Hello World
Jurnal Ilmu Komputer
https://jurnal.ilmubersama.com/index.php/hello_world

Klik disini untuk menuliskan kategori naskah

Desain dan Evaluasi Rapor Digital dengan Verifikasi Multi-Aktor dan Jejak Audit

Melly Br Bangun [1], Dedy Kiswanto [2], Yeni Marito [3], Ade Andriani [4]

[1,3] *Program Studi Pendidikan Masyarakat, Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia*
[2] *Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia*
[4] *Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia*

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 00 Januari 00
Revisi Akhir: 00 Februari 00
Diterbitkan *Online*: 00 Maret 00

KATA KUNCI

Rapor digital; Pencatatan audit; Konfirmasi nilai; Verifikasi orang tua; Pengujian Penerimaan Pengguna.

KORESPONDENSI

Phone: xxxx
E-mail: mellybgn@unimed.ac.id

A B S T R A K

Rapor digital memperluas akses terhadap informasi akademik, namun mekanisme kontrol yang tidak memadai dapat tetap memungkinkan terjadinya perubahan nilai yang tidak terdokumentasi, tumpang tindih kewenangan, dan lemahnya keterlacakan (*traceability*). Penelitian ini merancang dan mengevaluasi rapor digital berbasis web yang memisahkan tanggung jawab di antara empat aktor: *Super Admin*, Guru Mata Pelajaran, Siswa, dan Orang Tua. Alur kerja yang diusulkan menggabungkan izin berbasis peran, konfirmasi nilai oleh siswa, verifikasi orang tua, dan pencatatan audit otomatis untuk memperkuat akuntabilitas. Sistem ini dikembangkan melalui pendekatan penelitian dan pengembangan (*research-and-development*) menggunakan model *Waterfall* dan diimplementasikan sebagai aplikasi web tiga lapis (*three-tier*) dengan penyimpanan data relasional dan perekaman peristiwa di tingkat model. Evaluasi mencakup 42 skenario *black-box*, pengujian otorisasi di seluruh empat peran, validasi terhadap sembilan jenis peristiwa audit, enam skenario keamanan dasar, 30 pengulangan untuk masing-masing dari enam aktivitas kinerja inti, serta Pengujian Penerimaan Pengguna (*User Acceptance Testing*) yang melibatkan 35 responden dan 20 pernyataan. Seluruh skenario fungsional dinyatakan lulus, akses peran yang tidak sah ditolak sesuai dengan yang diharapkan, dan aktivitas yang ditargetkan berhasil terekam beserta atribut-atribut audit yang diperlukan. Waktu respons rata-rata di seluruh aktivitas yang diukur adalah 1,65 detik. Pengujian Penerimaan Pengguna menghasilkan skor penerimaan keseluruhan sebesar 88,46%, yang dikategorikan sebagai sangat layak. Hasil-hasil ini mengindikasikan bahwa alur kerja rapor digital yang dipisahkan secara jelas dapat meningkatkan partisipasi pengguna, akuntabilitas atas perubahan nilai, dan keandalan operasional. Temuan keamanan menetapkan garis dasar fungsional (*functional baseline*) dan bukan merupakan jaminan uji penetrasi yang komprehensif, sementara catatan audit yang ada saat ini bersifat dapat dilacak (*traceable*) namun tidak tahan terhadap gangguan secara kriptografi (*cryptographically tamper-resistant*)

PENDAHULUAN

Sistem informasi digital telah menjadi bagian integral dari administrasi akademik karena dapat meningkatkan akses data, memperpendek siklus pelaporan, dan mendukung layanan melalui platform web dan seluler yang terhubung. Sistem informasi akademik umumnya mengelola pendaftaran, jadwal, hasil belajar, dan layanan mahasiswa, sementara aplikasi rapor digital menggantikan prosedur berbasis kertas yang berulang dengan penyimpanan nilai terpusat dan akses daring. Studi-studi sebelumnya telah menunjukkan manfaat operasional dari digitalisasi catatan akademik. Sudradjat [1] melaporkan bahwa proses pengembangan yang terstruktur menyederhanakan pelaporan nilai siswa, Khairul dkk. [2] mengembangkan rapor berbasis web untuk meningkatkan akses ke hasil belajar siswa, dan Husein dkk. [3] memperluas layanan akademik melalui integrasi seluler dan *application programming interface* (API). Namun, memindahkan catatan ke platform digital tidak secara otomatis membuat manajemen nilai menjadi akuntabel atau dapat dilacak.

https://doi.org/10.12345/xxxxx
Attribution-ShareAlike 4.0 International Some rights reserved

Nilai merupakan catatan yang sensitif karena memengaruhi kemajuan akademik, sertifikasi, dan kepercayaan pemangku kepentingan. Aplikasi rapor konvensional mungkin membedakan akun guru dan administrator, namun masih memberikan bukti terbatas tentang siapa yang mengubah nilai, kapan perubahan itu terjadi, dan apakah revisi tersebut telah melewati pemeriksaan yang diperlukan. Ketika beberapa jalur aplikasi dapat memodifikasi catatan yang sama tanpa pencatatan (*logging*) yang konsisten, institusi akan menghadapi kesenjangan akuntabilitas. Penelitian tentang *logging* yang berfokus pada keamanan menekankan bahwa log hanya berguna ketika peristiwa-peristiwa yang relevan ditangkap secara konsisten dan disertai dengan konteks yang memadai untuk penyelidikan di kemudian hari [4]. Efisiensi audit juga penting karena catatan yang berlebihan atau terstruktur dengan buruk dapat mengurangi nilai praktis dari pemantauan tersebut [5].

Kontrol akses berbasis peran (*role-based access control*) menawarkan mekanisme preventif dengan menetapkan izin berdasarkan tanggung jawab organisasi daripada memberikan hak istimewa kepada pengguna individu secara *ad hoc* [6]. Dalam sistem yang dikembangkan, Guru Mata Pelajaran memasukkan, merevisi, dan menyerahkan nilai; Siswa memeriksa dan mengonfirmasi hasil yang ditampilkan atau melaporkan ketidaksesuaian; Orang Tua memverifikasi nilai setelah konfirmasi dari siswa; dan Super Admin mengelola akun, data master, konfigurasi sistem, serta tinjauan audit. Pemisahan tugas ini mencegah satu akun mengendalikan seluruh proses penilaian dan memperkenalkan partisipasi langsung dari siswa dan orang tua. Penelitian kontrol akses baru-baru ini juga menyoroti pentingnya mengaitkan keputusan otorisasi dengan aktor yang dapat diidentifikasi dan perilaku yang dapat dilacak [7].

