannya. Berdasarkan laporan *Global Education Monitoring Report* (UNESCO, 2023), tingginya angka perpindahan pelajar secara global menunjukkan bahwa proses verifikasi keaslian dokumen akademik sangat dibutuhkan agar kualifikasi pendidikan seseorang dapat diakui lintas negara. Saat ini, banyak institusi pendidikan di dunia, termasuk Indonesia, telah beralih menggunakan sistem digital untuk mengelola data akademik. Namun, proses digitalisasi ini justru memunculkan tantangan baru, terutama dalam hal menjaga keamanan dan validitas dokumen elektronik agar tidak mudah dipalsukan atau dimodifikasi, sebuah masalah yang jarang ditemui pada dokumen fisik (Muhammad & Sutomo, 2024).

Keaslian rapor kini menjadi semakin penting dan menjadi prasyarat mutlak, baik untuk kelanjutan studi ke jenjang pendidikan tinggi maupun rekrutmen di dunia kerja. Pada tingkat pendidikan tinggi, kelulusan melalui jalur Seleksi Nasional Berdasarkan Prestasi (SNBP) sangat mengandalkan keabsahan dokumen akademik, terutama nilai rapor siswa setiap semesternya (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2025). Di sektor ketenagakerjaan, dokumen rapor juga menjadi syarat verifikasi administrasi yang krusial, sebagaimana dibuktikan pada penerimaan Bintara Polri Tahun Anggaran

2025 (Pengumuman Nomor Peng/11/II/DIK.2.1./2025 Tentang Penerimaan Bintara Polri Tahun Anggaran 2025, 2025) yang menetapkan standar nilai rapor minimum. Masalah utamanya adalah ketergantungan pada dokumen fisik maupun file digital biasa seperti PDF. Dokumen jenis ini umumnya tidak dilengkapi sistem pengaman tambahan seperti tanda tangan digital, sehingga sangat rawan dipalsukan atau diubah setelah diterbitkan, yang pada akhirnya membuat proses pengecekan keaslian dokumen menjadi lambat dan membutuhkan biaya administrasi yang besar.

Di Indonesia, sistem pengelolaan e-Rapor telah menjadi standar baku yang terhubung langsung dengan Data Pokok Pendidikan (Dapodik) di tingkat nasional (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2025). Meskipun demikian, sistem yang menggunakan model penyimpanan basis data terpusat ini memiliki celah keamanan mendasar yang rawan terhadap manipulasi data. Laporan *OWASP Top 10* (OWASP Foundation, 2021) mengidentifikasi kegagalan kontrol akses (*Broken Access Control*) dan penyisipan kode (*Injection*) sebagai celah utama yang memungkinkan pihak tidak berwenang memodifikasi data sensitif. Risiko arsitektur terpusat ini terbukti secara nyata melalui kasus rekayasa nilai atau "Cuci Rapor" pada proses Penerimaan Peserta Didik Baru (PPDB) tahun 2024 di SMP Negeri 19 Depok (Tempo, 2024). Kasus tersebut membuktikan bahwa pengelola dengan hak akses penuh dapat secara bebas mengubah nilai siswa tanpa meninggalkan rekam jejak aktivitas yang mutlak dan tidak bisa diubah (*immutability*), sebuah prinsip yang wajib dipenuhi dalam standar keamanan informasi (Samonas & Coss, 2014; Strawser, 2024; Sama et al., 2026).

Kelemahan sistem terpusat ini juga menjadi ancaman nyata pada pengelolaan data akademik di SMKN 1 Sidayu yang telah menerapkan aplikasi e-Rapor sejak tahun ajaran 2019/2020. Secara teknis, aplikasi ini digerakkan oleh satu server utama yang rentan terhadap kerusakan fisik, kelebihan beban akses yang memicu gangguan layanan, hingga manipulasi data karena ketiadaan fitur rekam jejak yang permanen (Fauzi & Adela, 2023; Strawser, 2024). Fitur yang ada pada sistem sekolah saat ini hanya mencatat riwayat log masuk selama tiga puluh hari, sedangkan pengiriman data ke Dapodik hanya berjalan satu arah tanpa fitur pengecekan silang (Satria & Ardiansyah, 2023). Akibat belum diterapkannya pengamanan kriptografi yang memadai, dokumen rapor yang dicetak beserta kode QR di dalamnya sangat rawan ditiru (Sharples & Domingue, 2016; Grech & Camilleri, 2017). Kondisi teknis ini pada akhirnya menyebabkan proses pengecekan keaslian dokumen oleh pihak industri harus dilakukan secara manual melalui sekolah, yang memakan waktu proses hingga tiga sampai lima hari kerja.

