



SMART BUILDINGS MENGGUNAKAN HYPERLEDGER FABRIC BLOCKCHAIN UNTUK MANAJEMEN TRANSAKSI DAN PEMODELAN 3D

Siti Asmiatun¹, Astrid Novita Putri², Badroe Zaman³

^{1,2,3}Teknik Informatika, Universitas Semarang
Tlogosari, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia 50196
siti.asmiatun@usm.ac.id, astrid@usm.ac.id, badroezaman@usm.ac.id

Abstract

Home construction or home renovation must consider many complex factors. That is because there will be errors / human errors that occur. The impact of that will cause losses to architectural services and eliminate dissatisfied customer trust. Another problem is that customers use intermediaries or third parties in the home construction/renovation process, increasing funds. That is because the process of building/renovating the house is different from others. This research utilizes a hyper ledger fabric blockchain and intelligent building technology to manage architect and consumer management without intermediaries. Technology can manage home construction/renovation through information on 3-dimensional house plans, initial home budgets, prices for building materials, and daily material needs. The purpose is to monitor the building/renovation of a house without a third party. This study uses the Multimedia Development Life Cycle (MDLC) Development Method to make its application. Meanwhile, blockchain technology is applied using Hyperledger Fabric Software. This research can increase trust and benefit both the customer and the developer. The results of this study are that by making block numbers 65 – 66, it is recorded that each transaction has a processing time from 2022-08-14 02:32:47 to 2022-08-14 02:32:50; it takes approximately.

Keywords: 3D Modeling, Blockchain, Hyperledger Fabric, Smart Building, Tracking Transaction Management

Abstrak

Pembangunan rumah atau renovasi rumah harus mempertimbangkan banyak faktor yang kompleks. Hal ini dikarenakan akan ada kesalahan/*human-error* terjadi. Dampak dari itu akan menimbulkan kerugian pada jasa arsitek dan menghilangkan kepercayaan *customer* yang tidak puas. Salah satu masalah yang lain adalah *customer* yang menggunakan pihak perantara atau pihak ketiga dalam proses pembangunan/renovasi rumah, sehingga mengakibatkan pembengkakan dana. Hal ini dikarenakan proses pembangunan/renovasi rumah tidak sesuai dengan keinginan *customer*. Penelitian ini memanfaatkan suatu teknologi *hyperledger fabric blockchain* dan *smart building* yang digunakan untuk mengelola manajemen arsitek dan konsumen tanpa perantara. Teknologi ini dapat mengelola manajemen pembangunan/renovasi rumah melalui informasi denah rumah 3 dimensi, anggaran dana awal rumah, informasi harga bahan bangunan, dan kebutuhan material setiap harinya. Tujuan dari penelitian ini untuk memantau proses pembangunan rumah/ renovasi tanpa pihak ketiga. Penelitian ini menggunakan Metode Pengembangan *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) untuk membuat aplikasinya. Sedangkan untuk penerapan teknologi *blockchain* menggunakan *Software Hyperledger Fabric*. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kepercayaan dan dapat menguntungkan kedua belah pihak antara *customer* dan *developer*. Dari hasil penelitian ini menghasilkan sebuah sistem manajemen transaksi dan pemodelan 3D arsitek. Hasil pengujian data *block number* 65 – 66 tercatat setiap transaksi memiliki waktu proses dari 02:32:47 sampai 02:32:50, dengan begitu transaksi ini membutuhkan waktu 3 detik. Sedangkan hasil pengujian *White Box* sistem ini dapat berjalan sesuai dengan alur program dan dapat memenuhi kebutuhan pengguna.

Kata kunci: 3D Modeling, Blockchain, Hyperledger Fabric, Smart Building, Tracking Transaction Management

1. PENDAHULUAN

Dalam pembangunan rumah atau renovasi rumah harus mempertimbangkan banyak faktor yang kompleks. Hal ini dikarenakan akan ada kesalahan / *human error* terjadi.

Dampak dari itu akan menimbulkan kerugian pada jasa arsitek dan menghilangkan kepercayaan *customer* yang tidak puas [1]. Salah satu masalah yang lain adalah *customer* yang menggunakan pihak perantara atau pihak ketiga dalam

proses pembangunan rumah/ renovasi tidak mengerjakan proses pembangunan rumah sesuai dengan keinginan *customer*. Hal ini mengakibatkan pembengkakan dana dalam pembangunan/renovasi rumah. Permasalahan tersebut dapat dihindari dengan pengelolaan data manajemen progres harian kegiatan arsitek. Dengan demikian dapat menghasilkan kepuasan *customer* karena pengerjaannya transparan.

Dynamic Supply Chain (DSC) merupakan istilah untuk arsitek yang dapat secara langsung menjual jasa produknya ke manufaktur, distributor atau ke konsumen tanpa perantara[2]. Dengan tanpa perantara, arsitek dapat menjual jasa dengan informasi yang terarah. Konsumen juga dapat berkomunikasi dan bertransaksi langsung dengan arsitek tanpa perantara[3].

