

TRANSFORMASI PENGUNDIAN ELEKTRONIK MENGGUNAKAN TEKNOLOGI BLOCKCHAIN

Izqalan Nor'izad, Khairul Azmi Abu Bakar

Fakulti Teknologi & Sains Maklumat, Universiti Kebangsaan Malaysia

ABSTRAK

Sistem pengundian kertas kini telah digunakan dari menentukan kepimpinan negara hingga ke wakil ahli badan perwakilan pelajar. Pengundian telah menjadi tunjak pembangunan asas kepada sesebuah masyarakat demokratik. Pengundian berasaskan kertas telah terbukti berjaya pada skala yang besar. Walau bagaimanapun, ia juga mempunyai masalah dan kontroversi seperti, penipuan pengundi, undi rosak, manipulasi dan kos yang tinggi. Pelbagai sistem pengundian elektronik atau e-undi telah digunakan sejak tahun 1970-an yang mempunyai peningkatan ketara dari segi kecekapan dan pengurangan kesilapan pengundi. Walau bagaimanapun, masyarakat umum masih meragui dengan teknologi tersebut kerana sistem yang dibina adalah hak milik swasta dan sumber kod pengaturcaraan tidak tersedia untuk penelitian awam. Teknologi Blockchain membolehkan transaksi dan rekod menjadi lebih telus dan lebih selamat daripada manipulasi. Kajian ini menunjukkan penggunaan mendalam tentang bagaimana skim teknologi blockchain seperti kontrak pintar boleh dimanfaatkan dalam sistem pengundian elektronik dan bagaimana ia boleh diperbaiki daripada pengundian elektronik sedia ada dan sistem berasaskan kertas.

1 PENGENALAN

Mengundi adalah bahagian asas negara demokrasi. Proses pengundian adalah penting untuk sebuah demokrasi berfungsi. Hak mengundi adalah sesuatu yang harus dilindungi dan dihormati oleh semua orang. Sistem mengundi bukan sahaja dijalankan di skala nasional malah turut di praktik di institusi pengajian tinggi di Malaysia.

Pengundian secara elektronik adalah satu bentuk medium pengundian baharu yang semakin popular di utarakan sejak beberapa tahun kebelakangan ini (Javaid, 2014), pengundian elektronik dilihat sebagai cara yang lebih tepat dan cekap untuk mengundi. Terdapat pelbagai jenis sistem pengundian elektronik seperti (Lakshmi et al., 2019) membina perisian dan

perkakasan pengundian elektronik dengan menggunakan sistem biometrik dan (Rahman, 2006) mencadangkan penggunaan SMS dalam sistem pengundian elektronik.

Teknologi blockchain telah disebut oleh ramai pakar teknologi bahawa ia bakal merevolusikan sistem pengundian elektronik dengan mengurangkan kos penganjuran pilihan raya, memastikan pengundian yang tulus, dan mengurangkan undian rosak (Carson et al., 2018; Crosby et al., 2016). Laporan teknikal ini, akan membincangkan asas pengundian elektronik dengan menggunakan teknologi blockchain.

2 PENYATAAN MASALAH

Secara am nya, pengundian dijalankan secara berasaskan kertas di mana calon pengundi perlu menandakan pilihan mereka. Isu utama dengan kaedah ini adalah apabila undi yang dihantar melalui pos, tiada jaminan sama ada undi tersebut akan tiba pada masanya atau dihantar ke alamat yang betul (Krimmer & Volkamer, 2008). Selain itu, pengundian berasaskan kertas juga dipercayai lebih terdedah kepada undi rosak sama ada secara sengaja atau tidak sengaja.

Seterusnya, penipuan pilihanraya atau juga dikenali sebagai manipulasi, melibatkan campur tangan secara tidak jujur oleh sama ada dari parti-parti yang bertanding, pengundi atau badan autoriti. Kontroversi seperti yang berlaku semasa pilihan raya umum Malaysia ke-13 di mana gambar pusat kiraan undian terputus bekalan elektrik menyebabkan orang awam membuat spekulasi penipuan undian berlaku (The Star, 2013). Kontroversi seperti ini boleh menggugat kesahihan dan integriti sistem demokrasi negara.

3 OBJEKTIF KAJIAN

Objektif sistem e-undi berasaskan blockchain untuk kampus adalah untuk menyediakan cara yang selamat, tepat dan kalis gangguan untuk pelajar mengundi pada pilihan raya pemilihan wakil pelajar. Objektif projek sedemikian boleh termasuk yang berikut:

1. Memastikan kerahsiaan dan keselamatan proses pengundian dengan menggunakan teknologi blockchain untuk merekod dan mengesahkan undian.
2. Menyediakan rekod keputusan pilihan raya yang kalis gangguan dan tepat dengan menyimpan data pengundian pada lejar blockchain.

