

Pengembangan Aplikasi Waste Bank Berbasis Blockchain

Muhibbudin Suretno^{1*}, Indra Ranggadara²

^{1,2}Universitas Mercu Buana, Jakarta Selatan, DKI Jakarta

Email: ^{1*}41817120105@student.mercubuana.ac.id, ²indra.ranggadara@mercubuana.ac.id

(Naskah masuk: 12 Jan 2022, direvisi: 31 Jan 2022, diterima: 07 Feb 2022)

Abstrak

Blockchain merupakan sebuah jenis teknologi buku besar terdistribusi yang menerima banyak perhatian pada dunia digital saat ini. Pada jaringan *blockchain* ini memungkinkan adanya lebih dari satu pihak untuk membuat transaksi melalui protokol *peer-to-peer* yang transparan dan dapat diverifikasi. Jaringan *blockchain* terbagi menjadi dua jenis yaitu *public* dan *permissioned*. Salah satu contohnya adalah melalui jaringan *Hyperledger Fabric*, di mana pada jaringan terotentikasi ini setiap peserta saling mengenal dan dapat mengidentifikasi, tetapi tidak sepenuhnya percaya satu sama lain. Pada penelitian sebelumnya sebuah arsitektur *blockchain* diterapkan pada sistem informasi bank sampah dengan mengadopsi konsep transaksional *Hyperledger Fabric*, dengan tujuan untuk menyelesaikan masalah transparansi anggaran dan validasi transaksi pada proses pembelian dan penjualan. Tetapi pada penelitian tersebut masih terdapat kekurangan dimana belum jelasnya bagaimana proses pembuatan *channel* dan pemanggilan *chain code* dilakukan, termasuk adanya masalah pada performa dan skalabilitas yang berkurang seiring bertambahnya jumlah data. Berdasarkan hasil temuan tersebut, kontribusi penelitian ini adalah mengembangkan arsitektur *blockchain* berdasarkan penelitian sebelumnya dengan menambahkan metode *broadcast service*, dan *pipeline & chunking* untuk menangani proses pembuatan *channel*, pemanggilan *chain code*, peningkatan performa, dan skalabilitas. Dengan hasilnya adalah peningkatan performa penyebaran pembaruan data dengan kecepatan rata-rata antara 0,28 - 0,36 detik yang diuji menggunakan 1.020 baris data pada 30 *database* berbeda.

Kata Kunci: *Broadcast Service, Hyperledger Fabric, Pipeline & Chunking, Sistem Informasi.*

Blockchain-Based Waste Bank Application Development

Abstract

Blockchain technology is one type of distributed ledger technology that is receiving a lot of attention in today's digital world. On this blockchain network it is possible for more than one parties to make transactions through a transparent and verifiable peer-to-peer protocol. Blockchain networks are divided into two types, namely public and permissioned. One example is through the Hyperledger Fabric network where in this authenticated network each participant knows each other and can identify, but does not fully trust each other. In previous research, a blockchain architecture was applied to a waste bank information system by adopting the transactional concept of Hyperledger Fabric, with the result is to solve the problem of budget transparency with transaction validation in the buying and selling process. However, in this study, there are still shortcomings where it is not clear how the channel creation process and chain code calling is carried out, including problems with performance and scalability that decrease as the amount of data increases. Based on these findings, the research contribution is to develop a architecture based on previous blockchain architecture by adding broadcast service, and pipeline & chunking methods to handle the channel creation process, chain code calling, performance improvement, and scalability. The result is improved data update deployment performance with an average speed of 0.28 - 0.36 second tested using 1,020 rows of data on 30 different databases.

Keywords: *Broadcast Service, Hyperledger Fabric, Pipeline & Chunking, Information System.*

I. PENDAHULUAN

Bank Sampah merupakan salah satu penyokong dari konsep 3R, dengan salah satu tugasnya adalah untuk melakukan proses pemilahan dan pengurangan sampah yang selanjutnya akan didaur ulang atau dikirimkan ke pembuangan akhir [1]. Dalam pengertian lain, bank sampah berperan untuk mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke lingkungan dengan cara dilakukan penyaringan dan pengelompokan sebelum dikirimkan ke pembuangan akhir, karena saat ini sebagian besar sampah tersebut hanya dibuang pada suatu wilayah atau dibakar dengan api di area terbuka [2]. Firdayati dkk. [3] pada penelitian sebelumnya telah melakukan penelitian berupa perancangan sistem informasi bank sampah berbasis *blockchain* untuk mendukung proses transaksional bank sampah berdasarkan konsep transaksional arsitektur *Hyperledger Fabric*, dengan tujuan untuk mempermudah proses operasional bank sampah, menghilangkan perantara antara pihak yang terlibat, dan memberikan transparansi keuangan yang lebih baik terhadap transaksi yang telah dilakukan.

