

QUALITY OF SERVICE DIPLOMA RECORDING SYSTEM USING SMART CONTRACTS AND NFT POLYGON NETWORK ON LAYER-2 ETHEREUM BLOCKCHAIN

Rizky Rachman Judhie Putra^{*1}, Muhamad Nursalman², Fawwaz Kautsar³

^{1,2,3}Computer Science, Faculty of Mathematics and Science Education, Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

Email: ¹rizky_rjp@upi.edu, ²mnursalman@upi.edu, ³fawwazkautsar1907912@upi.edu

(Article received: December 26, 2023; Revision: February 04, 2024; published: December 29, 2024)

Abstract

A diploma is a document or certificate given to someone who has completed formal education. Diplomas are generally used as a benchmark for someone to get a job and identity in the eyes of the social environment. Many people think that a diploma is something meaningful or essential, so diplomas are often faked which violates legal norms and violates someone's Intellectual Property Rights (IPR). To anticipate counterfeiting, in Indonesia, there is currently a National Diploma Numbering (PIN) system and an Online Diploma Verification System (SIVIL), but unfortunately, the diploma database storage is still centralized which still allows illegal hacking to occur. On this basis, this research was created to able to provide a safer and more reliable diploma recording system solution, by utilizing Blockchain technology it is possible that every diploma issued can also be turned into a digital asset in the form of an NFT diploma, which is easy to track without having to face traditional bureaucratic obstacles. The NFT diploma functions as a representation of ownership, academic credentials, or identity as a sign of a student's educational history. This research aims to determine the performance of the Blockchain storage system on the Polygon network using smart contracts and IPFS. Apart from that, this research will compare the performance with previous research that used Polygon's layer-1, namely Ethereum. In smart contract cost testing, it was found that each Polygon transaction fee only requires 2.26% of the Ethereum transaction fee. Meanwhile, Quality of Service testing resulted in a throughput of 48.6-49.6 Kbps, packet loss of 0%, and latency of 42.07-44.13 m/s. The results show the potential for better cost efficiency and performance on the Polygon network compared to Ethereum.

Keywords: blockchain, decentralized, diploma, NFT, polygon network, smart contract.

QUALITY OF SERVICE SISTEM PENCATATAN IJAZAH MENGGUNAKAN SMART CONTRACT DAN NFT JARINGAN POLYGON PADA LAYER-2 ETHEREUM BLOCKCHAIN

Abstrak

Ijazah merupakan sebuah dokumen atau sertifikat yang diberikan kepada seseorang yang telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal. Ijazah umumnya dijadikan sebagai tolak ukur seseorang untuk mendapatkan pekerjaan serta identitas di mata lingkungan sosial. Banyak orang yang menganggap bahwa ijazah merupakan hal yang bermakna atau esensial, sehingga sering kali terjadi pemalsuan ijazah yang melanggar norma hukum dan telah melanggar Hak Atas Kekayaan Intelektual (HAKI) seseorang. Untuk mengantisipasi pemalsuan tersebut, di Indonesia saat ini telah terdapat sistem Penomoran Ijazah Nasional (PIN) dan sekaligus Sistem Verifikasi Ijazah Online (SIVIL), namun sayangnya penyimpanan *database* ijazah tersebut masih bersifat terpusat yang masih memungkinkan terjadinya peretasan ilegal. Atas dasar hal tersebut, penelitian ini dibuat untuk dapat memberikan solusi sistem pencatatan ijazah yang lebih aman dan terpercaya, dengan memanfaatkan teknologi *Blockchain* memungkinkan setiap ijazah yang diterbitkan akan dapat juga dijadikan aset digital berupa ijazah NFT, yang mudah dilacak tanpa perlu menghadapi hambatan birokrasi tradisional. Ijazah NFT tersebut berfungsi sebagai representasi kepemilikan, kredensial akademis, atau identitas tanda riwayat pendidikan mahasiswa. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk dapat mengetahui performansi sistem penyimpanan *Blockchain* pada jaringan *Polygon* menggunakan *smart contract* dan IPFS, selain itu penelitian ini akan membandingkan performansi dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan *layer-1* nya *Polygon* yaitu *Ethereum*. Pada pengujian *smart contract*

cost diperoleh bahwa setiap biaya transaksi *Polygon* hanya memerlukan 2,26% dari biaya transaksi *Ethereum*. Sementara pengujian *Quality of Service* menghasilkan *throughput* 48,6-49,6 Kbps, *packet loss* 0%, dan *latency* 42,07-44,13 m/s. Hasilnya menunjukkan potensi efisiensi biaya dan kinerja lebih baik pada jaringan *Polygon* dibanding *Ethereum*.

Kata kunci: *blockchain, desentral, ijazah, jaringan polygon, kontrak pintar, NFT.*

1. PENDAHULUAN

Menurut KBBI, ijazah adalah surat izin yang diberikan sebagai tanda tamat belajar. Ijazah merupakan sebuah dokumen atau sertifikat yang diberikan kepada seseorang yang telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal tertentu baik di dalam negeri maupun luar negeri [1].

Keaslian ijazah merupakan hal yang sangat penting, karena ijazah dapat digunakan sebagai salah satu bukti standar kelulusan seseorang dalam studi atau pendidikannya [2]. Pemalsuan ijazah dapat digolongkan sebagai tindak kriminal karena telah melanggar norma hukum [1] dan telah melanggar Hak Atas Kekayaan Intelektual (HAKI) seseorang. Pelaku yang terlibat dalam memalsukan dan yang memakai ijazah palsu, dapat dipidanakan menggunakan pasal 263 KUHP dan 264 KUHP [3]. Biasanya ijazah palsu digunakan untuk kepentingan atau keperluan melamar pekerjaan di suatu perusahaan atau pabrik [1].

Pada tahun 2018 Permenristekdikti mengeluarkan peraturan No 59 tahun 2018 terkait: Ijazah, Sertifikat Kompetensi, Gelar dan Tata Cara Penulisan Gelar di Perguruan Tinggi yang memuat Penomoran Ijazah Nasional dan Sistem Verifikasi Ijazah Online (PIN SIVIL), yang terintegrasi dengan Pangkalan Data Pendidikan Tinggi (PDDIKTI). Peraturan tersebut bertujuan untuk mengurangi pemalsuan ijazah [4] yang dikeluarkan secara ilegal dan mempercepat proses verifikasi keaslian ijazah. Namun sistem yang dibangun masih menggunakan penyimpanan secara terpusat (*centralized*) sehingga rentan terhadap peretasan, seperti serangan injeksi SQL yang dapat mengakibatkan pemalsuan dengan mengubah data, kerusakan data, dan bahkan kehilangan data [5].

Teknologi *Blockchain* dapat digunakan untuk mengatasi ini. *Blockchain* memfasilitasi *smart contract* yang dapat menjaga integritas data [6], selain itu setiap domain digital dapat dijadikan sebagai NFT. NFT dapat dengan mudah diverifikasi, dibagikan, dan diakses oleh berbagai pihak [7], [8] tanpa batasan fisik atau administratif. Namun teknologi *Blockchain* saat ini masih mengalami isu skalabilitas, sehingga tidak cocok untuk menyimpan data berukuran besar, yang mengakibatkan biaya transaksi menjadi lebih mahal [9]. Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan solusi skalabilitas menggunakan *layer-2* dan sekaligus menggunakan kombinasi penyimpanan IPFS.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performansi *Quality of Service* (QoS) pada sistem

pencatatan ijazah melalui web DApp, agar memberikan hasil analisis jaringan yang baik [10]. Karena setiap kesalahan atau keterlambatan dalam mengeksekusi kontrak pintar dapat memiliki dampak signifikan pada DApp dan layanan yang dibangun di atasnya. Oleh karena itu, setiap eksekusi kontrak pintar membutuhkan evaluasi QoS yang cermat untuk memastikan ketersediaan layanan yang optimal.