4 SOROTAN SASTERA

Penggunaan teknologi elektronik dalam sistem pengundian telah terbukti memberikan manfaat. Namun, mengapa teknologi ini masih belum digunakan secara meluas? Hal ini disebabkan oleh ketidakpercayaan masyarakat terhadap teknologi ini dan kekhawatiran tentang kemungkinan penipuan yang dapat mempengaruhi hasil pilihan raya (Poniszewska-Marańda et al., 2022). Pengundian elektronik dapat berhasil jika para pemilih percaya pada sistem tersebut dan badan pilihan raya mengambil langkah-langkah yang ketat untuk memastikan integritas pemilihan (Ehin et al., 2022).

Konsep pengundian dalam talian telah digunakan di negara Estonia sejak tahun 2005 (Ehin et al., 2022). Estonia telah melancarkan sistem pengundian dalam talian yang membolehkan pemilih yang memenuhi syarat di negara tersebut untuk mengundi melalui peranti peribadi dengan akses Internet. Sistem ini telah terbukti berhasil mengatasi isu-isu seperti penghematan waktu dalam perjalanan ke tempat mengundi, mengurangi biaya yang dikeluarkan oleh badan pilihan raya untuk menyediakan pusat pemungutan undian fizikal (Krimmer et al., 2021), dan memudahkan penyertaan dan aksesibilitas (Ehin et al., 2022).

Jadi, langkah-langkah untuk membangun kepercayaan pada teknologi pengundian elektronik dan pelaksanaan yang ketat dari badan pilihan raya dapat membantu memperluas penggunaan teknologi ini untuk kepentingan yang lebih baik. Dengan demikian, teknologi pengundian elektronik dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam proses pemilihan raya di masa depan (Poniszewska-Marańda et al., 2022).

4.1 LATAR BELAKANG BLOCKCHAIN

Blockchain merupakan sebuah lejar terdesentralisasi yang terdiri daripada pelbagai blok yang dihubungkan bersama. Setiap blok mengandungi data transaksi, dan setelah disertakan dalam rantaian, transaksi tersebut dianggap sah dan tidak dapat diubah.

Konsep blockchain ini diasaskan pada tahun 2008 oleh Satoshi Nakamoto dalam kertas putihnya bertajuk "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" (Nakamoto, 2009). Dalam kertas putih ini, Nakamoto mencadangkan penggunaan rangkaian komputer terdesentralisasi untuk memastikan ketelusan dalam lejar transaksi, dengan tujuan mencipta mata wang digital yang bebas daripada kawalan kerajaan dan institusi kewangan.

Kemudian, pada tahun 2009, Nakamoto membina rangkaian blockchain pertama, iaitu Bitcoin. Kejayaan projek ini membuka pintu kepada pembangunan pelbagai projek dan

teknologi blockchain lain seperti Ethereum, di mana kontrak pintar (smart contract) telah diperkenalkan. Walaupun terdapat perbezaan di antara pelbagai rangkaian blockchain, terdapat beberapa ciri utama yang serupa, iaitu terdesentralisasi, lejar transaksi, konsensus, kontrak pintar, dan peserta rangkaian atau pelombong. Data pada blockchain tidak disimpan pada satu nod pusat, sebaliknya, setiap peserta rangkaian mempunyai salinan data yang sama dengan peserta lain. Ini menjadikan blockchain sebagai sistem yang terdesentralisasi dan telus.

4.2 CIRI-CIRI BLOCKCHAIN

Blockchain adalah teknologi rangkaian yang telah memasuki berbagai industri seperti logistik dan kewangan. Ia terdiri dari lejar terdesentralisasi dengan blok-blok transaksi yang saling terhubung. Beberapa ciri utama dari teknologi blockchain termasuk:

1. Desentralisasi: Data transaksi tidak disimpan secara terpusat oleh satu badan organisasi. Sebaliknya, data ini disimpan oleh banyak komputer atau nod yang dimiliki oleh entitas individu atau perusahaan. Hal ini menghindarkan titik kegagalan tunggal dan membuat sistem lebih tahan terhadap serangan dan gangguan (Jafar et al., 2021).
2. Ketidakbolehubahan: Setelah sebuah transaksi disahkan melalui konsensus dan dimasukkan ke dalam rangkaian blok, transaksi tersebut tidak dapat diubah atau dihapus. Ini dicapai dengan menggunakan algoritma kriptografi yang menjamin keamanan data (Politou et al., 2021).
3. Konsensus: Konsensus merupakan mekanisme penting dalam teknologi blockchain yang menentukan bagaimana transaksi diotorisasi dan ditambahkan ke dalam rangkaian. Nod-nod di rangkaian harus mencapai kesepakatan tentang transaksi mana yang harus dimasukkan ke dalam blockchain untuk mencapai konsistensi data di seluruh jaringan (Jafar et al., 2021).

4.3 BAGAIMANA BLOCKCHAIN BERFUNGSI

Rangkaian blockchain berfungsi dengan menyimpan maklumat di dalam blok-blok yang disambungkan bersama. Apabila blok-blok ini digabungkan, ia membentuk struktur data berantai (Johar et al., 2021). yang kemudiannya dikenali sebagai "Blockchain". Setiap blok mempunyai hash yang unik, maklumat transaksi, dan hash yang merujuk kepada blok sebelumnya. Kecuali blok genesis, yang merupakan blok pertama yang dibina oleh rangkaian dan bertindak sebagai titik permulaan rantai hash yang berikutnya.