Blockchain sebagai teknologi jaringan buku besar terdistribusi yang tidak dapat diubah, transparan, dan terverifikasi yang diprakarsai oleh Satoshi Nakamoto dapat digunakan untuk memecahkan masalah pemrosesan ganda seperti halnya dalam transaksi keuangan [4]. *Blockchain* dalam arti lain dapat didefinisikan sebagai buku besar yang tidak dapat diubah untuk mencatat transaksi, dikelola dalam jaringan terdistribusi dari para rekan yang saling tidak percaya. Setiap rekan memiliki salinan buku besar tersebut dan setiap rekan menjalankan protokol konsensus untuk validasi transaksi, mengelompokkannya ke dalam blok, dan membangun rantai kunci (*hash*) di atas blok tersebut. Setiap proses ini akan membentuk buku besar yang terdiri dari transaksi yang saling terikat, sebagaimana diperlukan untuk memelihara konsistensi data transaksional [5]. *Hyperledger Fabric* adalah upaya kolaboratif sumber terbuka yang diselenggarakan oleh *Linux Foundation* untuk mengembangkan teknologi *blockchain* bagi perusahaan yang menyediakan jaringan *blockchain* terotentikasi (berizin) dimana setiap pihak yang terlibat harus terotentikasi dan memiliki perannya masing-masing dalam melakukan suatu aktivitas [6].

Dalam penerapan pada usaha kecil menengah (seperti bank sampah) teknologi *blockchain* tidak hanya terbatas pada pencatatan transaksi dari A ke B, melainkan sebuah inovasi untuk menyelesaikan banyak masalah terkait bisnis tradisional. Contohnya adalah seperti menghilangkan perantara untuk setiap transaksi dimana perantara ini bisa berupa bank, broker atau perantara yang mengamankan transaksi nilai antara UKM, dan mitra dagang [7]. Senada dengan pernyataan tersebut pada penelitian sebelumnya, konsep transaksional *Hyperledger Fabric* digunakan untuk menyelesaikan masalah transparansi keuangan sekaligus meningkatkan *throughput*, dan interoperabilitas pada proses pembelian hingga penjualan sistem informasi bank sampah, termasuk dengan memisahkan hak akses antara distributor sebagai rekan, dan bank sampah sebagai klien. Tetapi pada penelitian tersebut belum terdapat penjelasan bagaimana

proses pembuatan rekan dan klien dilakukan, termasuk dengan masalah skalabilitas dan performa yang berkurang seiring bertambahnya jumlah data yang dikelola oleh sistem, dengan inti masalah terjadi pada proses validasi *chaincode* yang dilakukan secara berurutan sehingga memakan waktu lebih lama [3]. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, penelitian ini dilakukan dengan menerapkan beberapa metode lain pada arsitektur tersebut dengan tujuan untuk mempercepat proses validasi *chaincode* dan pembuatan blok dengan memisahkan proses kritical pada servis yang berbeda.

Ayinala dkk. [8] sebelumnya telah menerapkan metode *broadcast* untuk mempercepat proses propagasi data dengan memisahkan proses pada servis yang berbeda secara paralel, dimana setelah memvalidasi sebuah blok, *node* pusat akan menyiarkan atau menyebarkannya ke seluruh jaringan. Dengan waktu yang dibutuhkan untuk menyebarkan blok tergantung pada banyak faktor, seperti ukuran blok, rata-rata *bandwidth* dari setiap *node*, dan jumlah *hop* maksimum (diameter jaringan). Penelitian tersebut juga menyebutkan bahwa *throughput* atau kapasitas jaringan *blockchain* pada jalur komunikasi data dapat ditingkatkan, tetapi dapat membuat jaringan *blockchain* menjadi tidak stabil, dan juga dapat menyebabkan masalah skalabilitas pada arsitektur *blockchain* yang dibuat.