Analisis QoS akan menggunakan parameter *Throughput* (banyak data yang dapat ditransfer melalui jaringan), *Packet Loss* (banyak paket yang hilang dalam proses transmisi), dan *Latency* (lama keterlambatan waktu yang dibutuhkan pada proses pengiriman) [11]. Diharapkan dengan menggunakan analisis QoS tersebut, dapat diketahui kualitas jaringan, sekaligus dapat membandingkan dengan hasil data *Ethereum* penelitian sebelumnya [12].

2. KAJIAN PUSTAKA

Untuk mendukung penelitian dalam pembuatan web DApp, berikut ini adalah ekosistem dan *tools* yang digunakan.

2.1. Blockchain

Distributed Ledger Technology (DLT) merupakan *database* bersama yang direplikasi dan disinkronkan secara terdesentralisasi di antara anggota jaringan yang berbeda. DLT menyimpan data transaksional peserta dalam jaringan. Sebuah *Blockchain* didasarkan pada DLT yang tersebar di beberapa *node* atau perangkat komputasi. Terdapat tiga tipe jaringan *Blockchain* yaitu publik, pribadi, dan konsorsium (*hybrid*) [13].

2.2. Blockchain Explorer

Platform seperti *Polygonscan* digunakan untuk mengeksplorasi, melacak, mencari, menganalisis riwayat data [7], serta menampilkan detail semua transaksi yang disetujui atau ditandatangani di dalam *Blockchain* secara *real-time* [14].

2.3. Layer-2

Lapisan 2 (L2) mengacu pada jaringan yang berjalan di atas protokol lapisan ke-1 (L1) *Blockchain* yang bertujuan untuk meningkatkan skalabilitas, efisiensi, dan keamanan sambil mempertahankan desentralisasi [7].

Terdapat banyak jenis solusi lapisan 2 pada saat ini, misalnya seperti *Payment Channels* (*Lightning Network*, *Raiden Network*), *Rollups* (*Optimistic*

Rollups, *ZK Rollups*), *Sidechains (Polygon)*, *Plasma*, *Validium*, dll [15].

2.4. Polygon

Polygon sidechain adalah solusi penskalaan lapisan 2 yang mampu meningkatkan fungsionalitas *Ethereum Blockchain* dengan meningkatkan skalabilitas jaringan *Ethereum* dan kecepatan transaksi secara keseluruhan. Ini adalah sistem *multichain* yang menyediakan fitur terbaik dari *Ethereum* dan menunjukkan fitur yang kompatibel dengan *Blockchain* lain [16][17][7].

2.5. Cryptocurrency / Crypto Asset

Cryptocurrency merupakan sebagai bentuk mata uang digital yang dibuat dengan bantuan teknik kriptografi. *Cryptocurrency* tersebut didasari oleh *Blockchain* yang berfungsi untuk mencatat seluruh transaksi individu dan kepemilikan *Cryptocurrency* yang beredar [18].

2.6. Smart Contract

Smart contract atau kontrak pintar adalah program komputer yang dijalankan secara otomatis ketika kondisi tertentu terpenuhi [13]. Berfungsi untuk memfasilitasi, memverifikasi, atau menegakkan negosiasi secara digital dan ditulis melalui kode program yang berjalan melalui mesin virtual *Blockchain*, sehingga memungkinkan pengembang untuk membuat logika bisnis ke dalam *Blockchain* [9] [19].

2.7. DApp

Decentralized Application (DApp) adalah program komputer yang berjalan pada *distributed computing system* seperti DLT. DApp dapat dibangun di atas jaringan *Blockchain*, berisi rangkaian *smart contract* yang dapat terintegrasi melalui transaksi [20].

2.8. IPFS

InterPlanetary File System (IPFS) merupakan *distributed file system* yang bekerja menggunakan protokol *Peer-to-peer (P2P) hypermedia*, dengan cara membuat seluruh *node* yang terhubung saling berbagi atau menggunakan *file system* yang sama. *File* yang disimpan akan dibagi menjadi blok-blok berupa *sub-file* yang di-hash secara kriptografis, setiap *sub-file* diberi CID (pengidentifikasi konten) yang merupakan sidik jari unik sebagai catatan permanen dari file tersebut, kemudian didistribusikan ke *node* yang terhubung dengan IPFS [5], [17].

2.9. NFT

Non-Fungible Token (NFT) adalah aset digital unik yang menyediakan sarana untuk memverifikasi kelangkaan, asal, kredensial, hak tata kelola, akses

masuk, dan kepemilikan aset [7], [8]. Setiap token ditautkan ke karya seni digital unik melalui metadatanya, yang disimpan sebagai objek eksternal *file JSON* di dalam penyimpanan desentral [14].

Pada umumnya konten dan metadata NFT disimpan ke dalam penyimpanan desentral seperti IPFS. Penggunaan alamat identifikasi konten (CID) IPFS dapat diakses oleh siapapun jika setidaknya terdapat satu salinan konten di dalam jaringan IPFS, yang meskipun jika penyedia yang aslinya menghilang, data di alamat tersebut masih dapat diakses. Selain itu, alamat CID hanya dapat merujuk ke satu konten, sehingga pengguna dapat yakin bahwa tidak ada konten yang dapat diubah atau dimodifikasi tanpa memutuskan tautan. Berbeda jika dengan menggunakan transfer *Hypertext* tautan protokol (HTTP) yang rentan terhadap modifikasi dan peretasan konten [7].

Penelitian ini akan menggunakan NFT yang tidak dapat dipindahtangankan dan dialihkan sehingga tidak dapat dibeli ataupun dijual, istilah tersebut biasa dikenal dengan *Soulbound Token (SBTs)*. Karena konsep tersebut cocok diterapkan pada kredensial pekerjaan atau pendidikan, ijazah, lisensi, sertifikasi, bukti kehadiran konferensi, rekam medis, kartu identitas dan reputasi digital yang lain sebagainya [21], [22].

2.10. MetaMask

Ekstensi *plugin web browser* (<https://metamask.io/>) ataupun aplikasi perangkat lunak perangkat *mobile* yang berfungsi sebagai dompet digital untuk dapat menyimpan, menerima, mengirim atau bertransaksi *Cryptocurrency* dan NFT, serta membuat akun *wallet* yang dapat mengelola identitas seseorang [23], [20], [24].

MetaMask berperan seperti jembatan yang memungkinkan menjalankan *smart contract* pada DApp secara langsung di *browser* tanpa harus menjalankan *Ethereum node* [25], [26], [23]. MetaMask menggunakan *library web3.js* untuk dapat melakukan permintaan baca dan tulis yang dibuat di jaringan *Blockchain* pada *web browser* [20].

