

Blockchain

Blockchain dan Kerangka Kerja Digital yang Terintegrasi untuk Mendukung Pertukaran Informasi Project Studi pada PT Multi Sinar Teknik

Haryanto

Sains dan Teknologi, Sistem Informasi, Universitas Raharja, Tangerang, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 17 Oktober 2024
Revisi Akhir: 19 Juli 2025
Diterbitkan Online: 21 Juli 2025

KATA KUNCI

Blockchain
Kerangka Kerja
Terintegrasi
Pertukaran Informasi

KORESPONDENSI (*)

Phone: -
E-mail: haryanto@raharja.info

A B S T R A C T

Di dalam teknologi blockchain ada banyak prospek yang menjanjikan baik dari sisi analisa serta desain serta dukungan untuk implementasi aktualnya. Serta meneliti tentang suatu pemangku kepentingan yang penting untuk suatu keberhasilan serta penyelesaian suatu sistem informasi proyek. Namun, dalam pemangku kepentingan project masih terfragmentasi, sehingga bisa menghambat suatu informasi yang dapat dipertanggungjawabkan. Dengan cara ini untuk mengatasi masalah dengan mengembangkan serta menguji kerangka kerja digital dan blockchain agar terintegrasi dalam suatu kerangka kerja untuk dapat melakukan komunikasi data yang dicek. digital ini memperbarui pemodelan informasi suatu bangunan dalam waktu dekat dan secara real time menggunakan sensor internet of things, sementara blockchain mengautentikasi dan menambah kepercayaan pada semua data transaksi ke digital. Penulis akan menguji kerangka tersebut dengan proyek yang ada serta kasus dimana pemosisian virtual data dari fabrikasi ditransmisikan ke digital hampir secara real-time, dicatat di blockchain dengan stempel waktu. Hasilnya menunjukkan bahwa suatu kerangka digital dan blockchain terintegrasi untuk membuat semua data transaksi dapat dilacak. Kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan kerangka kerja yang mewujudkan pembagian informasi terkait proyek yang terintegrasi antar pemangku kepentingan.

PENDAHULUAN

Didalam blockchain bisa meningkatkan untuk kemampuan berbagi informasi dan pemrosesan dapat meningkatkan transparansi serta efisiensi. Dalam penerapan blockchain di beberapa aspek perangkat lunak, seperti manajemen data dan perlindungan privasi tantangan serta skalabilitas, keamanan. Kolaborasi yang efisien di antara peserta proyek merupakan faktor kunci dalam hal ini menyelesaikan proyek konstruksi tepat waktu dan sesuai anggaran. Pendahulu kolaborasi adalah berbagi informasi yang dapat dipertanggungjawabkan di antara para pihak peserta [1]. Namun, industri konstruksi terfragmentasi banyak peserta yang tersebar secara geografis bekerja sama menuju tujuan bersama. Fragmentasi ini memicu inkonsistensi dan penundaan komunikasi data di antara para peserta dan menghilangkan kemampuan akun untuk berbagi informasi terkait proyek. Beberapa penelitian mencatat bahwa teknologi digital sangatlah besar potensi untuk mendukung pertukaran informasi di antara peserta proyek [2]. Kembaran digital adalah representasi virtual dari aset fisik, yang sesuai dengan data sensorik yang digunakan untuk merepresentasikan secara visual secara real time informasi. Peserta proyek dapat berbagi informasi terkini terkait proyek informasi dengan representasi yang sering diperbarui. Namun, untuk mengizinkan pertukaran informasi yang akuntabel di antara peserta yang terfragmentasi secara digital, semua transaksi data harus transparan tanpa ada manipulasi potensial. Dengan kata lain, data apapun dalam bentuk digital harus tahan terhadap kerusakan dan dibagikan dengan mudah di antara para peserta. Namun, pengelolaan data digital, termasuk penyimpanan data.

Keamanan, dan pembagian, belum sepenuhnya terwujud. Untuk mengatasi masalah ini, penulis bertujuan untuk mengembangkan dan menguji kerangka digital dan blockchain terintegrasi yang dapat selektif menyimpan dan berbagi informasi penting terkait proyek dengan mudah dilacak. Blockchain adalah teknologi buku besar jaringan peer-to-peer yang mengautentikasi dan menambahkan kemampuan penelusuran pada setiap transaksi data dan diintegrasikan secara digital dalam penelitian ini [3]. Blockchain juga menciptakan mekanisme konsensus yang terdesentralisasi di antara peserta proyek untuk mengotentikasi dan menyetujui integritas dan keakuratan tindakan trans. Hasilnya, informasi apa pun dapat dibagikan dengan aman dan secara transparan, yang membuat semua informasi dibagikan secara digital kembar yang bertanggung jawab. Dengan informasi tersebut, kontrak panjang saat ini dan eksekusi pembayaran dapat diotomatisasi dan dilakukan dengan cepat melalui kontrak pintar, yang merupakan protokol kontrak yang dijalankan sendiri yang dimaksudkan untuk itu secara otomatis memfasilitasi, memverifikasi, atau menegakkan perjanjian sesuai dengan ketentuan suatu kontrak. Konsekuensinya, hal ini akan memfasilitasi lebih efektif kolaborasi di antara peserta yang terfragmentasi, peningkatan efisiensi proyek dan kepuasan pelanggan.

