

Pengembangan *Backend Microservices* Yang Terintegrasi Dengan *Blockchain Ethereum* Untuk Aplikasi *Voting* Pemilihan Presiden & Wakil Presiden Menggunakan Metode *Iterative Incremental* (Studi Kasus Kota Bandung)

1st Hanif Aryan Ayyasyi
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ayyasyi@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Nur Ichsan Utama
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

nichsan@telkomuniversity.ac.id

3rd Faishal Mufied Al Anshary
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

faishalmufied@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Pemilihan umum di Indonesia menghadapi tantangan signifikan dalam hal keamanan, transparansi, dan efisiensi akibat sistem pemungutan suara konvensional berbasis kertas. Penelitian ini mengembangkan sistem backend berbasis arsitektur *microservices* yang terintegrasi dengan teknologi *blockchain Ethereum* untuk aplikasi *voting* pemilu di Indonesia. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan keamanan, transparansi, dan efisiensi proses pemungutan suara. Pengembangan dilakukan dengan metode *Iterative Incremental*, yang memungkinkan proses bertahap dan perbaikan berkelanjutan. *Smart contract* pada *Ethereum* mengelola logika pemungutan suara, memastikan integritas data melalui sifat *immutable* dan desentralisasi *blockchain*. Arsitektur *microservices* memisahkan fungsi utama ke dalam layanan independen seperti *User Management*, *Election Management*, *Voting*, dan *Result Service*, yang berkomunikasi melalui *Apache Kafka*. Bahasa *Go* dipilih untuk *concurrency* dan efisiensi memorinya, mendukung performa dan skalabilitas sistem. Pengujian meliputi unit testing dan performance testing untuk memverifikasi fungsionalitas dan ketahanan sistem. Hasil menunjukkan sistem mampu mencatat suara secara aman, mendukung audit real-time, dan memungkinkan verifikasi publik tanpa mengorbankan privasi pemilih. Penelitian ini diharapkan menjadi solusi untuk pemilu yang lebih aman, transparan, dan efisien di Indonesia.

Kata kunci— *blockchain*, *microservices*, *backend*, *e-voting*, *ethereum*

I. PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai demokrasi terbesar ketiga di dunia, menghadapi tantangan besar dalam pemilihan umum, termasuk kerentanan keamanan, defisit transparansi, dan inefisiensi sistem pemungutan suara berbasis kertas. Pemilu 2024, dengan lebih dari 204 juta pemilih di 823.220 TPS, menyoroti masalah ini, membutuhkan anggaran 71,8 triliun rupiah dan upaya logistik besar, seperti mendistribusikan lebih dari satu miliar surat suara. Teknologi *blockchain*, yang dikenal dengan sifat desentralisasi dan *immutability*-nya, menawarkan solusi menjanjikan untuk meningkatkan integritas pemilu. Penelitian ini mengembangkan sistem backend yang mengintegrasikan arsitektur *microservices* dengan *blockchain Ethereum* untuk aplikasi *e-voting* yang disesuaikan dengan kebutuhan Indonesia. Tujuannya adalah menciptakan kerangka pemungutan suara yang aman,

transparan, dan efisien menggunakan *smart contract* dan layanan modular, mengatasi keterbatasan sistem terpusat seperti Sirekap

II. KAJIAN TEORI

Teknologi *blockchain* adalah *ledger* terdistribusi yang memastikan integritas data melalui desentralisasi dan hashing kriptografis [1]. Setiap transaksi dalam *blockchain* diverifikasi oleh jaringan node dan dicatat dalam blok yang saling terhubung, menciptakan rantai yang tidak dapat diubah. *Ethereum* memperluas konsep ini dengan memperkenalkan *smart contract*, yaitu program yang dieksekusi secara otomatis di *blockchain* untuk mengelola logika bisnis tanpa intervensi pihak ketiga [2]. Dalam konteks *e-voting*, *blockchain* menawarkan solusi untuk masalah keamanan dan transparansi dengan mencatat setiap suara sebagai transaksi yang tidak dapat diubah, memungkinkan audit publik dan real-time tanpa mengorbankan anonimitas pemilih.