2.11. QoS

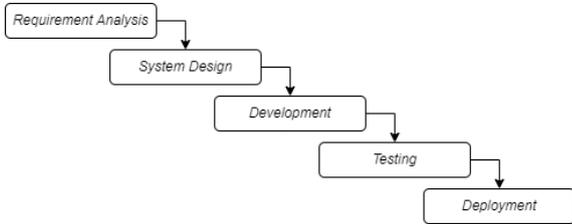
Quality of Service (QoS) merupakan metode pengukuran tentang seberapa baik jaringan dan merupakan suatu usaha untuk mendefinisikan karakteristik dan sifat dari suatu layanan [10].

Analisis QoS akan menggunakan parameter *Throughput* (banyak data yang dapat ditransfer melalui jaringan), *Packet Loss* (banyak paket yang hilang dalam proses transmisi), dan *Latency* (lama keterlambatan waktu yang dibutuhkan pada proses pengiriman). Parameter tersebut akan diklasifikasikan menurut *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Network (TIPHON)*, sesuai pada tabel berikut [11][5].

3. METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Gambar 1 memperlihatkan metode pengembangan aplikasi dengan menggunakan *waterfall process model*.

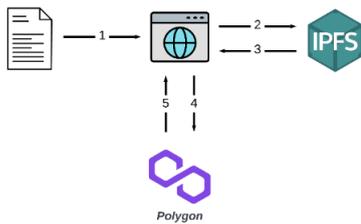


Gambar 1. Tahapan Penelitian

Pada tahap pengembangan menggunakan metode *smart contract* yang beroperasi melalui algoritma, DApp lalu diintegrasikan dengan *contract address* dan *Application Binary Interface (ABI)* dari setiap *smart contract* yang telah diterapkan.

3.2. Desain Sistem

Gambar 2 memperlihatkan rancangan atau desain sistem aplikasi.



Gambar 2. Alur Penerbitan Ijazah ke jaringan Polygon

Pada Gambar 2 merupakan alur penerbitan ijazah, dengan penjelasan seperti berikut:

1. Mengunjungi *website* yang berupa DApp. Mengisi seluruh data *form* masukan dan mengunggah ijazah yang berupa gambar.
2. Klik tombol *submit*, lalu gambar ijazah akan disebar dan disimpan pada IPFS.
3. Hasil pengunggahan dari *file* tersebut mengembalikan alamat konten CID IPFS.
4. Nilai data ijazah dan CID dimasukkan ke dalam *smart contract* jaringan Polygon.
5. Seluruh data *smart contract* yang berhasil divalidasi akan ditampilkan pada web DApp.

$$Cost = Gas Price \times Gas Usage \times Native Coin price \tag{1}$$

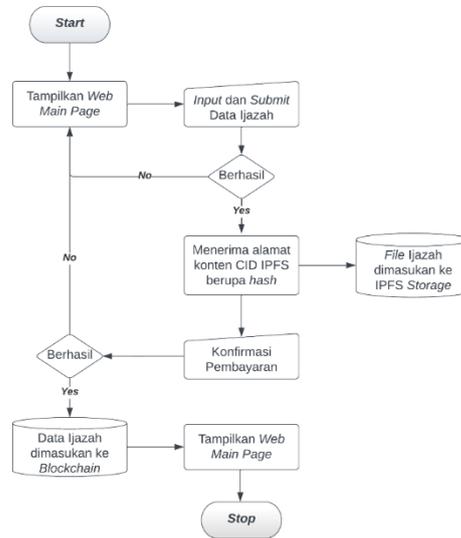
$$Throughput = \frac{Paket\ Data\ Diterima}{Lama\ Pengamatan} \tag{2}$$

$$Packet\ Loss = \frac{(Total\ Paket\ yang\ Dikirim - Total\ Paket\ yang\ Diterima) \times 100\%}{Total\ Paket\ yang\ Dikirim} \tag{3}$$

$$Latency = \frac{Total\ Delay}{Total\ Paket\ yang\ Diterima} \tag{4}$$

3.3. Diagram Alur

Gambar 3 memperlihatkan *flowchart* proses pengunggahan data ijazah ke Polygon dan IPFS.



Gambar 3. FlowChart Penerbitan Ijazah

Pengukuran QoS dilakukan secara *real-time* menggunakan *software* Wireshark, yang dimulai ketika admin menyetujui konfirmasi pembayaran..

3.4. Teknik Pengujian Sistem

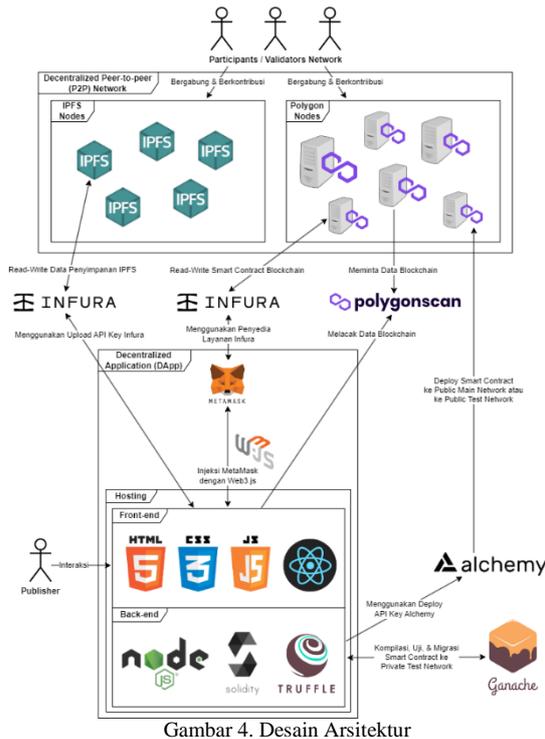
Terdapat dua pengujian pada penelitian ini, yang diuji melalui web DApp dengan menggunakan data ijazah sebanyak 35 buah sampel.

- 1) *Smart Contract Cost*: Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui biaya yang dikeluarkan pada setiap pengunggahan data ijazah dan *mint* ijazah NFT dengan menggunakan Polygonscan, kemudian dikonversi ke dalam satuan rupiah dengan menggunakan rumus persamaan nomer (1).
- 2) *Quality of Service*: Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dari sebuah jaringan dengan menggunakan tiga parameter yaitu *Throughput*, *Packet Loss*, dan *Latency*, yang berdasarkan persamaan nomer (2), (3) dan (4) dengan menggunakan ukuran data yang berbeda.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Desain Arsitektur

Gambar 4 memperlihatkan bagaimana perancangan struktur keseluruhan dari sistem pencatatan ijazah ini, yang dimana memerlukan beberapa komponen maupun ekosistem yang saling berinteraksi dan ketergantungan.

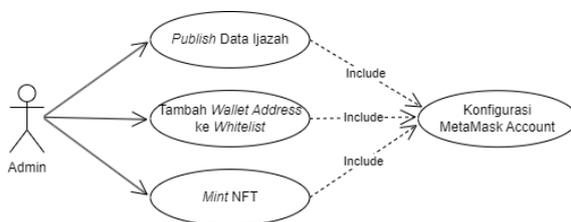


Gambar 4. Desain Arsitektur

4.2. Desain Perancangan Sistem

Berikut ini merupakan beberapa pemodelan perangkat lunak dengan menggunakan metode diagram *Unified Modeling Language (UML)*.