TINJAUAN PUSTAKA

Kembaran Digital dalam Project

Kembaran digital adalah replika virtual dari aset fisik, proses, sistem, atau layanan yang mewakili properti (misalnya, geometri aset), itu kondisi (misalnya, status sumber daya), dan kinerja proyek [5]. Kembaran digital pertama kali diusulkan dalam manajemen siklus hidup produk bidang dan dipelajari di bidang pesawat terbang dan dirgantara sebagai mirroring model untuk mensimulasikan kendaraan, sistem, atau proses yang dibangun. Sejak itu, telah diterapkan di bidang manufaktur, transportasi manajemen, tata kelola tingkat kota, farmasi di bidang industri, layanan kesehatan dan sistem medis, dan kontrak hukum. Teknologi inti dari kembaran digital adalah sinkronisasi data antara aset fisik dan representasi virtualnya. Terkini Kemajuan teknologi internet of things memungkinkan terjadinya digital untuk disinkronkan dengan rekan fisik bahkan secara real time. Sinkronisasi tersebut memungkinkan pemantauan dan analisis data yang efektif (misalnya, simulasi) untuk bagian fisik sepanjang siklus hidupnya untuk memungkinkan pemeliharaan proaktif, mengembangkan peluang baru, dan membuat rencana untuk operasi masa depan.

Dalam suatu proyek konstruksi, pemodelan informasi bangunan adalah representasi digital dari apa yang akan dibangun. Kembaran digitalnya berjalan melampaui untuk pemodelan yang lebih terkini [6]. Dengan bantuan dari Dengan sensor IoT yang diberdayakan, kembaran digital ini dapat menjadikan BIM sebagai instrumen hidup, yang secara otomatis memperbarui pemodelan. Selain itu, kembaran digital dapat digunakan untuk mensimulasikan skenario menggunakan teknik berbasis kecerdasan buatan untuk mengetahui solusi potensial terhadap masalah yang muncul seperti pembengkakan biaya dan penundaan jadwal, yang memungkinkan para praktisi untuk secara proaktif mengambil tindakan pengendalian. Sebelumnya, Lu dkk. Terintegrasi kembaran digital dengan kelas dasar industri dan data operasi dan manajemen harian untuk deteksi dan pengoperasian anomali dan manajemen pemeliharaan dalam sistem. Teknik penambangan data terintegrasi untuk mensimulasikan kedua tugas tersebut pelaksanaan dan kerja sama pekerja. Mereka kemudian meramalkan masa depan proses konstruksi untuk mengoptimalkan operasi konstruksi dengan mengatur pekerjaan dan kepegawaian sesuai dengan kondisi lokasi yang dapat diubah. Menekankan pentingnya kembaran digital yang cerdas mencakup semantik holistik dan terukur serta pentingnya pengetahuan tentang dunia fisik untuk konstruksi yang cerdas dan ramping. Pemodelan terintegrasi dan sistem inspeksi digital menggunakan pemrosesan gambar untuk pemeliharaan jembatan preventif. Studi studi ini menunjukkan bahwa kembaran digital mempunyai potensi untuk memantau kinerja, mendeteksi masalah, menilai skenario bagaimana-jika di ruang virtual dan memperolehnya wawasan berharga untuk manajemen proaktif dan kolaborasi yang efektif dengan pelanggan dalam proyek konstruksi baik dibangun atau di dalam kemajuan.

Salah satu potensi manfaat penting dari memiliki kembaran digital di proyek konstruksi adalah untuk mendukung komunikasi data antar proyek peserta. menerapkan kembaran digital untuk proyek stasiun kereta bawah tanah. Menerapkannya pada proyek pembangunan rumah untuk memfasilitasi komunikasi tim yang lebih baik pemangku kepentingan. Menggabungkan kembaran digital dengan augmented reality untuk komunikasi data dan pendidikan yang mendalam. Menyarankan berbagi informasi kota pintar kerangka kerja berdasarkan sistem informasi geografis. Mereka telah mencatat agar peserta proyek dapat berbagi informasi tentang masa kini dan masa depan tugas dengan representasi kembaran digital. Studi - studi ini menunjukkan bahwa kembaran digital dapat menjadi alat komunikasi data yang kuat dalam konstruksi, namun mereka belum melakukannya dibahas sepenuhnya bagaimana komunikasi tersebut pada akhirnya mengarah pada efektif kolaborasi tim. Agar kembaran digital dapat mendukung kolaborasi sejati yang lebih dari

sekadar alat komunikasi, semua representasi dari kembaran digital harus ada dapat diandalkan. Jika representasi tersebut cukup dapat diandalkan untuk memeriksa pendapat peserta, kinerja, juga dapat digunakan untuk pemeriksaan kepatuhan terhadap kontrak. Pemeriksaan kepatuhan melibatkan penentuan apakah para peserta telah menyimpan catatan sesuai dengan kontrak yang telah disepakati sebelumnya, menjamin bahwa pekerjaan dalam suatu proyek berjalan sesuai rencana dan sesuai dengan persyaratan dan standar. Dalam digital, pemodelan dapat dibandingkan dengan BIM sesuai rencana secara otomatis untuk pemeriksaan kepatuhan, sehingga memungkinkan kontraktor mengambil keputusan yang tepat dan lebih cepat mengenai pelaksanaan kontrak dan pembayaran. Yang dapat mengurangi perselisihan dan konflik antar peserta yang pada akhirnya mengarah pada kolaborasi tim yang efektif.

