

PENGEMBANGAN SISTEM E-VOTING BERBASIS WEB (STUDI KASUS: PEMIRA FASILKOM UNSIKA)

Anugrah Damaris Hakim^{1*}, Yuyun Umaidah², Susilawati³

^{1,2,3}Universitas Singaperbangsa Karawang; Jl. HS. Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur
Karawang, Indonesia; (0267) 641177

Keywords:

E-Voting;
Serverless;
Edge Computing;
TAM.

Correspondent Email:

anugrahdamarishakim@gmail.com

Abstrak. Pemilihan Umum Raya (Pemira) Fasilkom Unsika menghadapi permasalahan sistemik berupa ketidakkonsistenan metode, mulai dari kegagalan validasi pemilih otomatis pada sistem e-voting sewaan (2022) hingga penurunan drastis partisipasi menjadi hanya 76 suara pada sistem luring (2023-2024). Guna memenuhi amanat Undang-Undang PEMIRA 2025, penelitian ini mengembangkan sistem "Web E-Vote" mandiri berarsitektur serverless dan edge computing. Sistem dibangun menggunakan Cloudflare Workers, Hono, Cloudflare D1, dan Vue.js, yang dilengkapi fitur Two-Factor Authentication (2FA) via email institusi, kewajiban swafoto, E-Receipt kriptografis, dan Immutable Audit Logs. Pengembangan dilakukan menggunakan metode Waterfall. Hasil pengujian menunjukkan 100% path coverage pada White Box Testing, status 'Valid' pada seluruh skenario Black Box Testing, dan tingkat kelayakan 92,01% pada User Acceptance Test (UAT) berbasis TAM. Evaluasi kinerja di lingkungan produksi nyata membuktikan keandalan sistem dengan keberhasilan 100% dari 53.374 permintaan, rata-rata latensi 65,72 ms, 0 kasus double voting, dan efisiensi biaya infrastruktur 100%. Sistem ini terbukti tangguh dan layak diimplementasikan sebagai kerangka standar demokrasi digital kampus yang transparan.



Copyright © 2026 The Author(s),
Published by Jurnal Informatika dan
Teknik Elektro Terapan. This is an
open-access article distributed under
the terms of the Creative Commons
Attribution-NonCommercial 4.0
International License (CC BY-NC
4.0).

Abstract. *The General Student Election (Pemira) at Fasilkom Unsika faces systemic issues, from automated voter validation failures in a rented e-voting system (2022) to a drastic participation drop to 76 votes in the offline system (2023-2024). To fulfill the 2025 PEMIRA Law mandate, this study develops an independent "Web E-Vote" system using serverless architecture and edge computing. The system is built with Cloudflare Workers, Hono, Cloudflare D1, and Vue.js, featuring Two-Factor Authentication (2FA) via institutional email, mandatory selfies, cryptographic E-Receipts, and Immutable Audit Logs. Development utilized the Waterfall method. Testing results demonstrated 100% path coverage in White Box Testing, 'Valid' status across all Black Box Testing features, and a 92.01% feasibility score in a TAM-based User Acceptance Test (UAT). Performance evaluation in an actual production environment proved system reliability with a 100% success rate across 53,374 requests, 65.72 ms average latency, zero double voting cases, and 100% infrastructure cost efficiency. This system is proven robust and highly feasible as a standard framework for transparent campus digital democracy.*

1. PENDAHULUAN

Transformasi digital di sektor pendidikan tinggi telah memodernisasi pelaksanaan pemilihan umum untuk suksesi kepemimpinan organisasi kemahasiswaan. Secara umum, pemanfaatan teknologi informasi di ranah politik telah terbukti krusial, misalnya untuk mengevaluasi sentimen publik terhadap kinerja perwakilan rakyat [1]. Sistem konvensional (*luring*) memiliki kelemahan sistemik seperti biaya logistik tinggi, proses rekapitulasi lambat, dan terciptanya antrean yang secara langsung menurunkan tingkat partisipasi pemilih [2]. *Electronic voting* (e-voting) hadir untuk menciptakan mekanisme yang lebih transparan dan efisien. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji implementasi e-voting di lingkungan kampus, namun masih menyisakan celah (*gap*) yang signifikan. Wulandari et al. [3] mengembangkan sistem e-voting namun masih menggunakan arsitektur server tradisional (*monolitik*) yang boros sumber daya dan rentan terhadap masalah skalabilitas. Hal ini sejalan dengan temuan Muttaqun et al. [4] di mana implementasi e-voting sering mengalami insiden "server down" akibat lonjakan trafik mendadak (*flash crowd*) pada jam pembukaan. Dari aspek keamanan, Sitompul et al. [5] berfokus pada enkripsi data namun belum menyediakan jejak audit transparan guna mencegah kecurangan dari dalam, sementara Alifia dan Sundawa [6] menyoroti sistem yang belum menyediakan bukti verifikasi mandiri (*E-Receipt*) sehingga menurunkan tingkat kepercayaan mahasiswa.