Saat ini banyak pengembang yang masih menggunakan manajemen pengelolaan pembangunan /renovasi rumah melalui pihak ketiga. Sehingga hubungan informasi dan transaksi antara produsen material, arsitek, dan konsumen menjadi lebih lambat. Teknologi *Hyperledger Fabric Blockchain* dapat menciptakan mata uang *bitcoin* untuk menyimpan transaksi dalam catatan terdesentralisasi yang dapat diketahui oleh aktor[4][5]. Sehingga pihak yang terlibat dapat menyimpan dengan aman dan transparan karena melalui proses enkripsi dan verifikasi dari semua pihak terkait[6]. Cara ini akan mereduksi waktu, biaya, tenaga kerja, keterkaitan pihak ketiga dalam setiap transaksi pemasokan. *Customer* juga dapat memeriksa kebenaran atau status apa pun dari produk yang masuk dan memantau asal usul informasi produk tersebut untuk mengamankan data transaksi.

Beberapa penelitian terkait mengenai tema ini adalah Sering terjadi permasalahan manajemen informasi konstruksi yaitu catatan konstruksi, pekerjaan yang dilakukan, jumlah material tercatat, fase pemeliharaan fasilitas[7]. Sehingga perlunya mengidentifikasi area aplikasi potensial, siklus hidup konstruksi, pengetahuan manajemen proyek, dan evaluasi proyek[8]. Pada desain percetakan 3Dimensi merupakan inovasi baru dalam memfasilitasi pasar desain pabrik manufaktur[9].

Permasalahan lainnya adalah *supply chain management* dalam pencatatan data di lapangan seperti Penundaan, Kemacetan, Komunikasi yang buruk dan kurangnya akuntabilitas diperlukan suatu teknologi integrasi rantai pasok yang dapat mengurangi kemacetan dalam rantai pasokan, mencegah pencurian data, keaslian produk (membedakan bagian asli, *copy* atau palsu)[10][11]. Teknologi ini dapat meningkatkan kolaborasi dari berbagai pihak kepentingan, mengurangi waktu tunggu, meningkatkan transparansi, keterlacakan, efisiensi, kepercayaan, transparansi dan peraturan, keterbatasan waktu, dan memudahkan pengumpulan data primer[12][13].

Model Informasi pada *smart building* saat ini mendukung pengambilan keputusan pada setiap prosesnya. Pengembang memberikan solusi menggunakan desain “*Smart Building*” dalam mendesain beberapa bangunan *Dynamics BIM*[14]. Konsep *smart building* mengukur kinerja secara inovasi untuk berinteraksi dengan sistem bangunan dalam memonitoring dan merespons keadaan[15].

Smart Building dan *Smart City* menawarkan konsep penyelesaian masalah menggunakan *blockchain* yang digunakan untuk manajemen proyek konstruksi, rantai pasok dan *real estate*. Teknologi ini untuk menghindari malpraktek terkait dengan sipil karena terdapat transparansi data dengan Kontrol akses gedung, pengelolaan peralatan dan bangunan[16]. Adapun *decentralized* digunakan untuk akses kontrol meta data dan *smart contract* pada *blockchain* yang dimanfaatkan sebagai sistem kontrol karyawan dalam mode kontrol karyawan, *Query API* dan *Simulated BACnet API*[17].

Smart Buildings dikembangkan menggunakan *blockchain* dan IoT untuk mentransfer informasi dan pengelolaan data dalam akses kontrol, energi, *mobile tools*, *building* kontrol, dan *environmental protection*[18].

Teknologi *blockchain* memiliki potensi untuk mendesain 3D ke 7D dalam bidang building informasi. Hal ini untuk memantau bahan konstruksi dan mengotomatisasi proses logistik. [19] Pengembangan integrasi kebutuhan dalam ekosistem bangunan pintar[20]. Teknologi BIM, IoT, dan *blockchain* terintegrasi dalam desain *smart building* untuk mengelola data dan informasi 3D Model *virtual*. Tujuannya untuk keselamatan manusia dan keamanan data dalam mendukung transformasi digital dunia industri[21].

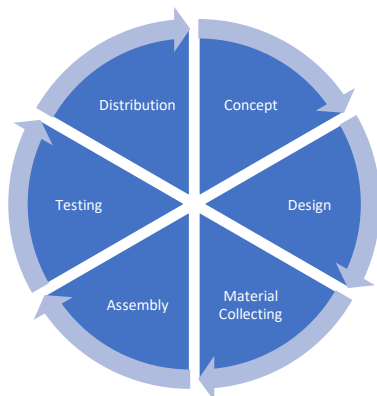
Pada perkembangannya, *blockchain* berkembang dalam *Digital Twin* (DT) dengan mengembangkan representasi digital dari fisik dunia nyata komponen, produk, atau peralatan. DT dapat digunakan untuk desain 3-D, pengujian, simulasi, dan pembuatan prototipe sebelum pembuatan komponen fisik. Setelah komponen fisik beroperasi, DT dapat digunakan untuk konfigurasi, pemantauan, diagnostik, dan prognostik dengan memanfaatkan penyimpanan IPFS terdesentralisasi *server* untuk menyimpan detail DT[22]. Perkembangan *blockchain* menggunakan *Hyperledger fabric* juga dapat diusulkan dalam mengelola kualitas informasi yang transparan dengan menggunakan *smart contract*[23].