Gorenflo dkk. [9] memiliki pandangan lain tentang bagaimana cara untuk mempercepat proses validasi dan pemrosesan pada jaringan *blockchain*, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Memisahkan *metadata* dari data inti: memisahkan data inti dan *metadata* yang dibutuhkan dalam proses dan pada proses presentasi, sehingga dapat mengurangi ukuran blok yang diproses.
2. Paralelisme dan *caching* data: melakukan paralelisasi pada proses validasi data pada beberapa proses terpisah, dan memanfaatkan proses *caching* data untuk mempercepat proses pengambilan data dari jaringan.
3. Memanfaatkan hierarki memori untuk mengakses data secara cepat pada jalur kritis: menyimpan nilai kunci (*hash*) dari setiap blok pada tempat yang dapat diakses dengan cepat, dan menunda proses yang belum dapat dilakukan pada jalur terpisah.
4. Pemisahan sumber daya: memisahkan sumber daya data dari masing-masing rekan yang saling berkomunikasi pada perangkat terpisah.

Sebagai catatan ruang lingkup dan batasan penelitian yang dilakukan, penelitian ini tidak membahas secara detail bagaimana proses pemisahan sumber daya data (seperti *server* dan banyaknya servis). Proses pengujian pada perangkat *server* terdistribusi, paralelisasi proses dengan lebih dari dua servis, dan proses yang terjadi pada sistem pembelian dan penjualan secara menyeluruh.

Dengan kata lain penelitian ini hanya membahas proses perancangan, implementasi, dan pengujian terhadap arsitektur *blockchain* yang menerapkan konsep transaksional *Hyperledger Fabric* sebagai landasan sistem informasi bank sampah yang dapat meningkatkan kepercayaan pengguna lewat transparansi dan ketertelusuran transaksi yang tersimpan dalam *smart contract* [10], [11] yang berfokus pada

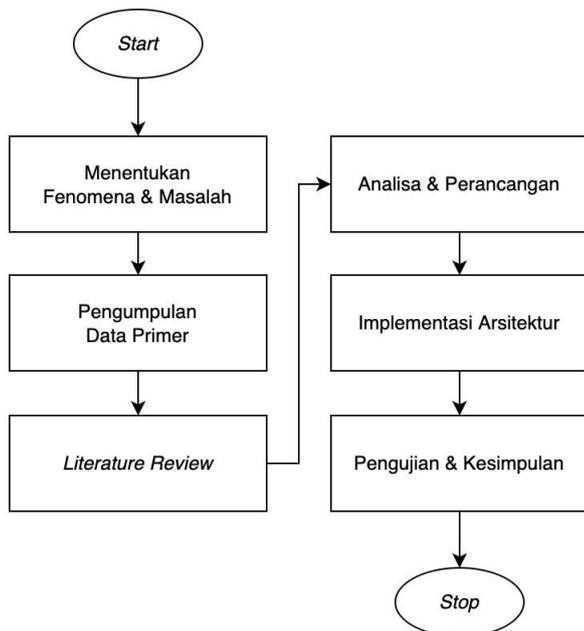
permasalahan skalabilitas dan performa sistem [1]–[3], menggunakan metode *broadcast service* [8] *pipeline & chunking* untuk membagi pemrosesan data pada beberapa jalur [9], dan penerapan *cache* untuk mempercepat proses propagasi data pada beberapa sistem yang terkoneksi [8], [9]. Dengan tujuan untuk meningkatkan performa dan skalabilitas sistem seiring bertambahnya jumlah data, dimana proses pengujian dilakukan pada perangkat pribadi dengan spesifikasi perangkat yang digunakan adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Pengujian

Nama	Deskripsi
CPU	Intel Core i7 - 4770HQ @ 2.20GHz
RAM	16 GB
PHP	Version 7.3.29
MySQL	Version 15.1 Distrib 10.6.3
Nginx	Version 1.21.1

II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada tahap pelaksanaannya penelitian ini terbagi atas beberapa tahap, dengan detail setiap langkahnya seperti digambarkan pada Gambar 1 berikut.