Urgensi pengembangan sistem yang andal juga tercermin dari dinamika historis Pemilihan Umum Raya (Pemira) di Fakultas Ilmu Komputer (Fasilkom) Universitas Singaperbangsa Karawang (Unsika). Pada tahun 2022, penggunaan sistem e-voting sewaan memicu ditemukannya 4 suara tidak sah akibat ketiadaan mekanisme validasi pemilih otomatis. Sebagai respons, metode dikembalikan ke sistem *luring* pada tahun 2023 dan 2024, yang justru memicu penurunan drastis partisipasi pemilih dari 234 suara menjadi hanya 76 suara. Terdapat kesenjangan yang nyata: Fasilkom Unsika memiliki mandat

yuridis yang mengamanatkan penggunaan "Web E-Vote" melalui Undang-Undang PEMIRA 2025 [7], namun ketersediaan teknologi mandiri yang efisien dan aman dari *human error* belum terpenuhi.

Berdasarkan analisis kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) melalui pengembangan sistem "Web E-Vote" berarsitektur *serverless* dan *edge computing* yang dibangun di atas ekosistem Cloudflare (Workers, D1, R2), *framework* Hono, dan Vue.js. Penggunaan arsitektur *serverless* secara spesifik ditujukan untuk memitigasi risiko kegagalan sistem akibat *flash crowd* dengan skalabilitas otomatis dan efisiensi biaya (*pay-as-you-go*). Sistem ini juga mengimplementasikan keamanan berlapis melalui *Two-Factor Authentication* (2FA) yang terintegrasi dengan email institusi (@student.unsika.ac.id), kewajiban unggah swafoto sebagai bukti biometrik (*non-repudiation*), penerbitan *E-Receipt* kriptografis sebagai *Voter-Verifiable Paper Audit Trail* (VVPAT) digital, serta *Immutable Audit Logs* untuk menjamin transparansi absolut bagi penyelenggara dan pengawas.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem "Web E-Vote" berarsitektur *serverless* yang aman dan transparan, mengukur tingkat penerimaan pengguna dari perspektif Mahasiswa, KPUM, dan PANWAS melalui *User Acceptance Test* (UAT) berbasis *Technology Acceptance Model* (TAM), serta mengevaluasi kinerja teknis, skalabilitas, integritas, dan efisiensi biaya operasional sistem pada lingkungan produksi nyata.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Electronic Voting (E-Voting) dan Pemira*

Electronic voting (e-voting) adalah pemanfaatan teknologi digital untuk memfasilitasi proses pemungutan suara, mulai dari tahap registrasi hingga penghitungan hasil, guna menciptakan mekanisme yang transparan, presisi, dan efisien. Dalam konteks Pemilihan Umum Raya (Pemira) mahasiswa, sistem e-voting harus mampu mengatasi fenomena *flash*

crowd [4], yaitu lonjakan trafik akses secara bersamaan dalam jendela waktu singkat, yang sering kali menyebabkan peladen (server) konvensional mengalami kelebihan beban (*overload*). Selain itu, sistem diwajibkan memenuhi asas LUBER JURDIL dengan menjamin prinsip "satu orang, satu suara", anonimitas pemilih, dan keterbukaan hasil pengawasan.

2.2 Arsitektur Serverless dan Edge Computing

Arsitektur *serverless* merupakan model komputasi awan di mana alokasi sumber daya dikelola secara dinamis oleh penyedia layanan, sehingga menghilangkan kebutuhan pemeliharaan server fisik yang *idle* dan meminimalkan biaya operasional (*pay-as-you-go*) [8]. Penelitian ini mengadopsi pendekatan *edge computing* yang membawa komputasi sedekat mungkin dengan pengguna akhir untuk mengurangi latensi. Infrastruktur sistem mengintegrasikan Cloudflare Workers sebagai *runtime serverless* global, *framework* web Hono yang ringan dan ultra-cepat, Cloudflare D1 sebagai basis data SQL relasional terdistribusi, serta Cloudflare R2 sebagai penyimpanan objek (*object storage*) untuk bukti swafoto [9].