Dengan adanya *blockchain* diharapkan dapat menyelesaikan masalah di atas untuk mendapatkan keputusan bersama dan transparansi data. Sehingga dapat menghindari kerugian finansial dan penipuan serta pihak ketiga[24][25][26]. Teknologi IoT dan buku besar *blockchain* alih-alih pencatatan dan verifikasi manual, yang dapat mengurangi interaksi dengan manusia[27]. Teknologi *blockchain* ini dapat dimanfaatkan untuk pencetakan data 3D[28].

Tujuan jurnal ini adalah menerapkan suatu teknologi *Hyperledger Fabric Blockchain* yang digunakan untuk mengelola manajemen arsitek dan konsumen tanpa perantara. Pengelolaan pembangunan/renovasi rumah dengan memanajemen informasi denah rumah 3 dimensi, anggaran dana awal rumah, informasi harga bahan bangunan, dan kebutuhan material setiap harinya. Sehingga proses pembangunan atau renovasi rumah dapat di-tracking dan terpantau secara transparan dan terjamin tanpa pihak ketiga. Penelitian ini menggunakan Metode Pengembangan *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) untuk membuat aplikasinya. Sedangkan untuk penerapan teknologi *blockchain* menggunakan *Software Hyperledger Fabric*. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kepercayaan dan dapat menguntungkan kedua belah pihak antara *customer* dan *developer*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode untuk pengembangan aplikasi. Metode yang digunakan metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Metode ini diperkenalkan oleh Luther, dan dikembangkan lebih lanjut oleh Sutopo seperti yang telah dipaparkan pada penelitian Mulyani dan Andi tentang pengembangan sistem informasi kuliner berbasis Android. Metode ini memiliki 6 tahapan yaitu *concept*, *design*, *material collecting*, *assembly*, *testing* dan *distribution*. MDLC seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 1. MDLC

Penjelasan tahapan MDLC pada gambar 1 di atas adalah sebagai berikut :

a. *Concept*

Dalam tahapan ini ada beberapa tahap yang diperhatikan antara lain:

1. Menganalisis kebutuhan dan kesepakatan Arsitek dan Konsumen dan mengkomunikasikannya pada pihak terkait.
2. Manajemen *Hyperledger Fabric Blockchain* ini berjalan dan dioperasikan melalui aplikasi android dan PC.

b. *Design*

Pada tahapan ini dibuat spesifikasi secara rinci dalam perancangan sebuah *website*. Pembuatan desain rancangan aplikasi bagi menjadi 2 yaitu :

1. *Design Prosedural*

Perancangan desain *Hyperledger Fabric Blockchain* tidak luput menggunakan desain prosedural untuk menentukan urutan atau alur dalam mengakses setiap fungsi yang ada dalam aplikasi ini.

2. *Material Collecting*

Material collecting adalah tahapan pengumpulan materi/bahan, yang dalam hal ini pembuatan *Hyperledger Fabric Blockchain* menggunakan gambar denah rumah 3Dimensi sebagai materi utamanya. Gambar diambil dari beberapa lokasi yang ini dimasukkan ke dalam *hyperledger fabric* dan pengelolaan setiap kegiatan pembangunan rumah atau renovasi rumah yang ada.

c. *Assembly*

Setelah melakukan identifikasi dan perancangan keseluruhan desain dan arsitektur sistem pada tahapan sebelumnya. Pada tahap ini pengembang akan mengubah hasil desain tersebut menjadi kode program *hyperledger fabric*, web yii2 dan blender 3d yang nantinya akan diintegrasikan menjadi sebuah sistem aplikasi yang utuh.