Namun, karena representasi virtual dalam kembaran digital sering kali terjadi diperbarui untuk menunjukkan keadaan aset fisik secara real-time, data dari digital kembar rentan terhadap penulisan ulang. Data historis virtual aset bisa hilang setelah kembaran digital ditimpa. Data historis dari aset virtual dapat mencatat kinerja sub-kontraktor, kemajuan rincian proyek, dan status kepatuhan proyek semuanya adalah data penting terkait proyek yang diperlukan untuk kolaborasi penuh kepercayaan. Oleh karena itu, ketika menggunakan digital untuk informasi yang dapat dipertanggungjawabkan berbagi, setiap tindakan yang tertimpa harus dicatat dengan aman dan tercatat. Dengan kata lain, semua data dalam digital harus disimpan dengan cara anti rusak dan dibagikan dengan mudah dilacak. Namun, pengelolaan data merupakan kembaran digital, termasuk penyimpanan dan pembagian data, yang mana yang seharusnya tidak dapat diubah dan ditelusuri belum sepenuhnya terealisasi

Potensi Teknologi Blockchain

Baru-baru ini, beberapa peneliti telah mencatat bahwa potensi nilai teknologi blockchain dalam pengelolaan data aset digital di hal penyimpanan data, keamanan, dan berbagi Teknologi blockchain adalah buku besar jaringan terdistribusi peer-to-peer yang terdesentralisasi terdiri dari urutan blok kronologis [7]. Setiap blok berisi kriptografi dari blok yang ada sebelumnya, stempel, waktu, serta data dan transaksi. Adanya data yang disimpan di blok tidak dapat diubah berlaku surut, tanpa perubahan seluruh blok berikutnya. Juga, di jaringan peer to peer, anggota menyimpan salinan data mereka, dan semuanya anggota mengautentikasi pembaruan apa pun. Dengan demikian, data apa pun bisa dibagikan tidak dapat diubah dan dapat ditelusuri tanpa perantara misalnya bank. Blockchain pada awalnya dirancang sebagai sistem untuk menjalankan digital mata uang kripto, Bitcoin. Namun, hal ini juga telah diterapkan di banyak tempat berbagai bidang seperti manajemen rantai pasokan pelestarian privasi, pemungutan suara elektronik, dan manajemen data besar. Dalam industri konstruksi, blockchain telah diterapkan pada IoT keamanan data di lokasi konstruksi untuk transaksi data yang lebih andal, manajemen informasi selama tahap siklus hidup bangunan, pembayaran otomatis, dan kontrak cerdas. Lebih khusus lagi, banyak penelitian berfokus pada potensi manfaat rantai blok untuk berbagi data pemodelan. Menyarankan model blockchain berbasis cloud seluler untuk audit modifikasi pemodelan dan asal. Mereka berpendapat bahwa model mereka dapat menjamin data pemodelan integritas dan memfasilitasi akses informasi pemodelan di mana-mana. Menyarankan metode pemeriksaan kepatuhan kode otomatis berdasarkan pemodelan dan blockchain untuk penerapan kontrak pintar. Menyarankan pendekatan transaksi diferensial semantic meminimalkan redundansi informasi dalam proyek BIM. Model mereka menangkap riwayat versi proyek pemodelan dengan stempel waktu untuk menyinkronkan perubahan pemodelan di antara peserta proyek. Studi-studi ini menunjukkan hal itu blockchain dapat membuat data pemodelan dapat dilacak, tidak dapat diubah, dan dapat dikirimkan tanpa perantara sehingga mempercepat alur kerja pemodelan selama konstruksi. Oleh karena itu, ini mungkin merupakan manfaat berharga bagi kembaran digital konstruksi membutuhkan pemodelan sebagai input data utama. Namun, karena ketidakefisiennya dalam menyimpan data besar, blockchain menjadi pilihannya pada dasarnya tidak dirancang untuk penyimpanan data. Misalnya, Bitcoin bisa menyimpan data berukuran 1 megabyte dalam satu blok dan memerlukan waktu 10 menit untuk memperbarui dan berbagi blok baru. Oleh karena itu, sulit untuk menyimpan dan berbagi semua data sensor dan file pemodelan bawaan dari kembaran digital di blockchain. Oleh karena itu, kapan menerapkan blockchain pada pengelolaan data kembaran digital, hanya saja pembaruan penting yang penting untuk kolaborasi harus dilakukan secara selektif disimpan dan dibagikan. Selain itu, belum dapat dibuktikan bahwa seluruh data dalam kembaran digital yang berkembang hampir secara real-time dapat dibagikan secara terlacak blockchain tersebut dengan penyimpanan terbatas.

Kerangka Kerja Blockchain yang Terintegrasi

Komunikasi data yang dapat dilacak Untuk mengamankan ketertelusuran data dari kembaran digital sekaligus mengatasi masalah tersebut penyimpanan blockchain yang terbatas, penulis bertujuan untuk mengembangkan yang terintegrasi kerangka kembar digital dan blockchain yang dapat menyimpan dan secara selektif berbagi informasi penting terkait proyek dengan mudah dilacak. Blockchain mencatat semua transaksi data yang terjadi di kembaran digital dengan dapat dilacak, menjadikannya cukup transparan untuk transaksi yang andal. Dengan itu transaksi yang andal, kembaran digital

dapat melakukan pemeriksaan kepatuhan menghasilkan pernyataan kepatuhan yang dapat dibagikan secara terlacak di jaringan blockchain. Pernyataan kepatuhan memverifikasi apakah semua kemajuan peserta proyek mematuhi perjanjian yang telah ditentukan atau aturan. Para peserta hanya dapat membagikan pernyataan kepatuhan ini, yang mana memungkinkan informasi penting terkait proyek untuk dibagikan secara terlacak jaringan blockchain tanpa perlu menyimpan semua data. Ini menjadikan kerangka kerja kami efisien dan akuntabel, sehingga memfasilitasi kolaborasi.

