

Terbit : 12 Desember 2024

Analisis Peranan Teknologi *Blockchain* dalam Pencatatan Data Histori Perbaikan Kendaraan Bermotor

Ahmad Imam Santoso

Akademi Manajemen Informatika dan Komputer Polibisnis

ahmadimamsantoso@gmail.com

ABSTRAK

Pentingnya peran kendaraan bermotor bagi kehidupan sehari-hari terungkap melalui transformasinya dari kebutuhan tersier menjadi kebutuhan sekunder. Di Indonesia, jumlah kendaraan bermotor mencapai 136.191 juta unit pada akhir tahun 2020. Sebagai barang kegunaan sehari-hari, kendaraan tidak lepas dari kerusakan dan keausan, baik dari komponen, suku cadang, ataupun perangkat lainnya yang menjadi bagian kesatuan yang dapat mendukung kinerja dari kendaraan tersebut. Maka atas dasar tersebut, pemilik kendaraan biasanya akan proses perbaikan atau penggantian dari komponen kendaraan tersebut, baik di bengkel resmi atau yang disebut juga ATPM (Agen Tunggal Pemilik Merek) atau juga bengkel yang tersedia secara umum yang dimiliki oleh perseorangan. Namun, seringkali untuk kendaraan yang berpindah kepemilikan, pemilik terakhir seringkali tidak mengetahui histori perbaikan atau histori pemeliharaan kendaraan yang dibelinya secara bekas. Baik dari perawatan atau perbaikan yang dilakukan, dan komponen / suku cadang yang diganti, serta tanggal dan waktu perbaikan. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pencatatan histori perbaikan kendaraan bermotor yang inovatif menggunakan teknologi blockchain. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan aksesibilitas informasi histori perbaikan kendaraan bermotor yang saat ini masih terbatas. Metode penelitian melibatkan perancangan dan implementasi teknologi blockchain, serta melakukan uji coba untuk memverifikasi efektivitasnya dalam mencapai tujuan transparansi dan keamanan data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu memberikan informasi yang lengkap dan terdistribusi kepada masyarakat umum, dapat mengatasi keterbatasan informasi. Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa penerapan teknologi blockchain dapat menjadi solusi yang inovatif dan efektif untuk meningkatkan informasi histori perbaikan kendaraan bermotor. Adapun implikasi dari penelitian adalah peningkatan efisiensi informasi, keamanan dan ketersediaan informasi sehingga berpotensi memberikan dampak positif pada masyarakat umum dan industri terkait.

Kata Kunci: Blockchain, Data, Kendaraan Bermotor, Keamanan Data, Vehicle Identification Number (VIN)

PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor, yang merupakan bagian penting dalam kehidupan masyarakat modern, telah mengalami perubahan besar dalam fungsinya, yang sebelumnya dianggap sebagai kebutuhan tersier kini menjadi kebutuhan sekunder (Lebrouhi et al., 2021). Di zaman di mana mobilitas menjadi faktor utama dalam mendukung aktivitas sehari-hari, kendaraan bermotor tidak hanya berperan sebagai sarana transportasi, tetapi juga sebagai alat angkut barang dan media transportasi massal (Ceder, 2021). Di Indonesia, data dari Regident Centre Koordinasi Lalu Lintas Kepolisian Republik Indonesia menunjukkan bahwa jumlah kendaraan bermotor yang terdaftar mencapai 136.191 juta unit pada tahun 2020 (Baskara, 2020).

Kendaraan yang dipakai untuk kegiatan sehari-hari, dapat mengalami penurunan fungsi

komponen atau suku cadang. Agar fungsi kendaraan bermotor tetap terjaga dalam kondisi prima, proses perbaikan atau penggantian suku cadang perlu dilakukan. Proses perbaikan kendaraan bermotor melibatkan serangkaian langkah yang dilakukan untuk mengembalikan kondisi kendaraan yang rusak atau tidak berfungsi dengan baik agar bisa kembali beroperasi secara optimal. Perbaikan ini meliputi pemeriksaan, diagnosa kerusakan, penggantian komponen, dan pengujian akhir setelah perbaikan. (Soedjatmiko, S, 2005).

Masalah yang sering muncul adalah ketika sebuah kendaraan berganti pemilik melalui proses jual beli, pemilik baru sering kali tidak mengetahui kondisi kendaraan secara keseluruhan, termasuk histori perbaikan, perawatan, dan komponen yang sudah diganti. Oleh karena itu, layanan inspeksi kendaraan bekas menjadi cukup populer untuk memeriksa kondisi kendaraan sebelum dibeli. Kendala-kendala ini menjadi latar belakang penting bagi penelitian ini. Dalam rangka mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pencatatan histori perbaikan kendaraan bermotor yang terintegrasi, aman, dan dapat diakses oleh masyarakat umum. Solusi yang diusulkan adalah dengan memanfaatkan teknologi blockchain untuk memastikan transparansi data, menjaga privasi pengguna, menjamin ketersediaan data, serta mempermudah pembaruan informasi.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengemukakan pandangan mengenai penerapan teknologi blockchain dalam pertukaran data kendaraan bermotor (Astarita et al., 2019; Kaiser et al., 2019; Mollah et al., 2020; Narbayeva et al., 2020; Ren et al., 2019). Penelitian tersebut telah menunjukkan hasil dimana teknologi blockchain dapat digunakan untuk menyimpan dan melakukan pertukaran data kendaraan bermotor yang dapat digunakan secara umum. Dalam penelitian ini akan difokuskan untuk merancang sistem pencatatan histori perbaikan kendaraan bermotor yang sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengatasi masalah kekurangan informasi dalam pencatatan data kendaraan bermotor, meningkatkan transparansi dan keamanan data, serta mempermudah akses bagi masyarakat umum. Dengan merumuskan tujuan tersebut, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan keamanan pengelolaan data kendaraan bermotor di Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