Studi-studi sistem pendidikan terdahulu umumnya berfokus pada aksesibilitas, penyampaian layanan, atau kebergunaan (*usability*). Evaluasi terhadap aplikasi akademik, misalnya, telah dilakukan menggunakan kriteria heuristik dan aksesibilitas [8], sementara Pengujian Penerimaan Pengguna (*User Acceptance Testing*) juga telah diterapkan untuk menilai apakah situs web institusional memenuhi harapan penggunanya [9]. Studi-studi ini memberikan dasar yang berguna, tetapi belum menguji secara komprehensif alur kerja penilaian empat aktor, konfirmasi siswa, verifikasi orang tua, pencatatan audit otomatis, validasi keamanan dasar, pengukuran kinerja, dan penerimaan pengguna secara bersama-sama di dalam satu sistem rapor digital.

Oleh karena itu, kesenjangan penelitian (*research gap*) dalam hal ini berkaitan dengan terbatasnya integrasi verifikasi partisipatif dengan akuntabilitas di tingkat aplikasi. Rapor digital tidak seharusnya sekadar menyimpan dan menampilkan nilai; sistem tersebut harus mengontrol siapa yang boleh melakukan setiap tindakan, membatasi tindakan berdasarkan status alur kerja, dan menyimpan bukti dari peristiwa-peristiwa penting. Penelitian ini mengatasi kesenjangan tersebut dengan mengintegrasikan otorisasi berbasis peran, transisi berbasis status, dan pencatatan audit tingkat model di dalam sebuah arsitektur web tunggal.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi rapor digital dengan verifikasi multi-aktor dan jejak audit (*audit trail*). Kontribusi penelitian ini terbagi menjadi tiga hal. Pertama, penelitian ini mendefinisikan alur kerja empat aktor yang konsisten untuk entri nilai, konfirmasi siswa, verifikasi orang tua, dan audit administratif. Kedua, penelitian ini mengimplementasikan pembatasan peran dan pencatatan peristiwa otomatis pada tingkat model aplikasi. Ketiga, penelitian ini mengevaluasi produk melalui uji fungsional, otorisasi, audit, keamanan dasar, kinerja, dan penerimaan pengguna. Penelitian ini mendeskripsikan mekanisme audit sebagai sesuatu yang dapat dilacak (*traceable*) alih-alih tidak dapat diubah (*immutable*), karena ketahanan terhadap gangguan kriptografi (*cryptographic tamper resistance*) tidak diimplementasikan.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Akademik Digital dan Evaluasi Pengguna

Rapor digital dan sistem informasi akademik mendukung pencatatan terpusat, akses daring, dan layanan akademik yang lebih efisien. Penelitian-penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa proses pengembangan yang terstruktur dapat menyederhanakan pelaporan nilai siswa, sementara perancangan rapor berbasis web dapat mengurangi penundaan dan risiko yang terkait dengan pencatatan berbasis kertas. Selain itu, layanan akademik juga berhasil diperluas melalui akses seluler dan integrasi antarmuka pemrograman aplikasi (API). Berbagai studi ini mengonfirmasi nilai operasional platform akademik digital, namun kontribusi yang dilaporkan berfokus terutama pada ketersediaan layanan dan fungsionalitas.

Evaluasi produk sangat diperlukan karena ketersediaan teknis tidak secara otomatis menjamin kebergunaan, aksesibilitas, atau penerimaan pengguna. Meskipun masalah antarmuka dan aksesibilitas pada sistem informasi akademik telah diidentifikasi sebelumnya, pengujian penerimaan pengguna (*User Acceptance Testing*) juga telah diterapkan untuk memeriksa apakah sistem institusional memenuhi harapan penggunanya [10], [11]. Penelitian pengujian penerimaan berbasis kebutuhan lebih lanjut menunjukkan bahwa skenario pengujian dapat dikaitkan dengan kebutuhan terstruktur dan artefak alur kerja [12], [13]. Oleh karena itu, penelitian ini menggabungkan penerimaan pengguna dengan evaluasi fungsional, otorisasi, audit, keamanan, dan kinerja, daripada hanya mengandalkan satu bentuk pengujian.

Otorisasi Peran, Verifikasi, dan Kemampuan Audit (Auditability)

Kontrol akses berbasis peran memberikan dasar formal untuk memetakan izin ke peran organisasi. Dalam alur kerja rapor digital, kontrol akses harus digabungkan dengan status proses karena aktor yang sama mungkin diizinkan untuk memodifikasi catatan pada satu tahap tetapi dilarang pada tahap lainnya. Sebagai contoh, Guru Mata Pelajaran dapat merevisi nilai draf atau nilai yang dikembalikan, tetapi tidak boleh mengubah nilai setelah adanya konfirmasi siswa dan verifikasi orang tua. Di samping itu, penelitian mengenai kontrol akses yang dapat diaudit juga menekankan bahwa keputusan otorisasi harus dikaitkan dengan aktor yang dapat diidentifikasi dan perilaku yang dapat dilacak. Sistem berorientasi alur kerja di luar bidang pendidikan juga menunjukkan hal serupa, di mana gerbang proses (*process gates*) yang eksplisit dapat meningkatkan konsistensi dan bukti proses [14], [15].
Pencatatan audit (*audit logging*) melengkapi kontrol preventif dengan menyimpan bukti setelah suatu operasi terjadi. Log yang relevan dengan keamanan harus menangkap peristiwa yang bermakna, identitas aktor, stempel waktu, objek yang terpengaruh, dan konteks perubahan, bukan sekadar mencatat pesan umum. Efisiensi pemilihan peristiwa juga penting karena volume audit yang berlebihan dapat meningkatkan beban sistem dan mempersulit penyelidikan. Sementara itu, pendekatan kriptografi dan berbasis *blockchain* dapat memberikan perlindungan yang lebih kuat terhadap perubahan retrospektif [16], [17], tetapi mekanisme tersebut berada di luar ruang lingkup implementasi penelitian ini. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan menggunakan catatan audit relasional otomatis dan mendeskripsikannya sebagai sesuatu yang dapat dilacak (*traceable*), bukan tidak dapat diubah (*immutable*). Tabel 1 menyintesis kontribusi sistem yang diusulkan sehubungan dengan penelitian-penelitian terdahulu yang terpilih.