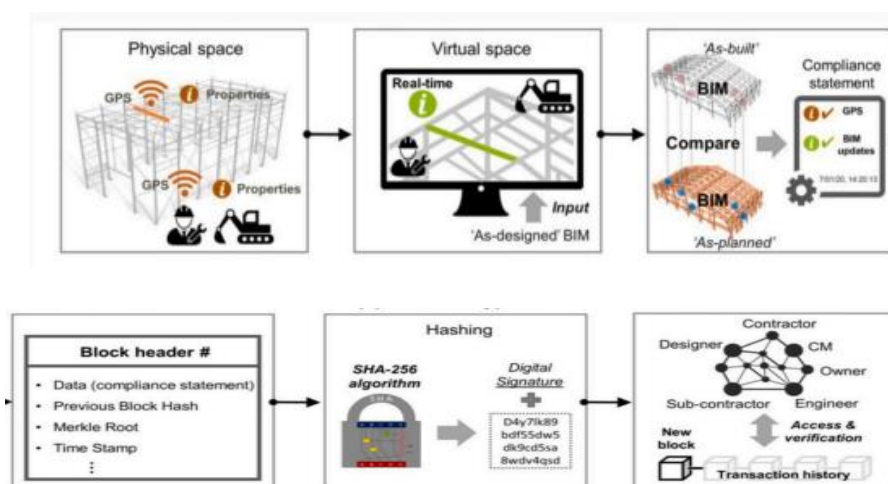
Ikhtisar Kerangka Kerja

Kerangka kerja dan blockchain yang terintegrasi terdiri dari enam komponen seperti yang ditunjukkan di dalam Gambar 1. Suatu kerangka kerja ini menunjukkan bagaimana memproyeksikan data dikumpulkan di lokasi konstruksi dan memperbarui pemodelan yang sudah dibangun di kembaran digital. Juga menjelaskan bagaimana pemodelan yang dibangun berkembang waktu, dapat diubah menjadi pernyataan kepatuhan dan bagaimana pernyataan dapat disimpan dan dibagikan secara terlacak di antara peserta proyek di jaringan blockchain dengan penyimpanan terbatas. Inti gagasan ini Kerangka kerjanya adalah jaringan blockchain tidak menyimpan semua data dari sensor atau kembaran digital, tetapi hanya menyimpan dan membagikan 'kepatuhan' pernyataan' yang penting untuk kolaborasi.

Secara khusus, sensor IoT yang terpasang pada aset fisik mengumpulkan data sensor waktu nyata dari lokasi konstruksi dan mengirimkan data ke ruang virtual dalam kembaran digital. Pembaruan kembar digital model yang dibuat dengan menggabungkan data sensor dan pemodelan yang dirancang ruang virtual, dan memeriksa kepatuhan dengan pemodelan yang direncanakan. Pemeriksaan kepatuhan tersebut memastikan apakah semua peserta proyek kemajuan mematuhi perjanjian dan aturan yang telah ditentukan. Hasil dari pemeriksaan tersebut didokumentasikan sebagai pernyataan kepatuhan yang sah dokumen efektif yang mengkonfirmasi catatan semua peserta proyek. Catatan berfungsi sebagai informasi penting untuk kolaborasi karena kontraktor dapat mengambil keputusan yang tepat dan cepat terkait dengan pelaksanaan kontrak dan pembayaran berdasarkan catatan. Lagi yang penting, pernyataan kepatuhan tidak memerlukan data yang besar penyimpanan karena hanya menyimpan catatan peserta sebagai pernyataan proposisi dan logika daripada menyimpan semua data sensor atau data pemodelan yang dibangun dengan format data asli. Akibatnya, pernyataan disertakan dalam header blog bersama dengan informasi blog sebelumnya, Merkle root, yang merupakan ringkasan dari semua transaksi dalam suatu blog dan stempel waktu di blockchain. Header blognya adalah dienkripsi dengan tanda tangan digital dan nilai hash melalui SHA-256 algoritma yang merupakan fungsi hash kriptografi untuk mengkonversi blog menjadi string 256 byte. Header blog, tanda tangan digital, dan hash digabungkan untuk menghasilkan blog baru dan kemudian dirangkai baru ke blockchain sebelumnya. Semua peserta proyek mengakses dan memverifikasi blockchain tersebut dapat dilacak sehingga mereka dapat berbagi proyek terkait informasi secara transparan.

Sistem arsitektur

Arsitektur sistem dari kerangka yang disarankan ditunjukkan Arsitektur sistem menunjukkan rincian alur transaksi data dan platform yang digunakan secara rinci. Juga, arsitektur ini menunjukkan bagaimana blockchain mengeksekusi semua transaksi dalam kembaran digital dengan aman dan proses yang dapat dipercaya, yang membuat pernyataan kepatuhan disediakan oleh kembaran digital yang cukup andal untuk digunakan dalam pelaksanaan kontrak [4].