Kendaraan Bermotor

Kendaraan bermotor adalah alat transportasi yang menggunakan mesin sebagai sumber tenaga penggerak utama, baik itu mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) maupun mesin listrik. Kendaraan ini dirancang untuk memudahkan pergerakan manusia atau barang dari satu tempat ke tempat lain di daratan, dengan menggunakan roda sebagai penopang dan penggerak. Kendaraan bermotor biasanya dikategorikan dalam berbagai jenis, seperti mobil, sepeda motor, truk, bus, dan lain-lain. (Soedjatmiko, S. (2005). Kendaraan ini berfungsi untuk mengangkut orang atau barang. Pada umumnya, kendaraan bermotor digerakkan oleh mesin atau motor, yang bisa berupa mesin pembakaran dalam, motor listrik, atau kombinasi keduanya, seperti pada kendaraan hibrida (Fantin Irudaya Raj & Appadurai, 2021). Secara hukum, kendaraan bermotor dibagi ke dalam berbagai kategori, termasuk mobil, bus, sepeda motor, kendaraan off-road, truk ringan, dan truk berat (Pillajo-Quijia et al., 2020). Klasifikasi ini dapat berbeda-beda tergantung pada peraturan hukum yang berlaku di negara masing-masing. Standar ISO 3887:1977 umumnya digunakan untuk mengklasifikasikan jenis, istilah, dan definisi kendaraan bermotor yang digunakan di darat.

Vehicle Identification Number (VIN)

Nomor Identifikasi Kendaraan (Vehicle Identification Numbers atau VIN), yang juga dikenal sebagai nomor rangka atau nomor sasis, adalah serangkaian kode unik yang terdiri dari kombinasi huruf dan angka (Yu et al., 2021). Kode ini digunakan oleh industri otomotif untuk mengidentifikasi kendaraan bermotor seperti sepeda motor, mobil, bus, dan truk. VIN pertama kali diterapkan pada tahun 1954 di Amerika Serikat. Antara tahun 1954 hingga 1981, belum ada standar baku yang mengatur format dan tata letak VIN. Baru pada tahun 1983, standar ISO 3779 diperkenalkan, yang mengatur penggunaan VIN, termasuk format dan struktur urutan huruf serta

angka yang digunakan.

Blockchain

Blockchain pertama kali diperkenalkan pada tahun 2008 sebagai bagian dari mata uang digital Bitcoin oleh penciptanya yang dikenal dengan nama samaran Satoshi Nakamoto (Ducrée, 2022). Bitcoin diciptakan sebagai reaksi terhadap menurunnya kepercayaan pada lembaga keuangan pusat, yang menjadi penyebab krisis keuangan global pada tahun 2007-2008 (Vidan & Lehdonvirta, 2019). Krisis ini dipicu oleh kebijakan bank yang memberikan pinjaman berisiko tinggi, bahkan kepada debitur dengan catatan kredit yang buruk, karena bank sentral pada waktu itu berupaya menaikkan suku bunga. Blockchain sendiri adalah sistem penyimpanan data yang aman dan transparan, yang memungkinkan organisasi-organisasi yang tidak saling mempercayai untuk menjalankan transaksi bisnis yang kompleks (Viriyasitavat et al., 2019). Sistem ini memungkinkan setiap anggota jaringan untuk berbagi salinan data yang sama, sehingga mereka dapat memastikan data tersebut akurat dan selalu terbaru (Lee et al., 2021).

Keamanan Data

Teknologi blockchain menawarkan kemudahan dan tingkat keamanan yang tinggi dalam penyimpanan catatan, di mana setiap data yang ada dalam blok dilengkapi dengan kunci kode unik yang disebut hash. Hash ini dihasilkan melalui penggunaan fungsi matematis kompleks yang mengubah data menjadi format terenkripsi dengan ukuran tetap (Zipmex, 2021). Di era yang sepenuhnya terhubung oleh internet ini, keamanan data menjadi hal yang sangat penting, mengingat peningkatan kasus kebocoran data. Serangan siber tidak hanya berfokus pada pencurian data sensitif, tetapi juga dapat menyebabkan gangguan serius pada operasional bisnis atau layanan penting. Beberapa layanan bahkan hampir mengalami penghentian total selama hampir 24 jam akibat serangan siber, seperti layanan kesehatan, platform streaming film, dan sektor perbankan yang terdampak oleh ancaman siber.

