

## Implementasi Jaringan *Permissioned Blockchain* pada Sistem *E-Voting* Pemilwa untuk Menjamin Autentikasi Pemilih dan Integritas Data

Joshua Felix Potalangi<sup>1</sup>, Dany Primanita Kartikasari<sup>2</sup>, Nur Hazbiy Shaffan<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya  
Email: <sup>1</sup>joshuafelixp@student.ub.ac.id, <sup>2</sup>dany.jalin@ub.ac.id, <sup>3</sup>nur.hazbiy@ub.ac.id

### Abstrak

Pemilihan mahasiswa telah mengadopsi sistem *e-voting* karena menawarkan kelebihan dibandingkan pemilihan secara tradisional, seperti penghitungan suara yang lebih cepat dan meminimalisir kesalahan manusia. Namun, sistem *e-voting* yang hanya mengandalkan *database* untuk autentikasi pemilih dan penyimpanan data suara, dapat menjadi rentan terhadap manipulasi pihak tidak berwenang dan serangan siber, sehingga membuat kepercayaan pemilih berkurang. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan dan mengimplementasikan jaringan *permissioned blockchain* berbasis *Hyperledger Fabric* pada sistem *e-voting* pemilihan mahasiswa. Sistem ini dirancang menggunakan dua *ledger* terpisah, yaitu *ledger* autentikasi untuk menyimpan data *hash* autentikasi pemilih dan *ledger* voting untuk menyimpan data *hash* suara. Kemudian, logika untuk proses autentikasi dan mengecek validasi suara adalah dengan membandingkan nilai *hash* di *database* dengan nilai *hash* di *ledger*. Melalui pendekatan *blockchain* yang terdesentralisasi dan sifatnya yang *immutable* atau tidak dapat diubah, proses autentikasi dan integritas data suara menjadi lebih aman. Untuk mengevaluasi fungsionalitas sistem *e-voting* yang dikembangkan terkait jaminan autentikasi pemilih dan integritas suara voting, akan dilakukan beberapa skenario pengujian. Beberapa skenario pengujian, antara lain yaitu percobaan duplikasi suara, percobaan manipulasi terhadap akses memilih pemilih pada *database*, dan percobaan manipulasi pilihan kandidat pada data suara di *database*. Hasil pengujian terhadap sistem menunjukkan bahwa sistem mampu mencegah duplikasi suara, mencegah manipulasi akses pemilih, dan mencegah manipulasi pilihan kandidat pada data suara. Hasil ini menawarkan solusi sistem *e-voting* pemilwa dengan jaminan proses autentikasi pemilih dan integritas data suara terhadap manipulasi data.

**Kata kunci:** *e-voting*, *blockchain*, *permissioned blockchain*, *hyperledger fabric*, autentikasi pemilih, integritas data

### Abstract

*Student elections have adopted e-voting systems due to their advantages over traditional voting methods, such as faster vote counting and reduced human errors. However, e-voting systems that rely solely on databases for voter authentication and vote data storage can be vulnerable to unauthorized manipulation and cyberattacks, thereby diminishing voter trust. To address these issues, this study develops and implements a permissioned blockchain network based on Hyperledger Fabric in a student election e-voting system. The system is designed using two separate ledgers, an authentication ledger to store the hash data of voter authentication and a voting ledger to store the hash data of votes. The logic for authentication and vote validation processes involves comparing hash values in the database with those stored in the ledger. Through the decentralized and immutable nature of blockchain, the authentication process and data integrity of votes become more secure. To evaluate the functionality of the developed e-voting system in ensuring voter authentication and vote data integrity, several testing scenarios will be conducted. These scenarios include attempts to duplicate votes, manipulate voter access rights in the database, and alter candidate selections in vote data. Testing results demonstrate that the system successfully prevents vote duplication, voter access manipulation, and candidate selection tampering in vote data. These findings present a solution for e-voting systems with guaranteed voter authentication and vote data integrity against data manipulation.*

**Keywords:** *e-voting*, *blockchain*, *permissioned blockchain*, *hyperledger fabric*, voter authentication, data integrity

## 1. PENDAHULUAN

Voting (pemungutan suara) merupakan cara yang dilakukan untuk mengambil keputusan berdasarkan suara terbanyak. Dalam ranah perguruan tinggi, voting dilakukan pada proses pemilihan mahasiswa untuk memilih kandidat-kandidat yang akan mengisi kepemimpinan dalam organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa maupun anggota Dewan Perwakilan Mahasiswa. Seiring perkembangan teknologi, pemilihan mahasiswa telah mengadopsi sistem *e-voting* berbasis *website* yang memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses voting tradisional secara langsung. Sistem *e-voting* menawarkan kelebihan, yaitu hasil pemungutan suara yang lebih akurat, penghitungan hasil pemungutan suara yang lebih cepat, serta meminimalisir kesalahan manusia (Kho dkk., 2022). Namun, penerapan sistem *e-voting* masih memiliki beberapa permasalahan terkait autentikasi pemilih dan jaminan integritas data.

Permasalahan utama dalam sistem *e-voting* ialah karena data disimpan di dalam *database* terpusat yang dikelola oleh salah satu pihak, sehingga membuat sistem rentan terhadap serangan siber dan manipulasi data oleh pihak tidak berwenang (Vladucu dkk., 2023). Data voting yang hanya dikelola oleh satu pihak tidak dapat memberikan jaminan integritas data, karena ada potensi perubahan atau manipulasi oleh pengelola data tersebut. Selain itu, proses autentikasi pemilih juga dapat dimanipulasi, sehingga rentan terhadap duplikasi suara dan pemberian akses voting kepada pemilih yang tidak berhak. Kerentanan tersebut membuat kepercayaan pemilih terhadap sistem menjadi berkurang. Oleh karena itu, penerapan teknologi *blockchain* menjadi salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut.

*Blockchain* merupakan buku besar yang terdesentralisasi, terdistribusi, dan tidak dapat diubah yang digunakan untuk memelihara daftar catatan yang terus bertambah, yang disebut blok (Al-Maaitah dkk., 2021). Penerapan *blockchain* pada sistem *e-voting* dapat menjamin integritas data karena sifatnya yang terdesentralisasi dan terdistribusi, sehingga tidak ada pihak yang mengendalikan data keseluruhan. Data menjadi lebih aman karena setiap *node* dalam jaringan menyimpan salinan dari seluruh blok, yang mencakup nilai *hash* dari blok sebelumnya, sehingga perubahan pada data akan sangat sulit dilakukan tanpa terdeteksi.

Selain itu, *blockchain* menggunakan mekanisme konsensus untuk memastikan bahwa data yang ditambahkan ke dalam *ledger* (penyimpanan data dalam bentuk blok) adalah valid. Mekanisme konsensus bekerja dengan memvalidasi catatan blok di setiap node, memeriksa apakah terdapat perubahan pada nilai *hash* dari blok-blok yang ada sebelum data baru ditambahkan ke *ledger*. Dengan adanya mekanisme konsensus dan sifat dari *blockchain*, data dalam *ledger* menjadi sangat sulit untuk dimanipulasi oleh pihak mana pun.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengimplementasikan teknologi *blockchain* pada sistem *e-voting* untuk menjamin integritas data. Penelitian oleh (Willysandro dkk., 2021) mengimplementasikan *blockchain* pada sistem *e-voting* menggunakan platform *Ethereum* yang hasilnya sistem mampu menjaga integritas data, saat data di dalam *blockchain* diubah. Namun, penggunaan *Ethereum* dalam kasus *e-voting* kurang cocok karena *Ethereum* bersifat *permissionless (public) blockchain* yang berarti *node* tanpa identitas yang jelas dapat bergabung di dalam jaringan. *Node* tersebut berfungsi dalam menjalankan mekanisme konsensus untuk menjaga konsistensi data dalam jaringan *blockchain*. Mekanisme konsensus yang melibatkan *public node* akan berpengaruh terhadap skalabilitas jaringan yang mengakibatkan performa dan waktu validasi transaksi menurun (Denis González dkk., 2022). Oleh karena itu, dalam kasus *e-voting* yang memerlukan skalabilitas yang baik, serta mengharuskan *node* yang tergabung di dalam jaringan memiliki identitas yang jelas, maka penggunaan *permissioned blockchain* lebih baik.

Selain integritas data, beberapa penelitian sebelumnya telah mencoba mengamankan proses autentikasi pemilih pada sistem *e-voting*, sehingga sistem hanya mengizinkan seseorang yang memiliki persyaratan kelayakan untuk dapat memberikan suaranya pada sistem. Penelitian oleh Willysandro dkk., (2021) menerapkan pemindaian sidik jari pemilih sebagai *biometric authentication*, yang terhubung dengan *database* DPT (Daftar Pemilih Tetap). Penggunaan sidik jari sebagai metode autentikasi memang merupakan metode yang kuat karena setiap pemilih memiliki sidik jari yang unik. Namun dalam penerapan metode ini memerlukan infrastruktur logistik dengan skala besar yang sulit untuk diwujudkan (Benabdallah dkk., 2022). Selain itu, penggunaan *database* terpusat juga menjadi

kerentanan karena terdapat risiko manipulasi oleh pihak pengelola data maupun peretas.