2.3 Keamanan Sistem E-Voting dan Transparansi

Keamanan sistem berpedoman pada model CIA Triad (*Confidentiality, Integrity, Availability*). Untuk menjamin autentikasi yang valid, sistem menerapkan *Multi-Factor Authentication* (MFA) berbasis *Time-based One-Time Password* (TOTP) yang dikirimkan secara eksklusif ke email institusi mahasiswa (@student.unsika.ac.id). Integritas data dijaga melalui transaksi atomik pada basis data untuk memitigasi *race condition* dan *double voting*. Sebagai instrumen transparansi dan auditabilitas, sistem menerapkan *Immutable Audit Logs* untuk mencatat setiap aktivitas secara permanen (*append-only*), serta menerbitkan *E-Receipt* berenkripsi SHA-256 sebagai *Voter-Verifiable Paper Audit Trail* (VVPAT) digital yang memungkinkan pemilih memverifikasi suaranya tanpa mengungkap pilihan politiknya [10].

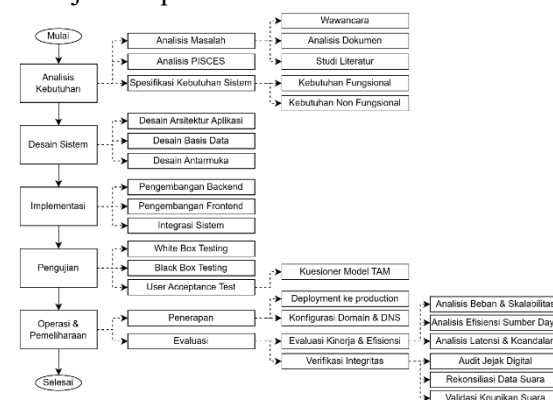
2.4 Technology Acceptance Model (TAM)

Technology Acceptance Model (TAM) adalah kerangka kerja yang digunakan untuk memprediksi dan mengevaluasi penerimaan pengguna terhadap sistem informasi baru. Dalam penelitian ini, TAM diaplikasikan pada fase *User Acceptance Test* (UAT) untuk mengukur tingkat kepuasan pengguna berdasarkan dua variabel utama: Persepsi Kemanfaatan (*Perceived Usefulness*) yang menilai sejauh mana sistem meningkatkan kinerja atau efisiensi, dan Persepsi Kemudahan Penggunaan (*Perceived Ease of Use*) yang menilai tingkat kepraktisan antarmuka sistem bagi penggunanya [11].

3. METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa perangkat lunak yang menggunakan metodologi *Software Development Life Cycle* (SDLC) dengan model *Waterfall* [12]. Model ini dipilih karena karakteristik kebutuhan sistem Pemilihan Umum Raya (PEMIRA) telah terdefinisi secara spesifik dan komprehensif melalui regulasi baku kampus, sehingga meminimalkan perubahan fungsionalitas di tengah proses pengembangan. Arsitektur pemodelan dirancang menggunakan pendekatan *serverless* dan *edge computing* untuk menangani beban operasional yang tinggi. Alur kerja penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Rancangan Penelitian

3.2. Analisis Kebutuhan dan Pengumpulan Data

Tahap ini bertujuan mengevaluasi kelemahan sistem sebelumnya dan merumuskan spesifikasi sistem baru secara

multidimensional menggunakan kerangka kerja PIECES (*Performance, Information, Economics, Control, Efficiency, Service*) [13]. Pengumpulan data primer dilakukan melalui wawancara semi-terstruktur dengan pemangku kepentingan utama, meliputi Ketua BLM, Ketua BEM, mantan ketua KPUM, mantan ketua PANWAS, serta perwakilan mahasiswa aktif. Data sekunder diekstraksi melalui studi dokumentasi terhadap Undang-Undang PEMIRA 2025 dan Laporan Pertanggungjawaban (LPJ) KPUM periode 2022–2024 guna menetapkan batasan dan aturan bisnis (*business rules*) sistem [7],[14].