1) Use Case Diagram:

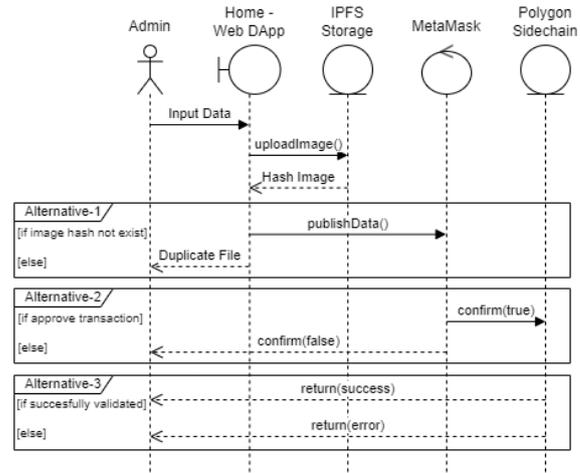


Gambar 5. Use Case Diagram

Gambar 5 memperlihatkan metode utama yang digunakan pada *smart contract*. Setiap aktor diperlukan untuk mengonfigurasi alamat akun dompet MetaMask sampai berhasil terkoneksi, sehingga aktor dapat mengakses elemen dan fitur yang ada pada sistem secara utuh.

2) Sequence Diagram:

Gambar 6 memperlihatkan alur dari proses pengunggahan data ijazah oleh admin, yang dibuat berdasarkan alur seperti pada gambar 3.

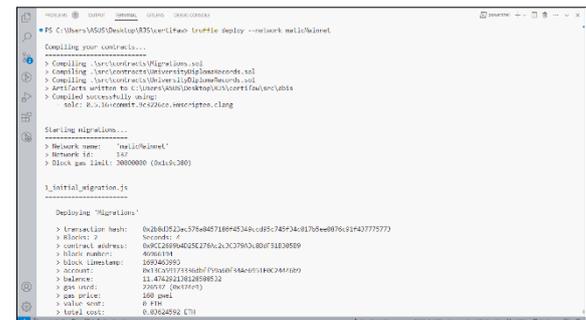


Gambar 6. Sequence Diagram

4.3. Pengembangan Kode Program

Kunci API penerapan yang disediakan oleh layanan Alchemy, dapat secara langsung diintegrasikan ke dalam *framework* seperti Truffle, bertujuan untuk memudahkan dan mempercepat proses pengembangan aplikasi tanpa harus mengelola infrastruktur sendiri, terutama pada kondisi saat melakukan penerapan atau penyebaran kontrak ke jaringan *Blockchain* publik.

Gambar 7 memperlihatkan hasil tahap produksi penerapan *smart contract* ke jaringan utama publik *Polygon* dengan menggunakan *framework* Truffle, *deploy API key* layanan Alchemy, dan menggunakan *native coin* asli yang bernama MATIC.

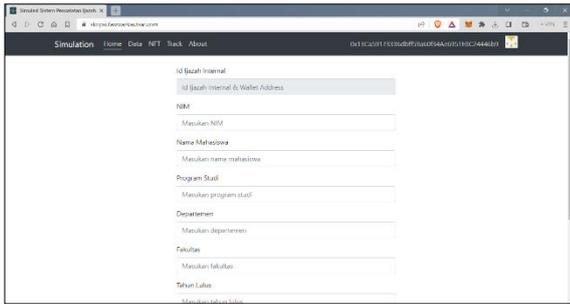


Gambar 7. Penerapan Smart Contract ke Polygon Public Mainnet

Fitur antarmuka yang telah dibuat lalu diintegrasikan dengan kunci API layanan Infura, agar dapat melakukan penyimpanan *file* gambar dan metadata NFT pada IPFS nantinya.

4.4. Hasil Tampilan Antarmuka DApp

Gambar 8 memperlihatkan salah satu hasil tampilan antarmuka DApp, setelah berhasil melakukan *deployment* ke web *hosting* dengan nama *sub-domain* yaitu skripsi.fawwazkautsar.com.



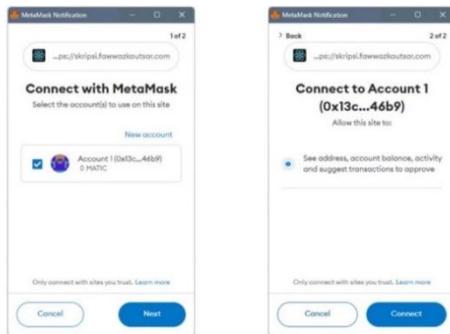
Gambar 8. Halaman Home

Pada penelitian ini terdapat lima halaman utama, diantaranya:

1. Halaman *Home* untuk mengunggah data ijazah.
2. Halaman *Data* untuk menambah *wallet address* mahasiswa ke *whitelist* dan mencetak NFT.
3. Halaman *NFT* untuk melihat galeri NFT yang berhasil dicetak.
4. Halaman *Track* untuk melacak *hash* melalui bantuan Polygonscan dan *gateway* IPFS.
5. Halaman *About* untuk memahami cara kerja dan tentang aplikasi.

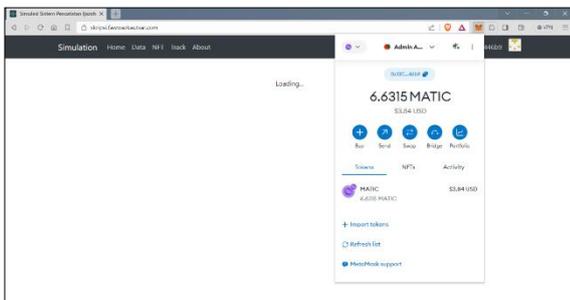
4.5. Implementasi Simulasi Pencatatan Ijazah

Gambar 9 memperlihatkan *pop-up* permintaan koneksi antara alamat akun dompet MetaMask dengan sistem DApp pada saat pertama kali diakses.



Gambar 9. Mengkoneksikan MetaMask dengan DApp

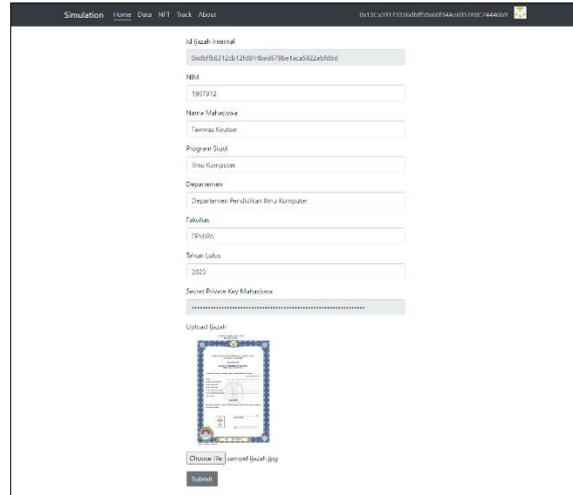
Gambar 10 memperlihatkan mengaktifkan jaringan utama Polygon serta siapkan *native coin*-nya yang bernama MATIC pada dompet MetaMask.



Gambar 10. Mengaktifkan Polygon Mainnet (Jaringan Utama)

Secara teknis kode *smart contract* yang telah berhasil diterapkan sebelumnya akan diubah dalam bentuk *bytecode*, yang dimana diintegrasikan dengan

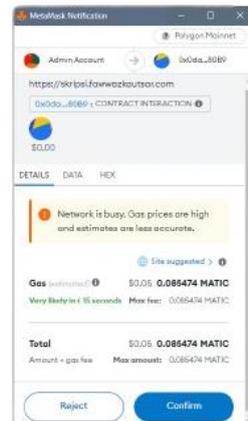
ABI agar dapat berinteraksi dengan fungsi-fungsi kode *smart contract* melalui DApp. Gambar 11 memperlihatkan contoh data ijazah mahasiswa yang akan diunggah.



