Jurnal Teknologi Terpadu

https://journal.nurulfikri.ac.id/index.php/jtt
ISSN : 2477-0043 ISSN ONLINE : 2460-7908

PENERAPAN STRATEGI *HYBRID ON-CHAIN*/*OFF-CHAIN* DALAM PENYIMPANAN DATA PASIEN RUMAH SAKIT PADA JARINGAN *BLOCKCHAIN*

Salman El Farisi[1], Yaasir Aidil Fitrah[2], Fatiah Al Zahra[3], Akhmam Fahmi[4]

[1,2,3] Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Teknologi Terpadu Nurul Fikri
[4] Sistem Informasi, Sekolah Tinggi Teknologi Terpadu Nurul Fikri
Jakarta Selatan, DKI Jakarta, Indonesia 12640
salman@nurulfikri.ac.id, yaas22277ti@student.nurulfikri.ac.id, fati22246ti@student.nurulfikri.ac.id,
akhmam.fahmi@nurulfikri.ac.id

Abstract

In recent years, the adoption of Electronic Medical Records (EMR) has become an important part of the digital transformation in the healthcare sector. However, centralized EMR systems still face several challenges, including the risk of single points of failure and limitations in ensuring the integrity and security of patient data. This research aims to develop a prototype of a decentralized RME data storage system utilizing Blockchain and the Inter-Planetary File System (IPFS). The system is designed to support three main scenarios, namely patient registration, patient data search, and outpatient registration. Patient medical record data is stored off-chain on IPFS in JSON format, while metadata, including the Content Identifier (CID) and Population Identification Number (NIK), is stored on-chain on the Ethereum network using Smart Contracts. System evaluation was conducted by measuring gas consumption in patient data storage and outpatient registration functions. The results show that the patient registration function consumes a significantly higher average gas (380,907 units) than the outpatient registration function (51,540 units), indicating greater computational complexity. These findings also suggest that integrating blockchain technology with IPFS is a viable approach to building a secure, decentralized electronic medical record (EMR) storage system.

Keywords: *Blockchain, Electronic Medical Record, Ethereum, IPFS, Smart Contract*

Abstrak

Dalam beberapa tahun terakhir, adopsi Rekam Medis Elektronik (RME) telah menjadi bagian penting dari transformasi digital di sektor kesehatan. Namun, sistem RME yang bersifat terpusat masih menghadapi sejumlah tantangan, seperti risiko *single point of failure* dan keterbatasan dalam menjamin integritas serta keamanan data pasien. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan purwarupa sistem penyimpanan data RME yang terdesentralisasi dengan memanfaatkan teknologi *Blockchain* dan *Inter-Planetary File System* (IPFS). Sistem dirancang untuk mendukung tiga skenario utama, yaitu pendaftaran pasien, pencarian data pasien, dan pendaftaran rawat jalan. Data rekam medis pasien disimpan secara *off-chain* pada IPFS dalam format JSON, sementara *metadata* berupa *Content Identifier* (CID) dan Nomor Induk Kependudukan (NIK) disimpan secara *on-chain* pada jaringan Ethereum menggunakan *Smart Contract*. Evaluasi sistem dilakukan melalui pengujian non-fungsional dengan mengukur konsumsi *gas used* pada fungsi penyimpanan data pasien dan pendaftaran rawat jalan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fungsi penyimpanan data pasien memiliki rata-rata penggunaan gas sebesar 380.907 unit, jauh lebih tinggi dibandingkan fungsi pendaftaran rawat jalan sebesar 51.540 unit, yang mencerminkan tingkat kompleksitas proses yang lebih besar. Temuan ini sekaligus menunjukkan bahwa integrasi teknologi *blockchain* dan IPFS berpotensi digunakan sebagai solusi penyimpanan Rekam Medis Elektronik (RME) yang aman dan terdesentralisasi.

Kata kunci: *Blockchain*, Ethereum, IPFS, Rekam Medis Elektronik, *Smart Contract*

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, industri kesehatan mengalami transformasi signifikan yang didorong oleh kemajuan teknologi digital. Salah satunya adalah melalui adopsi Rekam Medis Elektronik (RME) di lingkungan fasilitas pelayanan kesehatan. RME merupakan versi digital dari rekam medis berbasis kertas yang berfungsi sebagai repositori data kesehatan pasien yang mencakup informasi

Diterima 14 November 2025, Direvisi 26 November 2025, Diterima untuk publikasi 17 Desember 2025

demografi, riwayat medis, diagnosis, dan pengobatan pasien [1]. Di Indonesia, penerapan RME telah diatur secara resmi melalui Permenkes No. 24 Tahun 2022 yang memberikan kerangka hukum dan pedoman teknis dalam implementasinya di berbagai fasilitas layanan kesehatan.