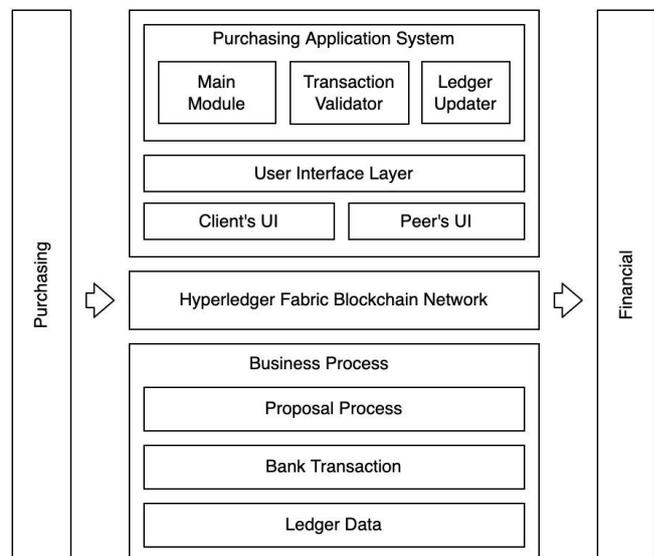


Gambar 1. Metodologi Penelitian

Penelitian ini diawali dengan menentukan fenomena dan permasalahan berdasarkan penelitian sebelumnya, dimana salah satu permasalahan yang ditemukan adalah masalah skalabilitas dan performa yang berkurang seiring bertambahnya jumlah data yang dikelola oleh sistem. Selanjutnya, proses pengumpulan data berupa data primer dari sistem sebelumnya dilakukan untuk mengetahui bagaimana sistem tersebut bekerja beserta struktur *database* yang

digunakan. Dalam tahap *literature review*, 6 penelitian terkait *blockchain* dan *waste management* digunakan sebagai landasan teori untuk menyelesaikan masalah yang telah ditemukan sebelumnya, seperti dijelaskan pada bagian ruang lingkup dan batasan penelitian sebelumnya. Pada tahap analisis dan perancangan penelitian ini menggunakan alur proses bisnis dari penelitian sebelumnya yang dikembangkan kembali, berdasarkan konsep transaksional pada *Hyperledger Fabric* sehingga menghasilkan arsitektur baru yang membantu mengelola transaksi daur ulang sampah dari proses pembelian hingga penjualan, dengan hak akses pengguna dibagi menjadi dua aktor yaitu distributor sebagai rekan dan bank sampah sebagai klien.

Secara garis besar arsitektur yang dibuat adalah seperti digambarkan pada Gambar 2, dimana arsitektur yang telah dikembangkan terbagi atas 2 bagian yaitu sistem pembelian dan bisnis proses yang dihubungkan oleh jaringan *blockchain* yang menjembatani proses pembelian hingga menghasilkan keuntungan finansial, dengan tujuan untuk memberikan kepercayaan lebih kepada pengguna melalui transparansi data yang dapat diketahui oleh setiap pihak-pihak yang terlibat.

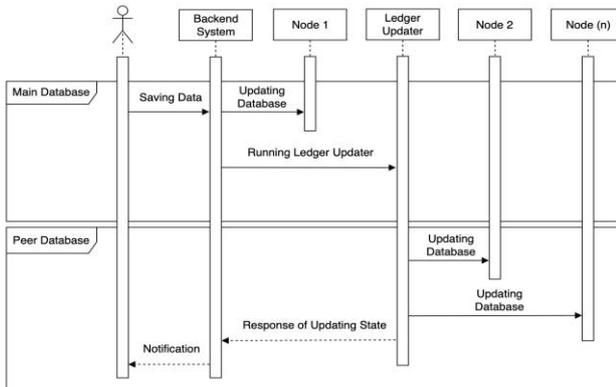


Gambar 2. Arsitektur Sistem Yang Dikembangkan

Dimana proses pembaruan buku besar dan validasi transaksi dilakukan melalui paralelisasi proses yang terjadi setelah sistem melakukan pembaruan data pada basis data *master* yang selanjutnya akan diteruskan pada modul pembaruan buku besar dengan tugas untuk membarui *database* setiap rekan. Dalam tahap implementasi, arsitektur yang telah dikembangkan diimplementasikan dalam sistem informasi bank sampah dengan salah satu tugasnya adalah menangani proses pembaruan data pada setiap *database* rekan.

Dengan detail dari setiap proses pembaruan yang dilakukan adalah seperti digambarkan pada Gambar 3, dimana setelah proses penyimpanan data pada *database* utama (*master*) dilakukan sistem secara terpisah akan memanggil modul pembaruan *database* rekan yang terdapat pada servis terpisah di belakang layar. Selanjutnya modul ini akan

melakukan pembaruan data pada setiap *database* rekan berdasarkan data yang telah disimpan pada *database master*, dengan beberapa contoh proses pembaruan yang dilakukan adalah seperti pembuatan data *channel*, pembuatan *chaincode* transaksi yang menghubungkan antara transaksi dan *channel* dan pembuatan blok untuk setiap proses yang terjadi dalam sistem seperti pembaruan status transaksi, perubahan harga produk, dan sebagainya.

