

## Makalah Seminar Hasil

### Penerapan Teknologi *Blockchain* dalam Pencatatan Transaksi untuk Perdagangan Karbon dalam Sektor Ketenagalistrikan

SHABRINA BASYASYAH (G6401201076)<sup>1\*</sup>, ANNISA.

#### ABSTRAK

Perdagangan karbon telah menjadi salah satu solusi dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Namun, dalam pelaksanaannya masih terdapat permasalahan mengenai pencatatan, validitas, dan pengawasan transaksi. Teknologi *blockchain* diusulkan menjadi solusi dalam mengatasi permasalahan tersebut. Studi ini mengembangkan sistem *blockchain* untuk mencatat transaksi perdagangan karbon. Melalui analisis kasus dan perancangan sistem, ditetapkan fitur pada sistem untuk mengatasi permasalahan tersebut. Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan teknologi *blockchain* dengan basis data yang ada. Pengujian sistem dilakukan untuk melakukan validasi keamanan dan pemantauan transaksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mencatat transaksi secara efektif dan dapat mengatasi permasalahan terkait pencatatan, validitas, dan pengawasan. Namun, pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan efisiensi sistem.

Kata Kunci: perdagangan karbon, *blockchain*, pencatatan transaksi, validitas data, pengawasan transaksi

#### ABSTRACT

*Carbon trading has become one of the solutions to reduce greenhouse gas emissions. However, there are still issues regarding transaction recording, validity, and supervision in its implementation. Blockchain technology is proposed as a solution to address these issues. This study develops a blockchain system to record carbon trading transactions. Through case analysis and system design, features are established to tackle these problems. The system implementation integrates blockchain technology with existing databases. System testing is conducted to validate security and transaction monitoring. The test results show that the system can effectively record transactions and address issues related to recording, validity, and supervision. However, further development is needed to improve system efficiency.*

*Keywords: carbon trading, blockchain, transaction recording, data validity, transaction supervision*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Secara umum, perdagangan merupakan kegiatan usaha membeli dan menjual, termasuk kegiatan tukar-menukar barang, tanpa mengubah bentuk atau sifatnya (Sukadi *et al.* 2020). Dalam konsep perdagangan karbon, kata “karbon” mewakili enam gas rumah kaca yaitu karbon dioksida, metana, nitrat oksida, *perfluorocarbon*, dan *hydrofluorocarbon* yang menjadi objek perdagangan. Menurut Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 98 tahun 2021, perdagangan karbon merupakan mekanisme

---

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680

\*Mahasiswa Program Studi S1 Ilmu Komputer, FMIPA-IPB; Surel: shabrinabasyasyah@apps.ipb.ac.id

berbasis pasar untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) melalui kegiatan jual beli unit karbon dengan perhitungan setara dengan ton CO<sub>2</sub>. Selain memiliki peran dalam pengurangan emisi GRK, perdagangan karbon juga memiliki peran dalam perekonomian dengan potensi profit sebesar 565 miliar dolar AS pada tahun 2022.

Pada umumnya, pelaksanaan perdagangan karbon memiliki tatacara yang tidak terlalu berbeda dengan kegiatan jual beli pada umumnya. Hal yang menjadi pembeda adalah komoditas yang diperjualbelikan, yakni emisi karbon. Dalam pelaksanaannya, perdagangan karbon dilaksanakan dalam beberapa sektor, salah satunya ketenagalistrikan. Dalam sektor ini, pelaku perdagangan karbon adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang ketenagalistrikan yang memiliki PLTU dengan kapasitas lebih dari sama dengan 25 *megawatt*.

Perdagangan karbon dalam sektor ketenagalistrikan dilakukan antara perusahaan atau PLTU yang menghasilkan emisi lebih dari Persetujuan Teknis Batas Emisi Pelaku Usaha (PTBAE-PU), maka diharuskan membeli emisi dari perusahaan atau unit PLTU yang menghasilkan emisi di bawah PTBAE-PU (surplus) dan/atau membeli Sertifikat Pengurangan Emisi (SPE-GRK). Sebagai contoh, terdapat perusahaan X yang memiliki nilai PTBAE sebesar 1,297 ton karbon dioksida per *megawatt-hour* (CO<sub>2</sub>e/MWh) dan emisi yang dihasilkan adalah 2,567 ton CO<sub>2</sub>e (defisit), adapun perusahaan Y memiliki nilai PTBAE sebesar 1,297 ton CO<sub>2</sub>e/MWh dan emisi 0,027 ton CO<sub>2</sub>e (surplus). Maka, perusahaan X diharuskan untuk membeli emisi dari perusahaan Y.