Arsitektur *microservices* adalah pendekatan desain yang memecah aplikasi menjadi layanan kecil, independen, dan modular yang dapat dikembangkan, diterapkan, dan diskalakan secara terpisah [3]. Setiap layanan memiliki tanggung jawab spesifik, seperti autentikasi pengguna atau pengolahan suara, dan berkomunikasi melalui antarmuka yang terdefinisi dengan baik, seperti REST API atau message broker seperti *Apache Kafka*. Pendekatan ini meningkatkan skalabilitas, memungkinkan pembaruan independen, dan mengurangi risiko kegagalan sistem secara keseluruhan.

A. *Blockchain* dan *Ethereum* dalam *E-Voting*

Blockchain memiliki beberapa keunggulan utama dalam *e-voting*. Pertama, sifat *immutability*-nya mencegah manipulasi suara setelah dicatat. Kedua, desentralisasi menghilangkan ketergantungan pada otoritas pusat, mengurangi risiko kecurangan sistemik. Ketiga, transparansi *blockchain* memungkinkan verifikasi publik terhadap hasil pemilu [4]. *Ethereum* memperkuat keunggulan ini dengan *smart contract*, yang dapat mengotomatisasi proses seperti validasi pemilih, penghitungan suara, dan penyajian hasil. Namun, tantangan seperti biaya transaksi (*gas fees*) dan latensi jaringan harus dipertimbangkan, terutama dalam skenario dengan volume pemilih yang besar.

B. Arsitektur Microservices dan Manfaatnya

Microservices memungkinkan pemisahan fungsi sistem menjadi layanan seperti User Management, Election Management, Voting, dan Result Service. Keunggulan utama meliputi skalabilitas horizontal, di mana setiap layanan dapat diskalakan sesuai kebutuhan, dan isolasi kesalahan, di mana kegagalan satu layanan tidak memengaruhi keseluruhan sistem [5]. Selain itu, microservices mempermudah pemeliharaan dan pengembangan berkelanjutan karena setiap layanan dapat diperbarui tanpa mengganggu yang lain.

C. Studi Terkait

Penelitian sebelumnya menunjukkan potensi blockchain dalam e-voting. Shahzad dan Crowcroft [4] mengembangkan sistem berbasis *blockchain* yang meningkatkan kepercayaan publik melalui integritas data. Vladucu et al. [5] menyoroti bahwa kombinasi *blockchain* dan microservices dapat mengatasi masalah skalabilitas dan latensi, meskipun memerlukan optimasi lebih lanjut untuk aplikasi skala besar.

III. METODE

Penelitian ini mengadopsi metode *Iterative Incremental* untuk mengembangkan sistem *backend e-voting*, memungkinkan pengembangan bertahap dan perbaikan berbasis umpan balik. Pendekatan ini terdiri dari enam iterasi, masing-masing berfokus pada pengembangan dan pengujian komponen spesifik, mulai dari library dasar hingga integrasi penuh.

A. Tahapan Pengembangan

Dalam pengembangan sistem ini, proses dilakukan melalui beberapa iterasi yang terstruktur. **Iterasi pertama** dimulai dengan pembuatan *Go Library* (Golib), sebuah pustaka yang menyediakan fungsi dasar seperti manajemen konfigurasi, abstraksi basis data untuk *PostgreSQL* dan *Clickhouse*, serta komunikasi berbasis event-driven menggunakan *Apache Kafka*. **Iterasi kedua** berfokus pada pengembangan *smart contract* menggunakan bahasa *Solidity* pada platform *Ethereum*. *Smart contract* ini dirancang untuk menangani logika inti pemungutan suara, termasuk validasi pemilih dan pencatatan suara secara aman dan transparan di blockchain. Selanjutnya, **iterasi ketiga hingga keenam** mencakup pengembangan empat layanan *microservice* utama secara bertahap. Pertama, *User Management Service* yang menangani registrasi pengguna, autentikasi, dan verifikasi identitas pemilih dengan menggunakan JWT (*JSON Web Tokens*). Kedua, *Election Management Service* yang mengelola informasi terkait pemilu seperti daftar kandidat, jadwal, serta aturan yang berlaku. Ketiga, *Voting Service* yang bertugas memproses suara dari pemilih, mengenkripsi data suara, dan mengirimkannya ke blockchain *Ethereum*. Terakhir, *Result Service* yang berfungsi untuk mengagregasi data suara dari blockchain dan menyajikan hasil pemilu secara real-time kepada pengguna.