Tabel 1. Perbandingan Studi Terkait

Studi	Konteks	Kontrol Akses	Jejak Audit	**Verifikasi**	**Fokus Evaluasi**
Sudradjat (2019)	Sistem informasi nilai siswa	Akses pengguna dasar	Tidak dilaporkan	Tidak dilaporkan	Pengembangan fungsional menggunakan Waterfall
Khairul et al. (2023)	Rapor digital berbasis web	Akses guru dan siswa	Tidak dilaporkan	Tidak dilaporkan	Desain sistem dan akses rapor daring
Husein et al. (2024)	Layanan akademik seluler	Akses pengguna aplikasi	Tidak dilaporkan	Tidak dilaporkan	Layanan seluler dan implementasi API
Nugraha et al. (2025)	Sistem informasi akademik seluler	Akses aplikasi	Bukan fokus penelitian	Bukan fokus penelitian	Evaluasi heuristik dan aksesibilitas
Fitriastuti et al. (2025)	Situs web institusional	Akses pengguna umum	Bukan fokus penelitian	Bukan fokus penelitian	Pengujian Penerimaan Pengguna (User Acceptance Testing)
Priyambodo et al. (2026)	Alur kerja inventaris berorientasi kepatuhan	Kontrol akses berbasis gerbang (gate)	Bukti proses	Verifikasi berbasis gerbang	Evaluasi sistem dan pengguna
Penelitian Ini	Rapor digital berbasis web	Peran empat aktor	Catatan audit relasional otomatis	Konfirmasi siswa dan verifikasi orang tua	Pengujian fungsional, otorisasi, audit, keamanan, kinerja, dan penerimaan pengguna

METODOLOGI

Desain Penelitian dan Proses Pengembangan

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan (*research-and-development*) karena luaran utamanya adalah sebuah aplikasi web operasional yang disertai dengan evaluasi produk yang sistematis. Pengembangan dilakukan mengikuti model *Waterfall*, yang tepat digunakan ketika kebutuhan inti dan hasil akhir yang berurutan dapat didefinisikan sebelum implementasi dilakukan **[16]**. Proses ini terdiri dari analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, verifikasi, dan pemeliharaan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.
Kebutuhan-kebutuhan diidentifikasi pada tahun 2026 melalui observasi langsung terhadap alur kerja manajemen nilai yang ada saat ini dan diskusi terstruktur dengan perwakilan dari empat kelompok pengguna di sekolah yang berpartisipasi. Analisis difokuskan pada tanggung jawab aktor, operasi yang diizinkan, transisi status nilai, data master, publikasi rapor, dan kebutuhan akan kemampuan penelusuran (*traceability*). Masalah-masalah yang teridentifikasi meliputi kesalahan

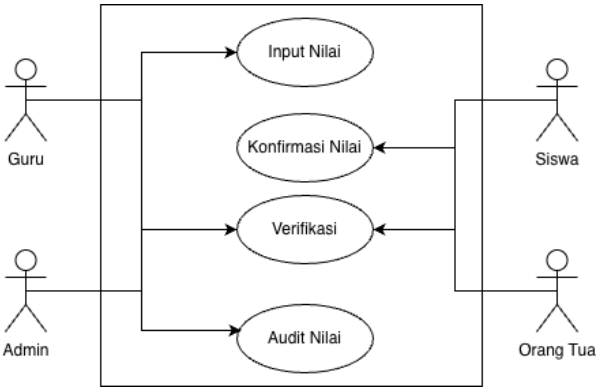
entri yang tidak terdeteksi, ketiadaan tahap konfirmasi siswa dan verifikasi orang tua yang terpisah, tumpang tindih kewenangan, dan terbatasnya catatan historis dari aktivitas-aktivitas yang berkaitan dengan nilai. Kebutuhan-kebutuhan tersebut kemudian didokumentasikan dalam sebuah spesifikasi kebutuhan perangkat lunak dan digunakan sebagai dasar untuk desain sistem.



Gambar 1. Model Pengembangan *Waterfall*

Aktor dan Logika Konfirmasi-Verifikasi

Sistem ini menggunakan satu konteks sekolah dan empat aktor. *Super Admin* mengelola akun, hak akses, kelas, mata pelajaran, konfigurasi sistem, pemantauan alur kerja, dan tinjauan audit tanpa mengubah konten akademik dari nilai tersebut. Guru Mata Pelajaran bertugas memasukkan, merevisi, dan menyerahkan nilai. Siswa meninjau nilai yang telah diserahkan dan dapat mengonfirmasi keakuratannya atau melaporkan adanya ketidaksesuaian agar catatan tersebut dapat dikembalikan kepada guru yang bersangkutan. Orang Tua hanya memverifikasi nilai yang telah dikonfirmasi oleh siswa. Setelah dilakukan verifikasi oleh orang tua, sistem akan mengubah status rapor menjadi final dan hanya memberikan akses baca (*read-only*) terhadap kartu rapor tersebut. Gambar 2 menyajikan hubungan antara masing-masing aktor dan fungsi sistem.



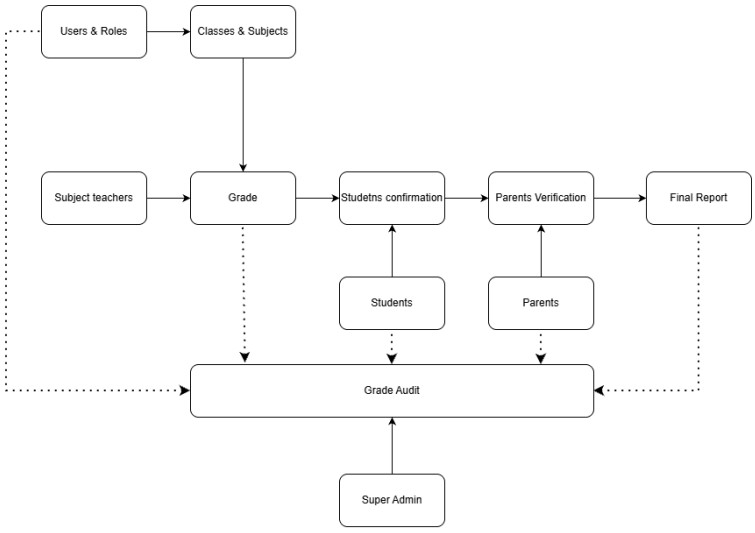
Gambar 2. Diagram *Use Case* Sistem Rapor Digital Empat Aktor