Berdasarkan kajian oleh DPR RI tahun 2023, perdagangan karbon di Indonesia telah dilaksanakan sejak lama dan dilakukan secara sukarela, tanpa pengaturan, pencatatan, dan otorisasi oleh negara. Menurut pemaparan dari Kementerian Kehutanan, permasalahan yang dihadapi dalam sistem perdagangan karbon di Indonesia adalah tidak adanya jaminan terbentuknya transaksi pembayaran atas penurunan emisi yang disebabkan oleh ketidakpastian antar pelaku usaha, tidak adanya regulasi serta pengawasan yang efektif, dan tidak adanya perjanjian serta pencatatan yang mengikat antara penjual dan pembeli. Permasalahan tersebut dapat mengakibatkan kerugian bagi negara maupun perusahaan yang melaksanakan perdagangan karbon. Menurut DPR RI tahun 2023, permasalahan perdagangan karbon disebabkan oleh beberapa faktor yaitu kurangnya ketersediaan data yang lengkap dan akurat terkait emisi gas rumah kaca, ketidaksesuaian sistem pencatatan, kesulitan verifikasi data, keterbatasan teknologi, dan kurangnya koordinasi. Oleh sebab itu, diperlukan sistem pencatatan yang dapat menyimpan data terkait transaksi perdagangan karbon secara transparan, menyimpan data secara *real-time*, dan dapat diakses oleh pihak terkait dalam perdagangan karbon untuk pengawasan dari pihak berwenang.

Beberapa tahun terakhir permasalahan mengenai pencatatan transaksi dapat diatasi dengan menggunakan teknologi, salah satunya *blockchain*. *Blockchain* merupakan teknologi yang menyimpan data dalam bentuk rangkaian transaksi terverifikasi oleh jaringan yang terhubung secara berurutan. Analogi cara kerja *blockchain* hampir sama seperti buku kas pada bank yang mencatat seluruh transaksi yang dilakukan oleh pengguna. Hal yang menjadi perbedaan adalah pada sistem buku kas bank, hanya pihak berwenang yang dapat mengakses informasi transaksi pada buku kas tersebut, sementara dalam transaksi yang tercatat dalam *blockchain* dapat dilihat oleh semua pengguna karena informasi yang dikumpulkan terdistribusi pada semua orang yang menjalankan server. Akses tersebut diberikan pada semua orang. Pemberian akses tersebut menyebabkan tidak ada pihak yang dapat memalsukan atau memodifikasi transaksi.

Penerapan *blockchain* untuk pencatatan telah diterapkan oleh Hanifatunnisa dan Ismail (2020) dalam perancangan dan implementasi sistem pencatatan untuk pemungutan suara dengan teknologi *blockchain*. Berdasarkan penelitian tersebut, *blockchain* memiliki keunggulan yang bermanfaat dalam bidang pencatatan seperti keunggulan dalam keamanan data, transparansi, imutabilitas, desentralisasi, verifikasi otomatis, dan pencatatan yang dilakukan secara *real-time*.

Berdasarkan pemaparan di atas, tujuan dari penelitian ini adalah pembangunan sistem dalam bentuk laman atau *website* terintegrasi dengan teknologi *blockchain* untuk pencatatan transaksi pada perdagangan karbon. Penelitian ini berfokus untuk membangun sistem yang mumpuni untuk memfasilitasi pelaksanaan kegiatan transaksi jual beli emisi karbon, melakukan pencatatan seluruh kegiatan transaksi, dan memungkinkan terjadinya pengawasan pelaksanaan perdagangan karbon oleh pihak Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan selaku pihak berwenang.

### **Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dilampirkan, rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana membangun sistem berbasis laman dengan penerapan teknologi *blockchain* yang dapat menyimpan data terkait transaksi perdagangan karbon secara transparan, menyimpan data secara *real-time*, dan dapat diakses oleh pihak-pihak terkait dalam perdagangan karbon untuk pengawasan dari pihak berwenang.