Perbandingan Dengan Penelitian Sejenis

Telah dilakukan berbagai penelitian yang membahas hubungan antara data kendaraan bermotor dan teknologi blockchain. Tabel 1 menyajikan perbandingan antara penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan dilaksanakan.

Tabel 1 : Perbandingan dengan Penelitian yang Sejenis

No	Penulis	Judul	Faktor Pembeding
1	Z. Masoud, Muhammad, et al	Car Chain: A Novel Public Blockchain based Used Motor Vehicle History Reporting System(Masoud et al., 2019)	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pencatatan data kendaraan bermotor dengan memanfaatkan jejaring sosial. Sistem ini menggunakan teknologi blockchain jenis permissionless, yang memungkinkan siapa saja untuk memasukkan data ke dalam sistem.
2	Kei Leo Brousmiche, et al	Digitizing, Securing and Sharing Vehicles Life-cycle Over a Consortium Blockchain : Lessons Learned	Penelitian ini berfokus pada pencatatan histori penggunaan kendaraan bermotor, mulai dari proses perakitan di pabrik hingga sampai ke tangan pengguna akhir. Partisipan yang terlibat dalam proses ini meliputi: manufaktur (pabrik), agen distribusi, agen asuransi, pemerintah, bengkel, dan

No	Penulis	Judul	Faktor Pembeding
			pengguna. Penelitian ini menggunakan framework Quorum dan menerapkan blockchain jenis <i>permissioned</i> .
3	L.Tobing, et al	Pemanfaatan Teknologi Blockchain Dalam Rantai Pasok Suku Cadang Alat Utama Sistem Senjata TNI Angkatan Udara	Penelitian ini fokus pada pemenuhan kebutuhan suku cadang melalui manajemen rantai pasok suku cadang alat utama sistem senjata (<i>alutsista</i>) TNI Angkatan Udara, khususnya melalui mekanisme pengadaan <i>Direct Commercial Sales (DCS)</i> . Namun, masih terdapat celah yang memungkinkan masuknya suku cadang palsu (<i>counterfeit</i>) ke dalam sistem rantai pasok. Hal ini terjadi karena setiap komponen atau subkomponen yang masuk dalam suku cadang <i>alutsista</i> yang diterima dari hasil pengadaan tidak dapat dipastikan keaslian dan validitasnya secara transparan dan terlacak (<i>traceability</i>), karena proses verifikasi tersebut sepenuhnya diserahkan kepada pihak ketiga.

METODE PENELITIAN

Tahap Perancangan dan Pengembangan Solusi

Bagian ini merujuk pada tahap perancangan dan pengembangan solusi dalam metode *Design Science Research Method (DSRM)*. Tahap ini mencakup analisis dan perancangan sistem yang menjadi fokus penelitian. Seluruh proses, mulai dari perancangan hingga implementasi, mengikuti kerangka kerja *System Development Life Cycle (SDLC)*. Berikut adalah pemetaan tahap-tahap perancangan sistem terhadap tahapan dalam SDLC:

Tabel 2 : Pemetaan Kebutuhan Perancangan Sistem

Tahapan SDLC	Tahapan Perancangan dan Implementasi Sistem
Analisis kebutuhan pengguna (<i>User requirement analysis</i>)	Tahap awal dimulai dengan mengidentifikasi sistem yang sudah ada, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menganalisis kebutuhan operasional dan kebutuhan fungsional dalam merancang sistem pencatatan histori perbaikan kendaraan bermotor berbasis blockchain.
Spesifikasi kebutuhan pengguna (<i>User requirements specifications</i>)	
Kebutuhan perangkat lunak (<i>Software requirements</i>)	Pemilihan dan penentuan arsitektur blockchain yang sesuai untuk diterapkan dalam sistem pencatatan histori perbaikan kendaraan bermotor berbasis blockchain.
Desain sistem (<i>System design</i>)	Analisis daftar kebutuhan fungsional dan kebutuhan sistem
Desain fisik (<i>Physical design</i>)	Melakukan desain pada arsitektur jaringan blockchain dan menentukan komponen atau

Tahapan SDLC	Tahapan Perancangan dan Implementasi Sistem
	framework yang digunakan, yaitu menggunakan framework Hyperledger.
Implementasi (<i>Implementation</i>)	Implementasi sistem, mencakup implementasi business network defenition ; hyperledger Composer ; Hyperledger Explorer dan Hyperledger Composer REST Server.
Tahapan pengujian (<i>testing</i>)	Pengujian sistem yang terdiri dari pengujian fungsionalitas sistem, seperti : hak akses, dan pengujian input data. Pengujian non-fungsionalitas sistem, seperti : pengujian API REST Server.