3.3. Desain dan Implementasi Sistem

Rancangan sistem dimodelkan menggunakan Unified Modeling Language (UML) yang mencakup Use Case, Activity, Sequence, dan Class Diagram. Struktur penyimpanan data dirancang menggunakan Entity Relationship Diagram (ERD) untuk basis data relasional, sementara antarmuka pengguna dipurwarupakan (prototype) secara High-Fidelity menggunakan perangkat lunak Figma.

Pada tahap implementasi, sistem dibangun sepenuhnya di atas arsitektur serverless. Sisi backend mengintegrasikan layanan Cloudflare Workers, Cloudflare D1 (berbasis SQLite), Cloudflare R2 untuk penyimpanan objek, dan diorkestrasi menggunakan kerangka kerja web Hono. Sisi frontend dikembangkan sebagai Single Page Application (SPA) menggunakan Vue.js 3, Vite, dan Bootstrap 5. Komunikasi data dijemput melalui REST API yang dilindungi oleh keamanan berlapis.

3.4. Teknik Pengujian Sistem

Untuk menjamin kualitas dan keamanan perangkat lunak, pengujian dilakukan melalui tiga pendekatan komprehensif:

1. White Box Testing: Menggunakan teknik *Basis Path Testing* untuk menguji logika internal pada 8 modul *backend* paling kritis [15]. Pengujian dilakukan dengan menyusun *flow graph* dan menghitung *Cyclomatic Complexity* menggunakan rumus $V(G) = P + 1$ (di mana P adalah jumlah *predicate nodes*), guna memastikan tercapainya 100% *path coverage*.
2. Black Box Testing: Menggunakan teknik *Equivalence Partitioning* dan *Boundary*

Value Analysis terhadap 103 skenario uji dari 9 fitur antarmuka untuk memvalidasi kesesuaian input dan keluaran aplikasi.

3. User Acceptance Test (UAT): Mengevaluasi tingkat penerimaan sistem dari perspektif pengguna akhir menggunakan instrumen *Technology Acceptance Model* (TAM).

3.5. Populasi, Sampel, dan Analisis Data UAT

Sumber data pengujian UAT berasal dari entitas yang terlibat langsung dalam ekosistem Pemira Fasilkom Unsika. Pengambilan sampel menerapkan teknik *Purposive Sampling* untuk pengguna akhir (terdiri dari 53 mahasiswa aktif) dan *Saturation Sampling* untuk kepanitiaan (terdiri dari 10 anggota KPUM dan 5 anggota PANWAS). Evaluasi TAM difokuskan pada dua variabel utama, yaitu *Perceived Ease of Use* dan *Perceived Usefulness*. Data dikuantifikasi menggunakan instrumen kuesioner berskala Likert (1-5). Analisis data dihitung menggunakan statistik deskriptif persentase dengan rumus persentase sama dengan skor aktual dibagi skor ideal dikalikan seratus persen. Sistem dikategorikan "Sangat Layak" apabila persentase capaian berada pada rentang 81% - 100%.

3.6. Evaluasi Kinerja Operasional (Produksi)

Sistem yang telah diimplementasikan (*deployment*) dievaluasi kinerjanya secara langsung pada lingkungan produksi nyata (*production environment*) menggunakan *Cloudflare Analytics*. Metrik yang dievaluasi berfokus pada ketahanan infrastruktur menghadapi *flash crowd*, efisiensi sumber daya (*CPU Time* per permintaan), serta responsivitas latensi yang diukur melalui *Wall Time* pada persentil 50 (P50) dan persentil 90 (P90). Selain performa teknis, validitas operasional juga dibuktikan melalui rekonsiliasi data suara secara menyeluruh dengan mencocokkan jumlah pengguna teregistrasi dengan *E-receipt* dan rekam jejak pada *Immutable Audit Logs*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pengembangan sistem "Web E-Vote" diawali dengan analisis masalah menggunakan

kerangka kerja PIECES (*Performance, Information, Economics, Control, Efficiency, Service*) terhadap sistem yang berjalan sebelumnya. Analisis ini membandingkan sistem luring/e-voting sewaan (periode 2022–2024) dengan usulan sistem baru untuk mengidentifikasi kelemahan secara komprehensif. Hasil pemetaan masalah dan usulan solusi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Analisis PIECES Sistem Berjalan vs Usulan