### **Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari penelitian membangun sistem dengan menerapkan teknologi *blockchain* untuk mencatat kegiatan transaksi perdagangan karbon melalui pencatatan serta menguji kebergunaan *blockchain* untuk perdagangan karbon.

### **Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi perusahaan yang berperan sebagai penjual maupun pembeli dalam menjalankan transaksi secara aman dan tercatat secara *real-time*, serta memudahkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dalam melakukan pengawasan terkait pelaksanaan perdagangan karbon

### **Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem berbasis laman yang mampu mencatat seluruh kegiatan transaksi dalam perdagangan karbon menggunakan teknologi *blockchain*. Output yang dihasilkan adalah sistem yang dapat melakukan pencatatan, mencegah penyusupan dan pemalsuan data, dan dapat memfasilitasi pengawasan pelaksanaan transaksi. Objek pada penelitian ini adalah sistem pencatatan transaksi perdagangan karbon.

## **METODE**

### **Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari literatur terkait dengan perdagangan karbon dan perancangan sistem serta penerapan teknologi *blockchain*. Literatur yang ditinjau membahas terkait sistem desentralisasi dan keamanan *blockchain* (Aini *et al.* 2023), penerapan *blockchain* untuk pencatatan (Hanifatunnisa dan Ismail 2020), mekanisme perdagangan karbon (Prihatiningtiyas *et al.* 2023), kondisi perdagangan karbon di Indonesia (DPR RI 2023), dan ketidakpastian dalam pelaksanaan perdagangan karbon (Kementerian Kehutanan 2014). Selain itu, tahap ini juga meninjau mengenai aturan, skema, dan kebijakan perdagangan karbon yang terdiri dari :

- a. Perpres Nilai Ekonomi Karbon (NEK) ayat 17 mengenai pengertian perdagangan karbon.
- b. Perpres Nilai Ekonomi Karbon (NEK) pasal 48 ayat 1 mengenai pelaksanaan perdagangan karbon.
- c. Keputusan Menteri ESDM Nomor: 14.K/TL/04/MEM.L/2023 tentang Persetujuan Teknis Batas Atas Emisi Gas Rumah Kaca Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara Yang Terhubung Ke Jaringan Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Fase Kesatu.

### Analisis Kasus

Analisis kasus yang dilakukan mengacu pada permasalahan yang telah ada pada sistem perdagangan karbon yang telah dilakukan baik dalam maupun luar negeri. Hasil analisis tersebut akan diterapkan pada sistem *blockchain* yang dirancang untuk pasar perdagangan karbon yang diadakan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dalam Sistem Registri Nasional (SRN). Hasil dari analisis kasus akan digunakan sebagai landasan dalam penentuan *requirement system* serta perancangan sistem terkait pemetaan permasalahan dan fitur untuk penanggulangan, penentuan target pengguna, dan perancangan *use case*. *Requirement system* tersebut antara lain: Sistem harus dapat menyimpan informasi terperinci terkait informasi perusahaan yang terdaftar pada daftar perusahaan dalam sektor ketenagalistrikan sebagai peserta SRN. Input terkait data tersebut dimasukkan oleh pihak pengembang sesuai dengan informasi yang diperoleh dari pihak Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan selaku pengawas dan penyelenggara SRN.

- a. Sistem harus dapat menghasilkan id untuk setiap perusahaan yang terdaftar. Perusahaan akan memperoleh id tersebut ketika pertama kali mengakses sistem.
- b. Sistem harus dapat menyimpan informasi terkait aksesibilitas pengguna. Informasi tersebut terkait dengan nama perusahaan, id perusahaan, dan kata sandi.
- c. Sistem harus memiliki aksesibilitas terpisah untuk pihak Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang memiliki fungsi berbeda dengan para pelaku usaha. Akses yang diberikan kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan hanya akses untuk melihat informasi terkait data transaksi yang tersimpan pada *blockchain*.
- d. Sistem harus dapat memproses segala bentuk kegiatan yang berkaitan dengan transaksi yang dilakukan oleh para pelaku usaha. Segala bentuk *input* terkait transaksi mulai dari data penawaran, permintaan, dan transaksi akan tersimpan dalam bentuk *blockchain*.