Berdasarkan pemaparan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, penelitian ini mengembangkan dan mengimplementasikan jaringan *permissioned blockchain* berbasis *Hyperledger Fabric* pada sistem *e-voting* pemilwa untuk menjamin autentikasi pemilih dan integritas data voting. Sistem yang dikembangkan akan menerapkan dua *ledger*, yaitu *ledger* untuk menyimpan data *hash* autentikasi pemilih dan *ledger* untuk menyimpan data *hash* suara. Selanjutnya, sistem diuji dengan beberapa skenario untuk mengevaluasi bagaimana sistem dapat menjamin proses autentikasi dan juga menjamin integritas data voting. Skenario pertama akan diuji bagaimana sistem dapat menjamin autentikasi pemilih saat pemilih mencoba melakukan voting untuk kedua kalinya, serta bagaimana saat data autentikasi di *database* yang terhubung dengan *ledger blockchain* dimanipulasi untuk memberikan akses voting. Kemudian, skenario kedua akan diuji bagaimana saat data voting di *database* yang terhubung dengan *ledger blockchain* dimanipulasi. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah sistem *e-voting* pemilwa yang dapat menjamin autentikasi pemilih untuk menghindari adanya duplikasi suara, serta menjamin integritas data voting yang telah tersimpan.

## 2. STUDI LITERATUR

Studi literatur berisikan kajian pustaka dari penelitian-penelitian terdahulu terkait penerapan *blockchain* pada sistem *e-voting*.

Penelitian yang dilakukan oleh Willysandro dkk., (2021) membuat sistem *e-voting* berbasis *blockchain* menggunakan *Ethereum*. Metode autentikasi yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah menggunakan *Fingerprint Identification Record (FIR)*. Pemilih harus melakukan pengecekan sidik jari sebanyak 3 kali sebelum melakukan pemilihan karena pada hasil penelitian mengemukakan tingkat kesalahan autentikasi sebesar 25%. Hasil penelitian ini menyebutkan integritas data dapat terjamin karena pada saat data diubah maka nilai *hash* nya ikut berubah sehingga data yang diubah diabaikan pada saat proses konsensus. Namun penggunaan deteksi *fingerprint* sebagai metode autentikasi membuat durasi autentikasi dapat menjadi lama, serta mengharuskan menampilkan foto dari setiap pemilih. Hasil penelitian

menjelaskan aspek integritas data terjamin karena pada saat proses konsensus, sistem mengabaikan data yang dimanipulasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Seftyanto dkk., (2019) mendesain sistem *e-voting* berbasis *blockchain* menggunakan *Hyperledger Fabric*. Metode autentikasi pada penelitian ini menggunakan dua tahap. Tahap pertama yaitu menggunakan *electronic id* dan *fingerprint* yang dilakukan pemeriksaan di TPS. Tahap kedua yaitu melakukan pengecekan oleh petugas TPS pada *database* catatan kehadiran pemilih. Penelitian menghasilkan desain sistem *e-voting* berbasis *blockchain* yang memiliki kelebihan dibandingkan sistem voting tradisional menggunakan kertas suara. Namun, pada penelitian ini tidak terdapat uji coba terkait keandalan sistem menjaga integritas data.

Penelitian yang dilakukan oleh Christyono dkk., (2021) membuat sistem *e-voting* berbasis *blockchain* menggunakan *Ethereum*. Metode autentikasi yang digunakan yaitu setiap pemilih mempunyai *wallet* *Ethereum* yang berisi *public key* dan *private key* untuk digunakan *login* ke dalam sistem. Penelitian diuji dan dievaluasi menggunakan data asli dari regional Jelupang yang merupakan representasi dari pemilihan di Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu untuk melakukan validasi dan menyimpan data suara pada *blockchain* bergantung pada *miner* dan jumlah *gas* di tiap transaksinya.

Penelitian yang dilakukan oleh Widayanti dkk., (2021) membuat sistem *e-voting* berbasis *blockchain* yang dibuat pada sistem operasi *Linux Ubuntu* menggunakan bahasa pemrograman *Python*. Metode yang digunakan dalam proses autentikasi yaitu menggunakan algoritma *Elliptic Curve Cryptography (ECC)*. Sebelum melakukan pemilihan, pemilih diberi *private key* dan *public key*. Nantinya *public key* diserahkan ke petugas tempat pemungutan suara yang nantinya dapat digunakan untuk melacak suara, sedangkan *private key* digunakan untuk masuk ke dalam sistem pemilihan dan memberikan *digital signature* terhadap suara tersebut.

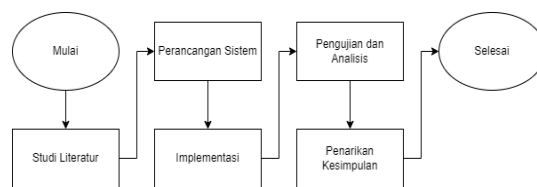
Penelitian yang dilakukan oleh Sallal dkk., (2023) membuat sistem *e-voting* yang diintegrasikan dengan jaringan *Hyperledger Fabric* untuk menyimpan data autentikasi dan data suara. Sebelum proses voting, admin menyimpan *whitelist id number* dari pemilih yang memiliki hak voting di *ledger*. Pada saat proses pra-voting, pemilih harus melakukan registrasi akun pada *web front-end* dengan

menyertakan *id number*. Kemudian sistem memverifikasi apakah *id number* tersebut terdapat di *whitelist*, apabila terdapat dan belum diregistrasi pada *ledger* maka sistem membuat *profile* di *ledger* dengan *id number* dan membuat *virtual id* unik untuk setiap voter yang disimpan di *ledger*. Pada saat proses voting, pemilih masuk menggunakan *vid* yang didapat dari *ledger* dan membuat token unik yang merupakan nilai *hash* dari *vid*, *expired time*, hak akses, *timestamp*, dan bilangan *integer n* yang dipilih secara acak untuk setiap pemilih. Setelah memilih kandidat, sistem membuat *tracking number* unik untuk suara yang didapatkan dengan enkripsi *ElGamal* dari isi token yaitu *vid*, *integer n*, yang kemudian menyimpan *tracking number* tersebut beserta pilihan suara dalam bentuk *plaintext* ke *ledger*. Setelah suara terbuat di *ledger*, maka pemilih dapat melacak suara mereka pada *web front end* dengan menyertakan *vid*. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut, proses autentikasi dan integritas data suara dapat terjamin karena disimpan di dalam *ledger*. Namun, pada sistem ini terdapat kelemahan yaitu proses kompleks enkripsi pada sistem *front end* membutuhkan *resource* yang besar. Kemudian pada sistem ini menyimpan data pada *ledger* secara *plain text* yang membuat lebih rentan untuk dimanipulasi, serta terdapat *tracking number* yang berpotensi untuk mengurangi privasi pemilih karena meskipun susah untuk dilacak kembali ke pemilih, masih terdapat kemungkinan untuk dilacak.

Berdasarkan tinjauan pustaka terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan jaringan *permissioned blockchain* berbasis *Hyperledger Fabric* untuk menghindari kebergantungan *miner* dan *gas cost* pada saat proses validasi transaksi, sehingga skalabilitas dan waktu untuk validasi transaksi dapat meningkat. Kemudian penggunaan *permissioned blockchain* juga dimaksudkan agar *node* di dalam jaringan *blockchain* dapat dikenali identitasnya, sehingga integritas data lebih terjaga. Selain itu, penelitian ini menyederhanakan proses *autentikasi* dan proses voting tanpa membebani sistem *front end* dengan proses enkripsi yang kompleks. Pada penelitian ini juga menerapkan *DLT (Distributed Ledger Technology) blockchain* dari *Hyperledger Fabric* yang hanya menyimpan data *hash* autentikasi pemilih dan juga data *hash* suara, sehingga tidak menyimpan informasi penting di dalam *ledger*.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan merupakan jenis penelitian implementatif pengembangan yang bertujuan untuk mengembangkan sistem *e-voting* dengan mengimplementasikan jaringan *permissioned blockchain* berbasis *Hyperledger Fabric* untuk menjamin autentikasi pemilih dan integritas data suara voting. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mendapatkan data hasil pengujian. Data yang diamati dan diuji diambil dari pengujian sistem *e-voting* yang dibuat dengan fokus utama pada autentikasi pemilih dan integritas data. Tahapan alur penelitian yang dilakukan, meliputi studi literatur, perancangan sistem, implementasi, pengujian dan analisis, serta penarikan kesimpulan. Tahapan tersebut diperlihatkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alur Metodologi Penelitian