Arsitektur Sistem dan Implementasi

Aplikasi diimplementasikan menggunakan Laravel 10 dengan arsitektur tiga lapis (*three-tier architecture*). Blade dan Bootstrap 5 menyediakan lapisan presentasi, komponen *Model-View-Controller* Laravel membentuk lapisan aplikasi, dan MySQL menyediakan penyimpanan data relasional. *Object-Relational Mapping* (ORM) Eloquent mengelola operasi basis data, sementara *Gates* dan *Policies* pada Laravel menerapkan izin berbasis peran pada tingkat rute dan kebijakan aplikasi. Konstrain kunci asing (*foreign-key constraints*) dan indeks pada kolom-kolom utama mendukung integritas referensial dan kinerja *query*.

Modul audit diimplementasikan melalui *model observers*. Ketika suatu peristiwa model yang relevan terjadi, *observer* tersebut membuat sebuah catatan audit tanpa memerlukan instruksi pencatatan yang berulang-ulang di setiap *controller*. Atribut-atribut yang dicatat mencakup identitas pengguna, peran, stempel waktu, tindakan, objek yang terdampak, deskripsi aktivitas, nilai lama dan baru ketika tersedia, alamat Protokol Internet (IP), dan metadata permintaan. Desain ini meningkatkan konsistensi dalam menangkap peristiwa; akan tetapi, administrator dengan hak istimewa basis data yang memadai mungkin masih dapat mengubah catatan relasional tersebut. Oleh karena itu, mekanisme ini dianggap sebagai pencatatan yang otomatis dan dapat dilacak, bukan pencatatan yang tidak dapat diubah secara kriptografi.

Aplikasi ini berisi 12 modul fungsional: autentikasi, dasbor spesifik-peran, manajemen pengguna, manajemen kelas, manajemen mata pelajaran, entri dan koreksi nilai, penyerahan nilai, konfirmasi nilai oleh siswa, verifikasi nilai oleh orang tua, pembuatan rapor akhir, tinjauan audit, dan otorisasi berbasis peran. Gambar 3 menyajikan entitas-entitas data utama beserta hubungan di antaranya.



Gambar 3. Model Data Konseptual dari Sistem Empat Aktor

Prosedur Evaluasi

Verifikasi fungsional menggunakan 42 skenario *black-box* yang mencakup autentikasi, manajemen pengguna, manajemen kelas, manajemen mata pelajaran, entri dan koreksi nilai, konfirmasi siswa, verifikasi orang tua, pembuatan rapor, akses audit, dan *logout*. Sebuah skenario diklasifikasikan lulus (*passed*) ketika keluaran yang diamati sesuai dengan persyaratan yang ditentukan. Tingkat keberhasilan fungsional dihitung dengan membagi jumlah skenario yang lulus dengan jumlah total skenario dan mengalikan hasilnya dengan 100%.

Pengujian otorisasi memeriksa apakah setiap aktor hanya dapat mengakses fungsi yang ditugaskan untuk peran tersebut dan apakah status alur kerja mencegah modifikasi yang tidak sah. Pengujian jejak audit menargetkan sembilan aktivitas: *login*, entri nilai, modifikasi nilai, penyerahan nilai, konfirmasi siswa, pelaporan ketidaksesuaian, revisi guru, verifikasi orang tua, dan tinjauan audit atau pembuatan laporan. Sebuah peristiwa audit dianggap lengkap ketika peristiwa tersebut merekam aktor, waktu, tindakan, objek, deskripsi, nilai lama dan baru ketika berlaku, serta informasi jaringan.

Validasi keamanan dasar (*baseline security validation*) mengikuti prinsip-prinsip kontrol akses dan manajemen sesi dalam *OWASP Web Security Testing Guide* **[17]**. Keenam skenario tersebut mencakup akses dasbor tanpa autentikasi, akses fitur lintas peran, penggunaan kembali sesi (*session reuse*) setelah *logout*, akses *Uniform Resource Locator* (URL) secara langsung tanpa peran yang diperlukan, penolakan input nilai yang tidak valid, dan pembuatan catatan audit untuk aktivitas relevan-keamanan yang diuji. Prosedur ini merupakan penilaian dasar terfokus dan bukan uji penetrasi yang komprehensif.

Pengujian kinerja mencakup enam aktivitas inti: *login*, membuka dasbor, menyimpan nilai, menyerahkan nilai untuk diverifikasi, menampilkan rapor, dan membuat laporan *Portable Document Format* (PDF). Setiap aktivitas dieksekusi sebanyak 30 kali di bawah kondisi klien yang disebarkan (*deployed-client*) dan jaringan yang sama. Analisis menggunakan nilai minimum, rata-rata aritmatika, maksimum, dan standar deviasi dari waktu respons.

Pengujian Penerimaan Pengguna (*User Acceptance Testing*) melibatkan 35 responden yang dipilih melalui *purposive sampling* bertingkat karena setiap partisipan harus mewakili salah satu peran operasional dalam sistem. Sampel tersebut terdiri dari 2 *Super Admin*, 15 Guru Mata Pelajaran, 10 Siswa, dan 8 Orang Tua. Instrumen pengujian berisi 20 pernyataan yang dikelompokkan ke dalam kemudahan penggunaan, antarmuka, kesesuaian fitur, kecepatan akses, keamanan dan kepercayaan, serta kepuasan keseluruhan. Tanggapan direkam dalam skala Likert lima poin. Skor maksimum yang mungkin diperoleh dihitung dengan mengalikan jumlah responden, jumlah pernyataan, dan skor tanggapan tertinggi.

Persentase penerimaan pengguna = (skor aktual / skor maksimum yang mungkin) × 100%

Rentang interpretasi yang digunakan adalah 0-20% untuk sangat tidak layak, 21-40% untuk tidak layak, 41-60% untuk cukup layak, 61-80% untuk layak, dan 81-100% untuk sangat layak. Hasil dirangkum pada tingkat dimensi dan butir pertanyaan untuk mempertahankan keterlacakan antara persentase keseluruhan dan struktur evaluasi yang mendasarinya.