### Perancangan Basis Data

Perancangan basis data dilakukan untuk merancang basis data dirancang untuk menyimpan data perusahaan yang terdaftar sebagai pelaku usaha perdagangan karbon. Basis data tersebut dibuat berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Selain untuk kepentingan penyimpanan data perusahaan, basis data juga dirancang untuk sebagai media penyimpanan data permintaan, penawaran, dan transaksi sebelum dimasukkan ke dalam *blockchain*. Perpaduan antara basis data dan *blockchain* dinilai dapat meningkatkan keamanan, efisiensi sistem, mempermudah pelacakan dan auditabilitas, serta peningkatan kinerja (Zhu *et al.* 2023).

### Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan *blockchain* yang menyimpan data transaksi dan sertifikat perdagangan karbon. Tahapan ini akan merancang 8 *activity diagram* yang terdiri atas register (perusahaan), register KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan

Kehutanan), *login*, penawaran, permintaan, transaksi jual, transaksi beli, dan *view blockchain*. *Activity diagram* dibuat untuk menggambarkan alir aktivitas sistem (Kirana dan Wahdaniyah 2018). Selain itu, akan dirancang pula *class diagram* untuk memetakan kelas dan relasinya dalam pandangan *logic* dari sebuah sistem (Andita *et al.* 2016). Kedua jenis diagram dibuat berdasarkan hasil analisis kasus. Selain kedua diagram ini, perancangan sistem juga meliputi perancangan *use case* yang berfungsi untuk mendeskripsikan interaksi antar aktor dengan sistem yang dibuat.

### **Implementasi Sistem**

Tahap ini membangun sistem *blockchain* berbasis laman yang sesuai dengan rancangan sistem pada *class diagram* dan *activity diagram* yang telah dibuat pada tahap perancangan sistem. Implementasi ini dilakukan dengan pembangunan sistem menggunakan *flask* yang terintegrasi dengan basis data dan dilengkapi teknologi *blockchain*. Teknologi *blockchain* ini menerapkan algoritma *hashing* dengan fungsi SHA-256 atau *Secure Hash Algorithm* 256-bit untuk proses konsensus dalam pembentukan *block*.

### **Pengujian Sistem**

Pengujian dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor yaitu keamanan, reliabilitas, dan skalabilitas (Swastika *et al.* 2022). Sistem akan diuji dengan menerapkannya pada permasalahan yang menjadi landasan dari perancangan sistem yang dibuat. Permasalahan tersebut antara lain terkait keamanan dan validitas transaksi, ketidakpastian transaksi, dan pemantauan transaksi.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Studi Literatur**

Perdagangan karbon di Indonesia dijalankan dalam bentuk mekanisme berbasis pasar yang ditujukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca melalui jual beli unit karbon. Dalam pelaksanaannya, terdapat beberapa sektor yang terlibat sebagai pelaku usaha dalam perdagangan karbon, salah satunya adalah sektor ketenagalistrikan. Dalam sektor ketenagalistrikan, perdagangan karbon dilakukan oleh perusahaan atau unit pembangkit listrik yang memiliki emisi melebihi Persetujuan Batas Atas Emisi Pelaku Usaha (PTBAE-PU) dengan unit yang memiliki emisi kurang dari PTBAE-PU. Perdagangan karbon dalam sektor ketenagalistrikan ini diikuti oleh 99 PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Batubara.

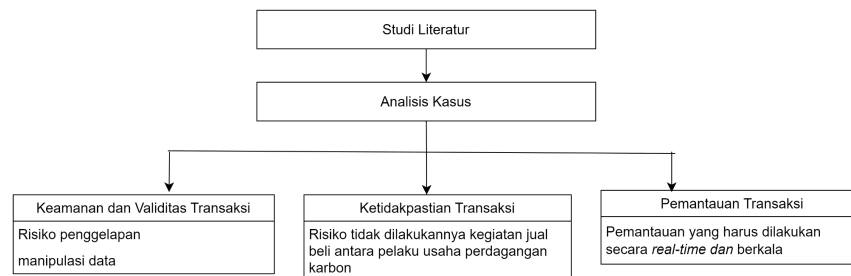
Dalam pelaksanaannya, perdagangan karbon memiliki permasalahan yang cukup krusial terkait pencatatan dan pemantauan. Menurut DPR RI tahun 2023, perdagangan karbon di Indonesia selama ini berjalan tanpa adanya pengaturan, pencatatan, pemantauan, dan otorisasi dari negara. Permasalahan terkait pencatatan dalam perdagangan karbon di Indonesia disebabkan oleh kurangnya ketersediaan data, ketidaksesuaian sistem pencatatan, kesulitan verifikasi data, keterbatasan teknologi, dan kurangnya koordinasi antar pihak terkait.