Dimensi PIECES	Sistem Sebelumnya (Luring/E-Voting Sewaan)	Sistem "Web E-Vote" yang Diusulkan
Performance (Kinerja)	Pemungutan fisik menimbulkan antrian panjang. Sistem e-voting sewaan rentan down atau overload saat ribuan mahasiswa mengakses secara bersamaan (flash crowd).	Menerapkan arsitektur Serverless (Cloudflare Workers) yang melakukan auto-scaling secara instan. Target terukur: response time rata-rata ≤ 2 detik pada kondisi beban puncak, diverifikasi melalui pengujian kinerja sistem pada Sub Bab 4.1.5.2.
Information (Informasi)	Penghitungan manual sangat lambat. Validasi status aktif pemilih bergantung pada pengecekan berkas dan pembaruan pendaftaran manual yang rawan tumpang tindih (human error).	Rekapitulasi suara berjalan akurat secara real-time. Validasi DPT dan pemutakhiran status hak pilih bersifat otomatis melalui domain email akademik. Target terukur: tingkat akurasi rekapitulasi suara 100%, diverifikasi melalui Vote Data Reconciliation pada Sub Bab 4.1.5.2.
Economics (Ekonomi)	Biaya logistik luring (kertas, kotak suara) dan penyewaan hosting e-voting konvensional yang mahal di muka. Tercatat pengeluaran sebesar Rp 1.533.000 pada Pemira 2022.	Infrastruktur serverless dengan skema pay-as-you-go mengeliminasi biaya sewa server tetap. Target terukur: total biaya operasional infrastruktur lebih rendah dari Rp 200.000 per siklus Pemira, berdasarkan estimasi

Dimensi PIECES	Sistem Sebelumnya (Luring/E-Voting Sewaan)	Sistem "Web E-Vote" yang Diusulkan
		penggunaan Cloudflare Workers Free Tier.
Control (Pengendalian)	Rentan terhadap manipulasi administrator internal, risiko pemilih ganda, serta pengusutan yang lambat atas aduan kecurangan karena tidak ada jejak audit digital.	Proteksi berlapis: Two-Factor Authentication (2FA), validasi lintas program studi, dan Immutable Audit Logs. Target terukur: 0 insiden double voting dan 100% aktivitas administrator terekam dalam audit log, diverifikasi melalui pengujian Black Box pada Sub Bab 4.1.4.2.
Efficiency (Efisiensi)	Mahasiswa harus hadir secara fisik pada jendela penjadwalan ketat. Panitia membutuhkan waktu berjam-jam untuk rekapitulasi manual.	Pemilih dapat menggunakan hak suara dari mana saja (remote-voting). Registrasi DPS-ke-DPT otomatis via OTP. Target terukur: durasi proses voting per pemilih ≤ 5 menit, diverifikasi melalui UAT pada Sub Bab 4.1.4.3.
Service (Layanan)	Tingkat partisipasi menurun dari 234 suara (2022) menjadi 76 suara (2024) akibat minimnya fleksibilitas layanan TPS dan ketiadaan mekanisme verifikasi transparan bagi mahasiswa.	Antarmuka mobile-first, E-Receipt instan yang dapat diverifikasi publik, dan dashboard real-count transparan. Target terukur: peningkatan voter turnout minimal 50% dari baseline 76 suara (2024) menjadi ≥ 114 suara, diverifikasi dari data hasil Pemira saat sistem dioperasikan.

Berdasarkan analisis tersebut, sistem dirancang untuk memfasilitasi interaksi lima aktor utama, yang divisualisasikan melalui *Use Case Diagram* pada Gambar 1.



Gambar 2 Use Case Diagram Sistem E-Voting Pemira Fasilkom Unsika

Sistem "Web E-Vote" diimplementasikan menggunakan arsitektur *serverless* dan *edge computing*. Lapisan *backend* mengintegrasikan Cloudflare Workers, Cloudflare D1 (berbasis SQLite), Cloudflare R2 untuk penyimpanan *object* swafoto, dan kerangka kerja Hono. Lapisan *frontend* dikembangkan sebagai *Single Page Application* (SPA) menggunakan Vue.js 3 dan Bootstrap 5.