Peralihan dari catatan kertas ke RME di Indonesia didorong oleh kebutuhan untuk meningkatkan mutu pelayanan kesehatan serta menjamin keamanan, kerahasiaan, keutuhan, dan ketersediaan data rekam medis. RME dirancang untuk merampingkan alur kerja penyedia layanan kesehatan dengan memungkinkan akses *real-time* ke data pasien, mengurangi risiko kesalahan yang terkait dengan pencatatan manual, dan memfasilitasi koordinasi perawatan yang lebih baik [2].

Namun, dalam penerapan RME, terdapat sejumlah tantangan yang harus dihadapi. Salah satu tantangan utama adalah tingginya biaya operasional yang diperlukan untuk membangun dan memelihara sistem RME yang andal [3]. Selain itu, sistem RME yang umumnya terpusat (*centralized*) menimbulkan risiko terhadap terjadinya *single point of failure*, dimana kegagalan pada satu titik pusat dapat menyebabkan seluruh sistem tidak berfungsi.

Berdasarkan penelitian survei yang dilakukan oleh Colakoglu et.al, *maintainablity*, *reliability*, dan *security* merupakan tiga atribut utama yang menentukan kualitas operasional suatu perangkat lunak. *Security* mengacu pada kemampuan sistem dalam menjaga keamanan dan keutuhan data, sedangkan *reliability* merujuk pada konsistensi kinerja sistem dalam jangka waktu tertentu [4].

Untuk mencapai tingkat reliabilitas yang tinggi, diperlukan penerapan arsitektur teknologi terdistribusi yang tidak bergantung pada satu titik kegagalan (*single point of failure*). Di sisi lain, untuk menjamin keamanan data, sistem harus dirancang sedemikian rupa agar mampu mencegah perubahan atau manipulasi data oleh pihak yang tidak berwenang. Berdasarkan karakteristik tersebut, diusulkanlah sebuah solusi sistem penyimpanan data RME berbasis *Blockchain* dan *Inter-Planetary File System* (IPFS) untuk menjamin integritas dan reliabilitas sistem yang dibangun.

Pemanfaatan teknologi *blockchain* sebagai media penyimpanan data rekam medis elektronik (RME) bukanlah pendekatan yang sepenuhnya baru. Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, terdapat setidaknya tiga sistem penyimpanan RME berbasis *blockchain* yang telah dikembangkan sebelumnya.

MedChain, sebagaimana diperkenalkan oleh Daraghmi et al., merupakan sistem pencatatan RME berbasis *blockchain* yang berfokus pada peningkatan interoperabilitas, keamanan, dan aksesibilitas data medis, baik bagi pasien maupun penyedia layanan kesehatan [5]. Sistem ini menjamin privasi pasien melalui implementasi *smart contract* berbasis waktu (*time-based smart contract*) yang mengatur transaksi dan kontrol akses terhadap data. Untuk penyimpanan data, MedChain mengadopsi pendekatan *off-chain* dengan menggunakan *Relational Database Management System* (RDBMS), yang dihubungkan melalui *query* yang tersimpan dalam jaringan *blockchain* guna menjaga kerahasiaan data.

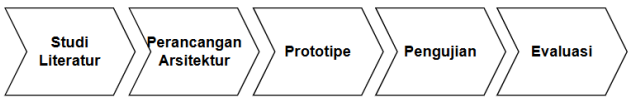
EdgeMediChain, sebagaimana dijelaskan oleh Akkaoui et al., memanfaatkan pendekatan *edge computing* untuk meningkatkan performa transaksi RME, tanpa mengorbankan aspek skalabilitas, keamanan, dan privasi [6]. Sistem ini menggunakan *Inter-Planetary File System* (IPFS) sebagai lapisan penyimpanan data *off-chain* guna mendukung efisiensi dan skalabilitas sistem.

AppXChain, yang diperkenalkan oleh Medine et al., berupaya mengatasi tantangan interoperabilitas lintas platform dalam ekosistem *blockchain* [7]. Sistem ini menekankan pentingnya komunikasi lintas-rantai (*cross-chain communication*) dan pertukaran data antar-arsitektur *blockchain* yang berbeda. Untuk mendukung tujuan tersebut, AppXChain mengimplementasikan sebuah lapisan penerjemah terdesentralisasi yang berfungsi sebagai jembatan antar jaringan *blockchain*.