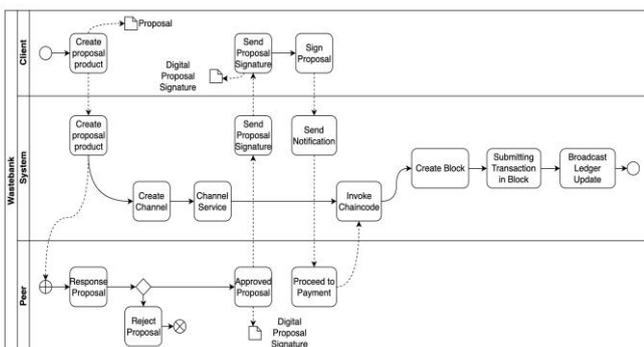


Gambar 3. Alur Pembaruan *Database Master* dan Rekan

Pada tahap pengujian arsitektur yang telah diterapkan dalam sistem informasi bank sampah diuji secara kecepatan dan performa menggunakan 30 data rekan dan 1.020 data blok, dalam 4 kali iterasi dengan harapan dapat memberikan gambaran secara sederhana bagaimana efektifitas *blockchain* untuk mengelola proses transaksional yang dijalankan pada *server* lokal dengan spesifikasi seperti dijelaskan pada Tabel 1.

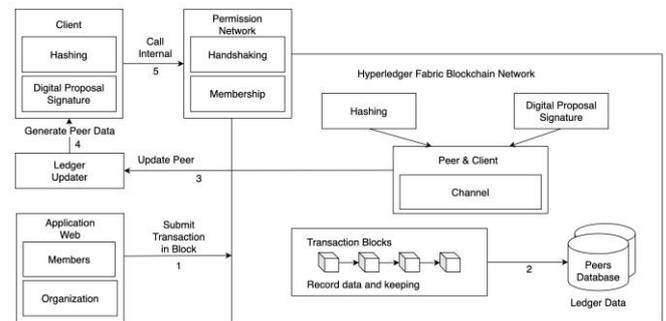
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai hasil dari perancangan dan pengujian yang telah dilakukan sebuah arsitektur *blockchain* baru telah dikembangkan, dimana interaksi antara setiap pihak yang terlibat digambarkan melalui BPMN diagram pada Gambar 4. Dimana BPMN itu sendiri adalah sebuah bahasa umum yang menggambarkan bagaimana proses bisnis pada suatu sistem atau perusahaan bekerja, dengan tujuan untuk mendefinisikan interaksi antara berbagai pihak yang terlibat pada jaringan bisnis, seperti sistem, rekanan, dan klien [12].



Gambar 4. Bisnis Proses Dalam Diagram BPMN

Berdasarkan diagram BPMN diatas proses bisnis yang terjadi dimulai ketika proses pembuatan proposal dilakukan dan berakhir pada pembaruan pada buku besar di setiap *database* rekan. Secara lebih detail, proses yang terjadi dimulai saat klien membuat proposal produk kepada rekan, dilanjutkan oleh sistem yang mengirimkan proposal kepada rekan sekaligus membuat *channel* penghubung pada servis terpisah. Pada tahap selanjutnya, rekan akan mendapatkan proposal dan menanggapi proposal tersebut. Jika proposal ditolak maka sistem akan menandai bahwa proposal telah ditolak. Jika disetujui maka sistem akan memberikan proposal tersebut kepada klien, dimana pada tahap ini sebuah jalur konsolidasi antara klien dan rekan digunakan. Setelah proses konsolidasi ini selesai, sistem akan memberikan pemberitahuan kepada pihak pemesan untuk melanjutkan proses pembayaran. Terakhir sistem akan melakukan pemanggilan *chaincode* untuk melanjutkan proses transaksi pembelian hingga memperbarui data buku besar. Dari sisi arsitektur *blockchain* yang telah dikembangkan, setiap proses yang telah disebutkan sebelumnya digambarkan seperti pada Gambar 5 berikut.