Sebagai solusi atas celah keamanan pada sistem terpusat, teknologi *blockchain* hadir menawarkan mekanisme pencatatan data terdistribusi yang tepercaya untuk menjaga keutuhan data (Nakamoto, 2008; Grech & Camilleri, 2017). Di sektor pendidikan, pemanfaatan teknologi ini telah dirintis oleh MIT Media Lab melalui peluncuran *Blockcerts* pada tahun 2015 untuk mengelola sertifikat digital (Sharples & Domingue, 2016). Inovasi tersebut kemudian diadopsi oleh berbagai perguruan tinggi terkemuka, seperti *University of Melbourne*, *National University of Singapore* (Chen et al., 2018), hingga *University of Ljubljana* (Turkanović et al., 2018), untuk memverifikasi keaslian dokumen akademik. *Blockchain* dinilai sangat ideal untuk mengelola dokumen

akademik karena memiliki tiga karakteristik utama: data tidak dapat diubah secara sepihak, transparan bagi pihak berwenang, dan terdesentralisasi, sehingga mampu mengatasi titik kelemahan utama pada arsitektur server tunggal (Grech & Camilleri, 2017; Yli-Huumo et al., 2016). Penggunaan teknologi ini bahkan telah ditetapkan sebagai prioritas layanan publik oleh Uni Eropa serta diterapkan dalam strategi berskala nasional oleh negara-negara seperti Malta, Estonia, dan Singapura (European Commission, 2022; Grech & Camilleri, 2017).

Walaupun teknologi *blockchain* menawarkan perlindungan data yang sangat baik, pemanfaatannya dalam berbagai penelitian sebelumnya masih memiliki keterbatasan karena cenderung berfokus pada pengamanan dokumen akhir seperti ijazah perguruan tinggi (Grech & Camilleri, 2017). Selain itu, penerapannya sering kali terkendala masalah biaya infrastruktur dan mengharuskan perombakan sistem sekolah secara menyeluruh, di mana hal ini sangat membebani anggaran sekolah negeri yang terbatas dan kekurangan staf ahli (Grech & Camilleri, 2017; Sharples & Domingue, 2016; Yli-Huumo et al., 2016). Menjawab kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan kebaruan melalui perancangan model arsitektur gabungan (hibrida).

Sejauh pengetahuan peneliti, belum ada publikasi terkait penerapan teknologi *blockchain* untuk e-rapor yang dikembangkan oleh Kemendikdasmen. Oleh karenanya, penelitian ini mengusulkan penggunaan *blockchain* yang difungsikan secara spesifik sebagai lapisan pengaman tambahan (*security layer*) pada aplikasi e-Rapor SMKN 1 Sidayu yang sudah berjalan, tanpa membongkar sistem utama maupun mengganggu kelancaran sinkronisasi pelaporan data ke Dapodik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan masalah-masalah yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan dan penerapan sistem keamanan berlapis berbasis *blockchain* pada aplikasi e-Rapor di SMKN 1 Sidayu yang mampu menjamin keutuhan (*immutability*) dan rekam jejak data (*audit trail*)?
2. Bagaimana tingkat efektivitas sistem e-Rapor setelah terintegrasi dengan *blockchain* diukur dari aspek keamanan, kecepatan pengecekan keaslian dokumen, dan kelancaran operasional?

1.3 Tujuan Penelitian Pengembangan

Berdasarkan pemaparan terkait latar belakang dan permasalahan yang telah dijelaskan, tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan menerapkan prototipe sistem keamanan berlapis berbasis *blockchain* pada aplikasi e-Rapor di SMKN 1 Sidayu. untuk menjamin keutuhan data (*immutability*) dan fitur rekam jejak (*audit trail*).
2. Mengevaluasi tingkat efektivitas sistem e-Rapor setelah terintegrasi dengan *blockchain* dibandingkan dengan sistem sebelumnya, yang diukur berdasarkan aspek keamanan, kecepatan pengecekan dokumen, dan kelancaran operasional.

1.4 Spesifikasi Produk yang Diharapkan

Spesifikasi produk yang peneliti harapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Prototipe Sistem e-Rapor Berbasis Web: Bertindak sebagai aplikasi utama yang menyediakan antarmuka bagi guru dan pengelola sistem untuk memasukkan

dan mengelola data nilai siswa. Komponen ini juga menyediakan portal publik bagi pihak luar untuk melakukan pengecekan keaslian rapor.