Permasalahan mengenai pencatatan sangat berkaitan dengan pengawasan. Oleh sebab itu, diperlukan sistem yang dapat mencatat kegiatan transaksi karbon secara efektif dan memiliki pengamanan yang kuat. Sistem tersebut dapat dibuat dengan mengimplementasikan teknologi *blockchain*. Teknologi tersebut telah diterapkan dalam pencatatan pada bidang *e-voting* dan dinilai efektif karena memiliki fitur desentralisasi, keterbukaan akses, keamanan data yang tinggi, dan verifikasi otomatis melalui *smart contract*.

### **Analisis Kasus**

Perdagangan karbon di Indonesia memiliki beberapa permasalahan yang cukup krusial. Permasalahan-permasalahan tersebut dapat dibagi menjadi tiga kategori yang

terdiri atas keamanan dan validitas transaksi, ketidakpastian transaksi, dan pemantauan transaksi. Hasil dari analisis kasus akan dijadikan rujukan dalam pemetaan permasalahan dan fitur untuk penanggulangan, penentuan target pengguna, dan perancangan *use case*. Pemetaan permasalahan tersebut dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1 Pemetaan Permasalahan dalam Perdagangan Karbon

### Perancangan Basis Data

Perancangan basis data dilakukan dengan menggunakan PostgreSQL sebagai manajemen basis data. Penerapan basis data ini dilakukan untuk menunjang sistem yang akan dibuat. Perancangan basis data dilakukan dengan membuat basis data bernama “ptbae” yang memiliki tabel dengan memuat informasi terkait emisi, penawaran, permintaan, perusahaan yang terdaftar, pltu, transaksi beli, transaksi jual, karyawan klhk yang menyimpan informasi terkait data karyawan KLHK yang memiliki kewenangan untuk mengakses laman sistem, klhk yang memuat informasi mengenai *user credentials* dari karyawan KLHK yang memiliki kewenangan, dan *users* yang memuat informasi terkait *user credentials* dari perusahaan.

### Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan untuk mengatasi permasalahan yang ditemukan pada proses analisis kasus. Proses perancangan ini dilakukan dengan menggunakan metode *Bigbang Prototyping* yang membangun keseluruhan prototipe beserta keseluruhan fitur dan fungsi yang diinginkan dalam produk akhir.

### Pemetaan Permasalahan dan Fitur Penanggulangan

Dalam tahap ini, permasalahan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis kasus yang diperoleh akan dipetakan untuk menentukan fitur apa yang diperlukan dalam pembangunan sistem. Fitur tersebut ditetapkan sebagai solusi dari permasalahan yang ditemukan pada saat proses analisis. Fitur-fitur tersebut ditetapkan seperti Gambar 2.

Permasalahan	Solusi	Fitur
Pemantauan yang harus dilakukan secara real-time dan berkala	Dibutuhkan sistem pemantauan yang efektif dan terpusat yang mencatat segala bentuk transaksi	Blockchain yang terdesentralisasi yang mencatat seluruh kegiatan mulai dari penawaran, permintaan, hingga transaksi dan menyebarkannya ke seluruh jaringan
Risiko terjadinya penggelapan dan manipulasi data	Sistem dengan sekuritas tinggi yang dapat menjamin validitas dari transaksi	Jaringan yang bersifat peer-to-peer yang dapat menyimpan salinan setiap transaksi dan mewajibkan verifikasi oleh node yang terhubung
Ketidakpastian transaksi	Sistem yang dapat mencatat kegiatan transaksi perdagangan karbon	Penerapan konsensus dengan protokol <i>Proof of Work</i> yang menjadi aturan atau kesepakatan untuk mencegah manipulasi
		Penerapan <i>smart contracts</i> yang mendefinisikan aturan dan otomatisasi
		Kriptografi dan hashing untuk proses identifikasi dan pengamanan data