HASIL

Implementasi Sistem

Aplikasi yang dikembangkan menyediakan dasbor yang berbeda untuk setiap aktor. *Super Admin* mengelola akun, peran, kelas, mata pelajaran, konfigurasi sistem, pemantauan alur kerja, dan tinjauan audit. Guru Mata Pelajaran memasukkan

dan merevisi nilai sebelum diserahkan. Siswa meninjau nilai yang diserahkan dan dapat mengonfirmasi keakuratannya atau melaporkan ketidaksesuaian yang mengembalikan catatan tersebut kepada guru yang bersangkutan. Orang Tua memverifikasi nilai hanya setelah adanya konfirmasi dari siswa. Setelah verifikasi oleh orang tua selesai, sistem menetapkan status final dan menyediakan rapor dalam mode hanya-baca (*read-only*). Alur kerja ini mencegah siswa dan orang tua memodifikasi nilai, mencegah *Super Admin* mengubah konten akademik, dan mencegah Guru Mata Pelajaran memfinalisasi nilai tanpa konfirmasi dan verifikasi oleh pihak-pihak terkait.

Model observer mencatat peristiwa aplikasi yang relevan dalam tabel audit khusus. Setiap catatan memuat stempel waktu, pengguna yang diautentikasi beserta perannya, tindakan, catatan yang terdampak, deskripsi perubahan, alamat Protokol Internet (IP), dan informasi *user-agent*. Pengujian audit mengonfirmasi bahwa kesembilan jenis aktivitas yang ditargetkan berhasil menghasilkan catatan dengan atribut-atribut inti yang diharapkan. Mekanisme ini mendukung investigasi dan akuntabilitas, meskipun tidak diklaim tahan gangguan (*tamper-resistant*) karena rantai *hash* (*hash chaining*), tanda tangan digital (*digital signatures*), dan penegakan mode hanya-tambah (*append-only enforcement*) tingkat basis data tidak diimplementasikan.

Hasil Fungsional, Otorisasi, dan Audit

Seluruh 42 skenario *black-box* dinyatakan lulus, menghasilkan tingkat keberhasilan fungsional sebesar 100%. Tabel 2 menunjukkan distribusi skenario berdasarkan modul. Pengujian otorisasi juga menunjukkan bahwa *Super Admin*, Guru Mata Pelajaran, Siswa, dan Orang Tua hanya dapat mengakses fungsi yang ditugaskan kepada mereka. Percobaan untuk melakukan tindakan di luar peran yang ditetapkan atau status alur kerja yang berlaku ditolak oleh sistem. Kombinasi hasil ini menunjukkan bahwa alur kerja fungsional dan pemisahan wewenang beroperasi sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Black-Box* Tingkat Modul

Modul yang Diuji	Skenario	Lulus	Gagal	Tingkat Keberhasilan
Autentikasi dan login	5	5	0	100.00%
Manajemen pengguna	6	6	0	100.00%
Manajemen kelas	4	4	0	100.00%
Manajemen mata pelajaran	4	4	0	100.00%
Entri dan koreksi nilai	6	6	0	100.00%
Konfirmasi siswa dan verifikasi orang tua	8	8	0	100.00%
Pembuatan rapor	3	3	0	100.00%
Jejak audit	4	4	0	100.00%
Logout dan pengakhiran sesi	2	2	0	100.00%
Total	42	42	0	100.00%

Validasi Berorientasi Keamanan

Keenam skenario keamanan dasar (*baseline security scenarios*) menghasilkan keluaran yang diharapkan, sebagaimana dirangkum pada Tabel 3. Aplikasi mengalihkan pengguna yang tidak diautentikasi, menolak akses lintas peran dan akses alamat langsung (*direct-address access*), membatalkan akses yang dilindungi setelah *logout*, menolak nilai konfigurasi *grade* yang tidak valid, dan menghasilkan catatan audit untuk aktivitas yang diuji. Temuan-temuan ini mengonfirmasi beroperasinya kontrol akses dan kontrol sesi yang diimplementasikan dalam lingkup yang diperiksa; temuan ini tidak membuktikan ketiadaan kerentanan di luar skenario-skenario tersebut.

Tabel 3. Hasil Validasi Berorientasi Keamanan

Skenario	Hasil yang Diharapkan	Hasil yang Diamati	Status
Akses dasbor tanpa autentikasi	Pengguna dialihkan atau ditolak	Penolakan yang diharapkan diamati	Lulus
Akses fitur lintas peran	Peran yang tidak sah menerima penolakan akses	Penolakan yang diharapkan diamati	Lulus
Akses sesi setelah logout	Sesi sebelumnya tidak dapat membuka kembali halaman yang dilindungi	Akses yang dilindungi ditolak	Lulus
Akses URL langsung tanpa peran yang diperlukan	Kebijakan rute (route policy) mencegah akses	Penolakan yang diharapkan diamati	Lulus
Konfigurasi input tidak valid	Aplikasi menolak nilai grade yang tidak valid	Input tidak valid ditolak	Lulus
Pencatatan jejak audit dari aktivitas yang diuji	Aktivitas relevan-keamanan tercatat	Catatan audit yang diharapkan berhasil dibuat	Lulus

Hasil Pengujian Kinerja

Hasil waktu respons (*response-time*) disajikan pada Tabel 4. Rata-rata waktu respons berkisar dari 0,80 detik untuk *login* hingga 2,90 detik untuk pembuatan laporan dalam *Portable Document Format* (PDF). Rata-rata keseluruhan dari keenam aktivitas tersebut adalah 1,65 detik. Pembuatan laporan merupakan aktivitas yang paling lambat karena membutuhkan pengambilan data, pemformatan dokumen, dan proses *rendering*. Standar deviasi berkisar antara 0,11 hingga 0,41 detik, yang menunjukkan bahwa pengukuran berulang tersebut relatif stabil dalam lingkungan yang diuji.