2. Jaringan *Blockchain* Privat: Berfungsi sebagai lapisan keamanan tambahan yang memastikan data nilai mutlak tidak dapat diubah setelah dicatat. Jaringan ini juga menyediakan sistem rekam jejak yang bersifat permanen dan transparan.
3. *Smart Contract*: Merupakan protokol otomatis di dalam jaringan *blockchain* yang bertugas menjalankan prosedur pengesahan sistem, seperti pengecekan dan persetujuan data nilai, guna memastikan setiap proses telah memenuhi syarat sebelum direkam secara permanen.
4. *API Gateway*: Bertindak sebagai jembatan penghubung yang memungkinkan aplikasi web berkomunikasi dengan *smart contract* di dalam jaringan *blockchain*, sekaligus memfasilitasi jalur penyelarasan data ke sistem pusat (Dapodik).

1.4 Batasan Penelitian Pengembangan

Batasan masalah dalam penelitian ini ditetapkan agar ruang lingkup pembahasan tetap terarah dan tidak menyimpang dari tujuan utama. Adapun batasan-batasan tersebut meliputi:

1 Ruang Lingkup Sistem

Pengembangan dan pengujian sistem *blockchain* hanya difokuskan pada modul pengelolaan nilai rapor siswa. Penelitian ini tidak mencakup integrasi dengan modul operasional lain, seperti sistem presensi kehadiran, manajemen administrasi keuangan, maupun fitur sistem informasi akademik sekolah lainnya.

2 Cakupan Pengujian Keamanan

Pengujian keamanan sistem hanya dibatasi pada kemampuan mendeteksi manipulasi data dan membuktikan keaslian dokumen rapor digital. Penelitian

ini tidak mencakup pengujian kerentanan keamanan secara menyeluruh, seperti uji penetrasi, analisis kerentanan infrastruktur jaringan, maupun simulasi serangan siber tingkat lanjut seperti rekayasa sosial atau *DDoS*.

3 Skala Implementasi dan Evaluasi

Penerapan dan pengujian sistem dibatasi pada lingkungan internal SMKN 1 Sidayu sebagai studi kasus tunggal. Penelitian ini tidak menjangkau pengujian integrasi antarsekolah, konektivitas dengan sistem dinas pendidikan pusat, maupun penerapan sistem dalam skala wilayah yang lebih luas. Pengukuran efektivitas sistem juga hanya dibandingkan dengan aplikasi e-Rapor yang saat ini sedang digunakan di sekolah tersebut.

4 Periode Pelaksanaan dan Pengujian

Penelitian ini dibatasi pada tahap perancangan prototipe dan pengujian yang dilakukan selama kurun waktu penyusunan tugas akhir. Oleh karena itu, penelitian tidak mencakup evaluasi operasional jangka panjang maupun pemantauan dampak pemakaian sistem secara berkelanjutan di masa depan.

5 Batasan Aspek Teknis

Secara teknis, penerapan *blockchain* dikhususkan untuk menjamin keutuhan dan rekam jejak data melalui fungsi *smart contract*. Pengujian kinerja sistem dilakukan dalam lingkungan simulasi untuk memastikan tidak terjadi penumpukan beban kerja. Penelitian ini tidak mencakup eksplorasi atau perancangan ulang terkait mekanisme kesepakatan jaringan secara mendalam.

1.5 Pentingnya Penelitian Pengembangan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi nyata dalam meningkatkan keamanan dan keabsahan data akademik melalui penerapan teknologi *blockchain* pada pengelolaan rapor digital di tingkat Sekolah Menengah Kejuruan, khususnya di SMKN 1 Sidayu. Dengan memanfaatkan karakteristik *blockchain* yang menjamin keutuhan data, transparansi, dan desentralisasi, penelitian ini berkontribusi dalam menekan risiko manipulasi data, kebocoran informasi, serta kesalahan pencatatan nilai siswa yang selama ini menjadi kelemahan pada sistem konvensional.

Secara keseluruhan, manfaat dari penelitian ini dapat dibagi menjadi dua penjabaran utama, yaitu:

1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini mengisi celah kajian mengenai penerapan teknologi *blockchain* pada sistem pendidikan di Indonesia, khususnya di tingkat sekolah menengah. Model yang dikembangkan dapat menjadi rujukan akademis yang memperkaya literatur terkait pengamanan data akademik.