Gambar 2 Penetapan Fitur

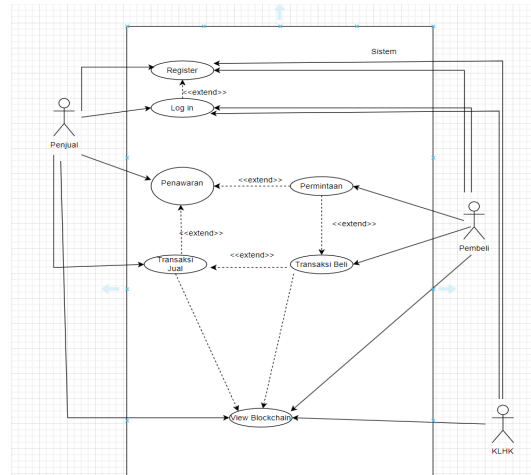
## Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan dengan membuat *user stories*, *use case diagram*, *activity diagram*, *class diagram*, dan *sequence diagram*. *User stories* dari sistem adalah seperti Tabel 1.

Tabel 1 *User Stories*

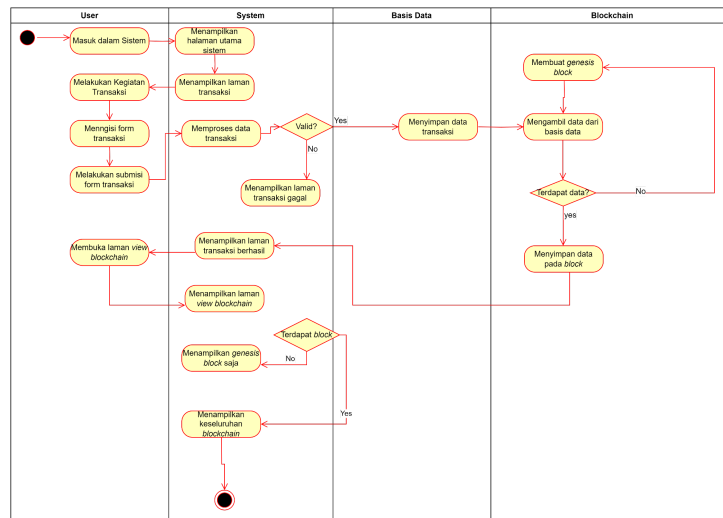
Aktor	<i>User Story</i>
Perusahaan	Sebagai perusahaan, pengguna ingin mendaftar agar mendapatkan aksesibilitas sistem.
Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan	Sebagai Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, pengguna ingin mendaftar agar mendapatkan aksesibilitas sistem.
Perusahaan	Sebagai perusahaan, pengguna ingin login ke akunnya.
Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan	Sebagai Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, pengguna ingin login ke akunnya
Perusahaan	Sebagai perusahaan, pengguna ingin membuat penawaran.
Perusahaan	Sebagai perusahaan, pengguna ingin melihat penawaran apa saja yang tersedia.
Perusahaan	Sebagai perusahaan, pengguna ingin mengajukan permintaan sesuai dengan penawaran yang ada.
Perusahaan	Sebagai perusahaan, pengguna ingin melakukan transaksi jual sesuai dengan permintaan yang masuk.
Perusahaan	Sebagai perusahaan, pengguna ingin melakukan transaksi beli sesuai dengan penawaran yang dipilih.
Perusahaan	Sebagai perusahaan, pengguna ingin melihat rantai <i>blockchain</i> berisikan data transaksi.
Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan	Sebagai Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, pengguna ingin melakukan pengawasan dengan melihat rantai <i>blockchain</i> yang telah tersimpan pada sistem.

Setelah itu, dibuat *use case diagram* yang menjelaskan mengenai penjelasan interaksi apa saja yang dapat dilakukan oleh pengguna. *Use case* dibuat seperti Gambar 3