Lejar di agihkan kepada nod-nod di rangkaian yang boleh terdiri daripada individu, institusi, atau organisasi. Transaksi yang telah disahkan oleh nod melalui sistem konsensus akan dimasukkan ke dalam blockchain. Konsensus merupakan mekanisme untuk menentukan sama ada sebuah transaksi itu sah atau tidak. Terdapat pelbagai jenis algoritma yang digunakan untuk membuat pengesahan, sebagai contoh, Proof-of-work, Proof-of-stake, Practical Byzantine fault tolerance, dan Crash fault tolerance. Setiap pengesahan transaksi yang berjaya, pelombong mendapat insentif dalam bentuk wang kripto.

Seperti yang kita ketahui, dalam sebuah rangkaian terdapat banyak nod yang dikendalikan oleh ramai peserta. Setiap nod berkemungkinan mempunyai versi salinan lejar yang berlainan. Ini juga dikenali sebagai "fork" atau cabang. Apabila blok baharu ditambah ke dalam rantaian, nod-nod di rangkaian perlu membuat keputusan versi rantaian manakah yang betul. Di sini, peraturan rantaian terpanjang digunakan. Peraturan rantaian terpanjang mengatakan bahawa rantaian yang mempunyai blok terbanyak dipilih sebagai versi rantaian yang sah. Peraturan ini juga mencegah rantaian yang tidak sah daripada dimasukkan ke dalam blockchain.

4.4 KAJIAN YANG BERKAITAN

4.4.1 Vairam

Vairam et al. (2021) membina sistem e-mengundi yang generik dengan menggunakan kontrak pintar Ethereum di dalam rangkaian lokal. Sistem ini menggunakan protokol consesus proof-of-work bagi menyelesaikan pengiraan hash. Sistem ini mempunyai empat aktiviti teras, pendaftaran pengundi, pengesahan, pengundian, dan keputusan. Untuk digunakan sistem ini di rangkaian lokal, Vairam et.al. menggunakan perisian Ganache untuk menyediakan rangkaian Ethereum blockchain peribadi yang terhad kepada rangkaian lokal. Sistem ini menggunakan Truffle Framework untuk membangunkan sistem kontrak pintar.

Dengan menggunakan rangkaian tempatan, sistem ini boleh diklasifikasikan sebagai rangkaian blockchain tertutup kerana mengehadkan akses kepada pengguna luar rangkaian. Implementasi Vairam et al., (2021) sesuai untuk digunakan oleh institusi yang tidak mempunyai sistem seni bina rangkaian teragih yang menjangkau kepada berbilang rangkaian. Tidak sesuai untuk digunakan pada skala yang besar.

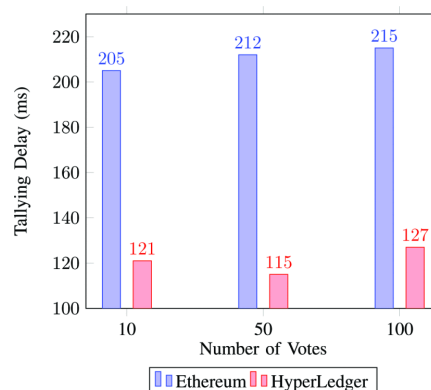
4.4.2 Sistem BlockVOTE

Sistem BlockVOTE merupakan sistem pengundian elektronik yang menggunakan teknologi Hyperledger Fabric dan Ethereum \cite{blockvote:2019} \cite{poniszewska:etal:2022}. Menurut \cite{poniszewska:etal:2022}, kelebihan membangun sistem pengundian menggunakan Hyperledger adalah pengurusan akses pengguna yang terkawal, transaksi tanpa bayaran \cite{franke:laura:2020}, dan mekanisme konsensus yang mencegah percabangan (fork).

Sistem ini terdiri dari tiga bahagian penting: penggunaan rangkaian blockchain, aplikasi back-end REST, dan aplikasi antara muka menggunakan Angular.js. Pelayar RESTful digunakan sebagai perantara interaksi antara pengguna sistem dan rangkaian blockchain.

Angsuchotmetee et al. (2019) menyatakan bahawa sistem berasaskan Ethereum memerlukan pengundi untuk memiliki sejumlah Ether agar dapat membuat transaksi kontrak pintar. Jumlah Ether yang diperlukan bergantung pada saiz data, dan pengundi harus menggunakan dompet kripto seperti Metamask untuk mengundi. Perbezaan utama antara Hyperledger Fabric dengan Ethereum adalah bahasa pengaturcaraan kontrak pintar yang digunakan. Hyperledger Fabric menggunakan bahasa CTO, dan infrastrukturnya harus disediakan terlebih dahulu kerana ia adalah rangkaian blockchain persendirian.

Pengundi dalam Hyperledger Fabric menggunakan aplikasi yang dibina dengan Angular.js dan menghubungkan ke nod terdekat menggunakan REST API yang disediakan oleh Hyperledger Fabric (Angsuchotmetee et al., 2019). Berbeza dengan Ethereum, pengundi tidak perlu membayar transaksi.