Gambar 1. Kerangka digital dan blockchain yang terintegrasi

Sensor IoT mengumpulkan data sensorik real-time dari lokasi konstruksi dan mengirimkannya ke meja kerja blockchain. sebuah platform layanan cloud, adalah diadopsi untuk platform blockchain karena menyediakan semua modul untuk layanan blockchain termasuk hub IoT, server web, penyimpanan cloud, dan jaringan blockchain. Blockchain Azure menggunakan berbasis Ethereum Protokol buku besar kuorum dirancang untuk pemrosesan berkecepatan tinggi transaksi pribadi dalam sekelompok peserta yang berwenang. Secara khusus, hub IoT Azure berlangganan dan memvalidasi data sensor IoT [3]. Data sensor ini disimpan dalam buku besar terdistribusi yang terpisah database besar yang dapat diakses oleh node mana pun di blockchain. Itu buku besar terdistribusi tidak dirancang untuk berbagi data secara real-time, namun bisa menyimpan semua data sensor secara historis untuk cadangan, dan data ditransfer ke platform digital. Sistem digital dibangun dengan Technologies. Unity adalah salah satu mesin permainan yang berjalan pada kerangka. Unity mendukung plug-in untuk data pemodelan transfer dan sinkronisasi sensor, visualisasi real-time, dan banyak lagi modul fungsi khusus yang diperlukan untuk dapat diimplementasikan. Memungkinkan pencelupan ke dalam sistem bawaan pemodelan untuk pemantauan kemajuan dengan berlangganan data sensor dan BIM yang dirancang. Tiga modul fungsi diimplementasikan dalam digital platform kembar yaitu; monitor kemajuan, analisis bagaimana-jika, dan pemeriksa kepatuhan. Monitor kemajuan adalah visualisasi arus aset fisik yang memastikan bahwa peserta proyek memiliki pemikiran yang sama dan pemahaman atas langkah-langkah yang harus mereka ambil untuk menyelesaikannya proyek sesuai rencana. Analisis bagaimana-jika adalah alat simulasi untuk mengantisipasi potensi masalah dan skenario konstruksi di masa depan untuk mengambil tindakan proaktif. Misalnya, kontraktor mungkin mencari bahan bangunan alternatif ketika bahan bangunan tertentu tidak tersedia di pasar, maka mereka menilai biaya alternatif dan rencana jadwal. Kepatuhan pemeriksa adalah alat untuk menghasilkan pernyataan kepatuhan dengan membandingkan BIM yang direncanakan dan BIM yang sudah dibangun untuk pelaksanaan kontrak berikutnya dan atau pembayaran. Setiap data dari ketiga modul ini terhubung ke buku besar terdistribusi dan node transaksi blockchain melalui Unity.

Di suatu titik akhir untuk menyimpan dan berbagi data masing-masing. Buku besar yang didistribusikan dapat menyimpan semua data terkini dari digital kembar secara historis terlepas dari ukuran filenya, tetapi tidak dirancang untuk itu berbagi data secara real-time. Di sisi lain, transaksi blockchain node bertanggung jawab untuk bertindak sebagai titik komunikasi para peserta dan berbagi transaksi blockchain hampir secara real-time. Node transaksi adalah node lengkap yang berarti berisi salinan lengkap dari node tersebut riwayat transaksi blockchain untuk memverifikasi semua transaksi dan blok. Karena hanya sedikit peserta proyek yang ditunjuk node dalam proyek konstruksi dan berbagi pernyataan kepatuhan, seluruh riwayat transaksi (yaitu node penuh) dapat disimpan di cloud dan dibagikan hampir secara real-time. Node diatur oleh yang ditugaskan peserta proyek yang masuk ke Azure Active Directory dengan mereka komputer pribadi melalui remote procedure call yaitu protokol yang dapat digunakan oleh satu program untuk meminta layanan dari suatu program terletak di komputer lain dalam suatu jaringan. Node dapat membuat transaksi ke jaringan blockchain serta dapat mengakses secara terdistribusi buku besar dan Persatuan. Jaringan blockchain adalah jaringan peer-to-peer, dirancang hanya untuk berbagi pembaruan penting yang dapat ditelusuri hampir secara real-time. Dengan demikian, seluruh transaksi data dari sensor ke digital tersimpan di dalamnya buku besar yang didistribusikan untuk cadangan, dan pembaruan penting yang penting untuk pengambilan keputusan yang cepat dapat dibagikan secara selektif di blockchain jaringan.