Analisis Kebutuhan

Eksplorasi kebutuhan merupakan langkah awal dalam merancang sistem baru, di mana pendekatan baru diterapkan untuk mengkaji desain sistem yang akan dikembangkan. Pada tahap awal analisis kebutuhan, dilakukan identifikasi alur proses dari sistem yang sudah ada (sistem eksisting), terutama dalam pencatatan data histori perbaikan kendaraan bermotor. Analisis kebutuhan ini mencakup analisis kebutuhan operasional dan kebutuhan fungsional.

a. Analisis Kebutuhan Operasional

Pada tahap ini, dilakukan evaluasi terhadap kebutuhan operasional dalam proses pencatatan informasi histori perbaikan kendaraan bermotor. Evaluasi ini mencakup pemahaman pola kerja sistem pencatatan histori perbaikan kendaraan bermotor yang telah berjalan.

b. Analisis Kebutuhan Fungsional

Hasil analisis subproses bisnis pencatatan data histori perbaikan kendaraan bermotor dari penelitian lain mengungkapkan sejumlah permasalahan yang perlu diatasi. Untuk itu, disusun daftar kebutuhan yang mencakup kebutuhan pengguna, kebutuhan sistem, dan kebutuhan fungsional.

Kebutuhan pengguna : penyusunan daftar kebutuhan pengguna yang akan menggunakan sistem ini ditunjukkan pada tabel 3 berikut ini :

Tabel 3 : Daftar Kebutuhan Partisipan

No	Pengguna	Daftar Kebutuhan
1	Admin Sistem	Admin sistem bertanggung jawab untuk mendaftarkan entitas pengguna data ke dalam sistem.
2	ATPM (Agen Tunggal Pemegang Merek)	Bertanggung jawab untuk pembuatan aset dan informasi dasar kendaraan bermotor berupa VIN (<i>Vehicle Identification Number</i> / nomor rangka), serta pengisian data manufaktur kendaraan bermotor.
3	Dealer	Bertanggung jawab untuk mengisi data kepemilikan pertama kendaraan bermotor beserta data tanggal penjualan kendaraan bermotor pada setiap unit yang dijual.
4	Bengkel	Bertanggung jawab untuk mengisi data perbaikan, berupa : tanggal dan waktu perbaikan, area perbaikan, beserta komponen atau suku cadang yang dilakukan perbaikan atau penggantian.
5	Pengguna Umum	Pengguna umum dapat melihat histori perbaikan kendaraan bermotor dengan melakukan pencarian data berdasarkan nomor rangka /VIN.

Kebutuhan sistem : setelah ditentukan arsitektur *blockchain* yang akan digunakan adalah *permissioned blockchain* maka selanjutnya adalah proses pemilihan *framework* yang akan digunakan dalam proses perancangan sistem ini, yaitu *framework Hyperledger Fabric* yang membutuhkan sumber daya sebagai berikut :

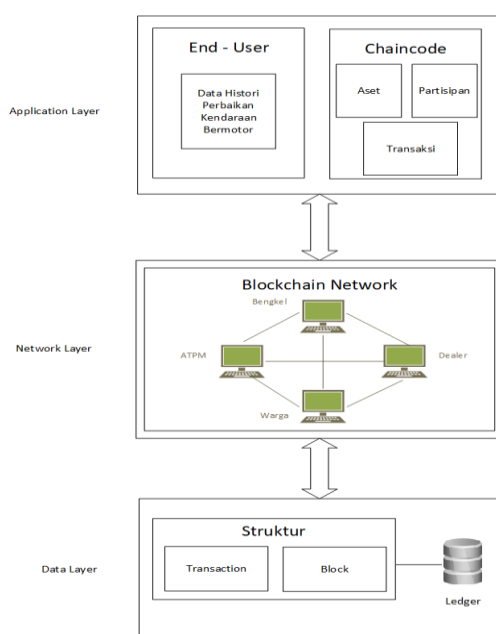
Tabel 4 : Daftar Kebutuhan Sistem Blockchain

No	Komponen	Nama
1	Framework	Hyperledger Fabric (versi 1.1)
2	Prosesor	Intel Core i7-3632QM
3	Memori	DDR3 12GB
4	Sistem Operasi	Xubuntu 16.04 (Xenial)
5	Services	SSH Services
		Docker Engine
		Docker Compose
		NodeJS
		Npm
6	Tools	Golang
		Hyperledger Composer (Versi 0.9)
		Hyperledger Playground (Versi 0.9)
		Hyperledger Explorer (Versi 0.9)
		Composer REST Server (Versi 0.9)
		Composer CLI (Versi 0.9)

Kebutuhan Fungsionalitas : kebutuhan ini berisi proses apa saja yang akan di akomodasi oleh sistem serta bagaimana sistem harus bereaksi pada input tertentu dan bagaimana sistem merespon atau berperilaku pada kondisi tertentu.