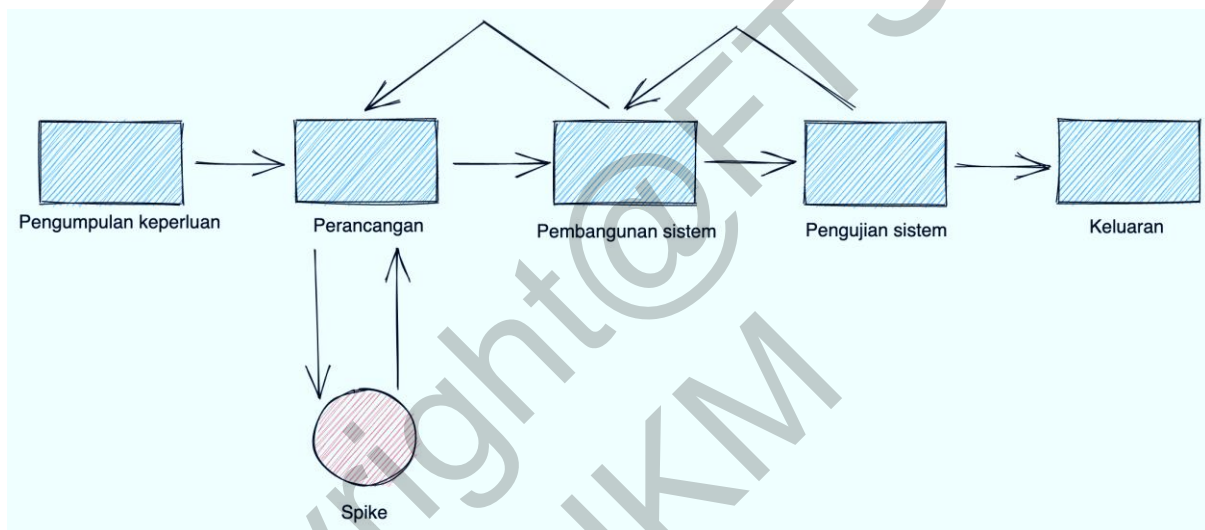


Rajah 2 Tangguhan masa bagi proses mengira undi

Hasil kajian menunjukkan bahawa rangkaian Ethereum sedikit perlahan dalam pengiraan undi (rajah 2) kerana menggunakan protokol konsensus proof-of-stake yang memerlukan fi transaksi (Angsuchotmetee et al., 2019; Li Wentingand Andreina, 2017).

5 METODOLOGI KAJIAN

Untuk pembangunan sistem, projek ini telah menggunakan model pembangunan sistem *Extreme Programming* (XP). XP adalah sejenis metodologi *Agile* yang bertujuan untuk mengeluarkan perisian yang berkualiti dalam jangka masa yang singkat. Metodologi ini menggalakkan kekerapan pengeluaran produk untuk di dinilai dan diperbaiki.



Rajah 1 Model metodologi Extreme Programming

4.1 Fasa Pengumpulan Keperluan

Fasa ini merupakan antara fasa yang terpenting dalam pembangunan sistem untuk memastikan setiap fasa yang berikutnya berjalan dengan lancar. Fasa ini melibatkan proses penentuan pernyataan masalah, mencari cadangan solusi dan juga mengumpul maklumat fungsian.

4.2 Fasa Perancangan

Fasa ini menfokuskan kepada reka bentuk fungsi-fungsi yang hendak dibina dan menentukan senibina sistem yang akan digunakan. Contohnya reka bentuk aplikasi, seni bina sistem dan pangkalan data. Selain itu, fasa ini juga membincangkan aliran fungsi system bagi aplikasi. Antara muka sistem juga akan direka pada fasa ini.

4.3 Fasa Pembangunan Sistem

Fasa ini menentukan senibina sistem yang akan digunakan. Pembinaan servis-servis dan rangkaian telah dibina pada fasa ini. Sebagai contoh, servis REST, pelayan aplikasi web, kontrak pintar, dan juga pelayan pangkalan data.

4.4 Fasa Pengujian

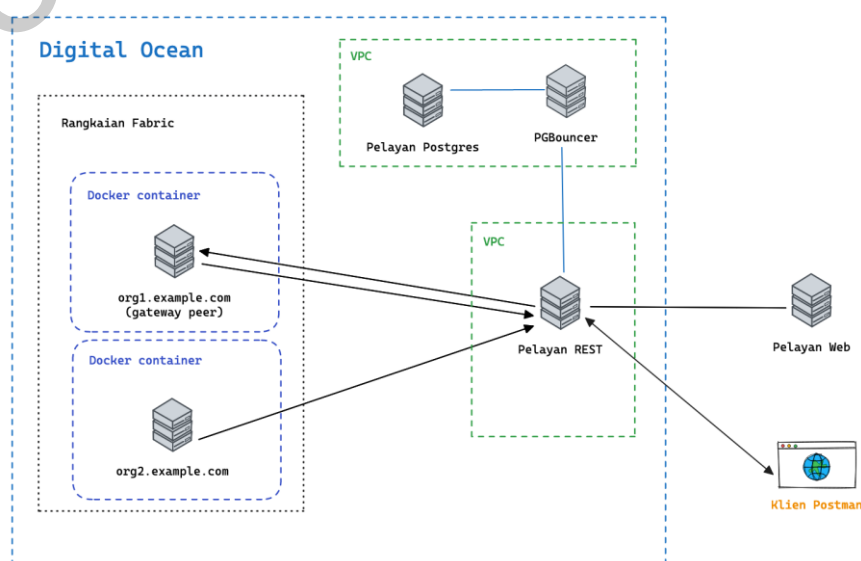
Fasa ini membincangkan tentang pengujian dan keberkesanan fungsi dan prestasi sistem. Pada fasa ini, dua perkara yang akan diuji, iaitu, fungsian sistem dan prestasi. Untuk menguji perkara tersebut, kaedah ujian unit telah digunakan untuk menguji kesemua fungsi berjalan seperti yang diharapkan. Bagi ujian prestasi pula, kaedah ujian tekanan telah dijalankan. Kaedah ini mensimulasikan penggunaan sistem dengan banyak pada satu masa.