### 4. PERANCANGAN

Sistem yang dibuat merupakan simulasi sistem pemilihan mahasiswa (pemilwa) secara daring (*e-voting*) untuk memilih presiden dan wakil presiden Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM). Secara garis besar sistem dibagi menjadi dua lingkup, yaitu lingkup aplikasi dan juga lingkup jaringan *Hyperledger Fabric*. Pada lingkup aplikasi terdiri dari aplikasi *website* yang digunakan untuk mahasiswa melakukan voting, dan juga *database* untuk menyimpan data *login* mahasiswa dan menyimpan data suara pemilihan dari *website*. Pada lingkup jaringan *Hyperledger Fabric* terdiri dari *chaincode (smart contract)* dan komponen *Hyperledger Fabric* seperti *channel*, *peer node*, dan *orderer node*. Sistem ini melibatkan tiga organisasi yaitu Organisasi Fakultas Ilmu Komputer (FILKOM), Organisasi Fakultas Hukum (FH), dan Organisasi Fakultas Ekonomi dan Bisnis (FEB), sebagai pengawas jalannya pemilihan mahasiswa dengan menyediakan *orderer peer* dan *peer node* pada jaringan *Hyperledger Fabric* untuk menyimpan nilai *hash* autentikasi pemilih dan juga nilai *hash* suara. Aktor-aktor yang terlibat dalam sistem ini, antara lain tiga admin jaringan dari masing-masing organisasi yang memiliki peran untuk melakukan



konfigurasi terkait *peer* milik organisasinya di dalam jaringan *Hyperledger Fabric*, admin aplikasi *website* yang berasal dari panitia penyelenggara pemilihan mahasiswa dan memiliki peran untuk mengelola *website*, *database*, dan hasil akhir suara pemilihan, aktor pemilih merupakan mahasiswa yang ikut dalam pemilihan mahasiswa dan memiliki hak suara untuk memilih.

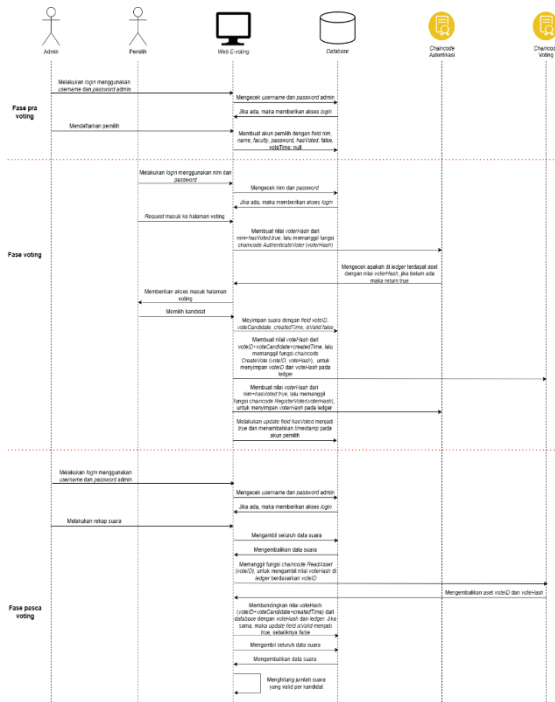
Alur pemilihan dibagi menjadi tiga fase, yaitu fase pra voting, fase voting, dan fase pasca voting. Pada fase pra voting, admin aplikasi *website* yang merupakan panitia penyelenggara pemilu mendaftarkan mahasiswa-mahasiswa yang memiliki hak pilih ke dalam *database* dengan membuat profil akun yang berisi nomor induk mahasiswa, nama mahasiswa, fakultas asal mahasiswa, *password* yang diasumsikan diambil dari *API* sistem autentikasi universitas mahasiswa tersebut. Kemudian pada akun tersebut juga ditambahkan *flag hasVoted* dengan *default value* false yang menandakan belum memilih. Setelah admin membuat seluruh akun pemilih mahasiswa, selanjutnya masuk ke dalam fase voting.

Pada fase voting, mahasiswa memilih kandidat presiden dan wakil presiden BEM melalui *website*. Mahasiswa diminta untuk *login* terlebih dahulu menggunakan *nim* dan *password* yang sudah didaftarkan oleh admin. Setelah berhasil *login*, mahasiswa diarahkan ke halaman *dashboard* sebelum masuk ke dalam halaman pemilihan. Pada *dashboard*, mahasiswa dapat melihat status hak suara apakah sudah digunakan atau belum. Setelah mengecek status hak suara, mahasiswa dapat masuk ke halaman pemilihan. Sebelum menampilkan halaman pemilihan, sistem *website* memanggil fungsi *chaincode AuthenticateVoter* pada *channel* autentikasi jaringan *Hyperledger Fabric* melalui *Fabric Gateway API* untuk memeriksa apakah *voterHash* yang didapat dari nilai *hash nim + hasVoted:true*, sudah terdapat di dalam *ledger* autentikasi. Jika belum, maka *chaincode* mengembalikan nilai *true* yang berarti memberikan akses untuk masuk ke halaman pemilihan. Nilai *voterHash* yang belum berada di *ledger* autentikasi mengindikasikan mahasiswa dengan *nim* tersebut belum melakukan voting, sebaliknya jika sudah terdapat di *ledger*, maka mahasiswa tersebut sudah melakukan voting.

Setelah berhasil masuk ke halaman pemilihan, mahasiswa dapat memilih salah satu kandidat presiden dan wakil presiden BEM.

Pada saat menekan tombol pilih, sistem menyimpan suara tersebut ke dalam *database* dan kemudian mengirim proposal transaksi melalui *Fabric Gateway API* untuk memanggil fungsi *chaincode CreateVote* pada *channel* voting untuk menyimpan nilai *voteID* dan *voteHash* yang didapat dari nilai *hash voteID + voteCandidate + createdTime* ke dalam *ledger* voting. Setelah itu, sistem juga mengirim proposal transaksi untuk memanggil fungsi *RegisterVoter* pada *channel* autentikasi untuk mendaftarkan *voterHash* yang didapat dari nilai *hash nim + hasVoted:true* ke dalam *ledger* autentikasi. Setelah kedua fungsi *chaincode* berhasil dijalankan, sistem melakukan *update field hasVoted* menjadi *true* dan mengisi waktu *voteTime* pada *database* pemilih. Setelah memilih, mahasiswa dapat keluar dari sistem dan menunggu pengumuman hasil suara valid dari panitia.

Pada fase pasca voting setelah seluruh pemilihan telah selesai dilakukan, admin dapat melakukan proses rekap suara pada *dashboard* admin. Proses ini mengambil seluruh data suara di dalam *database* dan melakukan perulangan untuk memanggil *chaincode ReadAsset* pada *channel* voting agar mendapatkan nilai *voteHash* di *ledger* voting berdasarkan *voteID*. Sistem membuat nilai *voteHash (voteID + voteCandidate + createdTime)* dari data suara yang diambil dari *database* dan kemudian dibandingkan dengan nilai *hash* di *ledger*, apakah nilainya sama atau tidak. Jika nilainya sama, maka sistem melakukan *update field isValid* menjadi *true* pada *database* suara, sedangkan kebalikannya *isValid* menjadi *false* jika nilai *hash* nya tidak sama. Nilai *hash* yang sama berarti mengindikasikan data pada *database* seperti *voteID*, *voteCandidate*, dan *createdTime* tidak diubah sama sekali, sehingga integritas data terjamin. Setelah melakukan proses rekap, *dashboard* admin dapat menampilkan laporan hasil akhir suara dengan jumlah suara valid per kandidat, jumlah suara valid, jumlah suara tidak valid, jumlah suara di *database*, jumlah suara di *ledger* voting, daftar *id* suara yang tidak valid, beserta dapat mengecek integritas data tiap suara dengan menampilkan nilai *hash database*, nilai *hash ledger*, dan riwayat blok *blockchain* berdasarkan *id* suara. *Sequence* diagram alur pemilihan ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Sequence Diagram Alur Sistem Pemilihan

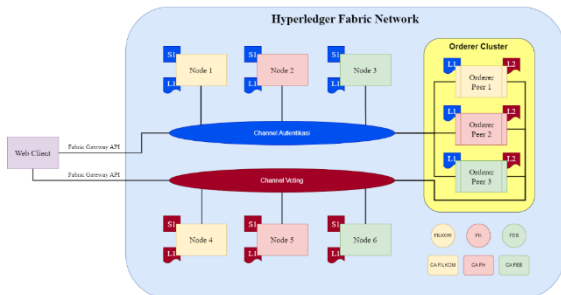
otentikasi pemilih, dan jaminan integritas data suara.