d. *Testing*

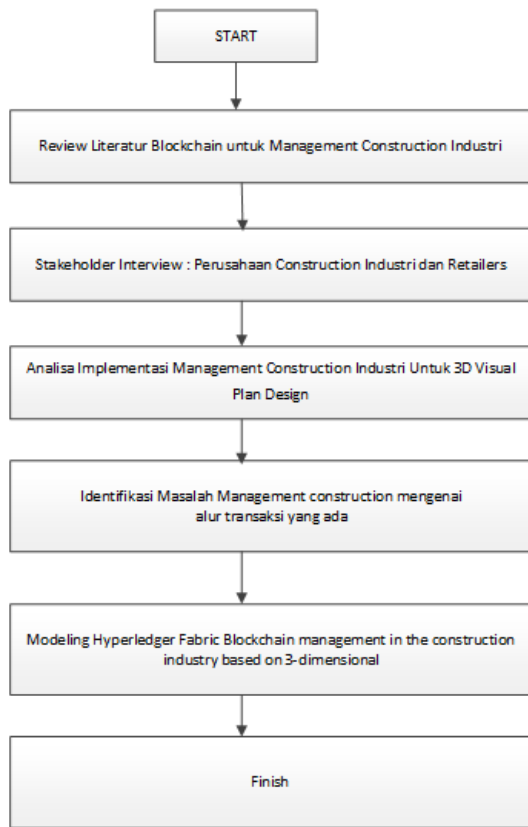
Pada tahapan ini kode pemrograman dan modul sistem yang telah dirancang akan diintegrasikan menjadi sebuah sistem yang lengkap dan juga dilakukan pengujian terhadap fungsionalitas sistem yang telah dibuat dan melakukan pengujian performa transaksi penyimpanan data pada jaringan publik *Hyperledger Fabric Blockchain*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan penelitian ini dimulai dari tahapan konsep sampai dengan pengujian. Berikut adalah tahapannya :

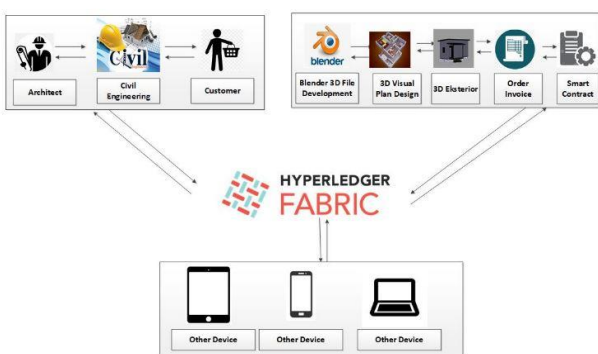
3.1 *Concept*

Tahapan penelitian ini yaitu dimulai dengan mencari literatur tentang *blockchain* arsitek, bertemu *stakeholder*, menganalisis *plan desain*, identifikasi masalah dan identifikasi transaksi dan *modeling* ke *hyperledger fabric*. Tahapan penelitian dapat terlihat pada gambar 2 di bawah ini : [29]



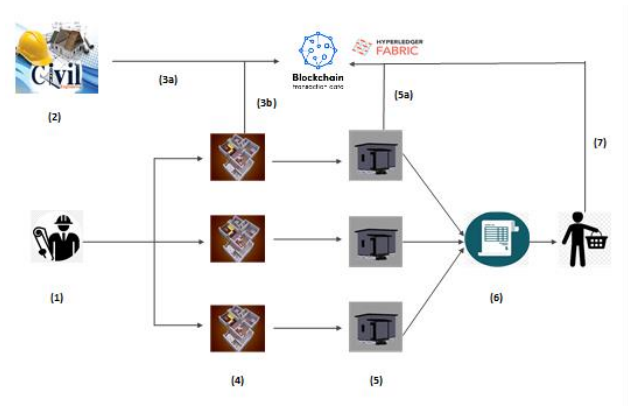
Gambar 2. Research Workflow

Pada gambar 3 terdapat alur desain 3D arsitek menggunakan *hyperledger fabric*. Aktor yang terlibat meliputi Arsitek, *Civil Engineering*, dan *Customer*. Alur transaksi yang dilakukan adalah menggambar desain denah rumah menggunakan Blender 3D *File Development* untuk menghasilkan 3D Visual Plan Design dan 3D Eksterior. Kemudian transaksi akan disimpan pada *hyperledger fabric blockchain*.



Gambar 3. Alur Desain 3D dalam Perusahaan Construction

Aktor yang terlibat dapat melakukan proses *Report Construction Industri*, *Check & Update Status 3D Visual Plan*, *Input Data 3D Visual Plan Design*, *Input Data 3D Eksterior*, *Input Data 3D Eksterior*, *Process Invoice* dan *Check & Update Status Konsumen* seperti gambar 4 di bawah ini :



Gambar 4. Proposed Blockchain Process

Process Description :