Gambar 11. Pengisian Data Ijazah

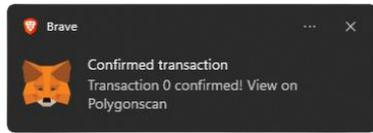
Seluruh kolom *form* masukan perlu diisi oleh admin, kecuali untuk kolom Id Ijazah Internal dan *Secret Private Key*. Nilai *Secret Private Key* Mahasiswa diperoleh dari seluruh nilai masukan admin, kemudian diubah menjadi nilai *hash* dengan menggunakan teknik SHA-256, yang memiliki panjang tetap sebanyak 64 karakter. Sementara Id Internal Ijazah dihasilkan dari nilai *Secret Private Key* yang diubah menjadi *wallet address*.

Ketika seluruh kolom *form* masukan telah diisi, admin perlu mengklik tombol *submit* agar data dimasukan ke *Blockchain*, kecuali nilai *Secret Private Key* Mahasiswa karena tidak boleh diketahui oleh selain mahasiswa yang memiliki ijazah tersebut, agar nantinya digunakan sebagai hak akses kredensial NFT. Sehingga nilai tersebut masih membutuhkan *database* yang tidak terbuka dan transparan agar diperoleh oleh setiap mahasiswa secara privasi. Setelah tombol *submit* diklik, admin harus bersedia membayar biaya transaksi sebesar yang tercantum pada *pop-up* konfirmasi pembayaran MetaMask seperti pada gambar 12.



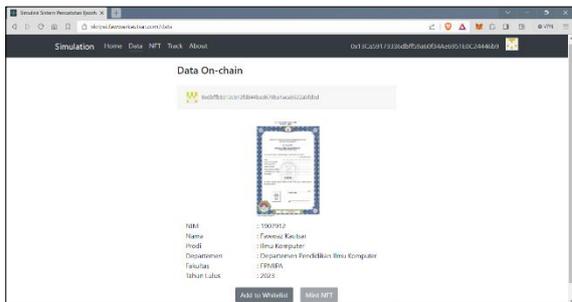
Gambar 12. Pop-up Konfirmasi Pembayaran Publish Data

Transaksi data ijazah yang telah disetujui oleh admin, akan dikirimkan ke dalam jaringan *Polygon* untuk disebar dan divalidasi oleh *validator* atau peserta yang bergabung pada jaringan. Sehingga diperlukan waktu untuk mengunggah data ijazah tersebut. Setelah transaksi berhasil divalidasi, maka akan muncul notifikasi seperti pada gambar 13.



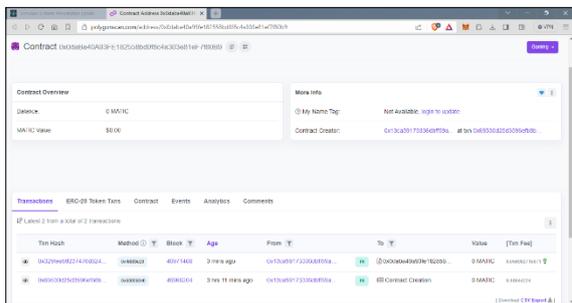
Gambar 13. Pop-up Notifikasi Konfirmasi Transaksi

Seluruh data-data ijazah yang telah berhasil diunggah ke dalam *smart contract* jaringan *Polygon* sekaligus ke dalam jaringan penyimpanan IPFS, akan dapat terlihat langsung pada tampilan bagian halaman Data seperti pada gambar 14.



Gambar 14. Data Ijazah yang Berhasil Divalidasi

Data ijazah yang berhasil diunggah ke dalam *smart contract* jaringan *Polygon* maupun ke dalam jaringan penyimpanan IPFS, dapat dilacak melalui fitur pada halaman Track dengan menggunakan bantuan PolygonScan dan *gateway* layanan IPFS. Gambar 15 memperlihatkan hasil pelacakan riwayat transaksi data ijazah menggunakan PolygonScan.



Gambar 15. Melacak Riwayat Transaksi dan Data Ijazah.

4.6. Implementasi Simulasi *Mint* NFT

Proses pencetakan ijazah menjadi NFT perlu melalui konfirmasi pembayaran MetaMask, sama seperti ketika proses mengunggah data ijazah. *Mint* NFT dapat dilakukan setelah admin mengklik tombol *Add to Whitelist* seperti yang ada pada gambar 14. Tombol *Mint* NFT akan otomatis mengambil data yang dipilih, lalu diubah ke dalam bentuk *file* JSON

dan disusun berdasarkan standar *format* metadata NFT umumnya.

```
{
  "name": "...",
  "description": "...",
  "image": "...",
  "attributes": [
    {
      "trait_type": "...",
      "value": "..."
    }
  ]
}
```

Listing program 1. Code Json

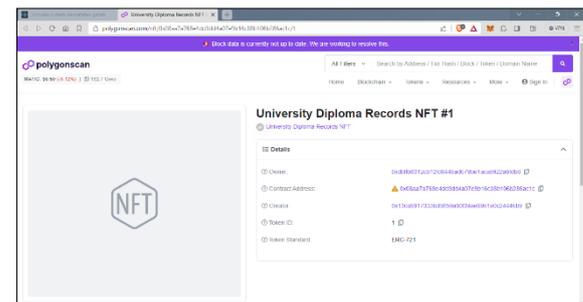
Tujuan dari penggunaan metadata NFT ialah berfungsi untuk menambah informasi yang lebih kaya dan deskriptif, sehingga dapat membantu dalam memahami aset NFT lebih baik, serta dapat memberikan nilai keunikan, keautentikan, lisensi, dan hak cipta NFT tersebut.

Metadata diunggah ke dalam jaringan IPFS dan menghasilkan nilai CID, lalu *hash* unik tersebut dimasukan ke dalam *smart contract*. Gambar 16 memperlihatkan metadata NFT yang berhasil dicetak dengan menghasilkan nilai CID `QmWmPBEFHm-D4turSsndXFQHN4FtEwycfU32RSEFzZNRtD`.

```
{
  "name": "Universitas Diponegoro",
  "description": "Universitas Diponegoro adalah salah satu universitas ternama di Indonesia yang didirikan pada tahun 1953. Universitas Diponegoro memiliki reputasi yang baik dalam berbagai bidang, terutama dalam bidang pendidikan dan penelitian.",
  "image": "https://ipfs.io/ipfs/QmWmPBEFHm-D4turSsndXFQHN4FtEwycfU32RSEFzZNRtD",
  "attributes": [
    {
      "trait_type": "Year",
      "value": "1953"
    },
    {
      "trait_type": "Location",
      "value": "Semarang"
    },
    {
      "trait_type": "Type",
      "value": "Public"
    },
    {
      "trait_type": "Department",
      "value": "Departemen Pendidikan dan Kebudayaan"
    },
    {
      "trait_type": "Faculty",
      "value": "Fakultas"
    },
    {
      "trait_type": "Student ID",
      "value": "123456789"
    },
    {
      "trait_type": "Degree",
      "value": "Sarjana"
    }
  ]
}
```

Gambar 16. Metadata NFT yang Berhasil Dicitak

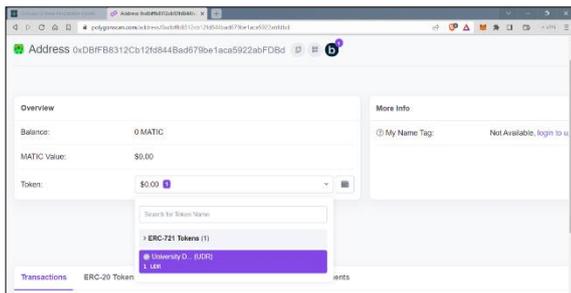
Seluruh data-data ijazah NFT yang telah berhasil dicetak ke dalam *smart contract* jaringan *Polygon* sekaligus ke dalam jaringan penyimpanan IPFS, akan dapat terlihat langsung pada tampilan bagian halaman NFT yang berisi seluruh galeri NFT.