4.5 Fasa Spike

Dalam metodologi Agile dan Extreme Programming (XP), "spike" merujuk kepada penyiasatan atau eksplorasi tertumpu yang dihadkan pada masa tertentu tentang aspek teknikal atau berfungsi tertentu dalam projek. Ini merupakan amalan Agile digunakan apabila pasukan pembangunan perlu memahami lebih lanjut mengenai teknologi, seni bina, reka bentuk, atau bidang lain yang belum difahami dengan baik.

5 HASIL KAJIAN

Seni Bina sistem menggunakan VPC



Rajah 3 Seni bina sistem

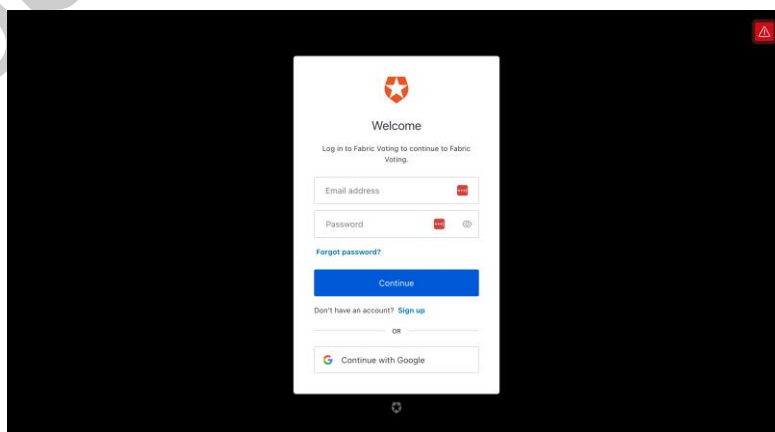
Sistem ini dibina dengan menggunakan seni bina client-server dan dilancarkan di Digital Ocean. Lihat rajah 3, menunjukkan gambaran besar seni bina sistem yang dilancarkan di Digital Ocean yang merangkumi komponen yang berikut:

1. Rangkaian Hyperledger Fabric
2. Pelayan REST API
3. Pelayan pangkalan data Postgres
4. Pelayan web
5. Auth0

Sistem ini menggunakan Auth0 sepenuhnya untuk pengesahan masuk pada sistem untuk pengendali sistem. Bagi pengundi pula, akan disahkan menggunakan maklumat yang disimpan pada pangkalan data Postgres.

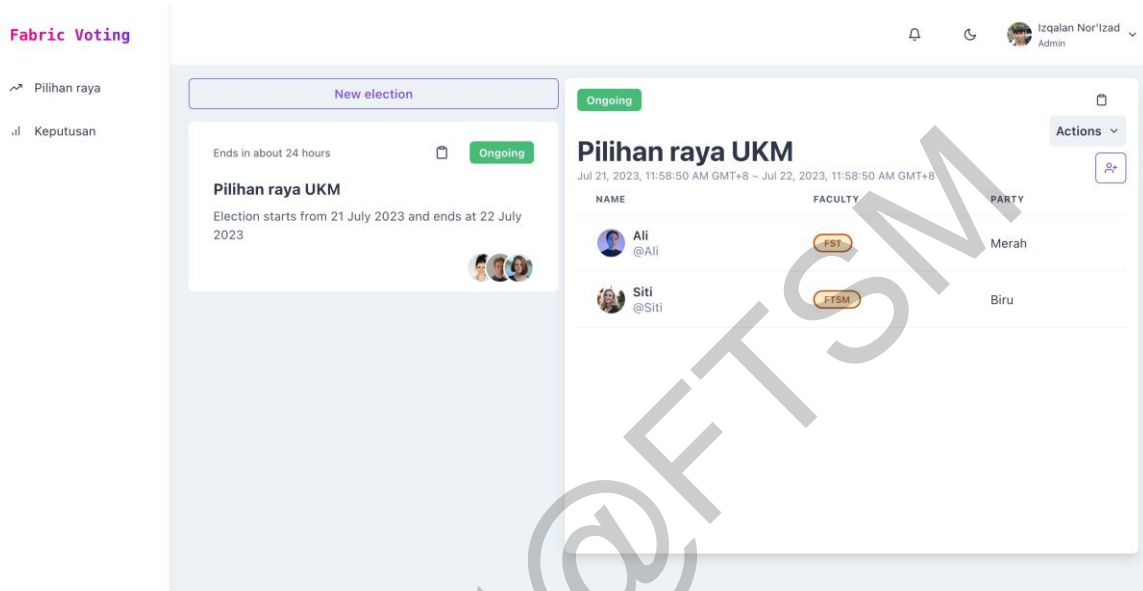
Sistem ini menggunakan rangkaian ujian (test-network) yang disertakan oleh Hyperledger Fabric untuk membangunkan rangkaian dan kontrak pintar. Rangkaian ujian ialah rangkaian pra-bina yang disertakan dengan set konfigurasi sampel dan skrip untuk melancarkan rangkaian pembangunan secara lokal. Dengan menggunakan rangkaian ujian, rangkaian blockchain peribadi boleh disediakan dengan mudah pada komputer peribadi untuk tujuan ujian dan pembangunan. Dengan menggunakan rangkaian ujian, simulasi persekitaran seperti produksi dan menguji prestasi aplikasi. Ini akan membantu untuk mengenal pasti sebarang isu dan memastikan aplikasi boleh mengendalikan sejumlah besar pengguna dan transaksi.