### 5.1. Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah sistem *e-voting* pemilwa yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi-fungsi sesuai dengan alur *e-voting* yang diterapkan. Pengujian dilakukan dengan simulasi 10 orang pemilih yaitu mahasiswa yang telah terdaftar di *database*, memilih pilihan kandidatnya. NIM pemilih beserta pilihan kandidatnya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pilihan Kandidat

No	NIM Pemilih	Pilihan Kandidat
1	195150200111040	1
2	195150200111041	2
3	195150200111042	3
4	195150200111043	3
5	195150200111044	1
6	195150200111045	1
7	195150200111046	2
8	195150200111047	1
9	195150200111048	2
10	195150200111049	1



Gambar 3. Rancangan Jaringan Hyperledger Fabric

Rancangan jaringan *Hyperledger Fabric* yang yang ditunjukkan Gambar 3, menggunakan enam *peer node* yang terdiri dari dua *peer node* milik Organisasi FILKOM, dua *peer node* milik Organisasi FH, dan dua *peer node* milik Organisasi FEB. Kemudian juga menggunakan tiga *peer orderer* yang masing-masing *peer* dimiliki oleh ketiga organisasi tersebut. Untuk dapat saling berkomunikasi antara *peer* satu dengan *peer* lainnya, maka *peer* tersebut dihubungkan menggunakan *channel*. Pada sistem ini menerapkan dua *channel*, yaitu *channel* autentikasi untuk mengelola data *hash* autentikasi pemilih dan juga *channel* voting untuk mengelola data *hash* suara.

### 5. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Proses pengujian dilakukan pada sistem *e-voting* pemilwa yang dikembangkan, dengan melakukan beberapa skenario pengujian terkait fungsionalitas sistem *e-voting*, jaminan

Setelah mahasiswa menekan tombol memilih sesuai dengan pilihan kandidatnya, sistem membuat suara dengan *voteID* acak dan menyimpannya pada *database*, serta menyimpan *voteID* beserta nilai *hash* ke dalam *ledger* votingch pada *peer* jaringan *Hyperledger Fabric*.

votes	voteID String	voteCandidate int32	createdTime Date	IsValid Boolean
1	"43f9e091-091e-490e-a3d2-...	1	2025-01-07T01:38:37.639+07:00	False
2	"37aacfd0-968b-4f3c-a91c-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+07:00	False
3	"fffffe6b-5721-473b-b0f4-...	3	2025-01-07T01:38:37.639+07:00	False
4	"3dbb23d4-3c36-481f-9d4c-...	1	2025-01-07T01:38:37.639+07:00	False
5	"49e92774-823a-4fc9-bec3b-...	1	2025-01-07T01:38:37.639+07:00	False
6	"55c1b268-6de4-48e2-92c8-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+07:00	False
7	"84f4ccc6-b125-4184-8f1c-...	3	2025-01-07T01:38:37.639+07:00	False
8	"c8c3dfbc-478b-4e6e-9219-...	1	2025-01-07T01:38:37.639+07:00	False
9	"a99ffc72-668b-4715-a345-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+07:00	False
10	"98c7f647-31b5-4439-ba71-...	1	2025-01-07T01:38:37.639+07:00	False

Gambar 4. Tampilan Data pada Database Suara

```

*votes
[{"voteID String": "43f9e091-091e-490e-a3d2-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "37aacfd0-968b-4f3c-a91c-...", "voteCandidate int32": 2, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "fffffe6b-5721-473b-b0f4-...", "voteCandidate int32": 3, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "3dbb23d4-3c36-481f-9d4c-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "49e92774-823a-4fc9-bec3b-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "55c1b268-6de4-48e2-92c8-...", "voteCandidate int32": 2, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "84f4ccc6-b125-4184-8f1c-...", "voteCandidate int32": 3, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "c8c3dfbc-478b-4e6e-9219-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "a99ffc72-668b-4715-a345-...", "voteCandidate int32": 2, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "98c7f647-31b5-4439-ba71-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false}
    
```

Gambar 5. Isi Aset Ledger Votingch pada Peer1FILKOM

```

*votes
[{"voteID String": "43f9e091-091e-490e-a3d2-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "37aacfd0-968b-4f3c-a91c-...", "voteCandidate int32": 2, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "fffffe6b-5721-473b-b0f4-...", "voteCandidate int32": 3, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "3dbb23d4-3c36-481f-9d4c-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "49e92774-823a-4fc9-bec3b-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "55c1b268-6de4-48e2-92c8-...", "voteCandidate int32": 2, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "84f4ccc6-b125-4184-8f1c-...", "voteCandidate int32": 3, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "c8c3dfbc-478b-4e6e-9219-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "a99ffc72-668b-4715-a345-...", "voteCandidate int32": 2, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "98c7f647-31b5-4439-ba71-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false}
    
```

Gambar 6. Isi Aset Ledger Votingch pada Peer1FH

```

*votes
[{"voteID String": "43f9e091-091e-490e-a3d2-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "37aacfd0-968b-4f3c-a91c-...", "voteCandidate int32": 2, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "fffffe6b-5721-473b-b0f4-...", "voteCandidate int32": 3, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "3dbb23d4-3c36-481f-9d4c-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "49e92774-823a-4fc9-bec3b-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "55c1b268-6de4-48e2-92c8-...", "voteCandidate int32": 2, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "84f4ccc6-b125-4184-8f1c-...", "voteCandidate int32": 3, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "c8c3dfbc-478b-4e6e-9219-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "a99ffc72-668b-4715-a345-...", "voteCandidate int32": 2, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false},
{"voteID String": "98c7f647-31b5-4439-ba71-...", "voteCandidate int32": 1, "createdTime Date": "2025-01-07T01:38:37.639+07:00", "IsValid Boolean": false}
    
```

Gambar 7. Isi Aset Ledger Votingch pada Peer1FEB

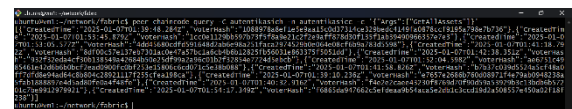
Dapat dilihat pada gambar 4, *database* menyimpan 10 *voteID* yang terbuat beserta pilihan kandidatnya sesuai dengan tabel 1 pilihan kandidat di atas. Sedangkan, pada gambar 5, gambar 6, dan gambar 7 menunjukkan isi dari aset *ledger* votingch yang tersimpan pada masing-masing *peer*. Pada aset *ledger* votingch, menyimpan nilai *VoteID* sesuai dengan di *database* beserta nilai *VoteHash*. *VoteHash* merupakan nilai *hash* yang berasal dari nilai *String* *voteID* + *voteCandidate* + *createdTime*, kemudian di *hash* menggunakan algoritma SHA256. Nilai *voteID*, *voteCandidate*, beserta nilai *voteHash* ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Id Suara, Pilihan Kandidat, dan Nilai Hash Suara

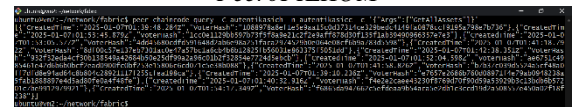
VoteID	VoteCandidate	VoteHash
49f6e091-d91e-406e-a3d2-f52b5286f16e	1	5b31e3cd3f14107c6d02b07e459313311b96778dad02bbbf2de04545ee f31ab
37aacfdb-9d88-4f3c-a191-00acc5e18409	2	62682a791c3093428024560580e73c561ef6e13b731bf8f0cf03d524750f7bed
ffff6f6b-5721-4730-b0f4-85046a6a6ce6	3	1de70376391c1f2e9a3af9aacff7a7703f597024482558f195db39fef1bbc8b2
84cf4ece-b125-4104-8fc1-a2e989248061	3	ac69888c84a2f2c7337a c98cdadeac3e45d29a4364ad1b55bd9a5ddc91f5a2eb
3dbb423d-3c96-401f-9d4c-66601cda405b	1	436d42a2db005ebfecf1 b00359c966dc19957b19c23d8dff733b1f3940a2778f
49e92774-823a-4fc9-be30-e39db1246bea	1	d2a8276ced8771aacee2125a0cee4fb8f7ff1d757865eae020e1ecc5db42fa7d
55c10268-6dea-48e2-92c8-ced20a3ad2d7	2	4bab41efd4a8e57bba03fd3fd72871a70f98278a12b0ad9686237f620d84fd8e
ed63dfbc-4700-4e6e-9210-eb6e80df6d51	1	5353ffbe501d1859743a866dff51832bd49399ae2f0ae2574daa6ec24c3fedb0
a09ffcf2-dd88-4715-a345-8133c24808a6	2	28f0869cca8e7c59ad9da967639cc64197f803f9821ca284fb458dbd8df5489c
98cf7e47-31b5-4430-baf1-2d82df0b7558	1	519c8a6a95aa0e339d0f6ec1f38419bb2c814fbeb8bdb5d3972d60a66d938f56

Setelah menyimpan suara di *ledger*, kemudian sistem menyimpan data autentikasi pemilih pada *ledger* autentikasich di *peer*

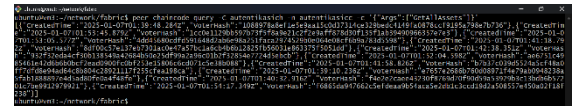
jaringan *Hyperledger Fabric*. Data aset yang disimpan pada *ledger* autentikasich merupakan nilai *VoterHash* yang didapat dari nilai *String* *NIM* + *true*, kemudian di *hash* menggunakan algoritma SHA256. Isi aset *ledger* autentikasich yang disimpan pada masing-masing *peer* ditunjukkan pada gambar 8, gambar 9, dan gambar 10 berikut.