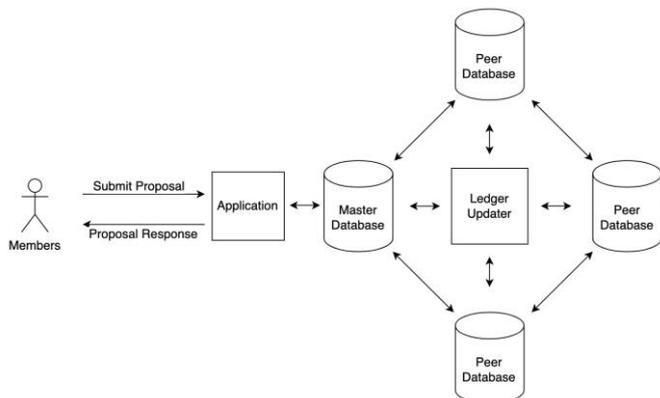
Gambar 5. Model Arsitektur *Blockchain*

Dimana proses pencatatan pada blok transaksi dimulai ketika sistem utama melakukan penyimpanan data pada *database* utama melalui modul *blockchain* seperti data *channel*, *chaincode*, dan blok untuk setiap transaksi yang dilakukan. Setelah tahap pertama ini selesai, sistem akan memanggil modul pembaruan buku besar pada servis terpisah. Selanjutnya, modul tersebut akan melakukan proses pembaruan buku besar pada setiap *database* rekan yang telah dipersiapkan sebelumnya. Ketika rekan mendaftarkan dirinya pada sistem, proses pembaruan data ini dilakukan melalui jaringan terautentikasi berdasarkan *digital proposal signature* yang dimiliki oleh setiap pihak yang terlibat.

Dalam tahap pembaruan buku besar, sistem yang memanggil modul pembaruan pada servis terpisah melakukan proses tersebut di belakang layar dengan tujuan agar pengguna tidak harus menunggu semua proses untuk selesai. Dengan demikian pengguna tersebut dapat melanjutkan kegiatan menuju halaman lainnya.

Secara singkat proses yang terjadi pada modul pembaruan buku besar ini adalah seperti digambarkan pada Gambar 6, dimana prosesnya terjadi ketika sistem utama memanggil modul pembaruan ini untuk melanjutkan proses pembaruan setiap *database* rekan dengan menggunakan metode paralelisasi dan *broadcast service* sehingga *database* rekan

dapat diperbaharui secara menyeluruh berdasarkan data yang dimiliki oleh *database* utama.



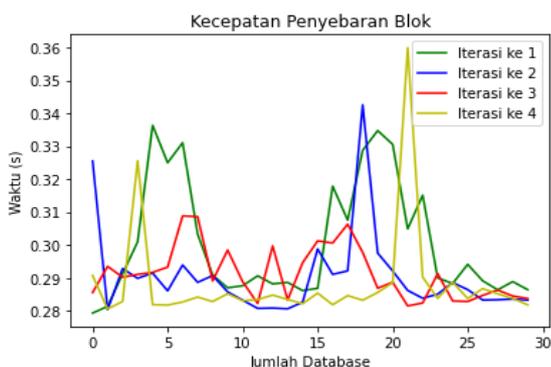
Gambar 6. Proses Pembaruan Database

Pada tahap pengujian arsitektur yang telah diimplementasikan pada sistem yang dibuat menggunakan kerangka kerja *Laravel* dan berlandaskan pada bahasa *PHP* (*Hypertext Preprocessor*). Dilakukan pengujian sebanyak 4 kali percobaan dengan tujuan untuk mengetahui secara langsung performa sistem dalam menangani proses pembaruan *database* dengan *dataset* yang terdiri dari rekan sebanyak 30 baris dan blok sebanyak 1.020 baris, dengan total 30.600 *query insert* dalam satu kali iterasi. Dimana sebagai hasilnya rata-rata kecepatan yang didapatkan dari masing-masing iterasi yang dijalankan bersifat fluktuatif seperti dituliskan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Rata-rata Kecepatan Pembaruan Database

Iterasi	Kecepatan
1	0,300554 detik
2	0,290354 detik
3	0,291343 detik
4	0,288262 detik

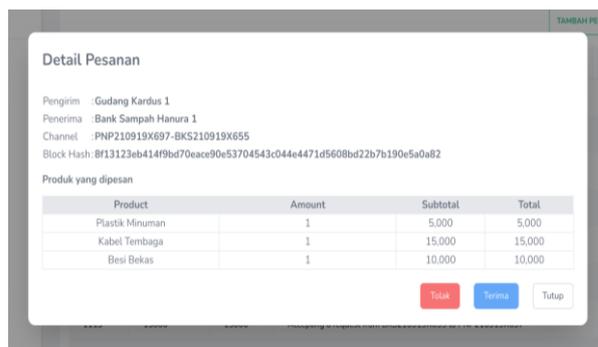
Secara lebih detail kecepatan yang tercatat pada setiap iterasi adalah seperti ditampilkan pada Gambar 7, dimana kecepatan berkisar antara 0,28-0,36 detik pada setiap iterasinya.