Meskipun berbagai penelitian terdahulu seperti MedChain, AppXChain, dan EdgeMediChain telah memanfaatkan *blockchain* untuk pengelolaan rekam medis elektronik, sebagian besar belum mempertimbangkan aspek kepatuhan terhadap regulasi nasional. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk merancang purwarupa sistem penyimpanan data pasien/RME berbasis *blockchain* dengan menerapkan strategi penyimpanan *hybrid* berbasis *blockchain* dan IPFS untuk menciptakan sistem yang terdesentralisasi dan selaras dengan regulasi nasional guna menjamin kepemilikan, keamanan, dan efisiensi pengelolaan data rekam medis pasien di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Seperti yang terlihat pada Gambar 1, penelitian ini dilaksanakan melalui lima tahapan utama, yaitu studi literatur, perancangan sistem, pengembangan prototipe, pengujian, dan evaluasi.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tahap studi literatur bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai konsep, arsitektur, dan mekanisme penyimpanan data rekam medis elektronik (RME) berbasis *blockchain* yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya. Selain itu, tahap ini juga mencakup penelaahan terhadap regulasi nasional, khususnya Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor HK.01.07/MENKES/1423/2022 tentang Metadata Rekam Medis Elektronik, guna memastikan bahwa rancangan

sistem yang dikembangkan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Tahap perancangan sistem dilakukan dengan menyusun arsitektur sistem penyimpanan data RME berbasis *blockchain* menggunakan pendekatan *hybrid storage*, yang memisahkan data antara lapisan *on-chain* dan *off-chain*. Hasil dari tahap ini berupa diagram arsitektur sistem dan *sequence* diagram yang digunakan sebagai acuan dalam proses pengembangan.

Tahap pengembangan prototipe berfokus pada implementasi rancangan sistem menjadi aplikasi fungsional yang terdiri atas dua komponen utama, yaitu *frontend* (DApp) yang dikembangkan menggunakan JavaScript, HTML, dan CSS, serta *backend* (*Smart Contract*) yang dibangun menggunakan bahasa Solidity.

Tahap pengujian dilakukan untuk menilai performa *smart contract*, dengan fokus pada analisis konsumsi *gas fee* dari setiap fungsi utama, termasuk proses penyimpanan data dan pencarian data. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi eksekusi fungsi serta menilai kelayakan implementasi sistem dari sisi biaya transaksi di jaringan *blockchain*.

Tahap terakhir, yaitu evaluasi, dilakukan untuk menganalisis hasil pengujian dan menilai sejauh mana sistem yang dibangun mampu memenuhi tujuan penelitian, khususnya dalam menjamin keamanan, efisiensi, dan kepatuhan terhadap regulasi penyimpanan data RME di Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Teknologi *Blockchain*

Teknologi *blockchain* adalah sistem yang memungkinkan penyimpanan data secara terdistribusi dan aman, di mana setiap transaksi dicatat dalam blok yang terhubung secara kriptografis. *Blockchain* berfungsi sebagai buku besar digital yang tidak dapat diubah, sehingga memberikan transparansi dan keamanan dalam berbagai aplikasi, mulai dari mata uang kripto hingga manajemen rantai pasokan [8]. Teknologi ini mengandalkan mekanisme konsensus untuk memastikan bahwa semua peserta dalam jaringan setuju mengenai status buku besar untuk mencegah terjadinya manipulasi data dalam jaringan *Blockchain* [9].

Terdapat beberapa jenis *blockchain* yang dapat dibedakan berdasarkan akses dan kontrol partisipasi, yaitu *public blockchain*, *permissioned blockchain*, dan *consortium blockchain*. *Public blockchain*, seperti Bitcoin dan Ethereum, memungkinkan siapa saja untuk bergabung dan berpartisipasi dalam jaringan tanpa perlu izin dari pihak ketiga. Jenis ini memberikan tingkat desentralisasi yang tinggi, tetapi sering kali menghadapi tantangan terkait skalabilitas dan kecepatan transaksi [10].