Untuk menunjukkan bahwa kerangka kerja yang dikembangkan beroperasi sebagaimana dimaksud, studi kasus disajikan di bagian ini. Dalam studi kasus, membuat proyek konstruksi robot mengangkut dan merakit prefabrikasi ke membangun jembatan tiruan skala kecil. Dalam konstruksi robotik ini, robot disinkronkan dengan robot virtual dalam kembaran digital melalui robot sistem operasi yang merupakan sekumpulan perpustakaan perangkat lunak dan alat yang dapat digunakan untuk mengontrol gerak robot nyata [8]. Jadi, kesetiaan yang tinggi simulasi untuk konstruksi robot dimungkinkan dalam kembaran digital. Juga, konstruksi robot memungkinkan presisi dan akurasi secara keseluruhan semua proses konstruksi, yang menjamin kualitas, dan dengan demikian membantu digital melakukan pemeriksaan kepatuhan yang lebih andal. Dengan ini pemeriksaan kepatuhan yang andal, penulis hanya dapat fokus pada kinerja ketertelusuran informasi, yang merupakan tujuan kerangka kerja ini. Dalam studi kasus ini, penulis bermaksud untuk memverifikasi bahwa perkembangan tersebut digital dari waktu ke waktu yang mencakup ukuran file besar BIM dapat menghasilkan pernyataan kepatuhan yang dapat dibagikan secara abadi dan dapat ditelusuri melalui jaringan blockchain. Verifikasi ini juga akan mengkonfirmasi bahwa digital data historis kembaran dapat disimpan tanpa menimpa masalah dan dibagikan secara terlacak dalam jaringan blockchain dengan penyimpanan terbatas menunjukkan potensi kerangka kerja yang diusulkan.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa fase berbeda untuk mengembangkan dan menilai kesiapan sistem berbasis blockchain, serta kerangka kerja. Serta secara sistematis untuk mengatasi masalah pertukaran informasi serta sistem berbasis blockchain, Skenario pengujian untuk verifikasi adalah sebuah robot fabrikasi yang saling bertautan dari tempat penyimpanan ke lokasi perakitan dan merakitnya untuk membangun jembatan tiruan skala kecil. Itu konstruksi terdiri dari beberapa dengan 4 tipe berbeda, dan sesuai rencana pemodelan serta urutan perakitan direncanakan pada terlebih dahulu, seperti yang ditunjukkan. Ukuran file asli sesuai rencana pemodelan adalah 512 megabyte. Dalam skenario pengujian ini, penulis berasumsi bahwa virtual bersifat hipotetis sensor yang dapat melacak lokasi dipasang pada masing-masing lokasi fabrikasi dan mengirimkan lokasi ke digital secara real time. Setiap kali batu bata dirakit, kembaran digital akan memeriksanya kepatuhan untuk memastikan bahwa lokasi dan bahan sesuai pemodelan yang direncanakan. Untuk kesederhanaan pengujian, kami memeriksanya kepatuhan hanya pada lokasi dan jenis batu bata, tetapi kepatuhan lainnya juga dapat diperiksa di tempat yang sama. cara jika diperlukan. Hasil pemeriksaan kemudian didokumentasikan sebagai pernyataan kepatuhan, yang disimpan di blok baru, dienkripsi dengan tanda tangan, dikirim ke blockchain, dan kemudian dibagikan dalam jaringan blockchain yang terdiri dari 6 proyek. node peserta (misalnya, pemilik, kontraktor, dan subkontraktor). Setelah node peserta menerima blok baru, mereka mengautentikasinya blok dengan tanda tangannya. Jika tanda tangan mereka cocok dengan tanda tangan, node tersebut dapat mendekripsi blok dan menyetujui rantai blok baru ke blockchain saat ini. Setiap pembuatan blok diverifikasi oleh konsensus di antara mayoritas peserta dalam jaringan. Dengan kata lain, bila lebih dari 51% node menyetujui pembuatan blok baru, blok tersebut dirangkai dan dibagikan di antara semua node terlepas dari pendapat orang lain. Untuk menunjukkan proses konsensus ini, node blockchain tidak memiliki tanda tangan yang valid. Untuk menganalisis ketertelusuran komunikasi data, penulis mengembangkan dashboard yang mencatat semua data transaksi. Dashboard ini digunakan baik untuk menelusuri data transaksi di digital dan transaksi data antar node berbeda dalam rantai blok. Setiap aktivitas terbaru dalam kerangka kembar digital dan rantai blok terintegrasi selama skenario kasus muncul di sini dalam hal kapan dan siapa yang mengubah apa dan bagaimana.

Dalam penelitian ini yang tentang minat yang signifikan di dalam mengembangkan suatu sistem berbasis blockchain sharing pertukaran informasi. Mengingat akan potensi teknologi yang ada khususnya blockchain serta kemajuan telah dicapai, sangat penting bagi momentum suatu pengembangan kerangka kerangka kerja atau tujuan dalam membuat prototipe secara cepat. yang mencakup dalam perencanaan, analisis, serta desain, dan implementasi, ada juga pemeliharaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam kepatuhan ini, masing-masing berukuran file sekitar 0,5 kilobyte, dibuat dalam kembaran digital untuk 50 tugas perakitan fabrikasi bata. blok juga dihasilkan untuk membangun blockchain, yang mencakup semuanya informasi terkait proyek dalam skenario kasus. Meskipun pemodelan 526 megabyte digunakan sebagai masukan untuk kembaran digital, blockchain hanya berbagi Dokumen 0,5 kilobyte yang mencakup semua catatan peserta. Setiap setiap kali pembuatan blok baru diminta, blok tersebut dikirimkan secara berurutan 10 node transaksi blockchain, dan diautentikasi oleh setiap node dengan tanda tangan mereka seperti yang ditunjukkan. Jika sebuah node memiliki tanda tangan yang valid, maka node tersebut menyetujui pembuatan blok dan waktu persetujuan dicatat menunjukkan waktu persetujuan rata-rata. Pada menerima permintaan dari node dan mereka menyetujuinya, sedangkan node tidak mampu menyetujui permintaan tersebut karena mereka tidak mempunyai tanda tangan yang sah. Itu alasan untuk tidak memiliki tanda tangan yang sah adalah karena mereka diasumsikan memodifikasi blok sebelumnya. Jika sebuah node memodifikasi yang sebelumnya memblokir data secara sewenang-wenang, nilai hash dan tanda tangannya saat ini diubah karenanya sehingga node tersebut tidak dapat berpartisipasi dalam consensus mekanisme. Mekanisme ini mengecualikan kemungkinan node lain berbagi informasi blok yang salah dengan mengecualikan node yang dimodifikasi blok dari mekanisme consensus. Modifikasi ini adalah sengaja dirancang oleh penulis untuk menguji mekanisme consensus di jaringan blockchain. Ini membantu menjamin bahwa semua node di jaringan rantai blok disinkronkan dan transaksinya dilegitimasi bahkan ketika beberapa node tidak memiliki tanda tangan yang valid.