Tabel 4. Statistik Deskriptif dari Waktu Respons

Aktivitas	Percobaan	Minimum (detik)	Rata-rata (detik)	Maksimum (detik)	Standar Deviasi (detik)
Login	30	0.62	0.80	01.07	0.11
Buka dasbor	30	0.84	1.10	1.42	0.15
Simpan nilai	30	01.08	1.40	1.83	0.19
Serahkan untuk verifikasi	30	1.21	1.60	02.05	0.22
Tampilkan rapor	30	1.65	2.10	2.72	0.28
Buat rapor PDF	30	2.18	2.90	3.78	0.41

Hasil Pengujian Penerimaan Pengguna

Skor maksimum yang mungkin dicapai pada Pengujian Penerimaan Pengguna (*User Acceptance Testing*) adalah 3.500, yang dihitung dari 35 responden, 20 pernyataan, dan skor tanggapan maksimum sebesar 5. Skor agregat yang diamati adalah 3.096, yang setara dengan 88,46% dan diklasifikasikan sebagai sangat layak. Tabel 5 merangkum keenam dimensi evaluasi, sementara Tabel 6 menyajikan hasil pada tingkat butir pernyataan. Dimensi kemudahan penggunaan memperoleh skor tertinggi sebesar 90,29%. Kecepatan akses menerima skor terendah yaitu 87,05%, namun tetap berada di dalam kategori sangat layak. Seluruh 20 pernyataan tersebut juga berada di dalam rentang sangat layak.

Tabel 5. Hasil Pengujian Penerimaan Pengguna Berdasarkan Dimensi

Dimensi	Butir Pertanyaan	Skor Aktual	Skor Maksimum	Persentase
Kemudahan penggunaan	4	632	700	90.29%
Antarmuka	4	610	700	87.14%
Kesesuaian fitur	4	621	700	88.71%
Kecepatan akses	3	457	525	87.05%
Keamanan dan kepercayaan	3	468	525	89.14%
Kepuasan keseluruhan	2	308	350	88.00%
Total	20	3,096	3,500	88.46%

Tabel 6. Hasil Pengujian Penerimaan Pengguna Tingkat Butir Pertanyaan

Kode	Pernyataan UAT	Skor Aktual	Rata-rata	Persentase	Kategori
E1	Login dan operasi awal mudah dilakukan.	160	4.57	91.43%	Sangat layak
E2	Menu dan navigasi mudah dipahami.	158	4.51	90.29%	Sangat layak
E3	Proses utama yang ditugaskan pada peran saya mudah diselesaikan.	157	4.49	89.71%	Sangat layak
E4	Status penyerahan, konfirmasi, dan verifikasi mudah dipantau.	157	4.49	89.71%	Sangat layak
I1	Teks, label, dan instruksi sudah jelas.	154	4.40	88.00%	Sangat layak
I2	Tata letak dasbor mendukung peran yang ditugaskan.	153	4.37	87.43%	Sangat layak
I3	Umpan balik sistem dan pesan mudah dipahami.	152	4.34	86.86%	Sangat layak
I4	Tampilan rapor mudah dibaca.	151	4.31	86.29%	Sangat layak
F1	Fungsi sistem mendukung tugas Guru Mata Pelajaran.	157	4.49	89.71%	Sangat layak
F2	Konfirmasi nilai siswa mendukung peninjauan hasil penilaian.	156	4.46	89.14%	Sangat layak
F3	Verifikasi nilai oleh orang tua memperkuat keterlibatan orang tua.	155	4.43	88.57%	Sangat layak
F4	Fungsi audit nilai mendukung tanggung jawab Super Admin.	153	4.37	87.43%	Sangat layak
P1	Halaman dan menu dimuat dalam waktu yang dapat diterima.	154	4.40	88.00%	Sangat layak
P2	Penyimpanan nilai diselesaikan dalam waktu yang dapat diterima.	153	4.37	87.43%	Sangat layak
P3	Pembuatan rapor akhir diselesaikan dalam waktu yang dapat diterima.	150	4.29	85.71%	Sangat layak
S1	Izin akses sudah sesuai untuk setiap peran.	158	4.51	90.29%	Sangat layak
S2	Perubahan nilai dapat dilacak melalui log audit.	156	4.46	89.14%	Sangat layak
S3	Alur kerja konfirmasi dan verifikasi meningkatkan kepercayaan terhadap integritas nilai.	154	4.40	88.00%	Sangat layak
U1	Secara keseluruhan, saya puas dengan sistem ini.	155	4.43	88.57%	Sangat layak
U2	Saya bersedia menggunakan sistem ini dalam aktivitas rutin.	153	4.37	87.43%	Sangat layak
Total	20 pernyataan	3,096	4.42	88.46%	Sangat layak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa rapor digital dapat memberikan lebih dari sekadar penyimpanan daring ketika aturan tata kelola ditanamkan ke dalam alur kerja aplikasi. Penelitian-penelitian sebelumnya telah mendemonstrasikan manfaat digitalisasi pelaporan nilai dan layanan akademik. Penelitian ini memperluas fondasi fungsional tersebut dengan memisahkan tahap entri nilai, konfirmasi siswa, verifikasi orang tua, dan audit administratif. Hasil pengujian black-box 100% mengindikasikan bahwa fungsi-fungsi yang dispesifikasikan beroperasi dengan benar dalam skenario yang diuji, sementara hasil otorisasi mengonfirmasi bahwa pemisahan tanggung jawab berhasil ditegakkan pada tingkat aplikasi.

Menggabungkan izin berbasis peran dengan status nilai adalah hal yang penting karena peran semata tidak dapat menentukan kapan suatu tindakan harus diizinkan. Guru Mata Pelajaran dapat merevisi draf nilai atau catatan yang dikembalikan setelah adanya laporan ketidaksesuaian, namun tidak dapat mengubah nilai setelah adanya konfirmasi siswa dan verifikasi orang tua. Siswa dapat mengonfirmasi nilai yang diserahkan atau melaporkan ketidaksesuaian, tetapi tidak dapat mengubah nilainya secara langsung. Orang Tua hanya memverifikasi nilai yang telah dikonfirmasi siswa, sementara Super Admin memantau proses tanpa mengambil alih otoritas akademik guru. Desain yang digerakkan oleh status (status-driven) ini sejalan dengan prinsip-prinsip kontrol akses yang dapat diaudit, yang mengaitkan setiap keputusan dengan aktor yang dapat diidentifikasi dan status alur kerja yang diizinkan.