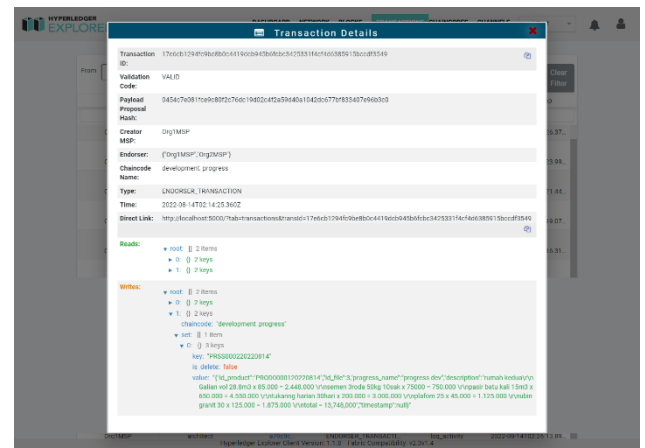
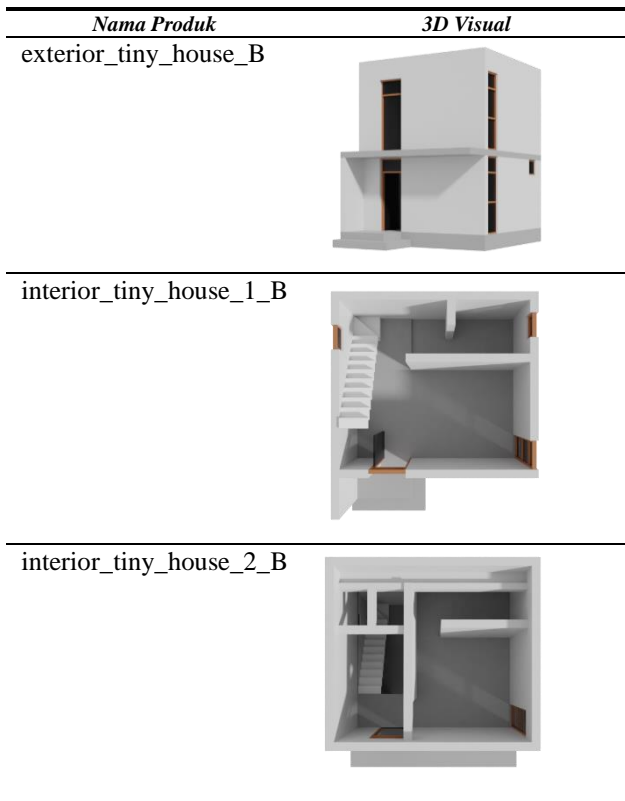
- (1) Arsitek
- (2) Construction Industri
- (3a) Report Construction Industri process
- (3b) Check & Update Status 3D Visual Plan
- (4) Input Data 3D Visual Plan Design
- (5) Input Data 3D Eksterior
- (5a) Check & Update Status 3D Eksterior
- (6) Process Invoice
- (7) Check & Update Status Konsumen

3.2 Design

Pada proses memvisualisasikan gambar denah rumah dalam bentuk 3 Dimensi (3D). Adapun visualisasi 3D denah rumah meliputi bagian *exterior* dan *interior* yang dibuat menggunakan blender 3D. Obyek 3D tersebut sebagai data masukkan ke dalam *hyperledger fabric* untuk pengelolaan proyek pembangunan atau renovasi rumah terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Software dan Hardware

Nama Produk	3D Visual
exterior_tiny_house	
interior_tiny_house	

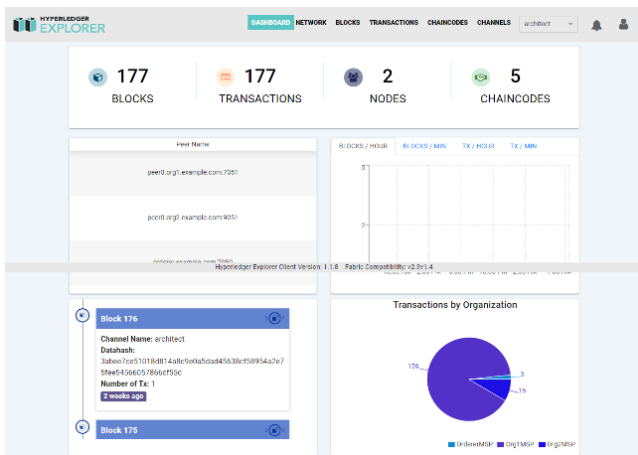


Gambar 6. Detail Transaksi pada Blockchain

Pada tahap ini merupakan rencana yang akan dilakukan pengujian terhadap aplikasi 3D arsitek produk. Langkah pengujian dilakukan penambahan produk 3D arsitek. Selanjutnya pihak konsumen melakukan order transaksi sesuai dengan 3D arsitek yang tersedia, sehingga akan tercatat *log* aktivitas transaksi. Adanya transaksi dalam aplikasi 3D arsitek yang dilakukan oleh konsumen dan direspons oleh admin, maka dengan itu akan tercatat dalam *Hyperledger Explorer Blockchain*.