Di sisi lain, *permissioned blockchain* membatasi siapa yang dapat berpartisipasi dalam jaringan. Dalam model ini, hanya entitas yang dikenal dan teridentifikasi yang diizinkan untuk bertransaksi dan memvalidasi blok [11]. Hal ini memungkinkan pengelolaan yang lebih baik terhadap kecepatan transaksi. *Permissioned blockchain* sering digunakan dalam konteks bisnis dan industri, di mana kepercayaan dan keamanan menjadi prioritas utama [12].

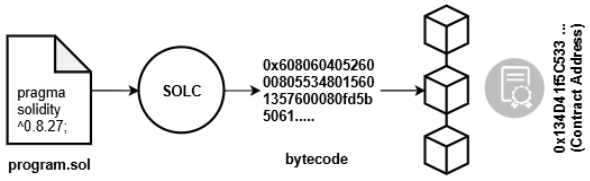
Consortium blockchain adalah bentuk lain dari *permissioned blockchain*, di mana sekelompok organisasi bekerja sama untuk mengelola jaringan. Dalam model ini, kontrol dan tanggung jawab dibagi di antara beberapa entitas, yang memungkinkan kolaborasi yang lebih baik dan pengurangan risiko [13]. Konsensus dalam *consortium blockchain* dapat dicapai melalui algoritma yang lebih efisien, seperti PBFT (*Practical Byzantine Fault Tolerance*) atau algoritma berbasis voting lain yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan [14].

3.2 *Smart Contract* / *Chain Code*

Smart contract atau *chain code* merupakan program komputer yang dijalankan di dalam jaringan *blockchain*. Konsep ini pertama kali diperkenalkan secara luas oleh Vitalik Buterin pada tahun 2013 melalui peluncuran *platform* Ethereum [15]. Konsep ini diperkenalkan dengan mengusung ide bahwa *blockchain* dapat digunakan tidak hanya untuk pencatatan transaksi keuangan, tetapi juga sebagai platform eksekusi program terdesentralisasi. Keberadaan *smart contract* membuka peluang pemanfaatan teknologi *blockchain* dalam berbagai bidang dengan menawarkan transparansi dan otomatisasi pada proses bisnis [16].

Seperti yang terlihat pada Gambar 2, dalam proses pengembangannya, *smart contract* umumnya ditulis menggunakan bahasa pemrograman Solidity. Setelah proses penulisan kode selesai, program akan dikompilasi menggunakan *Solidity Compiler* (solc) untuk menghasilkan *bytecode* yang dapat dijalankan di jaringan Ethereum [17]. *Bytecode* ini kemudian di-*deploy* ke dalam jaringan *blockchain*, dan setiap kontrak yang berhasil diunggah akan memperoleh alamat unik yang disebut *contract address*.

Contract address berfungsi sebagai pengenal kontrak di dalam jaringan dan menjadi titik interaksi antara *smart contract* dengan pengguna maupun aplikasi lainnya. Melalui alamat ini, program lain atau antarmuka pengguna dapat memanggil fungsi-fungsi dalam *smart contract*, serta melakukan transaksi data di dalam jaringan *blockchain*



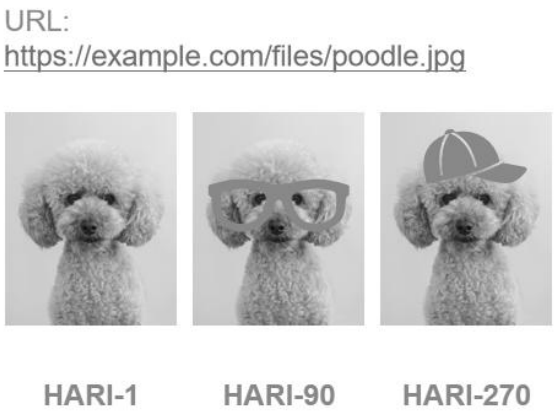
Gambar 2. Ilustrasi Pengembangan *Smart Contract*

3.3 *Inter-Planetary File System* (IPFS)

IPFS merupakan sebuah protokol penyimpanan data secara terdistribusi yang dikembangkan oleh Protocol Labs. Protokol ini menggunakan pendekatan *Content Identifier* (CID) untuk memastikan bahwa setiap data yang disimpan memiliki identitas unik yang dibentuk berdasarkan nilai *cryptographic hash* (SHA-256) dari data itu sendiri [18]. Hal ini menjamin bahwa setiap data akan memiliki nilai CID yang unik sesuai dengan kontennya seperti yang terlihat pada Gambar 3 di bawah ini.