Gambar 17. Melacak Detail Ijazah NFT melalui PolygonScan

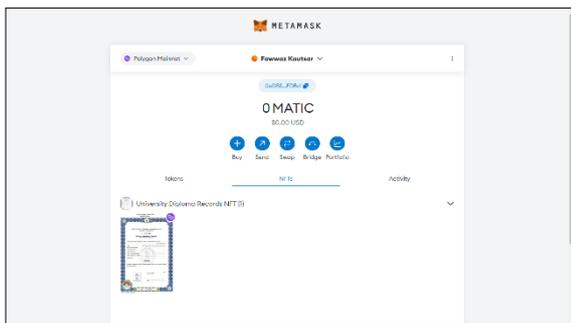
Setiap ijazah NFT mahasiswa dapat ditelusuri informasinya secara detail pada Polygonscan. Gambar 17 memperlihatkan informasi ijazah NFT, yang dimana dapat mengetahui alamat dompet pemilik NFT, alamat kontrak pintar yang menerbitkan NFT, alamat dompet yang mencetak NFT, id NFT, standar token yang digunakan, kapan tanggal NFT dicetak, dan riwayat transaksi NFT

Bagi setiap alamat dompet pemilik token NFT dapat ditelusuri juga melalui Polygonscan dengan cara melihatnya pada kolom Token. Semua orang dapat melihat informasi kepemilikan NFT siapapun secara publik dan transparan seperti pada gambar 18.



Gambar 18. Melacak *Ownership* Ijazah NFT melalui Polygonscan

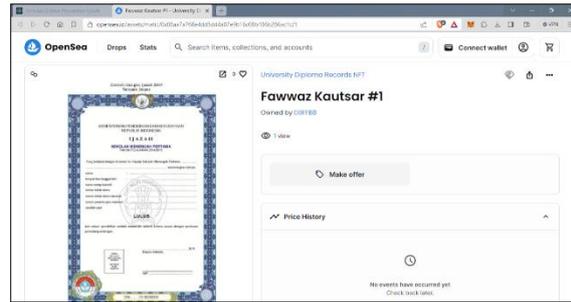
NFT yang telah dicetak hanya dapat diimpor ke dalam dompet MetaMask oleh *wallet address* pemilik NFT sesuai yang tercatat di *Blockchain*, yang meskipun alamat kontrak dan id NFT dapat diketahui secara publik dan transparan. Sehingga alamat akun dompet yang sembarang atau yang tidak sesuai tidak dapat memiliki akses kredensial NFT tersebut. Gambar 19 memperlihatkan hasil impor NFT menggunakan *secret private key* mahasiswa.



Gambar 19. Hasil Impor Ijazah NFT melalui Ekstensi MetaMask

Setiap informasi data NFT diambil berdasarkan metadata NFT yang telah berhasil diunggah sebelumnya. Jika MetaMask tidak berhasil menampilkan informasi, maka kemungkinan terjadi kesalahan pada penggunaan standar *format* metadata NFT, konfigurasi layanan Infura, pengaturan MetaMask, kode pada *smart contract*, atau tidak ada satupun *node* penyedia konten metadata tersebut di jaringan.

Selain dapat dilihat melalui dompet MetaMask NFT dapat dilihat melalui *marketplace* NFT, salah satunya adalah OpenSea yang populer dan berbasis pada jaringan *Ethereum* seperti pada gambar 20.

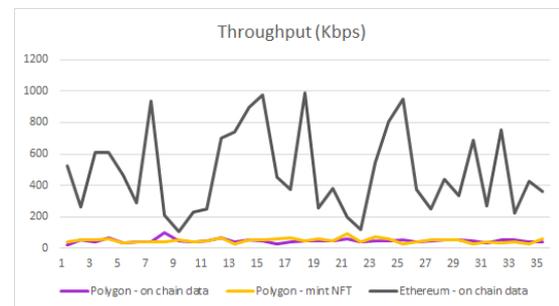


Gambar 20. Melihat Ijazah NFT melalui *Marketplace* OpenSea.

4.7. Analisis *Quality of Service*

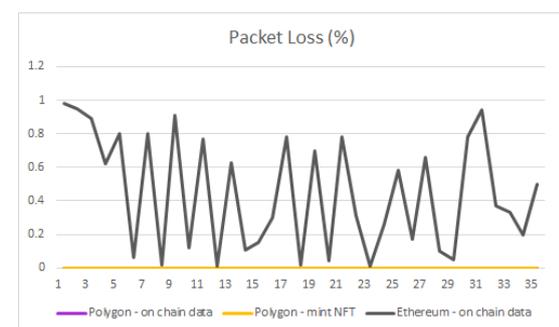
Setelah selesai melakukan pengujian QoS pada DApp berbasis *Polygon* untuk *publish (on-chain)* data dan *mint* NFT. Langkah selanjutnya ialah melakukan perbandingan antara parameter QoS *Polygon* dengan *Ethereum* (penelitian sebelumnya) untuk mengambil kesimpulan.

- 1) *Throughput*: Melalui visualisasi grafik dan data dari parameter tersebut diperoleh bahwa, nilai rata-rata *throughput* untuk *Ethereum – on chain data* mendapat nilai 486,29 Kbps yang berarti memiliki performa lebih baik, jika dibandingkan dengan nilai performa *Polygon – mint* NFT yaitu 49,6 Kbps dan juga *Polygon – on chain data* yang dimana mendapat nilai 48,6 Kbps ($1 \text{ Kbps} \approx 10^3 \text{ bps}$).



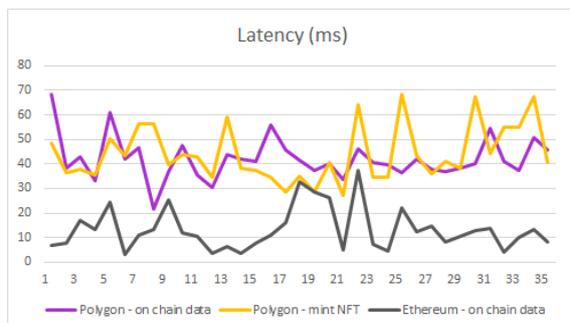
Gambar 21. Grafik *Throughput* Web DApp

- 2) *Packet Loss*: Melalui visualisasi grafik dan data dari parameter tersebut diperoleh bahwa, nilai rata-rata *packet loss* untuk *Polygon – on chain data* dan *Polygon – mint* NFT keduanya mendapat nilai 0% yang berarti memiliki performa lebih baik, jika dibandingkan dengan performa *Ethereum – on chain data* yang dimana mendapat nilai 0,45%.