3.3 Assembly

Tampilan awal *Hyperledger Blockchain Fabric* terlihat pada gambar 5 di bawah ini :

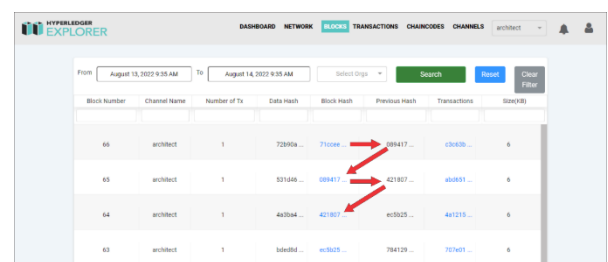


Gambar 5. Hyperledger Explorer Blockchain

Dari gambar di atas terdapat 177 *Blocks*, 177 *transaction* dan 2 *nodes* dan 5 *chaincodes*. Dari setiap transaksi *hyperledger blockchain fabric* menyimpan suatu *record* berisi ID transaksi, *Vallidation Code*, *Payload Proposal Hash*, *Creator MSP*, *Endorser*, *Chaincode Name*, *Type*, *Time*, *Direct link*, *reads*, dan *writes*. Hasil transaksi seperti gambar 6 di bawah ini :

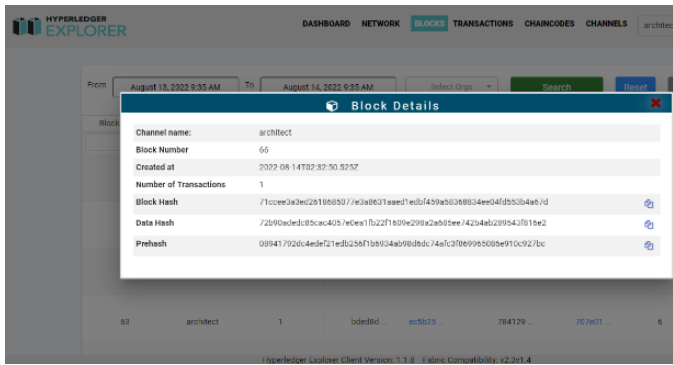
3.4 Testing

Pada tahap ini merupakan rencana yang akan dilakukan pengujian terhadap aplikasi 3D arsitek produk. Pengujian ini menggunakan pengujian skenario dan pengujian *white box*. Tahapan pengujian skenario dengan memberikan skenario transaksi yang dilakukan oleh pihak konsumen. Konsumen melakukan order transaksi sesuai dengan 3D arsitek yang tersedia, sehingga akan tercatat *log* aktivitas transaksi. Adanya transaksi dalam aplikasi 3D arsitek yang dilakukan oleh konsumen dan direspons oleh admin, maka dengan itu akan tercatat dalam *Hyperledger Explorer Blockchain*. Setiap transaksi, data akan tercatat pada *blockchain Hyperledger*.



Gambar 7. Development Progress

Pada gambar 7 di atas terlihat jelas bahwa terdapat *block hash* dan *preview hash*, pada *block hash* 71ccee3a3ed2618685077e3a8613aaed1edbf459a58368834ee04fd553b4a67d tercatat dengan waktu 2022-08-14 02:32:50



Gambar 8. Block Details Block Hash

Setiap detail aktivitas *blocks* seperti gambar 8 di atas telah menyimpan *channel name*, *block number*, *created at*, *number of transactions*, *block hash*, *data hash*, *prehash*.

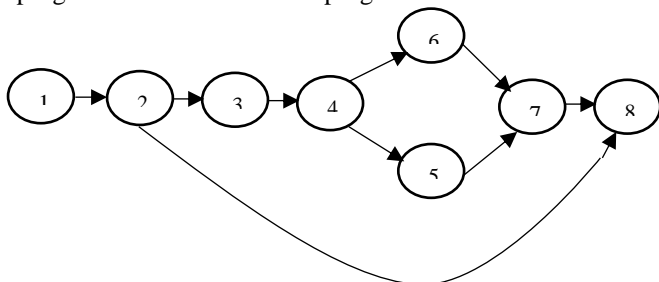
Dari *block number* 65 – 66 tercatat setiap transaksi dengan waktu proses dari 2022-08-14 02:32:47 sampai 2022-08-14 02:32:50. Ketika menyimpan data transaksi ini hanya membutuhkan waktu sekitar kurang lebih 3 detik. Selanjutnya untuk memastikan sistem ini dapat digunakan oleh pengguna dengan baik, penulis akan melakukan pengujian *white box*. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Pengujian White Box

```

async GetAllAssets(ctx) {
  const allResults = [];
  1  const iterator = await ctx.stub.getStateByRange("",
  "");
  let result = await iterator.next();
  2  while (!result.done) {
  const strValue =
  3  Buffer.from(result.value.value.toString()).toString('u
  tf8');
  let record;
  4  try {
  5  record = JSON.parse(strValue); }
  6  catch (err) { console.log(err); record = strValue; }
  7  allResults.push(record);
  result = await iterator.next();
  8  return JSON.stringify(allResults);
  }
  
```

Kode program di atas merupakan alur dari fungsi untuk menampilkan *asset*. Untuk menguji kode program di atas harus diubah ke dalam *node* yang sesuai dengan alur program. Berikut *node* kode program di atas :