Penelitian ini juga menawarkan metode baru dalam menyatukan teknologi *blockchain* dengan sistem aplikasi yang sudah berjalan tanpa mengganggu kegiatan operasional sehari-hari. Pendekatan ini dapat menjadi model percontohan bagi upaya transformasi digital di sektor publik lainnya.

2 Manfaat Terapan

Penyelesaian Masalah di Lingkungan Sekolah: Memberikan jalan keluar secara langsung terhadap keluhan di SMKN 1 Sidayu, seperti risiko perubahan nilai tanpa rekam jejak serta sulitnya dunia industri memverifikasi keaslian rapor. Prototipe yang dihasilkan juga dapat dijadikan model acuan bagi sekolah-sekolah lain di Indonesia.

Merespons maraknya kasus pemalsuan dokumen akademik, sistem pengamanan ini menjamin keutuhan dan keabsahan data secara mutlak. Hal ini secara langsung akan menjaga nama baik institusi dan meningkatkan kredibilitas lulusan SMK di mata dunia kerja.

Penerapan sistem ini sejalan dengan program digitalisasi pendidikan pemerintah dan berpotensi menekan biaya operasional untuk keperluan audit data. Penelitian ini juga mendukung strategi keamanan siber nasional dalam melindungi data-data penting.

1.7 Definisi dan Istilah

- 1 **Blockchain:** Teknologi penyimpanan data yang terdistribusi, aman, transparan, dan bersifat mutlak tidak dapat diubah. Dalam konteks rapor digital, teknologi ini berfungsi menjamin keutuhan dan keaslian data akademik agar terhindar dari manipulasi atau pemalsuan secara permanen.
- 2 **Rapor Digital:** Sistem pencatatan dan pengelolaan dokumen hasil belajar siswa secara elektronik. Sistem ini menggantikan format rapor cetak konvensional guna memudahkan proses administrasi dan pengecekan keabsahan dokumen di lingkungan sekolah.

- 3 **Ketakberubahan:** Karakteristik utama *blockchain* di mana data yang telah disahkan dan dicatat tidak dapat dihapus, direvisi, atau dimodifikasi oleh pihak mana pun, sehingga menjamin keutuhan riwayat akademik siswa.
- 4 **Desentralisasi:** Konsep pendistribusian data dan hak akses ke berbagai titik simpul di dalam jaringan, sehingga sistem tidak bergantung pada satu server pusat. Konsep ini menekan risiko kehilangan data atau kegagalan sistem tunggal.
- 5 **Buku Besar Terdistribusi:** Basis data terdesentralisasi yang salinannya disebar ke seluruh jaringan guna mencatat dan mengesahkan seluruh transaksi secara kolektif, sehingga setiap perubahan data dapat diaudit secara transparan.
- 6 **Smart Contract:** Protokol komputer yang berjalan secara otomatis di dalam jaringan *blockchain* untuk mengeksekusi prosedur yang telah ditetapkan, seperti proses validasi dan pengesahan nilai, tanpa memerlukan campur tangan pengelola sistem secara manual.
- 7 **Keabsahan Data:** Tingkat keaslian dan kebenaran informasi di dalam sistem e-Rapor. Penerapan *blockchain* bertujuan untuk mengunci keabsahan ini agar dokumen tidak dapat dipalsukan atau diubah secara tidak sah.
- 8 **Transparansi:** Sifat keterbukaan sistem di mana setiap rekam jejak pengisian atau perubahan data pada jaringan *blockchain* dapat ditelusuri dan diaudit oleh pihak berwenang untuk memastikan akuntabilitas operasional sekolah
- 9 **Kriptografi:** Teknik pengamanan informasi menggunakan algoritma penyandian matematis. Dalam sistem ini, kriptografi digunakan untuk menyandikan data rapor sehingga kerahasiaan dan integritas dokumen tetap terjaga.
- 10 **Algoritma Konsensus:** Mekanisme persetujuan di dalam jaringan *blockchain* untuk memastikan keabsahan suatu data sebelum dicatat secara permanen.
- 11 **Titik Simpul:** Perangkat komputer yang terhubung dalam jaringan *blockchain* yang bertugas menyimpan salinan data, memverifikasi keabsahan, dan memperbarui buku besar terdistribusi secara kolektif.

- 12 **Rekam Jejak:** Fitur pelacakan riwayat aktivitas pada sistem yang mencatat secara rinci mengenai waktu, identitas pengguna, dan jenis perubahan yang dilakukan pada data nilai, guna memudahkan penelusuran jika terjadi ketidaksesuaian.