5.1 PLATFORM WEB – PENGENDALI SISTEM



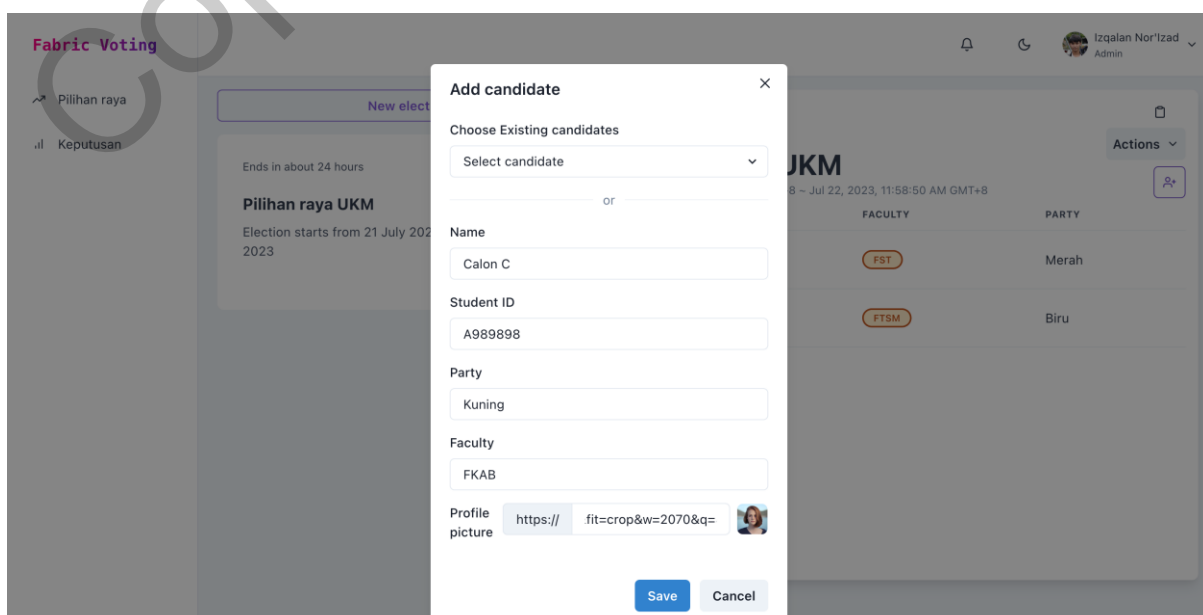
Rajah 4 Antara muka log masuk

Rajah 4 menunjukkan antara muka log masuk bagi pengendali sistem untuk me long masuk ke dalam sistem. Paparan ini akan dikemukakan apabila sesi web telah tamat atau pengendali sistem belum log masuk ke dalam sistem.