Gambar 8. Path Logic

Node (N) = 8 Lingkaran
 Edge (E) = 9 tanda panah
 Predicate = 2 kondisi

Cyclomatic Complexity digunakan untuk mencari jumlah *Path* pada *Flowgraph* dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 V(G) &= E - N + 2 & V(G) &= P + 1 \\
 &= 9 - 8 + 2 & &= 2 + 1 \\
 &= 3 & &= 3
 \end{aligned}$$

Sehingga *Cyclomatic Complexity* adalah 3 *path* atau jalur

- a. 1-2-3-4-6-7-8 (*failed*)
- b. 1-2-3-4-5-7-8 (*success*)
- c. 1-2-8 (*failed*)

4. KESIMPULAN

Pengelolaan manajemen arsitek dan konsumen dilakukan dengan menggunakan teknologi *hyperledger fabric blockchain* sebagai media pengamanan data dan penyimpanan *database* yang telah terenkripsi. Setiap pembuatan produk dalam *website* arsitek dan order transaksi dari konsumen akan tercatat dalam *log activity*. Data yang digunakan dalam proses transaksi menggunakan data 3D visual dari gambar denah rumah menggunakan Blender 3Dimensi. Teknologi ini diharapkan dalam proses kegiatan pembangunan/renovasi rumah dapat dikelola dengan manajemen informasi denah rumah 3 dimensi, anggaran dana awal rumah, informasi harga bahan bangunan, dan kebutuhan material setiap harinya. Sehingga proses pembangunan atau renovasi rumah dapat di-*tracking* dan terpantau proses pembangunan rumah/ renovasi yang transparan dan terjamin tanpa pihak ketiga. Dari hasil pengujian data *block number* 65 – 66 tercatat setiap transaksi memiliki waktu proses dari 02:32:47 sampai 02:32:50, dengan begitu transaksi ini membutuhkan waktu 3 detik. Sedangkan hasil pengujian *White Box* sistem ini dapat berjalan sesuai dengan alur program yang diinginkan. Untuk penelitian selanjutnya sistem ini perlu dikembangkan lebih detail fungsionalnya dan diujikan melalui *User Acceptance Test* sehingga dapat terlihat dengan jelas apakah sistem ini dapat memenuhi kebutuhan pengguna atau tidak.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. H. Cahyana, et al., “Sistem Pendukung Pengambilan Keputusan Penentuan Biaya Pembangunan Rumah,” *Seminar Nasional Informatika 2008, Yogyakarta, Indonesia, 2008* [Online]. Available: <http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/semnasif/article/view/772>.
- [2] S. Perera, et al., “Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry?,” *Elsevier*, 2020, doi: 10.1016/j.jii.2020.100125.
- [3] B. Ageron, et al., “Digital supply chain: challenges