B. Teknologi yang Digunakan

- Pemilihan teknologi dalam pengembangan sistem ini didasarkan pada pertimbangan aspek skalabilitas, efisiensi, keandalan, dan keamanan yang dibutuhkan dalam implementasi sistem pemungutan suara berbasis blockchain.

Bahasa pemrograman Go digunakan sebagai komponen utama dalam pengembangan sistem karena kemampuannya dalam mendukung *concurrency* melalui *goroutines*, serta efisiensi manajemen memori yang tinggi. Karakteristik ini menjadikan Go sangat sesuai untuk pengembangan sistem berskala besar dan berorientasi pada kinerja tinggi.

Untuk pengelolaan data, digunakan dua jenis basis data yang memiliki fungsi berbeda namun saling melengkapi, yaitu *PostgreSQL* untuk penyimpanan data terstruktur yang memerlukan konsistensi dan keandalan tinggi, serta *Clickhouse* untuk keperluan analitik data yang intensif dan berskala besar, karena mampu memproses kueri secara cepat dan efisien.

Dalam mendukung komunikasi antar layanan mikro (*microservices*), sistem ini mengintegrasikan *Apache Kafka* sebagai *message broker* yang andal. Kafka dipilih karena mendukung pemrosesan data secara asinkron, memiliki tingkat toleransi kesalahan yang tinggi, serta mampu menangani aliran data dalam jumlah besar secara real-time.

Selanjutnya, **Ethereum** digunakan sebagai platform *blockchain* yang mendasari implementasi *smart contract*, serta menjadi media penyimpanan data suara secara permanen dan tidak dapat dimodifikasi. Pendekatan ini memberikan jaminan integritas, transparansi, dan auditabilitas terhadap proses pemungutan suara.

Untuk menjamin kualitas dan kinerja sistem, proses pengujian dilakukan menggunakan **K6** sebagai alat *performance testing* untuk mensimulasikan beban kerja sistem, serta menggunakan pustaka pengujian bawaan dari Go (**Go's built-in testing**) untuk melaksanakan *unit testing* terhadap setiap modul secara menyeluruh.

C. Prosedur Pengujian

Pengujian sistem dilakukan melalui dua tahap utama untuk memastikan fungsionalitas dan performa sistem secara menyeluruh. Tahap pertama adalah **unit testing**, yang bertujuan untuk menguji fungsionalitas masing-masing komponen secara terpisah. Contoh komponen yang diuji meliputi proses autentikasi pengguna, manajemen sesi, hingga mekanisme penyimpanan suara pada blockchain. Unit testing dilakukan secara intensif untuk menjamin bahwa setiap modul bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

Tahap kedua adalah **performance testing**, yang dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam berbagai kondisi beban. Pengujian ini mencakup beberapa pendekatan, antara lain:

a) **Smoke Testing**, untuk memastikan bahwa sistem dapat berjalan dengan baik dalam kondisi beban minimal dan tidak mengalami kegagalan pada komponen dasar.

b) **Load Testing**, untuk mengukur kemampuan sistem dalam menangani beban kerja normal yang sesuai dengan kondisi operasional harian.

c) **Stress Testing**, yang digunakan untuk menilai batas ketahanan sistem ketika diberi beban yang melebihi kapasitas normal, guna mengidentifikasi titik kegagalan potensial.

d) **Spike Testing**, yang bertujuan untuk mengevaluasi respons sistem terhadap lonjakan permintaan secara tiba-tiba dalam waktu singkat.

e) **Endurance Testing**, yang difokuskan pada pengujian stabilitas dan keandalan sistem selama periode operasi yang panjang secara berkelanjutan.

Kombinasi dari kedua tahap pengujian ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai kesiapan sistem, baik dari aspek teknis mikro maupun makro, sebelum diimplementasikan dalam skala penuh.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan arsitektur *microservices* dengan blockchain Ethereum, menghasilkan platform e-voting yang memenuhi kebutuhan keamanan, transparansi, dan efisiensi untuk pemilu di Indonesia.