Desain Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem pencatatan histori perbaikan kendaraan bermotor berbasis blockchain terdiri dari beberapa lapisan, yaitu *Application Layer*, *Network Layer*, dan *Data Layer*. Desain arsitektur sistem yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

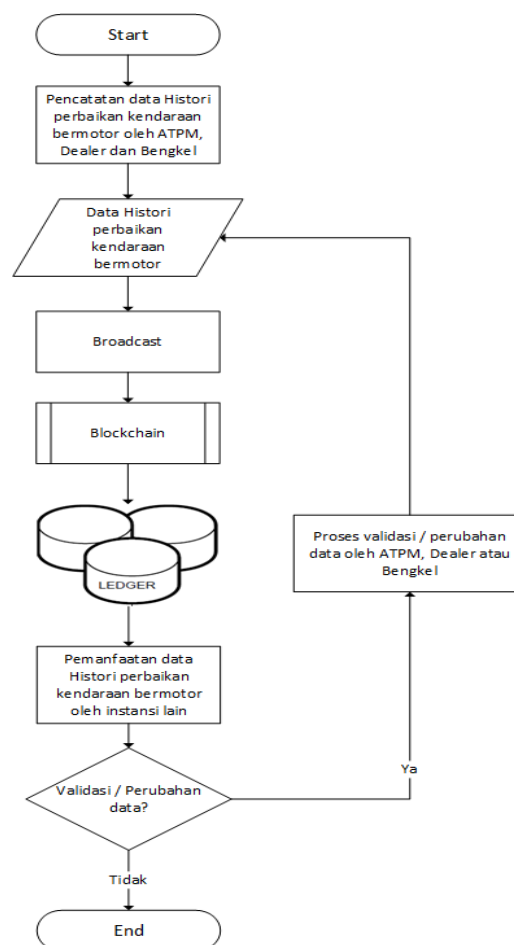


Gambar 1 : Desain Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem blockchain terbagi menjadi tiga lapisan utama. Pertama, *Application Layer* yang berperan sebagai antarmuka interaksi antara aplikasi pengguna akhir dan aplikasi *chaincode*. Aplikasi pengguna akhir terhubung ke jaringan blockchain melalui aplikasi *chaincode*. Kedua, *Network Layer*, yang bertugas mengelola jaringan utama blockchain, termasuk mengatur akses pengguna, memproses transaksi, dan mengelola struktur blok dan rantai. Ketiga, *Data Layer*, yang menyimpan elemen inti blockchain, seperti struktur blok yang terdiri dari *block header* dan *block body*. Seluruh arsitektur ini dirancang untuk mendukung fungsionalitas dan keamanan sistem blockchain secara menyeluruh.

Desain Alur Kerja Sistem Pencatatan Histori Perbaikan Kendaraan Bermotor

Bagian ini menjelaskan langkah-langkah dalam alur kerja sistem pencatatan riwayat perbaikan kendaraan bermotor, yang dirancang berdasarkan desain sistem yang telah dibuat sebelumnya. Alur kerja sistem dapat dilihat pada gambar 2 berikut :



Gambar 2 : Desain Alur Sistem Pencatatan Histori Perbaikan Kendaraan berbasis Blockchain

Penjelasan alur kerja sistem pencatatan data riwayat perbaikan kendaraan bermotor berbasis blockchain, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4, adalah sebagai berikut: informasi kendaraan bermotor dicatat oleh ATPM, dealer, dan bengkel, kemudian data tersebut disimpan dan disiarkan ke dalam sistem blockchain. Setelah proses penyiaran, data direkam dalam *ledger* dan didistribusikan kepada instansi lain yang memerlukan informasi tersebut. Jika terjadi perubahan data kepemilikan kendaraan bermotor, pembaruan dilakukan oleh ATPM, dealer, atau bengkel. Perubahan tersebut kemudian diumumkan kembali, dicatat dalam *ledger*, dan didistribusikan ulang. Jika tidak ada perubahan data, proses dianggap selesai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Lingkungan Kerja Sistem Blockchain

Lingkungan kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa *virtual machine* dengan spesifikasi yang dijabarkan dalam tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 5 : Spesifikasi Lingkungan Kerja Sistem Blockchain

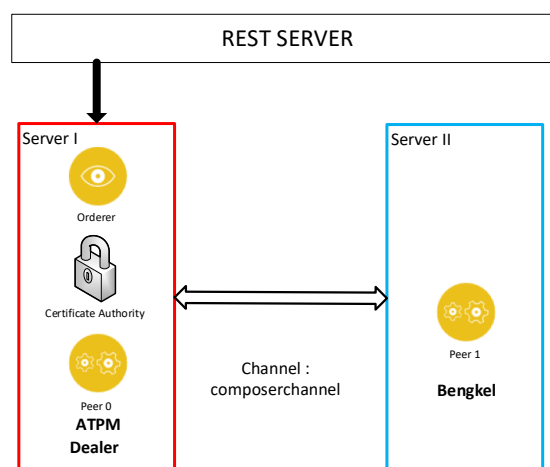
No	Jenis	Nama Komponen	Versi	Ukuran / Jumlah /Keterangan
1	Virtual Machine Framework	OracleVM Virtual Box	6.0.0	1 Unit
2	Sistem Operasi	Linux Ubuntu (Xubuntu)	16 (Xenial)	2 Unit VM
3	Storage	Virtual Hard Drive	-	80 GB/ Unit
4	Memory	Virtual Memory	-	4 GB (Unit 1) 2 GB (Unit 2)
5	Alokasi Prosesor	Virtual prosesor		2 Core (Unit 1) 1 Core (Unit 2)
6	Fitur Virtualisasi	VT-x, VT-d	-	-
7	Koneksi Jaringan			Bridge

Implementasi Sistem Blockchain

Implementasi sistem blockchain melibatkan beberapa tahapan proses yang dilakukan secara bertahap. Tahapan tersebut meliputi:

1. **Instalasi perangkat lunak** untuk komponen dasar sistem blockchain.
2. **Pemasangan dan konfigurasi perangkat lunak framework Hyperledger**, termasuk *Hyperledger Fabric*, *Hyperledger Composer*, *Hyperledger Explorer*, dan *Hyperledger Composer REST Server*.
3. **Proses penyiaran ledger** serta perancangan kode program untuk *chaincode*.
4. **Pembuatan jaringan bisnis (Business Network)** sebagai bagian dari pengaturan sistem.