- and future directions,” *Supply Chain Forum: An International Journal*, vol. 21, no. 3, pp. 133–138, 2020, doi: 10.1080/16258312.2020.1816361.
- [4] S. Saberi, et al., “Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management,” *International Journal of Production Research*, vol. 57, no. 7, pp. 2117–2135, 2019, doi: 10.1080/00207543.2018.1533261.
- [5] K. Korpela, J. Hallikas, and T. Dahlberg, “Digital supply chain transformation toward blockchain integration,” 2017, Accessed: Mar. 16, 2023. [Online]. Available: <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/handle/10125/41666>.
- [6] H. Subramanian, “Decentralized blockchain-based electronic marketplaces,” *Communications of the ACM*, vol. 61, no. 1, pp. 78–84, Jan. 2018, doi: 10.1145/3158333.
- [7] Ž. Turk, R. Klinc, “Potentials of blockchain technology for construction management,” *Elsevier*, Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581733179X>.
- [8] K. Kim, G. Lee, S. Kim, “A study on the application of blockchain technology in the construction industry,” *KSCE J Civ Eng*, vol. 24, no. 9, pp. 2561–2571, 2020, doi: 10.1007/s12205-020-0188-x.
- [9] M. Klöckner, S. Kurpjuweit, C. Velu, and S. M. Wagner, “Does Blockchain for 3D Printing Offer Opportunities for Business Model Innovation?,” *Res. Technol. Manag.*, vol. 63, no. 4, pp. 18–27, Jul. 2020, doi: 10.1080/08956308.2020.1762444.
- [10] M. Holland, J. Stjepandić and C. Nigischer, “Intellectual Property Protection of 3D Print Supply Chain with Blockchain Technology,” 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), Stuttgart, Germany, 2018, pp. 1–8, doi: 10.1109/ICE.2018.8436315.
- [11] F. Engelmann, M. Holland, C. Nigischer, and J. Stjepandić, “Intellectual property protection and licensing of 3d print with blockchain technology,” *Adv. Transdiscipl. Eng.*, vol. 7, pp. 103–112, 2018, doi: 10.3233/978-1-61499-898-3-103.
- [12] O. Rodríguez-Espíndola, S. Chowdhury, A. Beltagui, and P. Albores, “The potential of emergent disruptive technologies for humanitarian supply chains: the integration of blockchain, Artificial Intelligence and 3D printing,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 15, pp. 4610–4630, Aug. 2020, doi: 10.1080/00207543.2020.1761565.
- [13] e V. Hargaden, N. Papakostas, A. Newell, A. Khavia and A. Scanlon, “The Role of Blockchain Technologies in Construction Engineering Project Management,” 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), Valbonne Sophia-Antipolis, France, 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICE.2019.8792582.
- [14] A. Volkov, E. B.-P. Engineering, and undefined 2015, “Dynamic extension of building information model for ‘smart’ buildings,” *Elsevier*, Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581501406X>.
- [15] J. Al Dakheel, C. Del Pero, N. Aste, F. L.-S. C. and, and undefined 2020, “Smart buildings features and key performance indicators: A review,” *Elsevier*, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102328.
- [16] V. Plevris, N. D. Lagaros, and A. Zeytinci, “Blockchain in Civil Engineering, Architecture and Construction Industry: State of the Art, Evolution, Challenges and Opportunities,” *Front. Built Environ.*, vol. 8, Mar. 2022, doi: 10.3389/FBUIL.2022.840303/PDF.
- [17] L. Bindra, C. Lin, E. Stroulia and O. Ardakanian, “Decentralized Access Control for Smart Buildings Using Metadata and Smart Contracts,” 2019 IEEE/ACM 5th International Workshop on Software Engineering for Smart Cyber-Physical Systems (SEsCPS), Montreal, QC, Canada, 2019, pp. 32–38, doi: 10.1109/SEsCPS.2019.00013.
- [18] K. Siountri, E. Skondras, D. V.-I. J. of, and undefined 2020, “Developing smart buildings using blockchain, internet of things, and building information modeling,” *igi-global.com*, 2020, doi: 10.4018/IJITN.2020070101.
- [19] P. Akhavan, M. Ravanshadnia, A. Shahrayini, “Blockchain technology in the construction industry: integrating BIM in project management and IOT in supply chain management,” *researchgate.net*, Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Ashkan_Shahrayini/publication/350470148_Blockchain_Technology_in_the_Construction_Industry_Integrating_BIM_in_Project_Management_and_IOT_in_Supply_Chain_Management/links/60620c68299bf1736779341b/Blockchain-Technology-in-the-Construction-Industry-Integrating-BIM-in-Project-Management-and-IOT-in-Supply-Chain-Management.pdf.
- [20] G. Pinto, Z. Wang, A. Roy, T. Hong, A. Capozzoli, “Transfer learning for smart buildings: A critical review of algorithms, applications, and future perspectives,” *Elsevier*, vol. 5, 2022. Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792422000026>.
- [21] I. Lokshina, M. Greguš, W. L. Thomas, “Application of integrated building information

- modeling, IoT and blockchain technologies in system design of a smart building,” *Elsevier*, vol. 160, pp. 497-502, 2019. Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919317582>.
- [22] H. R. Hasan et al., "A Blockchain-Based Approach for the Creation of Digital Twins," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 34113-34126, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2974810.
- [23] B. Zhong, H. Wu, L. Ding, H. Luo, Y. Luo, and X. Pan, "Hyperledger fabric-based consortium blockchain for construction quality information management," *Front. Eng. Manag.*, vol. 7, no. 4, pp. 512–527, Dec. 2020, doi: 10.1007/S42524-020-0128-Y.
- [24] S. Belikovetsky, O. Leiba, A. Shabtai, Y. E. preprint arXiv, and undefined 2019, "3D marketplace: Distributed attestation of 3D designs on blockchain," *arxiv.org*, Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1908.06921>.
- [25] A. Boonpheng, et al., "Blockchain technology and cryptocurrency are databases for contract management in construction engineering," *academia.edu*, Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: https://www.academia.edu/download/66520950/IJARET_12_01_098.pdf.
- [26] A. Boonpheng, W. Kongsong, N. Usahanunth, and C. Pooworakulchai, "Bringing blockchain technology to construction engineering management," *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, vol. 9, no. 1, pp. 172-177, 2020.
- [27] J. Lin, W. Long, A. Zhang and Y. Chai, "Blockchain and IoT-based architecture design for intellectual property protection," in *International Journal of Crowd Science*, vol. 4, no. 3, pp. 283-293, September 2020, doi: 10.1108/IJCS-03-2020-0007.
- [28] S. Ragot, A. Rey, R. Shafai, "IP lifecycle management using blockchain and machine learning: Application to 3D printing datafiles," *Elsevier*, Accessed: May 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0172219019301802>.
- [29] C. Hebert, F. D. Cerbo, "Secure blockchain in the enterprise: A methodology," *Elsevier*, Accessed: Mar. 17, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574119218307193>.