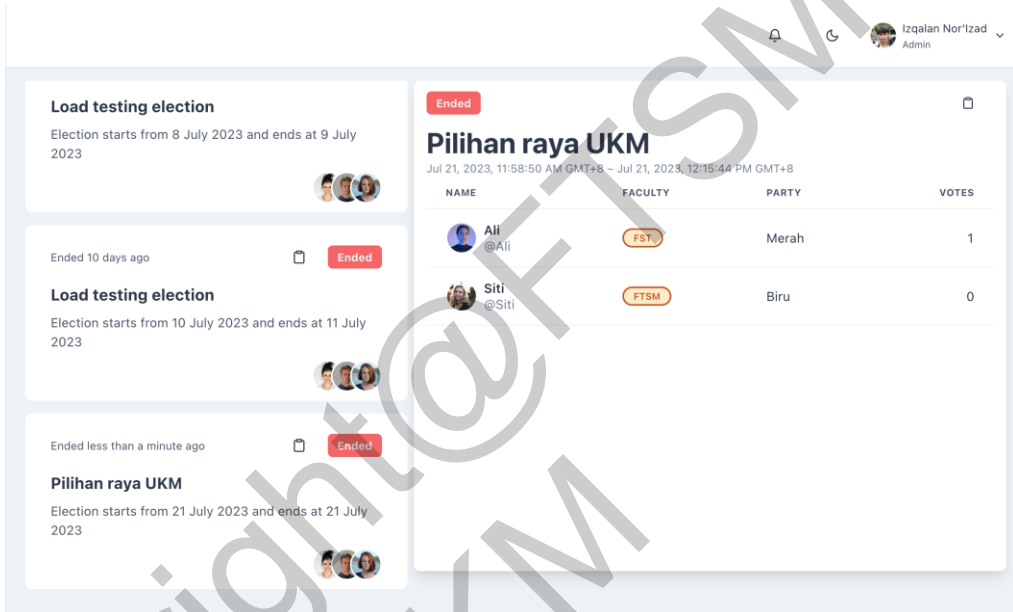
Rajah 5 Antara muka utama

Rajah 5 menunjukkan antara muka utama untuk pengendali sistem. Antara muka ini menunjukkan butang membuat pilihan raya yang baharu, calon-calon yang bertanding pada pilihan raya dan butang untuk menambah calon. Paparan ini juga menunjukkan beberapa maklumat calon seperti fakulti dan parti. Butang **Actions** berfungsi sebagai butang aksi untuk berinteraksi dengan pilihan raya. Butang ini juga digunakan untuk menamatkan pilihan raya awal.



Rajah 6 Borang menambah calon


Rajah 6 menunjukkan borang penambahan calon pada pilihan raya. Paparan ini akan dibawa apabila pengendali menekan butang  pada paparan di rajah 5. Pengendali sistem perlu memasukkan maklumat calon untuk menamakan calon pada sesuatu pilihan raya. Selain itu, pengendali sistem juga boleh menggunakan calon yang lepas untuk menambah calon dengan menggunakan butang dropdown “Select candidate”. Selepas calon telah selesai dinamakan maklumat merakan akan dipaparkan pada maklumat pilihan raya.



The screenshot displays the 'Fabric Voting' interface. On the left, there is a sidebar with navigation options: 'Pilihan raya' and 'Keputusan'. The main content area shows a list of elections. The selected election is 'Pilihan raya UKM', which is marked as 'Ended'. The election details include the start and end dates (Jul 21, 2023, 11:58:50 AM GMT+8 to Jul 21, 2023, 12:15:44 PM GMT+8). Below the details is a table showing the results for two candidates:

NAME	FACULTY	PARTY	VOTES
Ali @Ali	FST	Merah	1
Siti @Siti	FTSM	Biru	0

Rajah 7 Antara muka pilihan raya tamat

Paparan di rajah 7 akan dikemukakan apabila butang  pada sebelah kiri sistem ditekan. Paparan ini hanya boleh di-akses oleh pengendali sistem. Paparan ini menunjukkan pilihan raya yang sudah tamat dan jumlah undian yang telah dicapai oleh calon.

5.2 PLATFORM WEB - PENGUNDI

Antara muka pada bahagian ini adalah terbuka. Bermaksud, pengguna tidak perlu mendaftar masuk untuk menggunakan sistem.



Rajah 8 Antara muka pengundian

Rajah 8 menunjukkan antara muka pemilihan calon untuk undian. Pengundi perlu memasukkan email dan password yang sah untuk membuat undian.

NAME	FACULTY	PARTY	VOTES
Ali @Ali	FST	Merah	1
Siti @Siti	FTSM	Biru	0

Rajah 9 Antara muka keputusan undian

Rajah 9 menunjukkan antara muka setelah pengundian tamat. Jumlah undian akan dikemukakan secara terbuka.

6 UJIAN

Untuk menilai sepenuhnya fungsi, sistem ini telah menjalankan ujian dalam persekitaran di hos seperti di rajah 3. Pendekatan ini memastikan bahawa prestasi dan keupayaan sistem boleh dinilai dalam persekitaran dunia sebenar. Untuk menjalankan ujian ini, pengujian telah menggunakan API REST, yang telah berfungsi sebagai alat utama untuk berinteraksi dengan

sistem web dan menilai fungsian sistem dan prestasi sistem. Ujian ini telah menggunakan aplikasi postman sebanyak 50 iterasi untuk menilai ujian unit dan kod Go untuk mesimulasi panggilan REST secara serentak untuk menilai prestasi sistem.