Gambar 7. Kecepatan Penyebaran Blok

Kecepatan yang bersifat fluktuatif tersebut dan mencapai nilai tinggi pada pertengahan awal dan pertengahan akhir pengujian, disebabkan oleh tidak seimbangannya penggunaan memori pada setiap proses yang terjadi karena sistem yang dikembangkan menggunakan bahasa *PHP* dan *database MySQL*. Dimana bahasa *PHP* tersebut menggunakan metode *cache bytecode* dalam menangani permintaan pemrosesan dalam memori jangka pendek secara bersama-sama untuk setiap proses yang dilakukan dan menyebabkan proses menjadi kurang optimal atau kurang efisien [13]. Dan juga meskipun *database MySQL* memfasilitasi arsitektur *client-server* berbasis *thread*, memori yang tersedia akan dialokasikan pada semua proses atau *thread* yang berjalan pada saat bersamaan [14].

Sebagai hasil akhir dari penelitian ini, arsitektur *blockchain* yang telah dikembangkan diterapkan pada sistem informasi bank sampah. Dimana sistem pengelolaan sampah sendiri biasanya terdiri dari proses pengumpulan, pengangkutan, pra-pengolahan, pemrosesan, dan pengurangan residu akhir. Dengan tujuan menyediakan kondisi kehidupan yang sehat untuk mengurangi jumlah materi yang masuk atau keluar dari masyarakat dan mendorong penggunaan kembali materi di masyarakat [2]. Dengan salah satu contoh tampilan dari sistem yang telah dibuat tersebut adalah seperti tampilan pada Gambar 8 berikut, dimana setiap data transaksi yang tercatat dalam sistem akan memiliki kunci (*hash*) sebagai identitas dari blok yang menggambarkan transparansi dari implementasi jaringan *blockchain* di belakangnya.



Gambar 8. Detail Pesanan Dalam Sistem Bank Sampah

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya beserta hasil pengujian yang telah dilakukan, rancangan arsitektur ini dapat mengatasi masalah utama dari penelitian sebelumnya yaitu menjelaskan secara detail mengenai proses pembuatan *peer* dan *client*, mengatasi masalah skalabilitas, dan performa seiring bertambahnya data yang dikelola. Dengan menerapkan sistem paralelisasi pada setiap proses secara terpisah sehingga dapat mengurangi risiko penumpukan data yang dialami akibat keterlambatan karena proses transaksi yang belum terselesaikan. Pada beberapa penelitian sebelumnya teknologi *blockchain* digunakan sebagai solusi untuk mendapatkan transparansi, keamanan, dan keterlacakan data yang lebih baik dengan merancang

arsitektur atau sistem yang berbeda sesuai dengan keadaan dan berbagai metode untuk memecahkan masalah yang dihadapi [3]. Penelitian ini juga melakukan hal yang serupa, tetapi perbedaannya terletak pada bagaimana arsitektur *blockchain* yang telah dibuat dikembangkan kembali dengan metode tambahan untuk meningkatkan jumlah proses pada satu waktu, melakukan uji coba menggunakan data yang lebih banyak, dan mempersiapkan arsitektur akan kebutuhan yang akan datang.

Sebagai saran akan penelitian selanjutnya, penelitian yang telah dilakukan dapat digunakan dalam proses analisis menggunakan *process mining* dengan tujuan untuk mengetahui seberapa efektif penerapan *blockchain* pada suatu sistem berbasis transaksional. Dimana *process mining* sendiri merupakan disiplin antara penambangan data dan kecerdasan komputasi yang mengambil data *log* peristiwa yang kemudian diekstraksi menjadi model dari suatu proses [15], [16]. *Log* peristiwa sendiri biasanya berisi informasi tambahan dalam bentuk atribut peristiwa, seperti stempel waktu atau sumber daya yang melakukan aktivitas terkait [17], [18] seperti atribut yang tersimpan pada setiap blok dalam jaringan *blockchain* yang telah dikembangkan. Serta dalam tahap pengujian penelitian ini belum membahas bagaimana proses pemisahan sumber daya data karena setiap *database* yang digunakan disimpan pada satu *server* yang sama. Dengan kata lain pengujian hanya dilakukan pada satu *server* terpusat. Dimana seharusnya pengujian dijalankan pada beberapa *server* berbeda untuk menguji bagaimana latensi jaringan *internet* sebagai penghubung komunikasi antar *server* mempengaruhi kecepatan dari tahap propagasi data. Maka dari itu, penelitian ini belum tentu dapat menyelesaikan masalah performa pada sistem yang sebenarnya jika terjadi masalah pada kecepatan dan latensi jaringan *internet* jika konsep pemisahan sumber daya data pada *server* terpisah telah digunakan.