Gambar 3. Ilustrasi nilai CID pada Sebuah Data Foto

IPFS menggunakan mekanisme pengalamatan berbasis konten dengan menggunakan *hash* ID/*content identifier* (CID) [19]. Hal ini berbeda dengan pendekatan *Uniform Resource Locator* (URL) yang digunakan oleh internet. URL hanya memastikan bahwa data dapat diakses pada lokasi tertentu, namun tidak dapat memastikan konsistensi dari data yang disimpan pada lokasi tersebut.



Gambar 4. Pengalamatan Berbasis Lokasi (URL)

Seperti yang terlihat pada Gambar 4 di atas, URL hanya bisa menjamin bahwa sebuah data dapat diakses pada lokasi tertentu. Akan tetapi, tidak dapat menjamin bahwa data yang diakses pada hari H akan terus konsisten saat diakses pada hari H+90 ataupun H+270. Hal ini tentunya berdampak pada validitas URL tersebut dalam mengidentifikasi sebuah data di lokasi tersebut.

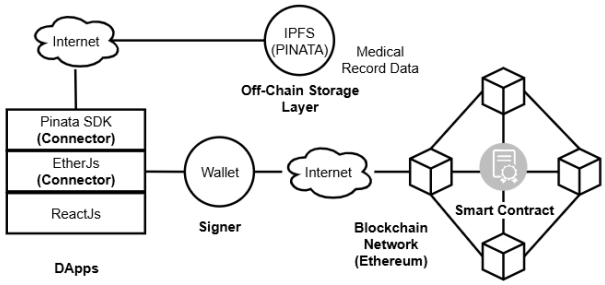
Dengan menggunakan CID, integritas data dapat dipastikan dimana pun data tersebut disimpan, karena selama nilai CIDnya sama, maka konten yang akan diperoleh juga akan sama, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5 di bawah ini.

Gambar 5. Pengalamatan Berbasis Konten (CID)

3.4 Arsitektur Sistem

Berdasarkan regulasi Kementerian Kesehatan Republik Indonesia Nomor HK.01.07/MENKES/1423/2022 mengenai metadata rekam medis elektronik, ditetapkan bahwa terdapat sedikitnya 32 atribut atau metadata yang wajib disimpan dalam sistem RME, khususnya yang berkaitan dengan informasi pribadi pasien rawat jalan. Jumlah atribut tersebut tergolong besar. Jika seluruhnya disimpan secara *on-chain*, maka hal ini dapat mempengaruhi skalabilitas jaringan *blockchain* yang digunakan. Oleh karena itu, dalam rancangan sistem ini digunakan pendekatan penyimpanan data secara *off-chain* berbasis IPFS untuk menyimpan data pasien secara terdistribusi dengan tetap menjaga keamanan data pasien.

Seperti yang terlihat pada Gambar 6, arsitektur sistem penyimpanan data rekam medis elektronik (RME) berbasis *blockchain* terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk mendukung mekanisme penyimpanan *on-chain* dan *off-chain*. Setiap komponen memiliki peran spesifik dalam memastikan keamanan, integritas, dan ketersediaan data. Secara umum arsitektur sistem penyimpanan RME dibagi ke dalam lima buah komponen yaitu: *Blockchain Platform*, *Offchain Storage Layer*, *Signer*, *Connector*, dan DApp.



Gambar 6. Arsitektur Sistem

Blockchain platform merupakan pondasi dalam pengembangan prototipe sistem. Dalam penelitian ini, Ethereum digunakan sebagai platform *blockchain* yang digunakan untuk melakukan penyimpanan data secara *on-chain* melalui program *Smart Contract* yang dibuat. *Platform* ini dipilih karena memiliki komunitas dan ekosistem pengembangan yang besar sehingga akan memudahkan proses implementasi ke depannya.

Off-Chain Storage Layer berperan sebagai lapisan penyimpanan data di luar *blockchain* untuk mengatasi keterbatasan kapasitas dan biaya penyimpanan *on-chain*. Pada penelitian ini digunakan protokol *Inter-Planetary File System* (IPFS) sebagai mekanisme penyimpanan terdistribusi yang memungkinkan data rekam medis disimpan secara efisien dan terdesentralisasi. IPFS dipilih karena mampu menyediakan identifikasi konten berbasis *hash*, distribusi data secara *peer-to-peer*, serta reliabilitas yang tinggi. Komponen menjadi komponen kunci dalam mendukung penyimpanan *off-chain* yang aman, *scalable*, dan sesuai kebutuhan sistem.