A. Hasil Implementasi dan Pengujian

Sistem yang dikembangkan terdiri dari empat layanan utama yang dirancang untuk beroperasi secara independen namun tetap terkoordinasi melalui mekanisme komunikasi *event-driven* menggunakan **Apache Kafka**. Integrasi ini memungkinkan pertukaran data yang efisien, real-time, serta mendukung arsitektur *microservices* yang skalabel dan toleran terhadap kegagalan. Untuk menjamin transparansi dan integritas proses pemungutan suara, digunakan **smart contract** berbasis **Ethereum**, yang memastikan setiap suara terekam secara permanen, tidak dapat diubah, dan dapat diverifikasi secara kriptografis oleh pihak manapun.

Hasil pengujian kinerja menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara stabil dalam berbagai skenario beban. Pada **Smoke Test**, sistem mencatat throughput sebesar **43 permintaan per detik (req/s)** dengan latensi rata-rata **50 ms** dan tingkat kegagalan **0%**, menunjukkan bahwa sistem dapat berjalan pada kondisi minimum tanpa kendala. Dalam **Load Test**, performa meningkat menjadi **105 req/s** dengan latensi rata-rata **70 ms**, juga tanpa adanya kegagalan. **Stress Test** mencatat beban maksimum sebesar **339 req/s** dengan latensi rata-rata **120 ms**, tetap menunjukkan **0% kegagalan**, yang mengindikasikan ketahanan sistem dalam menghadapi tekanan tinggi. **Spike Test** dilakukan untuk mensimulasikan lonjakan lalu lintas secara tiba-tiba, menghasilkan **352 req/s** dengan latensi puncak **150 ms**, dan tetap mempertahankan **0% tingkat kegagalan**. Terakhir, **Endurance Test** menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan stabilitas pada beban **41 req/s** secara kontinu selama **24 jam**, tanpa terjadi kegagalan sama sekali.

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang baik, baik dalam kondisi normal maupun ekstrem, serta dapat diandalkan untuk digunakan dalam skenario pemilu digital berskala besar.

GAMBAR 1 Performance testing vote

Jenis Tes	HTTP Performance		
	Request Rate (req/s)	Avg Latency (ms)	Failure Rate
Smoke	43	5	0%
Load	105	70	0%
Stress	339	6	0%
Spike	352	16	0%
Endurance	41	3	0%



GAMBAR 2 HTTP PERFORMANCE OVERVIEW STRESS TEST

B. Analisis dan Pengembangan

Integrasi blockchain memastikan immutability dan transparansi, memungkinkan audit real-time oleh pihak independen. *Microservices* meningkatkan skalabilitas, dengan Voting Service mampu menangani lonjakan permintaan tanpa kegagalan. Namun, latensi jaringan dan biaya gas Ethereum menjadi kendala potensial. Sistem ini mengatasi tantangan keamanan dengan enkripsi suara dan autentikasi berlapis, serta mendukung efisiensi melalui pemrosesan paralel oleh *microservices*.

Dibandingkan dengan sistem tradisional, pendekatan ini mengurangi risiko kecurangan dan meningkatkan kepercayaan publik. Implikasi praktisnya termasuk potensi pengadopsian dalam pemilu lokal sebelum ekspansi nasional. Untuk penelitian masa depan, optimalisasi latensi dapat dicapai dengan CDN, dan eksplorasi blockchain alternatif seperti Hyperledger dapat mengurangi biaya transaksi.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan sistem e-voting berbasis *microservices* dan blockchain Ethereum yang aman, transparan, dan efisien. Sistem ini mengatasi kelemahan pemilu konvensional di Indonesia dan membuka jalan bagi transformasi digital dalam demokrasi. Peningkatan lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan skalabilitas dan biaya operasional.

REFERENSI

- [1] H. Guo and X. Yu, "A survey on blockchain technology and its security," *Blockchain: Research and Applications*, vol. 3, no. 2, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.bcra.2022.100067.
- [2] V. Buterin, "Ethereum Whitepaper."
- [3] N. Dragoni *et al.*, "Microservices: yesterday, today, and tomorrow," Jun. 2016, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1606.04036>
- [4] B. Shahzad and J. Crowcroft, "Trustworthy Electronic Voting Using Adjusted Blockchain Technology," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 24477–24488, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2895670.
- [5] M. V. Vladucu, Z. Dong, J. Medina, and R. Rojas-Cessa, "E-Voting Meets Blockchain: A Survey," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 23293–23308, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3253682.