Pencatatan jejak audit otomatis pada tingkat model merupakan kontribusi utama yang kedua. Pencatatan di tingkat observer memusatkan tangkapan peristiwa dan mengurangi risiko bahwa jalur controller baru akan memintas (bypass) mekanisme audit. Kesembilan jenis aktivitas yang diuji menghasilkan catatan yang diharapkan, mendukung pemeriksaan di kemudian hari mengenai siapa yang melakukan suatu tindakan, kapan tindakan itu terjadi, dan objek apa yang terdampak. Hal ini menjawab kebutuhan akan pencatatan relevan-keamanan yang bermakna dan konsisten. Meskipun demikian, catatan audit relasional pada dasarnya tidak tahan terhadap gangguan (tamper-resistant). Rantai kriptografi, koleksi log yang ditandatangani, pembatasan hak istimewa append-only, dan replikasi log eksternal akan memberikan perlindungan yang lebih kuat terhadap modifikasi retrospektif.

Skor penerimaan pengguna secara keseluruhan sebesar 88,46% mengindikasikan bahwa tahapan konfirmasi dan verifikasi tambahan tidak menghalangi penerimaan positif dari pengguna. Kemudahan penggunaan menerima skor tertinggi, yang menunjukkan bahwa dasbor spesifik-peran dan batasan tugas yang jelas telah membantu pengguna dalam memahami alur kerja. Kecepatan akses merupakan dimensi dengan nilai terendah, meskipun masih berada dalam kategori sangat layak. Pola ini sejalan dengan hasil kinerja karena proses pembuatan rapor memerlukan lebih banyak waktu pemrosesan dibandingkan dengan proses login, akses dasbor, atau penyimpanan nilai. Hasil ini juga mendukung pandangan bahwa Pengujian Penerimaan Pengguna dapat mengungkap keselarasan fungsional sekaligus menyoroti area yang memerlukan perbaikan antarmuka atau kinerja.

Waktu respons rata-rata 1,65 detik menggambarkan kinerja sistem hanya dalam kondisi yang diuji. Angka ini tidak boleh diinterpretasikan sebagai bukti skalabilitas karena pengukuran tidak mencakup pengguna serentak (concurrent users), pelaporan berbasis persentil, atau profil infrastruktur. Penerapan yang lebih besar yang melibatkan beberapa kelas dan pembuatan rapor secara bersamaan mungkin akan menghasilkan temuan yang berbeda. Evaluasi kinerja di masa depan harus mendokumentasikan spesifikasi server dan jaringan, menguji tingkat konkurensi yang semakin meningkat, melaporkan median dan persentil ke-95 waktu respons, serta mencatat throughput dan tingkat kesalahan.

Hasil pengujian keamanan menetapkan garis dasar fungsional (functional baseline), bukan sebuah sertifikasi keamanan. Autentikasi, otorisasi peran, perlindungan rute langsung, perilaku logout, validasi input, dan pembuatan jejak audit berfungsi dengan baik dalam enam skenario yang diperiksa. Panduan pengujian keamanan web mencakup rentang risiko yang jauh lebih luas, termasuk injeksi, cross-site scripting, penanganan file, kelemahan kriptografi, penyalahgunaan logika bisnis, dan konfigurasi penerapan (deployment). Oleh karena itu, pengujian penetrasi terautentikasi dan tak terautentikasi yang komprehensif, pemindaian dependensi, dan verifikasi remediasi masih tetap diperlukan sebelum sistem ini diterapkan dalam skala besar.

Beberapa ancaman terhadap validitas penelitian (threats to validity) juga perlu dipertimbangkan. Distribusi responden mencerminkan peran operasional sistem, sehingga jumlah Super Admin lebih sedikit dibandingkan dengan Guru Mata Pelajaran, yang membatasi perbandingan statistik antar kelompok aktor. Penelitian ini melaporkan skor penerimaan secara deskriptif tetapi tidak menyajikan reliabilitas instrumen atau bukti longitudinal setelah penggunaan jangka panjang. Proses verifikasi oleh orang tua juga dapat menunda finalisasi nilai apabila orang tua tidak segera mengakses sistem. Terlepas dari keterbatasan-keterbatasan ini, kombinasi antara bukti fungsional, otorisasi, audit, keamanan dasar, kinerja, dan penerimaan pengguna memberikan penilaian yang lebih kuat dibandingkan dengan sekadar pengujian fungsional tunggal, serta mendukung kelayakan dari alur kerja empat aktor yang diusulkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini merancang dan mengevaluasi rapor digital berbasis web yang memisahkan tanggung jawab antara *Super Admin*, Guru Mata Pelajaran, Siswa, dan Orang Tua. Alur kerja ini menugaskan entri dan revisi nilai kepada Guru Mata Pelajaran, konfirmasi nilai kepada Siswa, verifikasi oleh orang tua kepada Orang Tua, serta manajemen sistem dan tinjauan audit kepada *Super Admin*. Seluruh 42 skenario pengujian *black-box* dinyatakan lulus, pembatasan peran dan alur kerja beroperasi sesuai spesifikasi, sembilan aktivitas yang ditargetkan menghasilkan catatan audit yang lengkap, dan enam skenario keamanan dasar menghasilkan keluaran yang diharapkan. Keenam aktivitas yang diukur memiliki waktu respons rata-rata keseluruhan sebesar 1,65 detik. Pengujian Penerimaan Pengguna (*User Acceptance Testing*) dengan 35 responden menghasilkan skor penerimaan sebesar 88,46%, yang mengindikasikan bahwa sistem ini sangat layak di dalam lingkungan yang dievaluasi.

Hasil-hasil ini mendukung penggunaan verifikasi multi-aktor dan pencatatan jejak audit yang dapat dilacak untuk meningkatkan partisipasi dan akuntabilitas dalam manajemen nilai digital. Akan tetapi, temuan ini terbatas pada satu konteks penerapan, analisis penerimaan pengguna yang bersifat deskriptif, pengujian keamanan dasar, dan pengukuran kinerja tanpa adanya beban serentak (*concurrent load*). Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengimplementasikan perlindungan audit yang tahan gangguan (*tamper-resistant*), mengevaluasi reliabilitas instrumen, melakukan pengujian penetrasi dan beban secara komprehensif, mengkaji potensi penundaan verifikasi, serta memvalidasi sistem di berbagai sekolah dalam periode waktu yang lebih panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pemangku kepentingan sekolah dan pengguna sistem yang telah berkontribusi dalam identifikasi kebutuhan dan evaluasi produk. Penulis juga menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh anggota tim peneliti atas dedikasi, kontribusi yang berharga, dan kerja keras mereka di sepanjang proses penelitian. Penelitian ini didanai oleh Universitas Negeri Medan melalui Skema Hibah Penelitian Internal Tahun 2026..