Penelitian mengusulkan kembaran digital dan blockchain yang terintegrasi kerangka kerja untuk mengamankan ketertelusuran data dan kekekalan digital sambil mengatasi terbatasnya penyimpanan blockchain. Hasil dari studi kasus kami menunjukkan bahwa setiap transaksi terjadi di digital termasuk BIM dengan ukuran file yang besar dapat dibagikan secara terlacak dan abadi di jaringan blockchain dalam bentuk pernyataan kepatuhan dalam waktu 3 detik. Transaksi data

yang dapat dilacak dan tidak dapat diubah dapat dilakukan menciptakan kepercayaan untuk semua data yang dibagikan di antara peserta yang terfragmentasi. Kepercayaan seperti itu dapat membantu penggunaan data yang dikumpulkan selama konstruksi pengambilan keputusan penting. Peserta dapat mempercayai pernyataan kepatuhan dari digital, mereka mungkin menyetujui untuk mengubah keputusan pesanan berdasarkan pernyataan tersebut. Jika peserta proyek memercayai informasi terkait proyek, hal itu bisa terjadi mempengaruhi kontrak dan metode pembayaran proyek konstruksi melalui kontrak pintar. Kontrak pintar dijalankan secara otomatis oleh kode komputer ketika aturan yang telah ditentukan terpenuhi, sehingga menghilangkan kebutuhan akan perantara yang terpercaya untuk melakukan hal tersebut melaksanakan kontrak. Salah satu manfaat penting dari kontrak pintar akan menjadi pembayaran instan. Kontrak pintar bisa dipercepat secara signifikan proses pembayaran kemajuan. Semua peserta proyek akan menyetujuinya kontrak untuk pencapaian konstruksi dan pembayaran terkait. Sekali pernyataan kepatuhan diverifikasi oleh peserta, pembayaran bisa secara otomatis akan diberlakukan. Proses pembayaran ini akan instan dan terus menerus bukan bulanan atau triwulanan, sehingga peserta proyek dapat menghindarinya keterlambatan pembayaran apapun yang memicu konflik dan perselisihan. Satu potensi aplikasinya adalah melakukan pembayaran melalui cryptocurrency. jaringan blockchain yang memungkinkan mereka beroperasi tanpa memerlukan Bank pusat. Cryptocurrency mendukung keuangan lintas batas yang cepat transaksi, yang bermanfaat untuk proyek konstruksi yang terdiri dari banyak perusahaan berbeda dari seluruh dunia. Juga transaksinya biaya cryptocurrency relatif lebih rendah dibandingkan terpusat saat ini bank, sehingga cocok untuk pembayaran kemajuan yang membutuhkan banyak pembayaran terpisah. Komunikasi data yang dapat ditelusuri juga mempunyai potensi manfaat yang baik untuk manajemen rantai pasokan dalam proyek konstruksi. Terutama di metode konstruksi prefabrikasi di mana produk di luar lokasi dari suatu struktur dibangun di luar lokasi dan dikirim ke lokasi konstruksi situs untuk pemasangan di situs itu seperti proyek kasus, rantai pasokan menjadi sangat penting karena kinerja perakitan di lokasi dapat dimaksimalkan ketika produk di luar lokasi dikirimkan situs tepat waktu. Namun, rantai pasokan sering kali memacu banyak orang konflik dan perselisihan yang disebabkan oleh proses kontrak yang terfragmentasi antar peserta. Salah satu penyebab utama inefisiensi biaya atau keterlambatan waktu dalam proyek konstruksi besar berasal dari tidak adanya material yang tepat tempat yang tepat pada waktu yang tepat. Dalam hal ini, jika blockchain membuktikan transparansi dan membangun kepercayaan untuk semua rantai pasokan di luar lokasi produk, proses kontrak tersebut dapat disederhanakan melalui kontrak pintar. Selain itu, peserta proyek dapat menghindari hal tersebut masalah pembayaran tertunda dan dapat membuat eksekusi kontrak lebih cepat pada kontrak pintar dengan data rantai pasokan yang andal, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensinya.

Meskipun makalah ini menunjukkan kelayakan yang disarankan kerangka komunikasi data yang dapat dilacak, ada beberapa isu penting yang perlu dipertimbangkan. Misalnya, bukti konsep blockchain dalam makalah ini adalah blockchain 'pribadi', yang hanya diizinkan di dalamnya peserta proyek dapat berpartisipasi karena proyek konstruksi berisi sejumlah besar data sensitif, seperti hak cipta untuk desain bangunan, harga, perjanjian hukum, dan data keuangan. Blockchain pribadi membatasi akses ke jaringan dan memerlukan izin bagi peserta untuk melihat dan bertransaksi di jaringan, yang menjamin kerahasiaan data sensitif. Selain itu, blockchain pribadi memiliki kinerja transaksi yang tinggi dengan sedikit peserta, sehingga lebih singkat kerangka waktu diperlukan untuk mendapatkan konsensus untuk blok baru daripada yang seharusnya ditawarkan oleh blockchain publik, yang sepenuhnya terbuka dan memungkinkan siapapun untuk berpartisipasi dalam jaringan. Oleh karena itu, rantai blok swasta memastikan 'skalabilitas' yang baik (yaitu, kemampuan untuk mengatasi masuknya sejumlah besar transaksi sekaligus) terutama di industri konstruksi, di mana hanya peserta proyek yang berwenang dalam suatu proyek dapat membuat transaksi. Namun, blockchain pribadi tersebut hanya terdiri dari beberapa node terpercaya yang diberi wewenang oleh entitas pusat sehingga lebih mudah untuk mendapatkan kendali atas jaringan oleh aktor jahat mana pun. Untuk Oleh karena itu, blockchain pribadi memiliki risiko keamanan yang melekat di dalamnya peretasan dan manipulasi data serta kurang terdesentralisasi tata kelola jaringan. Banyak proyek pengembangan blockchain menghadapi masalah ini, yang secara kolektif disebut sebagai blockchain tidak ada buku besar yang dapat memenuhi ketiga properti utama, seperti keamanan, skalabilitas, dan desentralisasi, secara bersamaan.