Connector merupakan komponen yang berperan dalam menjembatani komunikasi antara DApps dengan jaringan *blockchain* dan IPFS. Dalam penelitian ini, digunakanlah EtherJS sebagai *connector* untuk ke jaringan Ethereum dan PinataSDK sebagai *connector* untuk ke jaringan IPFS.

Signer merupakan komponen yang berperan dalam menandatangani setiap transaksi data secara kriptografis untuk kemudian disimpan di dalam jaringan *blockchain*. Proses ini diperlukan agar data yang dikirim dapat diterima dan diverifikasi oleh *validator node* pada jaringan Ethereum untuk kemudian disimpan di dalam blok data pada *validator node* tersebut.

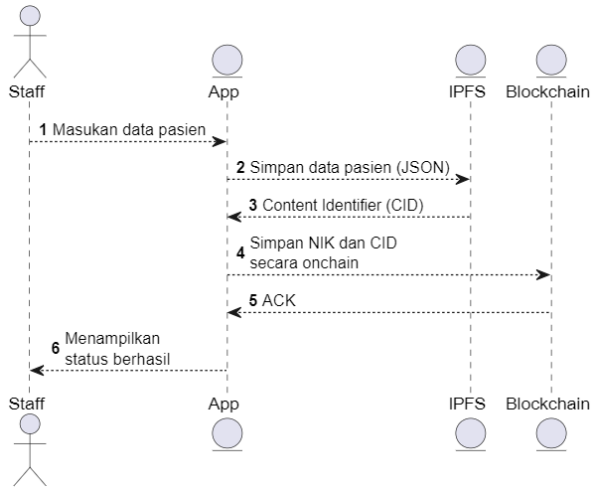
DApp merupakan komponen yang berperan sebagai antar muka sistem penyimpanan data RME. Melalui komponen ini, *user* berinteraksi dengan data-data yang disimpan di dalam jaringan *blockchain* dan IPFS. Dalam penelitian, pengembangan DApp dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Javascript dan ReactJS sebagai kerangka kerjanya.

3.5 Alur Penyimpanan Data Pasien

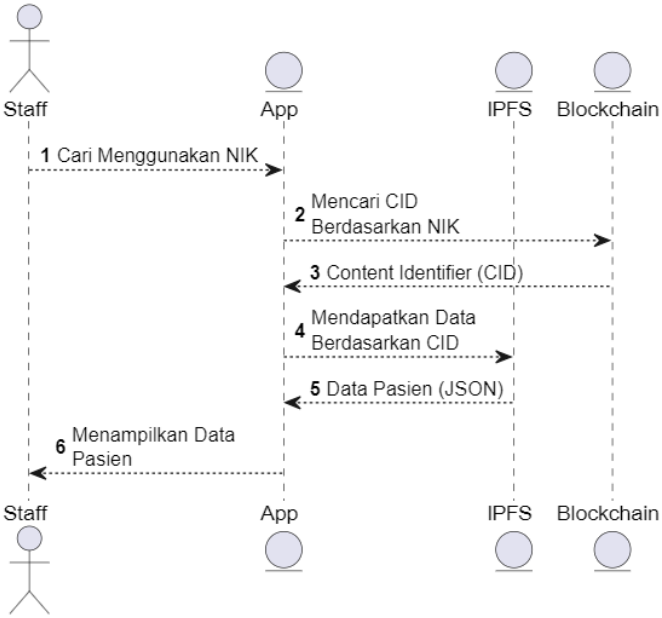
Seperti yang terlihat pada Gambar 7, proses penyimpanan data pasien dimulai dari *input* yang diberikan oleh staf registrasi pada aplikasi DApp. Seluruh informasi pasien rawat jalan dikemas dalam format JSON dan disimpan ke dalam *node* IPFS. Setelah data berhasil disimpan, sistem akan menghasilkan *Content Identifier* (CID), yang kemudian dipasangkan dengan Nomor Induk Kependudukan (NIK) pasien. Pasangan data NIK dan CID ini disimpan secara *on-chain* di dalam jaringan *blockchain* untuk memudahkan proses pencarian data ke depannya.

3.6 Alur Pencarian Data Pasien

Seperti yang terlihat pada Gambar 8, proses pencarian data pasien diawali dengan pencarian data NIK pada jaringan *blockchain* untuk memperoleh CID *metadata* pasien yang terkait dari *node* IPFS. Setelah CID ditemukan, DApp akan mengambil data pasien dari *node* IPFS menggunakan CID tersebut. Data yang diambil kemudian ditampilkan kepada pengguna melalui antarmuka sistem.