Gambar 22. Grafik *Packet Loss* Web DApp

- 3) *Latency*: Melalui visualisasi grafik dan data dari parameter tersebut diperoleh bahwa, nilai rata-rata *latency* untuk *Ethereum – on chain data* mendapat nilai 13,31 m/s yang berarti memiliki performa lebih baik, jika dibandingkan dengan nilai performa *Polygon – on chain data* yaitu 42,07 m/s dan juga *Polygon – mint NFT* yang dimana mendapat nilai 44,13 m/s.



Gambar 23. Grafik *Latency* Web DApp.

Tabel 1. Biaya Rata-rata *Smart Contract Cost*

Nama Jaringan	Gas Price (Gwei)	Gas Usage	Cryptocurrency	Biaya Transaksi
<i>Polygon – on chain data</i>	113	359.634,68	0,040825211 MATIC	Rp. 357,88
<i>Polygon – mint NFT</i>	126	198.631,97	0,024971161 MATIC	Rp. 218,90
<i>Ethereum – on chain data</i>	27,6	181.134,09	0,005005879 ETH	Rp. 15.868,64

Pengujian *smart contract cost* penelitian ini digunakan sebagai bukti hipotesa atau asumsi awal bahwa telah sesuai dengan teori, yang dimana dengan menggunakan jaringan *Polygon* akan jauh lebih murah jika dibandingkan dengan jaringan *Ethereum*. Biaya yang digunakan dalam konversi rupiah pada penelitian ini dengan penelitian sebelumnya dapat terlihat jelas berbeda dan signifikan. Terlebih lagi yang perlu untuk diketahui bahwa harga 1 ETH dalam kurs rupiah telah mengalami fluktuasi perubahan atau kenaikan harga pada saat penelitian ini dibuat, sehingga untuk data biaya pada *Ethereum – on chain data* tentunya akan membuat semakin naik, tinggi dan mahal, mengikuti kenaikan harga 1 ETH dalam kurs rupiah tersebut. Karena pada dasarnya jika suatu harga *cryptocurrency* atau *native coin* mengalami kenaikan harga, maka biaya yang dikeluarkan dalam rupiah juga akan semakin besar, demikian juga berlaku untuk sebaliknya.

Jumlah nilai dalam satuan *cryptocurrency* yang dibutuhkan pada setiap transaksi, tentunya

5. DISKUSI

Hasil rekapitulasi data *smart contract cost* sebanyak 35 data pada jaringan *Polygon* dan *Ethereum*, dapat diketahui hasil biaya rata-rata yang dibutuhkan untuk setiap transaksinya seperti yang terlihat pada tabel 1 berikut.

Setiap data yang disimpan ke *Blockchain* pada saat pengujian, tentunya diperlukan untuk membayar atau mengeluarkan sejumlah *cryptocurrency* yang sesuai dengan jaringan yang digunakan tersebut (*native coin*), diambil berdasarkan hasil perkalian antara *gas price* dengan *gas usage*. Biaya transaksi dalam *cryptocurrency* tersebut kemudian dikonversi ke dalam kurs rupiah, yang dimana harga 1 MATIC = 8.766,07 Rupiah pada saat pembelian di tanggal 31 Agustus 2023. Adapun pada penelitian sebelumnya menggunakan *cryptocurrency* yang bernama Ether sebagai *native coin* untuk jaringan *Ethereum*, dimana harga 1 ETH = 3.170.000,00 Rupiah saat pembelian tanggal 9 Mei 2020.

dipengaruhi oleh nilai *gas price* dan nilai *gas usage*. Pada jaringan *Polygon* dapat terlihat bahwa memerlukan nilai *gas price* dan *gas usage* yang lebih tinggi. Nilai *gas price* dapat disebabkan oleh penggunaan jaringan *Polygon* pada saat itu sedang padat digunakan dan diperlukan mengantri untuk melakukan transaksi tersebut, ataupun terdapat faktor lain seperti transaksi yang ingin diprioritaskan untuk lebih cepat divalidasi oleh para partisipan jaringan tersebut. Sementara nilai *gas usage* dapat ditentukan oleh seberapa kompleks suatu transaksi dan seberapa banyak data dalam transaksi yang dikirimkan tersebut.

Adapun hasil rekapitulasi data QoS sebanyak 35 data pada jaringan *Polygon* dan *Ethereum* (penelitian sebelumnya), dapat diketahui hasil rata-rata performansi kualitas jaringan untuk setiap transaksinya, sekaligus dengan berdasarkan standar TIPHON seperti yang terlihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan Performansi QoS antara *Polygon* dengan *Ethereum*

Nama Jaringan	Throughput			Packet Loss			Latency		
	Rata-rata	Indeks	Karakteristik	Rata-rata	Indeks	Karakteristik	Rata-rata	Indeks	Karakteristik
<i>Polygon – on chain data</i>	48,6 Kbps	4	Sangat Baik	0 %	4	Sangat Baik	42,07 m/s	4	Sangat Baik
<i>Polygon – mint NFT</i>	49,6 Kbps	4	Sangat Baik	0 %	4	Sangat Baik	44,13 m/s	4	Sangat Baik
<i>Ethereum – on chain data</i>	486,29 Kbps	4	Sangat Baik	0,45 %	4	Sangat Baik	13,31 m/s	4	Sangat Baik

Pada saat pengujian QoS masing-masing jaringan, penulis menelusuri bahwa jumlah *validator* jaringan *Polygon* terdapat 105 partisipan, sementara

validator jaringan *Ethereum* terdapat sekitar 7.356 partisipan yang aktif berkontribusi dan bergabung pada jaringan. Sehingga hal tersebut memungkinkan

dapat memengaruhi hasil kinerja QoS, dimana kualitas parameter *throughput* dapat dipengaruhi oleh faktor seperti jumlah node *validator*, protokol mekanisme konsensus, dan efisiensi kode *smart contract*. Lalu parameter *packet loss* dapat dipengaruhi oleh pengaturan *firewall* atau *filter* yang digunakan node *validator*. Sementara parameter *latency* dapat dipengaruhi oleh jarak geografis node *validator*, rute jaringan yang diambil, serta faktor hal lainnya juga.

Faktor biaya transaksi dan kualitas jaringan menjadi suatu hal pertimbangan yang sangat krusial dalam penggunaan *Blockchain*. Berdasarkan dari pengujian *smart contract cost* dan pengujian QoS yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa pada saat penelitian ini dibuat jaringan *Polygon* memiliki keunggulan pada biaya transaksi dalam kurs rupiah yang jauh lebih murah, jika dibandingkan dengan menggunakan *layer-1* nya yaitu jaringan *Ethereum*. Selain itu jaringan *Polygon* memiliki kualitas jaringan dalam parameter *packet loss* yang sangat baik, bahkan dapat memperoleh hasil nilai yang sempurna untuk *packet loss* yang diharapkan dapat menjaga orisinalitas data, meminimalisir kerusakan informasi, dan kesalahan dalam bertransaksi data ke *Blockchain*.

6. KESIMPULAN

Langkah-langkah yang menjadi hipotesa awal dapat dilaksanakan dan berhasil dalam membangun web DApp berupa sistem pencatatan ijazah menggunakan teknologi *Blockchain* sampai dengan tahap pengujian. Ditemukan bahwa jaringan *Polygon* memiliki performa *packet loss* yang sangat baik. Hal ini sangat berguna dalam meminimalisir kerusakan informasi yang terkandung seperti yang ada di dalam transaksi data. Dengan demikian, keputusan untuk menyimpan ijazah sebagai aset digital berbentuk NFT adalah sudah tepat.