Gambar 8. Isi Aset Ledger Autentikasich pada Peer0FILKOM



Gambar 9. Isi Aset Ledger Autentikasich pada Peer0FH



Gambar 10. Isi Aset Ledger Autentikasich pada Peer0FEB

Tabel 3. NIM dan Nilai Hash pada Ledger

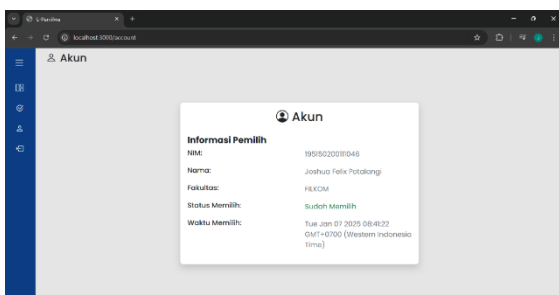
NIM Pemilih	VoterHash
195150200111040	e7657e2686b760d08971f4e79a b0948238a5fab1888897e4d5ad80fe0a4f48fe
195150200111041	1088978a8ef1e5e9aa15c0d37314ce329bedc4149fa0878ccf9195a798e7b736
195150200111042	f4e2e2caee43230f8769d70f90d59a53929b3c13bdb6b57201c7be9912979921
195150200111043	ae6751c4985461e42d6b6b0bcf2ead0900fc0bf253e15806c6cd071c5e38b088
195150200111044	b7b37c039d5524a5cf48a0ff7df d8e94ad64c8b804c28921117f255cfeal98ca
195150200111045	932f32eda4cf30b138549a42684b50e25df99a2a96c01b2f32854e7724d5ebcb
195150200111046	8df00c57e137eb7301ac0e47a57bc1a6cb4b6b12825fb56031e863375f5051dd
195150200111047	4dd45680cdf591648d2ab6e98a251faca2974529b0e064e08cf6b9a783d5598
195150200111048	1cc0e1129bb597b73f5f8a9e21c2f2e9aff878d30f135f1ab39490966357e7e3
195150200111049	f6865da947662c5efdeaa9b54aca5e2db1c3ccd19d2a508557e450a02f18f238

Pada tabel di atas, menunjukkan nim dari pemilih dan juga nilai *voterHash* yang disimpan di *ledger* autentikasich.

Analisis dari hasil pengujian skenario pemilihan menggunakan sistem *e-voting* pemilwa yang dikembangkan, menunjukkan sistem berhasil menjalankan fungsi-fungsi yang diterapkan, seperti menyimpan data suara di *database*, menyimpan nilai aset suara di *ledger* votingch, dan menyimpan nilai aset autentikasi di *ledger* autentikasich. Hasil pengujian memastikan suara pilihan kandidat pemilih tersimpan sesuai dengan pilihannya. Selain itu, dapat dilihat bahwa nilai aset yang disimpan pada *ledger* masing-masing *peer* identik satu sama lain.

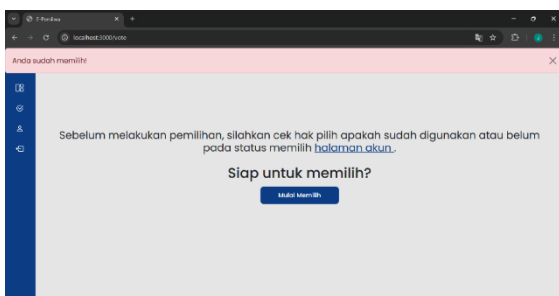
### 5.2. Pengujian Penggunaan Hak Suara Lebih dari Sekali

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah sistem *e-voting* pemilwa yang dikembangkan mampu menjamin proses autentikasi pemilih dengan mencegah pemilih melakukan pemilihan lebih dari satu kali. Pengujian dilakukan dengan simulasi pemilih yang sudah memilih, mencoba kembali untuk masuk ke halaman pemilihan dan memilih kembali.

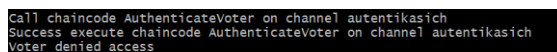


Gambar 11. Tampilan Status Pemilih yang Sudah Memilih

Dapat dilihat pada gambar 11 di atas, status memilih ditampilkan sudah memilih, yang berarti mahasiswa dengan nim tersebut telah memberikan hak suaranya. Kemudian, pemilih mencoba untuk masuk kembali ke halaman pemilihan.

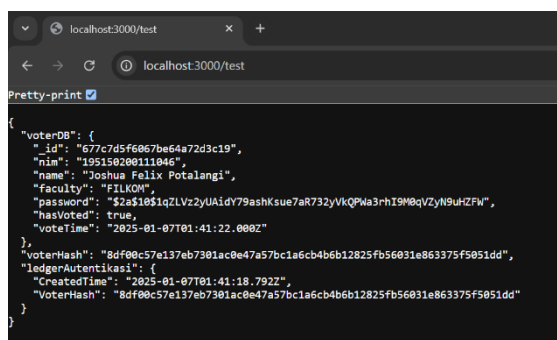


Gambar 12. Tampilan Error Sudah Memilih



Gambar 13. Tampilan pada Terminal Aplikasi

Gambar 12 menunjukkan pemilih tidak bisa masuk kembali ke halaman pemilihan dan menampilkan *flash* bahwa pemilih tersebut sudah memilih. Pada gambar 13, menunjukkan tampilan terminal aplikasi *web* yang menampilkan aplikasi memanggil *chaincode AuthenticateVoter* dan berhasil mengembalikan nilai yang membuat pemilih tidak memiliki akses untuk masuk ke halaman pemilihan. Hal ini karena nilai *voterHash* dari nim tersebut, sudah tersimpan di dalam aset *ledger* autentikasich yang ditunjukkan pada gambar 14 berikut.



Gambar 14. Nilai VoterHash dari Database dan VoterHash dari Ledger

Untuk memastikan keandalan sistem dalam mencegah pemilih memilih lebih dari sekali, maka dilakukan 10 kali pengujian di atas dengan 10 mahasiswa yang hasilnya dijabarkan pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Pengujian Penggunaan Hak Suara Lebih dari Sekali

NIM Mahasiswa	Status Memilih	Hasil Pengujian
195150200111040	Sudah memilih	Sistem menolak akses
195150200111041	Sudah memilih	Sistem menolak akses
195150200111042	Sudah memilih	Sistem menolak akses
195150200111043	Sudah memilih	Sistem menolak akses
195150200111044	Sudah memilih	Sistem menolak akses
195150200111045	Sudah memilih	Sistem menolak akses
195150200111046	Sudah memilih	Sistem menolak akses
195150200111047	Sudah memilih	Sistem menolak akses
195150200111048	Sudah memilih	Sistem menolak akses



195150200111049	Sudah memilih	Sistem menolak akses
-----------------	---------------	----------------------

Analisis dari hasil pengujian skenario dengan mencoba menggunakan hak suara lebih dari sekali, dari 10 kali pengujian menghasilkan penolakan akses pemilih saat mencoba masuk ke dalam halaman pemilihan. Hal ini dikarenakan nilai *hash* dari *nim* pemilih + *true* sudah tercatat di *ledger* autentikasich, sehingga pada saat proses autentikasi dengan memanggil *chaincode AuthenticateVoter* pada autentikasicc, sistem mengecek nilai *voterHash* tersebut di dalam aset *ledger* autentikasich, kemudian mengembalikan akses *true* jika tidak ada dan sebaliknya. Hal ini membuat sistem aman dari adanya duplikasi suara.