Gambar 7. *Sequence* Diagram Penyimpanan Data Pasien



Gambar 8. *Sequence* Diagram Pencarian Data Pasien

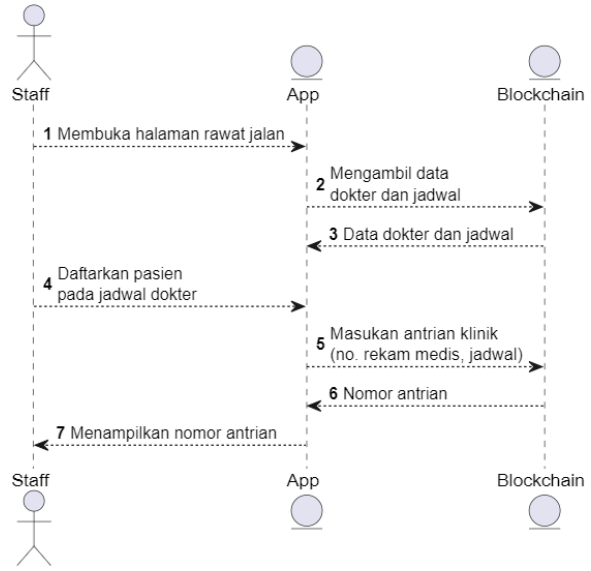
3.7 Alur Pendaftaran Rawat Jalan Pasien

Seperti yang terlihat pada Gambar 9, proses pendaftaran rawat jalan pasien memerlukan tambahan informasi terkait data klinik, jadwal, dan dokter. Dalam prototipe sistem ini, ketiga jenis data tersebut disimpan secara *on-chain* mengingat karakteristiknya yang relatif sederhana dan jumlahnya yang terbatas, sehingga tidak banyak berpengaruh terhadap skalabilitas dari jaringan *blockchain* yang digunakan. Adapun informasi jadwal dan dokter yang disimpan secara *onchain* antara lain adalah nama dokter, nomor registrasi dokter, jadwal praktik (hari dan jam), serta lokasi praktik (nomor ruangan).

Dalam skenario pendaftaran rawat jalan, *staff* pendaftaran klinik atau rumah sakit akan melakukan pencarian data pasien di dalam jaringan *blockchain* berdasarkan nomor NIK. Apabila data pasien tidak ditemukan, maka *staff* pendaftaran akan melakukan proses pendaftaran pasien terlebih dahulu sebelum melanjutkan ke proses pendaftaran

rawat jalan. Apabila data pasien telah berhasil ditemukan, berikutnya *staff* pendaftaran akan mendaftarkan pasien tersebut sesuai dengan jadwal dokter yang tersedia untuk kemudian mendapatkan nomor antrean.

Pada tahap ini seluruh informasi pendaftaran rawat jalan (nomor rekam medis, jadwal, dan nomor antrean) disimpan secara *onchain* dengan menggunakan nomor rekam medis sebagai *index* untuk memudahkan saat melakukan proses pencarian ke depannya.



Gambar 9. Alur Pendaftaran Rawat Jalan

3.8 Pengujian

Tahapan pengujian pada penelitian ini difokuskan untuk menganalisis performa *smart contract* melalui perhitungan konsumsi *gas fee* pada beberapa fungsi utama sistem, yaitu fungsi penyimpanan data pasien (*methodId* 0x09f36fcf), pencarian data pasien, dan pendaftaran rawat jalan (*methodId* 0x114db1fd). Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan data transaksi yang terekam pada jaringan *blockchain*, yang diperoleh melalui *block explorer*.

Tabel 1. Transaksi Simpan Data Pasien

TimeStamp	*MethodId*	*GasUsed*	*GasPrice*
1754460830	0x09f36fcf	387.702	1.000.054
1754454762	0x09f36fcf	387.702	1.000.054
1754454312`	0x09f36fcf	387.690	1.000.052
1750167742	0x09f36fcf	387.702	1.000.158
1750079030	0x09f36fcf	387.702	1.000.119
1750078596	0x09f36fcf	346.949	1.000.114
Rata-rata		**380.907**	**1.000.091**

Berdasarkan data transaksi *smart contract* registrasi pasien yang terlihat di Tabel 1, fungsi simpan data pasien memiliki konsistensi *gas used* dengan angka rata-rata 380.907 unit. Apabila nilai tersebut dikalikan dengan nilai rata-rata *gas price* 1.000.091 gwei / gas, dapat disimpulkan bahwa rata-rata biaya transaksi penyimpanan data pasien adalah sekitar 380 x 109 gwei.