Penelitian masa depan dalam konstruksi blockchain harus mempertimbangkan trilema ini. Dengan kata lain, seharusnya ada blockchain dikembangkan sedemikian rupa sehingga memaksimalkan peserta proyek dan tingkat akses data untuk peserta harus dianalisis secara kuantitatif. Kemudian, dengan mempertimbangkan karakteristiknya, blockchain yang lebih terdesentralisasi dan sangat aman dapat dikembangkan sambil menghindari masalah skalabilitas. Misalnya, 'desentralisasi' dapat diperkuat dengan mengizinkan node pemain eksternal lain yang dapat diandalkan dapat mengakses blockchain pribadi hanya untuk memverifikasi transaksi. Seperti pemain mencegah beberapa node memiliki kendali mutlak atas transaksi. Selain itu, 'keamanan' dapat ditingkatkan dengan menggunakan metrik keamanan yang lebih tinggi (misalnya, tingkat hash yang tinggi, tanda tangan yang lebih panjang, dan tanda tangan yang kompleks). algoritma

kriptografi). Poin penting di sini adalah keduanya ‘desentralisasi’ dan ‘keamanan’ dapat ditingkatkan dalam rentang tersebut tidak menyebabkan masalah 'skalabilitas' dengan mempertimbangkan kedua transaksi tersebut kinerja platform blockchain dan karakteristik datanya komunikasi dalam proyek konstruksi. Dengan cara ini, 'hibridisasi' blockchain yang menggabungkan dan menyeimbangkan keunggulan keduanya dan blockchain pribadi dapat dikembangkan di masa depan untuk mencapai hasil yang lebih baik komunikasi data untuk proyek konstruksi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam kembaran digital terintegrasi dan kerangka kerja blockchain untuk menyimpan dan berbagi hal-hal penting secara selektif informasi terkait proyek antara lain: Di dalam sistem berbasis blockchain membutuhkan beberapa tahapan untuk pengembangan serta membangun model yang ada untuk mengintegrasikan dari berbagai aspek serta sudut pandang yang komprehensif. Didalam Dasbor blockchain dibuat untuk menganalisis serta menganalisis transaksi data dalam proyek. Hasilnya di dalam artikel ini menunjukkan bahwa dapat menghasilkan pernyataan kepatuhan hampir secara real-time dan dapat dibagikan informasi secara terlacak di antara beberapa peserta proyek yang terfragmentasi tanpa perantara dalam waktu yang singkat melalui penyimpanan terbatas jaringan blockchain. Yang utama kontribusi ini untuk untuk menunjukkan bagaimana digital terintegrasi dan Kerangka kerja blockchain dapat membantu mengamankan data serta informasi dan tidak dapat diubah komunikasi antar peserta proyek. Komunikasi data tabel yang dapat dilacak dan immu dapat menjamin kepercayaan untuk data terkait proyek. Seperti data yang dapat dipertanggungjawabkan dapat sangat mempercepat pelaksanaan kontrak berikutnya, pembayaran, dan bahkan pengambilan keputusan (contohnya revisi pesanan, dan revisi desain, serah terima)

Adapun saran penelitian selanjutnya dapat mengembangkan yang lebih detail tentang blockchai serta Penelitian yang akan datang agar dapat mengeksplorasi dari berbagai metode analisis data serta studi kasus guna meningkatkan beberapa temuan untuk perbandingan sensitivitas serta analisis bias.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.M. Madni, Madni, Lucero, Leveraging digital twin, technology in modelbased systems engineering, 2019, <https://doi.org/10.3390/systems7010007>.
- [2] B.. Mackenzie., Ferguson, X. Bellekens, An assessment of blockchain consensus protocols., for the Internet of Things, 2018 Int. Conf. Internet Things, Embed.
- [3] Dongmin Lee a,.. Sang Hyun Lee a, dkk Integrated digital twin and blockchain framework to support accountable information sharing in construction projects, 0926-5805/© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.
- [4] M. Grieves, Virtually Perfect: Driving Innovative, and Lean Products through Product Lifecycle Management, Space Coast Press, 201
- [5] I Gusti Made Teddy Pradana, Taufik Djatna, Irman Hermadi, and Indah Yuliasih Readiness Assessment Framework and Integrated Participatory Development Approach for BlockchainBased Traceability Systems: Case Study inKintamani Coffee Agroindustry Supply Chain journal Of social computing Volume 5, Number 4, December 2024
- [6] Y. Lu, C. Liu, Wang, H. Huang X Xu, Digital twin, driven smart manufacturing, connotation, reference model applications, and research issues, Robot. Comput. Integr. Manuf. 2020, 101837, <https://doi.org/10.1016/j.rcim>.
- [7] S. Nakamoto Bitcoin: A Peer to Peer, Electronic Cash System, Syst. Commun, IEEE, pp. 2018, 183–190, <https://doi.org/10.1109/IINTEC.2018.8695298>.
- [8] V.J. Morkunas, J. Paschen, E. Boon, How blockchain technologies impact your business model, Bus. Horiz., 2019, 295–306, <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.01.009>.
- [9] Z. Zhu, C. Liu, X. Xu, Visualisation of the digital twin, data in manufacturing, by using augmented reality, Procedia CIRP. 2019, 898 – 903, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.223>.