Jadual 1 Keputusan jadual unit

ID	Keterangan Fungsi	Jenis Ujian	Status
UC-1	Membuat pilihanraya	Ujian Unit	Baik
UC-2	Mendapatkan pilihanraya	Ujian Unit	Baik
UC-3	Menambah calon pilihanraya	Ujian Unit	Baik
UC-4	Membuat pengundian	Ujian Unit	Baik
UC-5	Mendapatkan keputusan undian	Ujian Unit	Baik
UC-6	Pengguna tidak boleh membuat undian 2 kali	Ujian Unit	Baik

Jadual 2 Keputusan ujian bukan fungsian

ID	Keterangan Fungsi	Jenis Ujian	Keputusan
NF-1	Kadar julat transaksi persaat	Ujian prestasi	2.075s
NF-2	Ujian bebanan pengundian	Ujian prestasi	100% ketepatan @ 1,000 transaksi

Jadual 1 menunjukkan keputusan ujian unit dengan menggunakan postman sebanyak 50 iterasi. Keputusan ujian menunjukkan kesemua fungsi berjalan seperti yang dijangka. Jadual 2 pula menunjukkan keputusan prestasi yang telah dilakukan pada fungsi undian (POST /api/v2/vote). Keputusan menunjukkan transaksi undian mengambil sebanyak 2.075 saat bagi setiap undian untuk diproses. Ujian bebanan ini telah menilai prestasi servis undian sebanyak 1,000 transaksi secara serentak. Keputusan menunjukkan servis mempunyai ketepatan 100% pada 1,000 transaksi.

7 KESIMPULAN

Kesimpulannya, sistem ini telah berjaya dibangunkan sebagai sebuah alternatif kepada kaedah pengundian elektronik dengan menawarkan sebuah sistem terdesentralisasi kepada kaedah penyampaian rekod dan pengesahan rekod atau transaksi. Sistem ini masih mendapat beberapa kekangan yang seperti daripada segi skala dan daya pengeluaran sistem.

8 RUJUKAN

- Angsuchotmetee, C., Setthawong, P., & Udomviriyalanon, S. (2019). BlockVOTE : An Architecture of a Blockchain-based Electronic Voting System. *2019 23rd International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, 110–116. <https://doi.org/10.1109/ICSEC47112.2019.8974826>
- Carson, B., Romanelli, G., Walsh, P., & Zhumaev, A. (2018). Blockchain beyond the hype: What is the strategic business value. *McKinsey & Company*, 1.
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., Kalyanaraman, V., & others. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation*, 2(6–10), 71.
- Ehin, P., Solvak, M., Willemson, J., & Vinkel, P. (2022). Internet voting in Estonia 2005–2019: Evidence from eleven elections. *Government Information Quarterly*, 39(4), 101718. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.giq.2022.101718>
- Jafar, U., Aziz, M. J. A., & Shukur, Z. (2021). Blockchain for Electronic Voting System—Review and Open Research Challenges. *Sensors*, 21(17). <https://doi.org/10.3390/s21175874>
- Javid, A. (2014, July). Electronic Voting System Security. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2393158>
- Johar, S., Ahmad, N., Asher, W., Cruickshank, H., & Durrani, A. (2021). Research and Applied Perspective to Blockchain Technology: A Comprehensive Survey. *Applied Sciences*, 11. <https://doi.org/10.3390/app11146252>
- Krimmer, R., Duenas-Cid, D., & Krivososova, I. (2021). New methodology for calculating cost-efficiency of different ways of voting: is internet voting cheaper? *Public Money & Management*, 41(1), 17–26. <https://doi.org/10.1080/09540962.2020.1732027>
- Krimmer, R., & Volkamer, M. (2008, July). *Challenges Posed by Distance Voting in General: Postal Voting, and in Particular eVoting*.
- Lakshmi, G. R., Sri Rekha, C. H., Likhitha, V., Alekhya, T., & Renuka, K. V. (2019). E-Voting System using Biometrics. *2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS)*, 1441–1444. <https://doi.org/10.1109/ICCS45141.2019.9065457>
- Li Wenting and Andreina, S. and B. J.-M. and K. G. (2017). Securing Proof-of-Stake Blockchain Protocols. In G. and H. H. and H.-J. J. Garcia-Alfaro Joaquin and Navarro-Arribas (Ed.), *Data Privacy Management, Cryptocurrencies and Blockchain Technology* (pp. 297–315). Springer International Publishing.
- Nakamoto, S. (2009, July). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*.
- Politou, E., Casino, F., Alepis, E., & Patsakis, C. (2021). Blockchain Mutability: Challenges and Proposed Solutions. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 9(4), 1972–1986. <https://doi.org/10.1109/TETC.2019.2949510>
- Poniszewska-Marañda, A., Rojek, S., & Pawlak, M. (2022). Decentralized electronic voting system using Hyperledger Fabric. *2022 IEEE International Conference on Services Computing (SCC)*, 339–348. <https://doi.org/10.1109/SCC55611.2022.00056>
- Rahman, C. M. (2006). *Study of SMS security as part of an electronic voting system*.
- Star, T. (2013, July). EC: Photograph of “blackout” on Polling Day was a lie. *The Star*. <https://www.thestar.com.my/news/nation/2013/05/24/ec-photograph-of-blackout-on-polling-day-was-a-lie>
- Vairam, T., Sarathambekai, S., & Balaji, R. (2021). Blockchain based Voting system in Local Network. *2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, 1, “363–366.” <https://doi.org/10.1109/ICACCS51430.2021.9441912>

Ts. Dr. Khairul Azmi Abu Bakar
Fakulti Teknologi & Sains Maklumat,
Universiti Kebangsaan Malaysia

Copyright@FTSM
UKM