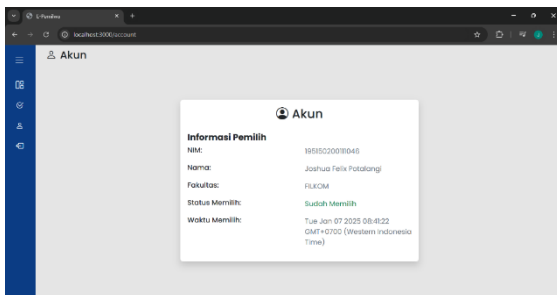
### 5.3. Pengujian Mengubah Status Memilih

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah sistem *e-voting* pemilwa yang dikembangkan mampu menjamin proses autentikasi pemilih dengan mencegah hak suara pemilih di *database* dimanipulasi, sehingga dapat memberikan akses ke halaman pemilihan. Pengujian dilakukan dengan simulasi terdapat kerjasama kecurangan antara seorang pemilih dengan seorang admin *website* dari panitia penyelenggara yang memiliki akses ke *database*. Kecurangan tersebut yaitu admin mencoba untuk memberikan akses suara kembali ke pemilih tersebut agar pemilih dapat melakukan pemilihan kembali. Admin memanipulasi nilai *hasVote* pada *database*, yang tadinya bernilai *true* menjadi *false*.

```

_id: ObjectId('677c7d5f6067be64a72d3c19')
nim: "195150200111046"
name: "Joshua Felix Potalangi"
faculty: "FILKOM"
password: "$2a$10$1qZLv2yUAidY79ashKsue7aR732yYkQPwa3rhI9M8qVZyN9uHZFW"
hasVoted: true
voteTime: 2025-01-07T01:41:22.000+00:00
    
```

Gambar 15. Tampilan Data Pemilih pada Database



Gambar 16. Tampilan Status Memilih Pemilih

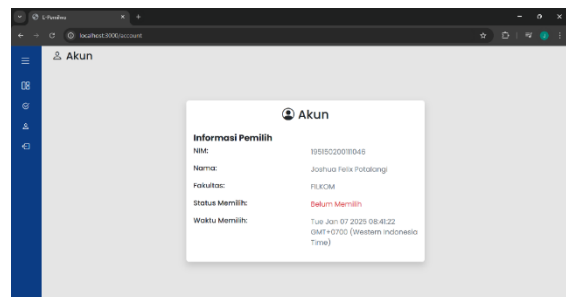
Pada gambar 15 dapat dilihat nilai *hasVoted* pemilih pada *database* bernilai *true*, serta pada gambar 16 status memilih yang ditampilkan

adalah sudah memilih. Kemudian, admin mencoba masuk ke dalam *database* dan mengubah nilai *hasVoted* pada *database* yang ditunjukkan pada gambar 17 berikut.

```

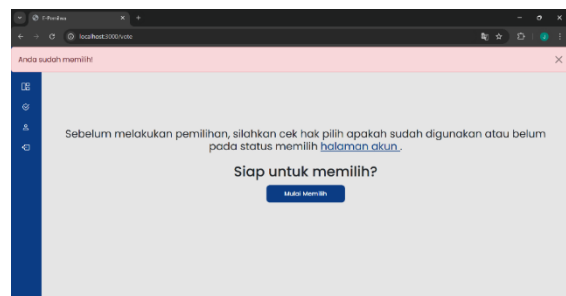
_id: ObjectId('677c7d5f6067be64a72d3c19')
nim: "195150200111046"
name: "Joshua Felix Potalangi"
faculty: "FILKOM"
password: "$2a$10$1qZLv2yUAidY79ashKsue7aR732yYkQPwa3rhI9M8qVZyN9uHZFW"
hasVoted: false
voteTime: 2025-01-07T01:41:22.000+00:00
    
```

Gambar 17. Tampilan Data *hasVoted* yang Telah Diubah



Gambar 18. Tampilan Status Memilih Pemilih yang Telah Diubah

Dapat dilihat pada gambar 18 di halaman akun, tampilan status memilih berubah menjadi belum memilih. Kemudian, pemilih yang nilai *hasVoted* diubah mencoba masuk ke halaman pemilihan.



Gambar 19. Tampilan Halaman Setelah Mencoba Masuk Halaman Pemilihan

```

_id: ObjectId('677c7d5f6067be64a72d3c19')
nim: "195150200111046"
name: "Joshua Felix Potalangi"
faculty: "FILKOM"
password: "$2a$10$1qZLv2yUAidY79ashKsue7aR732yYkQPwa3rhI9M8qVZyN9uHZFW"
hasVoted: true
voteTime: 2025-01-07T01:41:22.000+00:00
    
```

Gambar 20. Tampilan Nilai *hasVoted* Kembali True

Dapat dilihat pada gambar 19, pemilih yang data *hasVoted* diubah pada *database* tetap tidak dapat masuk ke halaman pemilihan. Pada gambar 20 juga diperlihatkan nilai *hasVoted* yang tadinya *false* menjadi *true* kembali. Untuk memastikan keandalan sistem dalam mencegah manipulasi hak suara pemilih, maka dilakukan 10 kali pengujian di atas dengan memanipulasi

10 hak suara mahasiswa pada *database* yang hasilnya dijabarkan pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Mengubah Status Memilih

NIM Mahasiswa	Nilai hasVoted	Diubah	Hasil Pengujian
195150200111040	true	false	Sistem menolak akses
195150200111041	true	false	Sistem menolak akses
195150200111042	true	false	Sistem menolak akses
195150200111043	true	false	Sistem menolak akses
195150200111044	true	false	Sistem menolak akses
195150200111045	true	false	Sistem menolak akses
195150200111046	true	false	Sistem menolak akses
195150200111047	true	false	Sistem menolak akses
195150200111048	true	false	Sistem menolak akses
195150200111049	true	false	Sistem menolak akses

Analisis dari hasil pengujian skenario dengan mencoba mengubah status memilih pada *database* dengan nilai false untuk bertujuan memberikan akses kembali pemilih untuk masuk ke halaman pemilihan, dari 10 kali pengujian menghasilkan menghasilkan hasil yang sama dengan pengujian skenario sebelumnya, yaitu penolakan akses pemilih untuk masuk ke halaman pemilihan. Hal ini karena nilai *hasVoted* pada *database* tidak berpengaruh pada logika autentikasi, dimana mengecek nilai voterHash berdasarkan nim + *string true*. Hal ini membuat autentikasi sistem aman karena hak akses pemilih tidak bisa dimanipulasi, selama *voterhash* yang berdasarkan nim tersebut sudah tercatat di *ledger* autentikasinya.

### 5.4. Pengujian Mengubah Pilihan Suara

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah sistem *e-voting* pemilwa yang dikembangkan mampu menjamin integritas data suara dengan mencegah manipulasi terhadap data suara. Pada pengujian ini disimulasikan percobaan kecurangan admin website yang mencoba memanipulasi pilihan suara di *database*. Pengujian dilakukan dengan simulasi manipulasi terhadap 10 pilihan suara pada *database*. *Id* suara dan pilihan kandidat suara yang dimanipulasi dapat dilihat pada tabel 6 berikut.

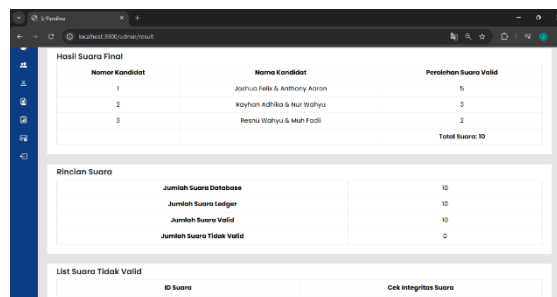
Tabel 6. Data Suara yang Dimanipulasi untuk Pengujian

Id Suara	Pilihan Kandidat	Diubah
49f6e091-d91e-406e-a3d2-f52b5286f16e	1	2
37aacfdb-9d88-4f3c-a191-00acc5e18409	2	3
ffff6f6b-5721-4730-b0f4-85046a6a6ce6	3	1
84cf4ece-b125-4104-8fc1-a2e989248061	3	1
3dbb423d-3c96-401f-9d4c-66601cda405b	1	2
49e92774-823a-4fc9-be30-e39db1246bea	1	2
55c10268-6dea-48e2-92c8-ced20a3ad2d7	2	3
ed63dfbc-4700-4e6e-9210-eb6e80df6d51	1	2
a09ffc2-dd88-4715-a345-8133c24808a6	2	3
98cf7e47-31b5-4430-baf1-2d82df0b7558	1	2

voteID	String	voteCandidate	Int32	createTime	Date	isValid	Boolean
1	"49f6e091-d91e-406e-a3d2-f52b5286f16e"	1	2	2023-01-07T01:38:37.639+00:00		false	
2	"37aacfdb-9d88-4f3c-a191-00acc5e18409"	2	3	2023-01-07T01:38:37.639+00:00		false	
3	"ffff6f6b-5721-4730-b0f4-85046a6a6ce6"	3	1	2023-01-07T01:38:37.639+00:00		false	
4	"84cf4ece-b125-4104-8fc1-a2e989248061"	3	1	2023-01-07T01:38:37.639+00:00		false	
5	"3dbb423d-3c96-401f-9d4c-66601cda405b"	1	2	2023-01-07T01:38:37.639+00:00		false	
6	"49e92774-823a-4fc9-be30-e39db1246bea"	1	2	2023-01-07T01:38:37.639+00:00		false	
7	"55c10268-6dea-48e2-92c8-ced20a3ad2d7"	2	3	2023-01-07T01:38:37.639+00:00		false	
8	"ed63dfbc-4700-4e6e-9210-eb6e80df6d51"	1	2	2023-01-07T01:38:37.639+00:00		false	
9	"a09ffc2-dd88-4715-a345-8133c24808a6"	2	3	2023-01-07T01:38:37.639+00:00		false	
10	"98cf7e47-31b5-4430-baf1-2d82df0b7558"	1	2	2023-01-07T01:38:37.639+00:00		false	

Gambar 21. Data Suara pada Database

Dapat dilihat pada gambar 21, merupakan data suara pada *database* yang dibuat saat setelah pemilih melakukan pemilihan. Nilai *isValid* berupa *false* karena belum dilakukan rekap suara. Setelah melakukan proses rekap suara, nilai *isValid* berubah menjadi *true* karena nilai *hash* dari data di *database* sama dengan nilai *hash* di *ledger*. Proses tersebut ditunjukkan pada gambar 22 dan 23 berikut.