DAFTAR PUSTAKA

[1] L. Antonelli, G. Camilleri, D. Torres, and P. Zaraté, "AGUTER: A platform for automated generation of user acceptance tests from requirements specifications," *Kybernetes*, vol. 52, no. 1, pp. 44-63, 2023, doi: 10.1108/K-04-2021-0252.

[2] L. Antonelli, G. Camilleri, D. Torres, and P. Zaraté, "User acceptance test for software development in the agricultural domain using natural language processing," *Journal of Decision Systems*, vol. 33, no. 4, pp. 913-936, 2024, doi: 10.1080/12460125.2023.2229579.

[3] N. Y. Arifin, G. P. Suri, T. B. Atmojo, I. Indra, M. N. Riswandha, and S. Agustini, "Implementing fast content management to accelerate editorial workflows in a digital newsroom," *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 10, no. 1, pp. 792-800, 2026, doi: 10.33395/sinkron.v10i1.15911.

[4] A. I. W. P. Bahmin, M. Rizal H, N. C. Indah, and A. Salsabila B, "Evaluasi pengujian penerimaan pengguna (User Acceptance Testing) pada Sistem Informasi Akademik Universitas Teknologi AKBA Makassar," *Inventor: Jurnal Inovasi dan Tren Pendidikan Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 2, pp. 50-59, 2025, doi: 10.37630/inventor.v3i2.2525.

[5] A. Bansal, A. Kandikuppa, C.-Y. Chen, M. Hasan, A. Bates, and S. Mohan, "Towards efficient auditing for real-time systems," in *Computer security - ESORICS 2022*, V. Atluri, R. Di Pietro, C. D. Jensen, and W. Meng, Eds., Springer, 2022, pp. 614-634, doi: 10.1007/978-3-031-17143-7_30.

[6] D. F. Ferraiolo, R. Sandhu, S. Gavrila, D. R. Kuhn, and R. Chandramouli, "Proposed NIST standard for role-based access control," *ACM Transactions on Information and System Security*, vol. 4, no. 3, pp. 224-274, 2001, doi: 10.1145/501978.501980.

[7] F. Fitriastuti, R. G. Bening, and S. Andika, "Analisis website Fakultas Teknik Universitas Janabadra menggunakan metode UAT," *Jurnal Teknologi Sistem Informasi*, vol. 6, no. 1, pp. 188-197, 2025, doi: 10.35957/jtsi.v6i1.10054.

[8] A. M. Husein, A. J. Simanjuntak, C. J. Sinaga, M. M. Tampubolon, and P. N. C. Situmorang, "SIAKAD mobile with API service to improve academic services," *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 8, no. 2, pp. 641-650, 2024, doi: 10.33395/sinkron.v8i2.13519.

[9] Khairul, A. Marsya, M. D. Triyadi, and M. Irsyad, "Website-based student digital report card design," *Instal: Jurnal Komputer*, vol. 15, no. 2, pp. 334-344, 2023, doi: 10.54209/jurnalkomputer.v15i02.152.

[10] J. D. Morillo Reina and T. J. Mateo Sanguino, "Decentralized and secure blockchain solution for tamper-proof logging events," *Future Internet*, vol. 17, no. 3, p. 108, 2025, doi: 10.3390/fi17030108.

[11] I. G. P. A. Nugraha, G. Indrawan, A. Asroni, and I. G. A. Gunadi, "Evaluation of mobile academic information system with notifications using heuristic evaluation and WCAG-EM," *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 9, no. 2, pp. 762-775, 2025, doi: 10.33395/sinkron.v9i2.14675.

[12] S. M. Nuralifah, M. Rizal H, P. F. Ahmad, and W. Amelia, "Pengguna (User Acceptance Testing) pada Sistem Informasi Akademik EMACCA Universitas Teknologi AKBA Makassar," *Inventor: Jurnal Inovasi dan Tren Pendidikan Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 2, pp. 84-91, 2025, doi: 10.37630/inventor.v3i2.2541.

[13] OWASP Foundation, *OWASP Web Security Testing Guide (Version 4.2)*. 2021. [Online]. Available: https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/

[14] R. S. Pressman and B. R. Maxim, *Software engineering: A practitioner's approach*, 9th ed. McGraw-Hill, 2020.

[15] A. K. Priyambodo, F. Alzami, A. Nurhindarto, A. Winarno, L. Erawan, Suharnawi, and M. T. Sulistyono, "Compliance-by-design for bonded warehouses: A web-based inventory system with CEISA-verified gate control and D&M success evaluation," *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 10, no. 1, pp. 741-754, 2026, doi: 10.33395/sinkron.v10i1.15795.

[16] A. Punia, P. Gulia, N. S. Gill, E. Ibeke, C. Iwendi, and P. K. Shukla, "A systematic review on blockchain-based access control systems in cloud environment," *Journal of Cloud Computing*, vol. 13, p. 146, 2024, doi: 10.1186/s13677-024-00697-7.

[17] M. Sahin and N. Daniele, "Towards understanding and improving security-relevant web application logging," in *Proceedings of the 19th ACM Asia Conference on Computer and Communications Security*, Association for Computing Machinery, 2024, pp. 814-829, doi: 10.1145/3634737.3637647.

[18] A. Sudradjat, "The development of student grades information system at SDIT using Waterfall model," *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 3, no. 2, pp. 249-259, 2019, doi: 10.33395/sinkron.v3i2.10049.

[19] Q. Zhang, L. Yuan, T. Xie, and H. Chen, "Auditable and dynamic access control scheme with behavior and identity tracing," *Computer Networks*, vol. 251, p. 110623, 2024, doi: 10.1016/j.comnet.2024.110623.

[20] Y. Zhang, L. Xiong, F. Li, X. Niu, and H. Wu, "A blockchain-based privacy-preserving auditable authentication scheme with hierarchical access control for mobile cloud computing," *Journal of Systems Architecture*, vol. 142, p. 102949, 2023, doi: 10.1016/j.sysarc.2023.102949.