Setelah implementasi, kualitas perangkat lunak dievaluasi melalui *White Box Testing* dan *Black Box Testing*. Pengujian *White Box* menggunakan *Basis Path Testing* untuk mengukur persentase eksekusi jalur logika pada empat modul *backend* yang memiliki tingkat kekritisan tertinggi terhadap integritas pemilihan. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Rekapitulasi White Box Testing

No.	Modul / Fitur yang Diuji	Predicate Node (P)	V(G)	Jalur Uji	Status
1	Registrasi Mahasiswa	6	7	7 path	Valid
2	Pemungutan Suara & Swafoto	12	13	13 path	Valid
3	Verifikasi E-Receipt	3	4	4 path	Valid
4	Monitoring Audit Logs	1	2	2 path	Valid
	TOTAL			26 path	100% Valid

Tabel 2 menunjukkan seluruh 26 jalur independen berhasil dieksekusi, mencapai 100% *path coverage* tanpa satupun galat logika.

Modul Pemungutan Suara memiliki tingkat kompleksitas tertinggi ($V(G) = 13$) dikarenakan adanya validasi keamanan berlapis yang ketat.

Selanjutnya, pengujian fungsionalitas antarmuka (*Black Box Testing*) dilaksanakan dengan teknik *Equivalence Partitioning* dan *Boundary Value Analysis* pada 9 fitur aplikasi. Hasil pengujian fungsional dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3 Rekapitulasi Black Box Testing

No	Fitur yang Diuji	Jml. Skenario	Sesuai Harapan	Tidak Sesuai	% Kelulusan
1	Registrasi Mahasiswa	16	16	0	100%
2	Pemungutan Suara & Swafoto	15	15	0	100%
3	Verifikasi E-Receipt	8	8	0	100%
4	Monitoring Audit Logs	7	7	0	100%
5	Pelaporan Pelanggaran	13	13	0	100%
6	Manajemen Data KPUM	17	17	0	100%
7	Verifikasi Hasil Pemilihan	11	11	0	100%
8	Lupa Password Mahasiswa	5	5	0	100%
9	Akses Halaman Publik	11	11	0	100%
	TOTAL	103	103	0	100%

Dari Tabel 3 terlihat bahwa seluruh 103 skenario uji fungsionalitas mendapatkan persentase kelulusan 100%. Tingkat penerimaan pengguna kemudian diukur melalui *User Acceptance Test* (UAT) menggunakan *Technology Acceptance Model* (TAM). Hasil rekapitulasi UAT dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Rekapitulasi User Acceptance Test (UAT)

No.	Kelompok Responden	n	Aspek Ease of Use	Aspek Usefulness	Rata-rata Kelompok
1	Mahasiswa	53	90,85 %	92,15 %	91,35%
2	KPUM	10	93,14 %	96,40 %	94,50%

3	PANWAS	5	93,71 %	96,00 %	94,67%
Rata-rata Total		68	92,57 %	94,85 %	92,01%

Pada fase akhir, kinerja sistem dievaluasi di lingkungan produksi selama PEMIRA (8–14 Desember 2025). Pemantauan melalui *Cloudflare Analytics* mencatat sistem memproses 53.374 *requests* dengan *success rate* 100% dan latensi P50 sebesar 65,72 ms, beroperasi dengan total biaya infrastruktur digital Rp 0.

4.2 Pembahasan

Pengembangan arsitektur *serverless* berbasis *edge computing* pada penelitian ini terbukti secara definitif mampu memecahkan isu skalabilitas dan pemborosan anggaran (*apa*) [8]. Hal ini dimungkinkan karena kapabilitas *auto-scaling* pada *Cloudflare Workers* secara otomatis mendistribusikan sumber daya komputasi menyesuaikan lonjakan trafik, sehingga sistem berhasil mengeksekusi 53.374 permintaan tanpa *downtime* dengan latensi hanya 65,72 ms (*mengapa*). Temuan ini mengontraskan dan memperbaiki keterbatasan pada penelitian Muttaqun et al. [4] yang melaporkan insiden *server down* saat *flash crowd*, serta mengatasi inefisiensi arsitektur *server* monolitik yang disoroti oleh Wulandari et al. [3]. Lebih lanjut, melalui skema ini, anggaran infrastruktur berhasil ditekan menjadi Rp 0, memberikan efisiensi 100% dibandingkan sistem sewaan tahun 2022 yang membebani dana hingga Rp 1.533.000.