Gambar 22. Tampilan Halaman Laporan Hasil Setelah Proses Rekap

voteID	String	voteCandidate	Int32	createdTime	Date	isValid	Boolean
1	"49f6e991-d91e-406e-a3d2-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
2	"37aacfdb-9058-4f3c-a912-...	3	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
3	"fffff6fb-5721-4738-b8f4-...	3	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
4	"3dbb423d-3c98-401f-9d4c-...	1	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
5	"49e92774-823a-4fc9-b638-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
6	"55c18268-6dea-48e2-92c8-...	3	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
7	"84cfacce-b125-4104-8fc1-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
8	"ed53dfbc-4788-4e6e-9210-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
9	"a89ffc72-dd88-4715-a345-...	3	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
10	"98cffe47-31b5-4430-ba71-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			

Gambar 23. Data Suara pada Database Setelah Proses Rekap

Pada gambar 22 diperlihatkan bahwa 10 suara yang tercatat di dalam database terhitung sebagai suara yang valid. Selain itu, pada gambar 23 juga ditampilkan bahwa nilai *isValid* berubah menjadi *true*. Kemudian, admin mencoba masuk ke database dan mencoba untuk memanipulasi data suara dengan mengganti nilai *voteCandidate* menjadi sesuai dengan tabel 6 di atas.

voteID	String	voteCandidate	Int32	createdTime	Date	isValid	Boolean
1	"49f6e991-d91e-406e-a3d2-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
2	"37aacfdb-9058-4f3c-a912-...	3	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
3	"fffff6fb-5721-4738-b8f4-...	1	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
4	"3dbb423d-3c98-401f-9d4c-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
5	"49e92774-823a-4fc9-b638-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
6	"55c18268-6dea-48e2-92c8-...	3	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
7	"84cfacce-b125-4104-8fc1-...	1	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
8	"ed53dfbc-4788-4e6e-9210-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
9	"a89ffc72-dd88-4715-a345-...	3	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			
10	"98cffe47-31b5-4430-ba71-...	2	2025-01-07T01:38:37.639+08...	true			

Gambar 24. Data Suara pada Database Setelah Proses Rekap

Dapat dilihat pada gambar 24 di atas, nilai *voteCandidate* sudah berganti menjadi sesuai dengan tabel 6. Kemudian, dicoba untuk melakukan proses rekap suara kembali.

Nomor Kandidat	Nama Kandidat	Persentase Suara Valid
1	John Doe & Anthony Khan	0
2	Waylon Jadhias & Nara Dharma	0
3	Reynu Wotyu & Nara Fidi	0
Total Suara: 0		

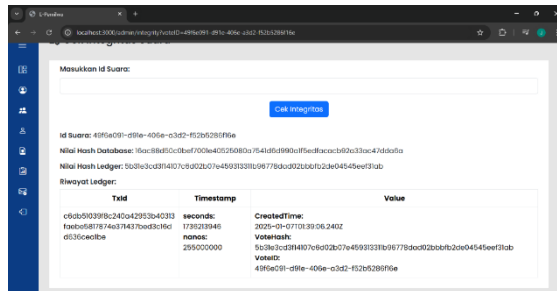
Rincian Suara		
Jumlah Suara Database		10
Jumlah Suara Ledger		10
Jumlah Suara Valid		0
Jumlah Suara Tidak Valid		10

ID Suara	Cek Integritas Suara
49f6e991-d91e-406e-a3d2-851d388f96	Cek Integritas
37aacfdb-9058-4f3c-a912-00a846f8d9	Cek Integritas

Gambar 25. Tampilan Halaman Laporan Hasil Setelah Rekap Ulang

Dapat dilihat pada gambar 25 di atas, 10 suara yang tadinya valid berubah menjadi suara yang tidak valid. Pada halaman tersebut juga terdapat daftar suara dari *id* suara yang tidak valid. Untuk mengecek kenapa suara tidak valid, dapat mengecek integritas suara.



Gambar 26. Tampilan Halaman Cek Integritas Suara

Dapat dilihat pada gambar 26 di atas, *Id* suara dengan nilai tersebut memiliki nilai *hash database* dan *hash* pada *ledger* votingch yang berbeda. Hal ini disebabkan karena terdapat perubahan pada nilai *voteCandidate*, yang pada saat membuat aset suara di *ledger* digunakan dalam membuat *VoteHash*.

Analisis dari hasil pengujian skenario dengan mencoba mengubah nilai pilihan kandidat pada database dari 10 data suara yang dimanipulasi, menghasilkan suara yang tadinya valid karena memiliki nilai *hash database* yang sama dengan nilai *hash* di *ledger*, dianggap menjadi tidak valid karena nilai *hash* pada database berubah. Suara tidak valid, mengindikasikan adanya kecurangan dan manipulasi data suara. Oleh karena itu, suara yang tidak valid tidak dimasukkan ke dalam hasil akhir penghitungan suara pemilwa. Kemudian, pada hasil pengujian tersebut dapat diketahui bahwa sistem mampu mengenali suara yang tidak valid hasil dari manipulasi. Hal ini membuat sistem mampu menjamin integritas data suara.

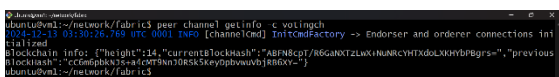
### 5.5. Pengujian Melihat Integritas Data Ledger

Pada pengujian ini menunjukkan bagaimana jaringan *Hyperledger Fabric* dapat menjamin integritas suara pada *ledger*. Pengujian dilakukan dengan mencoba memperlihatkan nilai *hash* dari blok saat ini dan nilai *hash* dari blok setelah terdapat transaksi penambahan data aset *ledger*. Pada VM FIILKOM, admin jaringan FIILKOM dapat menggunakan *binary file peer* untuk melihat informasi nilai *hash* blok yang tersimpan di dalam *peerFIILKOM*. Nilai *Hash* tersebut ditunjukkan pada gambar 27 berikut.



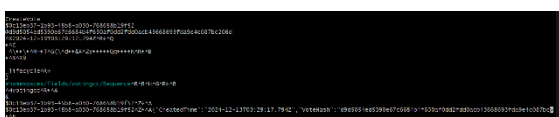
Gambar 27. Tampilan Nilai Hash Blok Sebelum Transaksi

Dapat dilihat pada gambar di atas, menunjukkan informasi blok votingch memiliki tinggi blok sebesar 13. Selain itu, pada gambar di atas ditunjukkan *currentBlockHash* yang merupakan nilai *hash* blok saat ini dan *previousBlockHash* yang merupakan nilai *hash* blok sebelumnya. Kemudian dicoba melakukan pemilihan untuk melihat bagaimana nilai *hash* dari blok berikutnya.



Gambar 28. Tampilan Nilai Hash Blok Setelah Transaksi

Dapat dilihat pada gambar 28 di atas, tinggi blok berubah menjadi 14, dan menunjukkan *currentBlockHash* yang merupakan nilai *hash* blok saat ini. Selain itu, dapat dilihat nilai *previousBlockHash* sama dengan nilai *hash* pada gambar 27. Hasil dari pengujian ini menunjukkan pada jaringan *Hyperledger Fabric*, *ledger* pada *peer* menyimpan nilai *hash* dari blok-blok sebelumnya dan saling terkait. Apabila terdapat perubahan data pada *ledger*, maka nilai *hash* tersebut berubah dan blok menjadi tidak valid saat terdapat transaksi berikutnya dan menjalankan proses konsensus. Selain itu, pada sistem yang dikembangkan *ledger* hanya menyimpan informasi nilai *hash* dari suara yang digunakan untuk memvalidasi suara. Pemanipulasi tidak dapat mengubah pilihan suara, maupun menambahkan suara. Tampilan isi dari blok *ledger* dapat dilihat pada gambar 29 berikut.