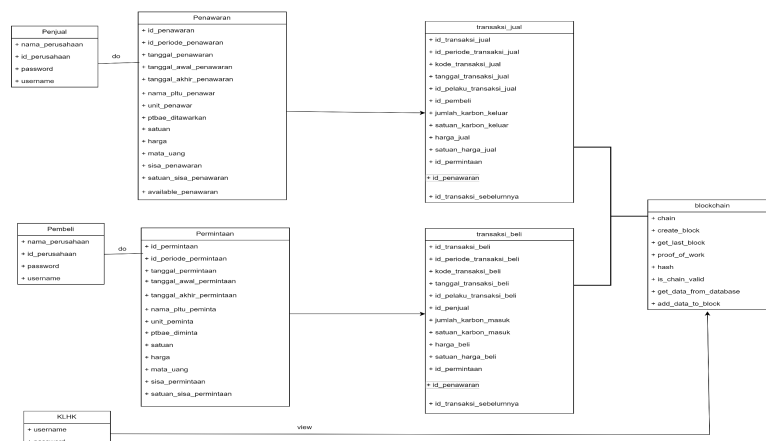
Gambar 3 Use Case Diagram

Setelah itu, dibuat *activity diagram* yang menjelaskan bagaimana aktivitas pengguna dalam sistem. Perancangan *activity diagram* adalah seperti Gambar 4



Gambar 4 Activity Diagram

Setelah *activity diagram* dibuat, dilakukan perancangan *class diagram* seperti Gambar 5.

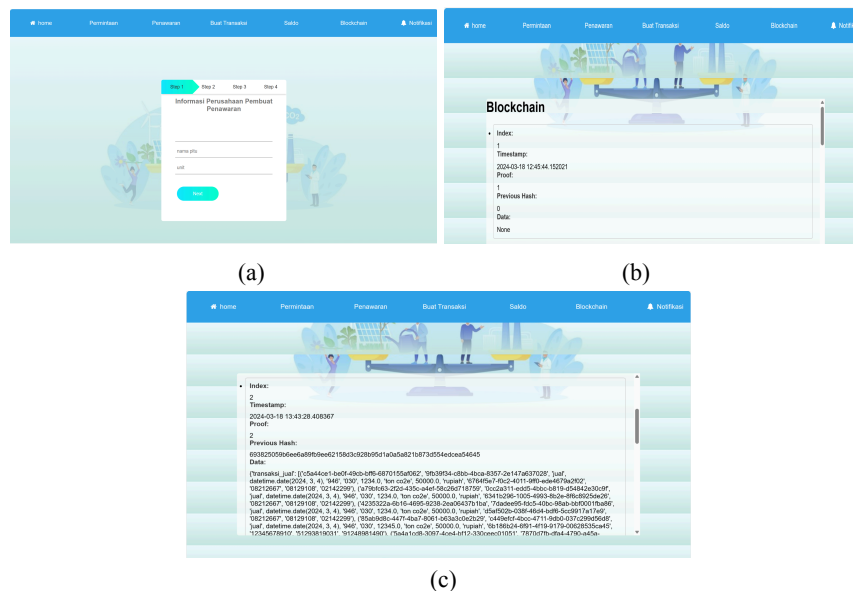


Gambar 5 Class Diagram



## Implementasi Sistem

Pada tahap ini, langkah pertama yang dilakukan adalah perancangan desain antarmuka dengan menggunakan HTML, CSS, dan *JavaScript*. Antarmuka yang dirancang adalah antarmuka untuk sistem sesuai dengan fitur yang telah ditetapkan sebelumnya. Setelah perancangan antarmuka telah selesai dibuat, desain tersebut akan diimplementasikan dengan menggunakan *flask* yang diintegrasikan dengan basis data yang telah disiapkan sebelumnya. Setelah itu, *blockchain* akan diterapkan dalam sistem yang telah dibuat dalam aplikasi *flask*. Beberapa contoh dari tampilan laman sistem terdapat pada Gambar 6.