Aspek integritas dan validitas pemilihan berhasil ditegakkan secara absolut melalui penerapan keamanan dan validasi berlapis. Integrasi *Two-Factor Authentication* (2FA) dengan email resmi kampus (@student.unsika.ac.id) secara efisien memotong rantai birokrasi verifikasi manual yang kerap memicu *human error*. Penerapan 2FA ini juga memperbarui model keamanan pada penelitian Suprianto dan Affandi (2020) yang sebelumnya masih rentan terhadap penyalahgunaan akun atau joki suara karena absennya validasi ganda yang terikat dengan data institusi. Selain itu, validasi transaksi atomik pada basis data terbukti secara matematis mampu menangkal *race condition*,

sehingga kasus *double voting* dapat ditekan menjadi nol insiden.

Krisis kepercayaan (*public trust*) yang sebelumnya memicu apatisme mahasiswa (partisipasi anjlok menjadi 76 suara pada 2024), diatasi dengan mengimplementasikan konsep *Voter-Verifiable Paper Audit Trail* (VVPAT) digital melalui *E-Receipt* terenkripsi SHA-256 [10]. Keberadaan *E-Receipt* ini menutupi celah penelitian Alifia dan Sundawa [6], di mana ketiadaan mekanisme verifikasi mandiri sebelumnya membuat mahasiswa meragukan keabsahan suaranya. Integritas dari pihak penyelenggara juga dijamin dengan keberadaan *Immutable Audit Logs* yang mencegah pihak internal untuk melakukan manipulasi data secara diam-diam (*insider threat*). Pendekatan ini menyempurnakan temuan Sitompul et al. [5] yang sebelumnya hanya berfokus pada enkripsi tanpa mengikutsertakan mekanisme jejak audit yang transparan bagi administrator. Tingkat kepercayaan yang terbangun tervalidasi melalui skor *Perceived Usefulness* pada UAT Mahasiswa yang mencapai 92,15%.

Secara keseluruhan, implikasi teoritis dari temuan ini menegaskan bahwa pemisahan eksekusi logika (*compute*) dan penyimpanan (*storage*) melalui paradigma *serverless* sangat relevan dan andal untuk kasus penggunaan sistem pemungutan suara berbeban tinggi. Secara praktis, sistem ini layak (*production-ready*) untuk diimplementasikan sebagai kerangka standar modernisasi demokrasi di berbagai institusi. Sebagai keberlanjutan dari penelitian ini (*apa lagi*), analisis operasional masih menemukan satu celah manual pada proses validasi bukti swafoto (*selfie*) yang bersifat pasif (hanya disimpan di *object storage*). Dibutuhkan integrasi teknologi *Face Recognition* berbasis *Artificial Intelligence* (AI) di masa depan agar pencocokan identitas pemilih dapat tervalidasi secara otomatis sebelum suara masuk ke dalam *database*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem "Web E-Vote" untuk Pemira Fasilkom Unsika, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil yang Diperoleh: Sistem "Web E-Vote" berarsitektur *serverless* dan *edge computing* berhasil dikembangkan dan

dievaluasi dengan tingkat kelayakan keseluruhan mencapai 92,01% (kategori "Sangat Layak") melalui *User Acceptance Test* (UAT). Pengujian internal dan fungsional sistem mencapai kelulusan 100% pada 26 jalur *White Box Testing* dan 103 skenario *Black Box Testing*. Secara operasional di lingkungan produksi, sistem terbukti sangat andal dengan kemampuan memproses 53.374 permintaan (*requests*) tanpa *downtime*, menghasilkan *success rate* 100% dengan rata-rata latensi P50 sebesar 65,72 ms.