Gambar 29. Tampilan Isi dari Blok Ledger votingch

Analisis hasil dari pengujian melihat integritas data *ledger* jaringan *Hyperledger Fabric*, menunjukkan bahwa pada *ledger* setiap *peer* menyimpan nilai *hash* dari blok sebelumnya dan saling terkait. Keterkaitan antara blok satu dengan blok lainnya menjaga integritas data pada *ledger*, karena apabila terdapat perubahan data *ledger* membuat nilai *hash* blok tersebut menjadi tidak valid. Selain itu, apabila seorang penyerang memiliki akses untuk mengubah data pada *ledger*, penyerang tersebut tidak dapat mengganti pilihan suara maupun menambahkan suara, karena pada *ledger* hanya menyimpan nilai dari *hash* suara di

*database*. Hal tersebut membuat integritas data terjamin.

## 6. KESIMPULAN

Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi jaringan *permissioned blockchain* pada sistem *e-voting* pemilwa yang dikembangkan, mampu menjamin proses autentikasi pemilih karena data *hash* pemilih disimpan di dalam blok *ledger* yang tidak dapat dihapus dan sulit dimanipulasi. Hal tersebut membuat pemilih tidak dapat melakukan duplikasi suara dan manipulasi terhadap akses pemilihan pada *e-voting*. Kemudian, implementasi jaringan *permissioned blockchain* pada sistem *e-voting* pemilwa yang dikembangkan, juga mampu menjamin integritas data suara, karena setiap data *hash* suara disimpan di dalam blok *ledger*, tidak dapat dihapus dan sulit untuk dimanipulasi. Sistem mampu mendeteksi dan menolak perubahan data suara yang dimanipulasi, karena ketidaksesuaian nilai *hash* dari *database* dengan nilai *hash* yang tercatat pada *ledger*. Ketidaksesuaian tersebut dianggap sebagai suara yang tidak valid. Selain itu, integritas data pada *ledger* juga terjamin karena terdapat keterkaitan antara nilai *hash* blok saat ini dan nilai *hash* blok sebelumnya. Apabila terdapat perubahan data pada *ledger*, mengubah nilai *hash* blok saat ini dan pada saat transaksi berikutnya yang melibatkan proses konsensus, blok menjadi tidak valid.

Berdasarkan analisis hasil pengujian fungsionalitas sistem, menunjukkan sistem *e-voting* pemilwa yang dikembangkan dengan mengimplementasikan jaringan *permissioned blockchain*, terbukti berfungsi dengan baik dan mampu memberikan jaminan terhadap proses autentikasi pemilih dan juga integritas data suara. Pada autentikasi pemilih juga dapat menjamin kerahasiaan ataupun anonimitas pemilih, karena pada *ledger blockchain* hanya menyimpan nilai *hash*. Sistem ini juga dapat mengenali data suara yang tidak valid apabila dimanipulasi. Selain itu, sistem yang hanya menyimpan nilai *hash* suara di dalam *ledger*, menjadikannya lebih aman terhadap upaya manipulasi data suara di *ledger*.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

Abdorrahimi, B., Nekouie, A., Rahmani, A. M., Lansky, J., Nuliček, V., Hosseinzadeh, M., & Moattar, M. H. (2024). *Blockchain technology and raft*



- consensus for secure physician prescriptions and improved diagnoses in electronic healthcare systems. Scientific Reports, 14(1), 15692.* <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66746-y>
- Al-Maaitah, S., Qataweh, M., & Quzmar, A. (2021). *E-Voting System Based on Blockchain Technology: A Survey. 2021 International Conference on Information Technology (ICIT), 200–205.* <https://doi.org/10.1109/ICIT52682.2021.9491734>
- Baudier, P., Kondrateva, G., Ammi, C., & Seulliet, E. (2021). *Peace engineering: The contribution of blockchain systems to the e-voting process. Technological Forecasting and Social Change, 162, 120397.* <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120397>
- Benabdallah, A., Audras, A., Coudert, L., El Madhoun, N., & Badra, M. (2022). *Analysis of Blockchain Solutions for E-Voting: A Systematic Literature Review. IEEE Access, 10, 70746–70759.* <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3187688>
- Christyono, B. B. A., Widjaja, M., & Wicaksana, A. (2021). *Go-Ethereum for electronic voting system using clique as proof-of-authority. TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control), 19(5), 1565.* <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v19i5.20415>
- Denis González, C., Frias Mena, D., Massó Muñoz, A., Rojas, O., & Sosa-Gómez, G. (2022). *Electronic Voting System Using an Enterprise Blockchain. Applied Sciences, 12(2), 531.* <https://doi.org/10.3390/app12020531>
- Faruk, M. J. H., Saha, B., Islam, M., Alam, F., Shahriar, H., Valero, M., Rahman, A., Wu, F., & Alam, Z. (2022). *Development of Blockchain-based e-Voting System: Requirements, Design and Security Perspective. 2022 IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 959–967.* <https://doi.org/10.1109/TrustCom56396.2022.00132>
- [hyperledger-fabric.readthedocs.io](https://hyperledger-fabric.readthedocs.io)
- Kho, Y.-X., Heng, S.-H., & Chin, J.-J. (2022). *A Review of Cryptographic Electronic Voting. Symmetry, 14(5), 858.* <https://doi.org/10.3390/sym14050858>
- Lin, S.-Y., Zhang, L., Li, J., Ji, L., & Sun, Y. (2022). *A survey of application research based on blockchain smart contract. Wireless Networks, 28(2), 635–690.* <https://doi.org/10.1007/s11276-021-02874-x>
- Oprea, S.-V., Bâra, A., Andreescu, A.-I., & Cristescu, M. P. (2023). *Conceptual Architecture of a Blockchain Solution for E-Voting in Elections at the University Level. IEEE Access, 11, 18461–18474.* <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3247964>
- Pawlak, M., & Poniszewska-Marañda, A. (2021). *Trends in blockchain-based electronic voting systems. Information Processing & Management, 58(4), 102595.* <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102595>
- Sallal, M., De Fréin, R., & Malik, A. (2023). *PVPBC: Privacy and Verifiability Preserving E-Voting Based on Permissioned Blockchain. Future Internet, 15(4), 121.* <https://doi.org/10.3390/fi15040121>
- Saravanan, P., Boopathy, D., Sankar, C., & Joseph, A. J. J. (2023). *Design of an Elliptic Curve Cryptography Encrypted Blockchain-based Electoral System. 2023 2nd International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC), 1633–1637.* <https://doi.org/10.1109/ICAAIC56838.2023.10141247>
- Seftyanto, D., Amiruddin, A., & Hakim, A. R. (2019). *Design of Blockchain-Based Electronic Election System Using Hyperledger: Case of Indonesia. 2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), 228–233.* <https://doi.org/10.1109/ICITISEE48480.2019.9003768>
- Tabatabaei, M. H., Vitenberg, R., &

- Veeraragavan, N. R. (2023). *Understanding blockchain: Definitions, architecture, design, and system comparison*. *Computer Science Review*, 50, 100575. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2023.100575>
- Taş, R., & Tanrıöver, Ö. Ö. (2020). *A Systematic Review of Challenges and Opportunities of Blockchain for E-Voting*. *Symmetry*, 12(8), 1328. <https://doi.org/10.3390/sym12081328>
- Toumia, S. B., Berger, C., & Reiser, H. P. (2021). *Evaluating Blockchain Application Requirements and their Satisfaction in Hyperledger Fabric* (No. arXiv:2111.15399). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2111.15399>
- Vladucu, M.-V., Dong, Z., Medina, J., & Rojas-Cessa, R. (2023). *E-Voting Meets Blockchain: A Survey*. *IEEE Access*, 11, 23293–23308. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3253682>
- Widayanti, R., Aini, Q., Haryani, H., Lutfiani, N., & Aprihasari, D. (2021). *Decentralized Electronic Vote Based on Blockchain P2P*. *2021 9th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/CITSM52892.2021.9588851>
- Willysandro, H., Setiawan, J., & Sulaiman, A. (2021). *Designing a Blockchain-Based Pemilu E-Voting Information System*. *IJNMT (International Journal of New Media Technology)*, 8(1), 42–49. <https://doi.org/10.31937/ijnmt.v8i1.1865>
- Zhou, E., Sun, H., Pi, B., Sun, J., Yamashita, K., & Nomura, Y. (2019). *Ledgerdata Refiner: A Powerful Ledger Data Query Platform for Hyperledger Fabric*. *2019 Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)*, 433–440. <https://doi.org/10.1109/IOTSMS48152.2019.8939212>

web.mtsn3padang.sch.id