Gambar 6 (a) Tampilan Form, (b) Tampilan *Genesis Block*, (c) Tampilan *Block*

## Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan tiga fokus permasalahan yang diujikan, yaitu keamanan dan validitas transaksi, ketidakpastian transaksi, dan pemantauan transaksi. Keamanan dan validitas transaksi diuji dengan melakukan manipulasi data pada *blockchain*. Pada saat data yang tersimpan pada *blockchain* akan dimodifikasi, *blockchain* otomatis akan rusak dan hanya menampilkan *genesis block*. Selanjutnya, permasalahan mengenai ketidakpastian transaksi akan diujikan dengan pencatatan kegiatan transaksi. Sistem dapat menyimpan seluruh data pada *block* melalui pengambilan data dari basis data yang telah disediakan. Akan tetapi terdapat kekurangan dimana seluruh data transaksi yang tersimpan pada basis data ditempatkan dalam satu *block* yang disebabkan oleh cara pengambilan data dari basis data. Permasalahan terakhir yang diujikan adalah pemantauan transaksi secara berkala. Pemantauan secara berkala dapat dilakukan dengan memanfaatkan fitur *view blockchain* yang dapat menampilkan seluruh riwayat transaksi yang terjadi pada sistem. Pada bagian *homepage* untuk KLHK, diperlukan *dashboard* berisikan gambaran keseluruhan aktivitas yang dilakukan dalam sistem untuk mempermudah proses pengawasan.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Sistem *blockchain* untuk pencatatan transaksi perdagangan karbon dapat mencatat seluruh kegiatan transaksi yang dilakukan pada sistem dan dapat menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang menjadi landasan perancangan. Hal tersebut dinilai dari berjalannya seluruh fitur yang telah ditetapkan dan tercatatnya keseluruhan transaksi yang dilakukan dalam sistem. Dalam prosesnya, seluruh input yang dimasukkan oleh pengguna

telah berhasil dimasukkan dalam basis data dan dapat diolah untuk dimasukkan dalam *blockchain* yang dapat dilihat oleh pengguna selama terhubung dalam *server*.

### Saran

Pengembangan sistem *blockchain* untuk pencatatan transaksi perdagangan karbon telah berhasil dilakukan. Namun perlu pengembangan lanjutan untuk membuat sistem lebih efektif dan efisien ketika digunakan. Berikut merupakan beberapa saran untuk pengembangan selanjutnya:

1. Modifikasi terkait visualisasi *blockchain* agar data yang diperoleh dapat dibaca dengan lebih mudah dan lebih dapat dipahami.
2. Tampilan data penawaran masih dalam bentuk tabel. Perlu dikembangkan agar pada saat pengguna ingin melakukan permintaan, pengguna dapat langsung memilih penawaran yang dimau dan sistem akan mengarahkan pada laman *form* permintaan.
3. Proses pengambilan data yang diterapkan untuk dimasukkan dalam *blockchain* perlu dikembangkan agar tidak terpusat dalam satu *block* saja.
4. Membuat tampilan *dashboard* yang menampilkan keseluruhan aktivitas yang dilakukan untuk mempermudah pengawasan yang dilakukan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aini, Q., Azizah, N., Salam, R., Santoso N.P.L., Oganda, F.P., 2023. Skema Kredibilitas Sertifikat Berbasis Ilearning Gamifikasi Blockchain Pada Kampus Merdeka. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, 10(1), 203-211.
- Andita, R., Nurul, P., Rachmatullah, P., Akbar, S., Permata, S., Mulyaningsih, S., 2016. *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, 2(1), 21-26.
- [DPR] Dewan Perwakilan Rakyat. 2023. *Menyongsong Implementasi Bursa Karbon Di Indonesia*. Jakarta (ID): DPR RI.
- [Ditjen Gatrik] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. 2023. *Frequently Asked Question Perdagangan Karbon Subsektor Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta(ID): Ditjen Gatrik.
- [Kementrian Kehutanan] Kementrian Kehutanan. 2014. *Bagaimana Menyikapi Ketidakpastian Pasar Karbon Untuk REDD++ Di Indonesia?*. Jakarta (ID): Kementrian Kehutanan.
- Prihatiningtyas, W., Wijoyo, S., Wahyuni, I, Fitriana, Z.M. 2023. Perspektif Keadilan dalam Kebijakan Perdagangan Karbon (Carbon Trading) di Indonesia Sebagai Upaya Mengatasi Perubahan Iklim. *Refleksi Hukum: Jurnal Ilmu Hukum*. 7(2). 163-186.
- Sadikin, R. 2012. *Kriptografi Untuk Keamanan Jaringan dan Implementasinya dalam Bahasa Java*. Yogyakarta: Andi.
- Swastika, W. Santoso H.W., Kelana, O.H., 2022. Rancang Bangun Website Akademik dengan Penyimpanan Sertifikat Digital Menggunakan Teknologi Blockchain. 9(1). 33-40.
- Zhu, C., Junzhe, L., Zhong, Z., Yue, C., Zhan, M. 2023. *A Survey on the Integration of Blockchains and Databases*. Data Sci.Eng. 196-219.