Jaringan bisnis (*business network*) yang di implementasikan dalam sistem blockchain menggunakan metode P2P (*Peer to Peer*), dimana metode ini melibatkan beberapa perangkat komputer (dalam konteks ini disebut *Virtual Machine*) yang saling terhubung antara satu dengan yang lainnya dengan menggunakan kanal (*channel*) untuk berkomunikasi. Desain jaringan bisnis yang di implementasikan didalam sistem *blockchain* ini dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 3 : Desain Business Network

Jaringan bisnis blockchain terdiri atas 2 penyedia (*server*), Server I berisi komponen *Orderer* yang berfungsi untuk mengatur lalu lintas serta urutan data didalam sistem blockchain, kemudian *certificate authority* yang berfungsi untuk mengatur keamanan akses dan lalu lintas

pertukaran data untuk masing masing partisipan, kemudian ada *peer 0* yang berisi partisipan ATPM dan Dealer, dimana fungsi *peer* adalah tempat melakukan pertukaran data antar partisipan. Lalu di Server II berisi *peer 1* yang berisi partisipan Bengkel. Antara Server I dan Server II dihubungkan dengan sebuah kanal yang diberi nama “**composerchannel**”. Lalu REST Server berfungsi untuk melakukan *query* atau proses transaksi data menggunakan API (*Application Programming Interface*).

Pengujian dan Analisis Performa Sistem Secara Keseluruhan

Pada tahap ini, dilakukan uji coba sistem berdasarkan perancangan dan implementasi yang telah diselesaikan sebelumnya. Proses pengujian mencakup beberapa aspek, yaitu pengujian fungsionalitas dan pengujian performa.

a. Hasil Pengujian Fungsionalitas

Setelah tahap perancangan dan implementasi sistem selesai, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian fungsi sistem. Setelah seluruh sistem diuji dan dinyatakan berfungsi, langkah selanjutnya adalah mengatur hak akses bagi partisipan yang terlibat sesuai dengan daftar kebutuhan pengguna yang tercantum pada Tabel 3. Detail pengaturan hak akses sistem dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 : Pengaturan Hak Akses Partisipan

No.	Partisipan	Aset	Transaksi			Log	Partisipan
		VIN	ATPM	Kendaraan	Histori	Transaksi	
1	Admin	CRUD	CRUD	CRUD	CRUD	CR	CRUD
2	ATPM	CRU	CRU	R	R	CR	-
3	Dealer	R	R	CR	R	CR	-
4	Bengkel	R	R	R	CRU	CR	-
5	Warga	R	R	R	R	-	-

Keterangan : C : Create, R : Read, U: Update, D: Delete

Pengujian fungsionalitas sistem dilakukan berdasarkan hak akses partisipan sistem, pengujian hak akses partisipan sistem dapat dilihat pada tabel 7 berikut ini :

Tabel 7 : Hasil Skenario Pengujian Partisipan Sistem

No.	ID Pengujian Partisipan	Deskripsi	Izin	Keterangan
1	AA.1 (Admin)	Menambahkan data Partisipan Lain	Bisa	Sesuai
2	AA.2 (Admin)	Membuat ID Card dan mengganti partisipan yang aktif	Bisa	Sesuai
3	AT.1 (ATPM)	Fungsi <i>Create</i> dan <i>Read</i> data aset (VIN)	Bisa	Sesuai
4	AT.2 (ATPM)	Fungsi Input data ATPM	Bisa	Sesuai
5	AT.3 (ATPM)	Fungsi input data Kendaraan dan Histori	Tidak bisa	Sesuai
6	AT.4 (ATPM)	Fungsi melihat data partisipan lain	Tidak bisa	Sesuai
7	DE.1 (Dealer)	Fungsi <i>Create</i> data Aset (VIN)	Tidak bisa	Sesuai
8	DE.2 (Dealer)	Fungsi <i>Read</i> data VIN	Bisa	Sesuai
9	DE.3 (Dealer)	Fungsi input data kendaraan	Bisa	Sesuai