7. SARAN

Adapun saran penulis untuk penelitian sejenis yang akan dilakukan kedepannya. Seperti diperlukan peningkatan kualitas pengalaman pengguna dan layanan secara keseluruhan melalui praktik cara terbaik, baik dalam hal optimasi kode algoritma maupun untuk parameter QoS. Serta melakukan penambahan pada DApp seperti integrasi *Digital Rights Management (DRM)* dengan menggunakan kombinasi teknologi *Blockchain*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Y. Furqoni, "PEMALSUAN IJAZAH DI KALANGAN BURUH PABRIK (Studi Kualitatif Mengenai Tindakan Sosial dan Stigmatisasi Pelaku Pemalsuan Ijazah Di Kabupaten Bekasi)," Universitas Airlangga, 2017. [Online]. Available: <https://repository.unair.ac.id/68229/%0Ahttp://repository.unair.ac.id/68229/3/Fis.S.40.17.Fur.p-JURNAL.pdf>
- [2] M. M. Ridho, "IMPLEMENTASI ALGORITMA ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES) DAN HASH UNTUK IDENTIFIKASI KEASLIAN IJAZAH," Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, 2016.
- [3] A. M. Karinda, "Kajian Yuridis Tentang Pemalsuan Ijazah Menurut Pasal 263 dan 264 KUHP," *Lex Crim.*, vol. 5, no. 6, 2016.
- [4] M. Makna *et al.*, "Cendikia : Media Jurnal Ilmiah Pendidikan Journal homepage: www.iocscience.org/ejournal/index.php/Cendikia," *Cendikia Media J. Ilm. Pendidik.*, vol. 13, no. 2, pp. 217–231, 2022.
- [5] M. D. Muis, P. Sukarno, and A. A. Wardana, "Analisis Dan Implementasi Sistem Pendeteksi Ijazah Dan Transkrip Palsu Dengan Menggunakan Ipfs Dan Smart Contract Blockchain," *eProceedings Eng.*, vol. 8, no. 5, 2021.
- [6] L. Ante, "Smart Contracts on the Blockchain – A Bibliometric Analysis and Review," *SSRN Electron. J.*, no. 10, pp. 1–48, 2020, doi: 10.2139/ssrn.3576393.
- [7] S. Bhujel and Y. Rahulamathavan, "A Survey: Security, Transparency, and Scalability Issues of NFT's and Its Marketplaces," *Sensors*, vol. 22, no. 22, 2022, doi: 10.3390/s22228833.
- [8] A. Tapscott, "Digital Asset Revolution: The Rise of DeFi and the Reinvention of Financial Services," no. December, 2021, [Online]. Available: www.blockchainresearchinstitute.org/contact-us,
- [9] A. M. Aziz, A. Budiono, and A. Widjajarto, "Analisis Dan Implementasi Komunikasi Antar Node Ipfs (Interplanetary File System) Pada Smart Contract Ethereum Analysis and Implementation of Nodes Communication Between Interplanetary File System (Ipfs) in Smart Contract Ethereum," vol. 6, no. 2, pp. 7670–7678, 2019.
- [10] R. Wulandari, "ANALISIS QoS (QUALITY OF SERVICE) PADA JARINGAN INTERNET (STUDI KASUS : UPT LOKA UJI TEKNIK PENAMBANGAN JAMPANG KULON – LIPI)," *J. Tek. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 2, no. 2, pp. 162–172, 2016, doi: 10.28932/jutisi.v2i2.454.
- [11] H. Dhika and S. A. Tyas, "Quality of Services (Qos) Untuk Meningkatkan Skema Dalam Jaringan Optik," *JIMP - J. Inform. Merdeka Pasuruan*, vol. 5, no. 2, 2021, doi: 10.37438/jimp.v5i2.268.

- [12] M. AINUN FAJAR, "Quality of Service Ethereum Blockchain Berbasis IpfS Untuk Validasi Ijazah Sekolah," 2020.
- [13] W. Yang, S. Garg, A. Raza, D. Herbert, and B. Kang, "Blockchain: Trends and future," in *Knowledge Management and Acquisition for Intelligent Systems: 15th Pacific Rim Knowledge Acquisition Workshop, PKAW 2018, Nanjing, China, August 28-29, 2018, Proceedings 15*, 2018, pp. 201–210.
- [14] R. Brennan, "Music Copyright Management using Smart Contracts and Tokenization on the Ethereum Blockchain," no. August, 2022.
- [15] H. Hon, K. Wang, M. Bolger, J. Zhou, W. Wu, and E. Lee, "Research and Insights," *Crypto.com*, pp. 1–19, 2021, [Online]. Available: <https://www.visitscotland.org/research-insights>
- [16] S. Kravenkit and C. So-In, "Blockchain-Based Traceability System for Product Recall," *IEEE Access*, vol. 10, no. August, pp. 95132–95150, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3204750.
- [17] B. kumar Rai, S. Fatima, and K. Satyarth, "Patient-Centric Multichain Healthcare Record," *Int. J. E-Health Med. Commun.*, vol. 13, no. 4, pp. 1–14, 2022, doi: 10.4018/IJEHMC.309439.
- [18] M. Milutinović, "Cryptocurrency," *Ekonomika*, vol. 64, no. 1, pp. 105–122, 2018, doi: 10.5937/ekonomika1801105m.
- [19] X. Zhang, "The use of ethereum blockchain using internet of things technology in information and fund management of financial poverty alleviation system," *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, vol. 13, no. s3, pp. 1205–1215, 2022, doi: 10.1007/s13198-022-01644-y.
- [20] M. Johnson, M. Jones, M. Shervey, J. T. Dudley, and N. Zimmerman, "Building a secure biomedical data sharing decentralized app: Tutorial," *J. Med. Internet Res.*, vol. 21, no. 10, 2019, doi: 10.2196/13601.
- [21] E. G. Weyl, P. Ohlhaver, and V. Buterin, "Decentralized Society: Finding Web3's Soul," *SSRN Electron. J.*, no. May, 2022, doi: 10.2139/ssrn.4105763.
- [22] B. Schafer, B. Schafer, J. Collomosse, G. Parry, and C. Elsdén, "DeCaDE Contribution for DCMS Call for Evidence on NFTs DeCaDE Contribution for DCMS Call for Evidence on NFTs".
- [23] C. Dannen, *Wprowadzenie do ethereum i solidity: podstawy programowania kryptowalut i blockchain dla początkujących*. 2017.
- [24] I. Widi Widayat and M. Köppen, "Blockchain Simulation Environment on Multi-image Encryption for Smart Farming Application," *Lect. Notes Networks Syst.*, vol. 312, no. July, pp. 316–326, 2022, doi: 10.1007/978-3-030-84910-8_33.
- [25] A. B. C. , D. K. R. Amrita B. Chavan , Dr. K. Rajeswari, "The Design and Development of Decentralized Digilocker using Blockchain," *Int. J. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 29–36, 2019, doi: 10.24247/ijcseitrdec20195.
- [26] K. Bhosale, K. Akbarabbas, J. Deepak, and A. Sankhe, "Blockchain based secure data storage," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 5058–5061, 2019.