- b. Kelebihan Sistem: Pendekatan *serverless* secara efektif mengeliminasi kendala skalabilitas saat menghadapi *flash crowd*, sekaligus menekan biaya operasional infrastruktur digital menjadi Rp 0 (penghematan 100% dibandingkan sistem sebelumnya). Sistem juga berhasil menjamin asas LUBER JURDIL, memitigasi *double voting*, dan mencegah *human error* melalui penerapan keamanan berlapis yang mencakup *Two-Factor Authentication* (2FA) via email institusi, *Immutable Audit Logs*, serta *E-Receipt* terenkripsi SHA-256 sebagai instrumen transparansi VVPAT digital.
- c. Kekurangan Sistem: Keterbatasan utama pada sistem ini terletak pada mekanisme validasi fitur unggah swafoto (*selfie*) pasca-pemilihan. Bukti visual tersebut masih bersifat pasif dan belum divalidasi oleh sistem, sehingga pencocokan keabsahan wajah dengan identitas pemilik akun tetap memerlukan intervensi verifikasi manual oleh Panitia Pengawas (PANWAS) ketika terjadi sengketa hasil pemilihan.
- d. Kemungkinan Pengembangan Selanjutnya: Untuk mengatasi keterbatasan yang ada, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan teknologi *Face Recognition* berbasis *Artificial Intelligence* (AI) secara langsung pada antarmuka *frontend*. Integrasi kecerdasan buatan ini akan memungkinkan sistem untuk melakukan validasi biometrik wajah secara otomatis secara *real-time* sebelum suara dicatat ke dalam basis data, guna memaksimalkan efisiensi dan akurasi verifikasi identitas pemilih.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Singaperbangsa Karawang, khususnya kepada Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Koordinator Program Studi Informatika, atas dukungan institusional serta fasilitas yang telah diberikan selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada jajaran Komisi Pemilihan Umum Mahasiswa (KPUM) dan Panitia Pengawas (PANWAS) Fasilkom Unsika yang telah meluangkan waktu dan berpartisipasi aktif dalam proses pengujian serta evaluasi sistem "Web E-Vote".

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Duei Putri, G. F. Nama, and W. E. Sulistiono, "Analisis Sentimen Kinerja Dewan Perwakilan Rakyat (DPR) Pada Twitter Menggunakan Metode Naive Bayes Classifier," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 10, no. 1, Jan. 2022.
- [2] K. P. Wadowski, et al., "Evaluating the impact of digital voting infrastructure on student election turnout," *International Journal of Educational Technology*, vol. 14, no. 4, pp. 300-315, 2023.
- [3] S. Wulandari, et al., "Sistem informasi e-voting pemilihan ketua Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) berbasis web," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 11, no. 1, pp. 20-30, 2025.
- [4] R. F. Muttaqun, et al., "Partisipasi mahasiswa Universitas Negeri Semarang dalam Pemira menggunakan e-voting," *Journal of Political Science*, vol. 8, no. 2, pp. 110-120, 2022.
- [5] B. J. D. Sitompul, et al., "Peningkatan Keamanan Autentikasi Data Pada E-Voting Dengan Menggunakan Algoritma Luc," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 9, no. 1, pp. 45-55, 2024.
- [6] S. N. Alifia and D. Sundawa, "Digitalisasi pemilu melalui sistem e-voting guna meningkatkan civic participatory skill mahasiswa," *Jurnal Pendidikan Kewarganegaraan*, vol. 7, no. 3, pp. 210-220, 2023.
- [7] Badan Legislatif Mahasiswa Fasilkom Unsika, *Undang-Undang Pemilihan Umum Raya Fakultas Ilmu Komputer Tahun 2025*. Karawang: Universitas Singaperbangsa Karawang, 2025.
- [8] A. Saputro and R. Novita, "Comparative Analysis of Hono Framework Performance in Serverless Edge Computing," *Journal of Cloud Computing*, vol. 8, no. 1, pp. 50-65, 2025.

- [9] Cloudflare, "Cloudflare Workers Documentation," 2024. [Online]. Available: <https://developers.cloudflare.com/workers/>
- [10] V. Drishti, "Cryptographic VVPAT: Ensuring transparency in e-voting systems," *Journal of Cryptology*, vol. 12, no. 3, pp. 180-195, 2024.
- [11] D. R. Risnanto, et al., "Analisis Usability pada Antarmuka Sistem Pemungutan Suara Elektronik," *Jurnal Interaksi Manusia dan Komputer*, vol. 10, no. 2, pp. 120-130, 2025.
- [12] I. G. N. A. Dewantara, et al., "Penerapan UML dalam pemodelan sistem informasi berbasis web," *Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 15, no. 2, pp. 88-98, 2022.
- [13] R. Prayogi, K. Ramadhani, and A. Putra, "Penerapan Metode PIECES Framework Dalam Analisis dan Desain Sistem Informasi Penjualan," *Jurnal Rekayasa Perangkat Lunak*, vol. 6, no. 1, pp. 15-25, 2021.
- [14] KPUM Fasilkom Unsika, Laporan Pertanggungjawaban Pemilihan Umum Raya Fakultas Ilmu Komputer Tahun 2022-2024. Karawang: Universitas Singaperbangsa Karawang, 2024.
- [15] T. J. McCabe, "A Complexity Measure," *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. SE-2, no. 4, pp. 308-320, 1976.