No.	ID Pengujian Partisipan	Deskripsi	Izin	Keterangan
10	DE.4 (Dealer)	Fungsi input data histori dan ATPM	Tidak bisa	Sesuai
11	DE.5 (Dealer)	Fungsi melihat data partisipan lain	Tidak bisa	Sesuai
12	BE.1 (Bengkel)	Fungsi <i>Create</i> data VIN	Tidak bisa	Sesuai
13	BE.2 (Bengkel)	Fungsi <i>Read</i> data VIN	Bisa	Sesuai
14	BE.3 (Bengkel)	Fungsi Input data ATPM dan kendaraan	Tidak bisa	Sesuai
15	BE.4 (Bengkel)	Fungsi input data histori	Bisa	Sesuai
16	BE.5 (Bengkel)	Fungsi melihat data partisipan lain	Tidak bisa	Sesuai
17	WR.1 (Warga)	Fungsi <i>Create</i> data aset (VIN)	Tidak bisa	Sesuai
18	WR.2 (Warga)	Fungsi input data ATPM, Kendaraan dan Histori	Tidak bisa	Sesuai
19	WR.3 (Warga)	Fungsi <i>Read</i> data aset (VIN)	Bisa	Sesuai
19	WR.4 (Warga)	Fungsi melihat partisipan lain	Tidak bisa	Sesuai

b. Hasil Pengujian Performa

Pengujian performa dilakukan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan dalam menjalankan setiap transaksi. Pada tahap ini, proses POST digunakan untuk menambahkan data ke sistem, sementara proses GET digunakan untuk mengambil data dari sistem. Sebanyak 100 transaksi dilakukan untuk masing-masing proses POST dan GET. Data dimasukkan melalui skrip shell yang dijalankan dalam lingkungan sistem operasi Linux.

Tabel 8 : Pengujian Performa dengan Proses POST (100 Transaksi)

Percobaan ke	Durasi (Detik)			
	VIN	ATPM	Kendaraan	Histori
1	342	288	334	295
2	320	280	291	293
3	387	286	310	295
4	360	289	317	298
5	329	290	315	299
Rata rata	347,6	286,6	313,4	296

Tabel 9 : Pengujian Performa dengan Proses GET (100 Transaksi)

Percobaan ke	Durasi (Detik)
1	37
2	49
3	39
4	48
5	42
Rata rata	43

Pembahasan

Penelitian ini membahas beberapa poin penting. Temuan utama dari penelitian ini adalah berhasilnya pengembangan sistem pencatatan data kendaraan bermotor yang memenuhi prinsip dasar teknologi blockchain (Jiang & Sun, 2021), seperti *immutability*, transparansi, dan desentralisasi (Machvira UI Husna & Prita Dellia, 2021). Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan dan kekurangan, terutama berkaitan dengan sifat prototipe sistem yang dirancang, yang menunjukkan perlunya pengembangan lebih lanjut agar sistem yang dihasilkan menjadi lebih matang.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, ditemukan bahwa teknologi blockchain belum diterapkan dalam studi sebelumnya. Hal ini menimbulkan risiko keamanan, karena data yang dikirim secara daring masih rentan terhadap intervensi oleh pihak yang tidak bertanggung jawab. Oleh karena itu, pengembangan teknologi blockchain diusulkan sebagai solusi untuk mengurangi risiko serangan siber yang semakin meningkat (Cindy Dhelistya Sis Pratama et al. 2023).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem pencatatan data kendaraan bermotor berbasis blockchain telah berhasil dirancang dan dibangun. Sistem ini memenuhi prinsip dasar teknologi blockchain, yaitu *immutability*, transparansi, dan desentralisasi. Perancangan sistem dilakukan dengan memanfaatkan framework *Hyperledger Fabric* dan *Hyperledger Composer*. Sistem yang dihasilkan telah memenuhi kebutuhan fungsional dan diuji melalui berbagai skenario pengujian. Namun, kecepatan transaksi dalam sistem ini masih memerlukan peningkatan untuk mendukung pengembangan di masa depan.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk beralih ke versi terbaru dari *Hyperledger Fabric*, mengingat versi yang digunakan dalam penelitian ini serta *Hyperledger Composer* sudah masuk dalam status *deprecated* dan tidak lagi mendapatkan pengembangan lebih lanjut. Penggunaan versi terbaru dari *Hyperledger Fabric* diharapkan dapat menyediakan fitur yang lebih lengkap. Selain itu, perlu dilakukan pengembangan sistem yang lebih kompleks, mengingat sistem yang dihasilkan dalam penelitian ini masih bersifat prototipe.