REFERENSI

- [1] E. Androulaki, A. Barger, V. Bortnikov, C. Cachin, K. Christidis, A. De Caro, D. Enyeart, C. Ferris, G. Laventman, Y. Manevich, S. Muralidharan, C. Murthy, B. Nguyen, M. Sethi, G. Singh, K. Smith, A. Sorniotti, C. Stathakopoulou, M. Vukolić, S. W. Cocco, and J. Yellick, "Hyperledger fabric," *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, 2018
- [2] D. Asteria and H. Heruman, "Bank sampah Sebagai Alternatif strategi pengelolaan sampah Berbasis Masyarakat di Tasikmalaya (bank sampah (waste banks) as an alternative of community-based Waste Management Strategy in Tasikmalaya)," *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, vol. 23, no. 1, p. 136, 2016.
- [3] K. Ayinala, B.-Y. Choi, and S. Song, "Pichu: Accelerating block broadcasting in blockchain networks with pipelining and chunking," *2020 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)*, 2020
- [4] F. Corradini, F. Marcantoni, A. Morichetta, A. Polini, B. Re, and M. Sampaolo, "Enabling auditing of smart contracts through process mining," *From Software Engineering to Formal Methods and Tools, and Back*, pp. 467–480, 2019
- [5] A. Demirbas, "Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, no. 2, pp. 1280–1287, 2011
- [6] D. Firdayati, I. Ranggadara, I. Afrianto & N.R. Kurnianda. "Designing architecture blockchain of Hyperledger fabric for purchasing strategy," *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 464–468, 2021
- [7] A. Fleischmann, "Limitations of Choreography Specifications with BPMN," *Communications in Computer and Information Science*, pp. 203–216, 2020
- [8] C. Gorenflo, S. Lee, L. Golab, and S. Keshav, "FastFabric: Scaling Hyperledger fabric to 20,000 transactions per second," *2019 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)*, 2019
- [9] E. Ilbiz and S. Durst, "The appropriation of blockchain for small and medium-sized enterprises," *Journal of Innovation Management*, vol. 7, no. 1, pp. 26–45, 2019
- [10] B. Jokonowo and R. Sarno, "Process Mining-Soundness Workflow Multi-organizations," *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Jan. 2014
- [11] B. Jokonowo, R. Sarno, S. Rochimah, and B. Priambodo, "Process mining: Measuring key performance indicator container dwell time," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 16, no. 1, p. 401, 2019
- [12] A. Kholil, Budiaman, Mirtawati, and A. A. Jumhur, "Waste Management Based on 3R in Mutiara Waste Banks Bekasi City Indonesia," *World Environment*, vol. 8, no. 3, pp. 71–76, 2018
- [13] Y. Liu, W. Du, N. Chen, and X. Wang, "Construction and evaluation of the Integrated Perception Ecological Environment Indicator (IPEEI) based on the DPSIR framework for Smart Sustainable Cities," *Sustainability*, vol. 12, no. 17, p. 7112, 2020
- [14] R. Mühlberger, S. Bachhofner, C. Di Ciccio, L. García-Bañuelos, and O. López-Pintado, "Extracting event logs for process mining from data stored on the blockchain," *Business Process Management Workshops*, pp. 690–703, 2019
- [15] N. Satoshi, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System". 2008.
- [16] N. Popov, B. Cosenza, B. Juurlink, and D. Stogov, "Static optimization in PHP 7," *Proceedings of the 26th International Conference on Compiler Construction*, 2017
- [17] Rachit, P. (2021). "Performance benchmarking and comparison of NoSQL databases: Redis vs mongodb vs Cassandra using YCSB tool," *2021 International Conference on Recent Advances in Mathematics and Informatics (ICRAMI)*, 2021
- [18] H. Sukhwani, N. Wang, K. S. Trivedi, and A. Rindos, "Performance modeling of hyperledger fabric (permissioned blockchain network)," *2018 IEEE 17th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA)*, 2018.