REFERENSI

- Adhikari, M., Ghimire, L. P., Kim, Y., Aryal, P., & Khadka, S. B. (2020). Identification and analysis of barriers against electric vehicle use. *Sustainability*, 12(12), 4850.
- Astarita, V., Giofrè, V. P., Mirabelli, G., & Solina, V. (2019). A review of blockchain-based systems in transportation. *Information*, 11(1), 21.
- Baskara, N. D. (2020). The Effectiveness of Using the Bogor Traffic Info Application in Handling Traffic Accidents to Minimize Accidents in the Bogor City Police Jurisdiction. *Advances in Police Science Research Journal*, 4(11).
- Ceder, A. (2021). Urban mobility and public transport: Future perspectives and review. *International Journal of Urban Sciences*, 25(4), 455–479.
- Cindy Dhelistya Sis Pratama, Sofyan Hadi, & Rina Damera N. (2023). ANALISIS KEAMANAN PENYETORAN DAN PELAPORAN PPN DENGAN MEMANFAATKAN TEKNOLOGI BLOCKCHAIN DI PT PEGADAIAN. *Jurnal Ilmiah Akuntansi Dan Manajemen*, 19(1), 39–53.
- Demir, M., Turetken, O., & Ferworn, A. (2019). Blockchain based transparent vehicle insurance management. 2019 Sixth International Conference on Software Defined Systems (SDS), 213–220.
- Ducrée, J. (2022). Satoshi Nakamoto and the Origins of Bitcoin--Narratio in Nomine, Datis et Numeris. *ArXiv Preprint ArXiv:2206.10257*.
- Fantin Irudaya Raj, E., & Appadurai, M. (2021). The hybrid electric vehicle (HEV)—an overview. *Emerging Solutions for E-Mobility and Smart Grids: Select Proceedings of ICRES 2020*, 25–36.

- Gusti, D. P., Supriyono, B., Wardhono, H., Rozikin, M., & Riyadi, B. S. (2021). Public policy: Inconsistency of online and conventional land transportation regulations in Indonesia on social conflict implications. *International Journal of Criminology and Sociology*, 10.
- Jiang, Y. T., & Sun, H. M. (2021). A Blockchain-Based Vehicle Condition Recording System for Second-Hand Vehicle Market. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021, 6623251.
- Kaiser, C., Steger, M., Dorri, A., Festl, A., Stocker, A., Fellmann, M., & Kanhere, S. (2019). Towards a privacy-preserving way of vehicle data sharing—a case for blockchain technology? *Advanced Microsystems for Automotive Applications 2018: Smart Systems for Clean, Safe and Shared Road Vehicles 22nd*, 111–122.
- L.Tobing, H., Marsono, & Didik, W. S. (2022). Pemanfaatan Teknologi Blockchain Dalam Rantai Pasok Suku Cadang Alat Utama Sistem Senjata TNI Angkatan Udara. *Jurnal Patriot Biru Triwulan Keempat*, 1(4), 65–76.
- Lebrouhi, B. E., Khattari, Y., Lamrani, B., Maaroufi, M., Zeraouli, Y., & Kousksou, T. (2021). Key challenges for a large-scale development of battery electric vehicles: A comprehensive review. *Journal of Energy Storage*, 44, 103273.
- Lee, D., Lee, S. H., Masoud, N., Krishnan, M. S., & Li, V. C. (2021). Integrated digital twin and blockchain framework to support accountable information sharing in construction projects. *Automation in Construction*, 127, 103688.
- Machvira Ul Husna, & Prita Dellia. (2021). IMPLEMENTASI BLOCKCHAIN UNTUK OPTIMALISASI SISTEM KEAMANAN DOKUMEN TRANSPORTASI PADA SIM DAN STNK. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro Dan Komputer*, 1(3), 1–9.
- Mardianti, E. Y., & Maryanto, M. (2021). The Legal Substance Ownership of Motor Vehicle Owner's Book. *Law Development Journal*, 2(4), 489–495.
- Masoud, M. Z., Jaradat, Y., Jannoud, I., & Zaidan, D. (2019). CarChain: A Novel Public Blockchain-based Used Motor Vehicle History Reporting System. *2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology, JEEIT 2019 - Proceedings*, 683–688.
- Mollah, M. B., Zhao, J., Niyato, D., Guan, Y. L., Yuen, C., Sun, S., Lam, K.-Y., & Koh, L. H. (2020). Blockchain for the internet of vehicles towards intelligent transportation systems: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(6), 4157–4185.
- Narbayeva, S., Bakibayev, T., Abeshev, K., Makarova, I., Shubenkova, K., & Pashkevich, A. (2020). Blockchain technology on the way of autonomous vehicles development. *Transportation Research Procedia*, 44, 168–175.
- Pillajo-Quijia, G., Arenas-Ramírez, B., González-Fernández, C., & Aparicio-Izquierdo, F. (2020). Influential factors on injury severity for drivers of light trucks and vans with machine learning methods. *Sustainability*, 12(4), 1324.
- Pyrgidis, C. N. (2021). *Railway transportation systems: design, construction and operation*. CRC press.
- Ren, Q., Man, K. L., Li, M., Gao, B., & Ma, J. (2019). Intelligent design and implementation of blockchain and Internet of things-based traffic system. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15(8), 1550147719870653.
- Vidan, G., & Lehdonvirta, V. (2019). Mine the gap: Bitcoin and the maintenance of trustlessness. *New Media & Society*, 21(1), 42–59.
- Viriyasitavat, W., Anuphaptrirong, T., & Hoonsopon, D. (2019). When blockchain meets Internet of Things: Characteristics, challenges, and business opportunities. *Journal of Industrial Information Integration*, 15, 21–28.
- Yu, H., Dai, H., Tian, G., Wu, B., Xie, Y., Zhu, Y., Zhang, T., Fathollahi-Fard, A. M., He, Q., & Tang, H. (2021). Key technology and application analysis of quick coding for recovery of retired energy vehicle battery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110129