Tabel 2. Transaksi Daftar Rawat Jalan

TimeStamp	*MethodId*	*GasUsed*	*GasPrice*
1754464140	0x114db1fd	50.604	1.000.055
1754463960	0x114db1fd	50.604	1.000.053
1754463890	0x114db1fd	50.604	1.000.052
1754463774	0x114db1fd	68.552	1.000.057
1750246576	0x114db1fd	45.672	1.002.777
1750055836	0x114db1fd	43.207	1.000.063
Rata-rata		**51.540**	**1.000.509**

Selain itu, berdasarkan data transaksi pendaftaran rawat jalan yang terlihat pada Tabel 2, fungsi pendaftaran rawat jalan juga memiliki konsistensi penggunaan *gas fee* yang relatif stabil di angka rata-rata 51.540 unit. Apabila nilai tersebut dikalikan dengan nilai rata-rata *gas price* yang berada di angka 1.000.509 gwei, maka rata-rata biaya pendaftaran rawat jalan adalah sekitar 51 x 10^9 gwei.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap kedua fungsi utama dalam sistem, yaitu simpan data pasien dan pendaftaran rawat jalan, ditemukan adanya perbedaan signifikan dalam konsumsi *gas used* yang mencerminkan kompleksitas proses yang dijalankan oleh masing-masing fungsi. Fungsi simpan data pasien menunjukkan rata-rata *gas used* sebesar 380.907 unit, jauh lebih tinggi dibandingkan fungsi pendaftaran rawat jalan yang hanya memerlukan rata-rata 51.540 unit. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa proses penyimpanan data pasien melibatkan jumlah dan struktur data yang lebih kompleks serta lebih banyak instruksi penyimpanan *on-chain*, sehingga secara langsung berdampak pada peningkatan biaya eksekusi transaksi. Temuan ini sekaligus menjadi kontribusi penelitian dalam merancang sistem penyimpanan data pasien berbasis *blockchain* dengan menerapkan strategi *hybrid off-chain/on-chain*, yang mampu menyeimbangkan aspek keamanan, efisiensi biaya, dan skalabilitas sistem.

DAFTAR PUSTAKA

[1] H. Finnegan and N. Mountford, “25 Years of Electronic Health Record Implementation Processes: Scoping Review”, *Journal of Medical Internet Research*, vol. 27, 2025, doi: 10.2196/60077.

[2] J. L. Watterson, H. P. Rodriguez, A. Aguilera, and S. M. Shortell, “Ease of use of electronic health records and relational coordination among primary care team members”, *Health Care Manage. Rev.*, vol. 45, no. 3, pp. 267–275, 2020.

[3] A. Jyoti and R. K. Chauhan, "Blockchain revolution: How the technology changing business", *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, vol. 8, no. 1.6 Secial Issue, pp. 14–20, 2019, doi: 10.30534/ijatcse/2019/0381.62019.

[4] F. N. Colakoglu, A. Yazici, and A. Mishra, "Software Product Quality Metrics: A Systematic Mapping Study", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 44647–44670, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3054730.

[5] E. Y. Daraghmi, Y. A. Daraghmi, and S. M. Yuan, "MedChain: A Design of Blockchain-Based System for Medical Records Access and Permissions Management", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 164595–164613, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2952942.

[6] R. Akkaoui, X. Hei, and W. Cheng, "EdgeMediChain: A Hybrid Edge Blockchain-Based Framework for Health Data Exchange", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 113467–113486, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3003575.

[7] M. Madine, K. Salah, R. Jayaraman, Y. Al-Hammadi, J. Arshad, and I. Yaqoob, "appXchain: Application-Level Interoperability for Blockchain Networks", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 87777–87791, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3089603.

[8] P. Dudczyk, J. K. Dunston, and G. v Crosby, "Blockchain Technology for Global Supply Chain Management: A Survey of Applications, Challenges, Opportunities and Implications", *IEEE Access*, vol. 12, pp. 70065–70088, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3399759.

[9] Y. Xiao, N. Zhang, W. Lou, and Y. T. Hou, "A Survey of Distributed Consensus Protocols for Blockchain Networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 2, pp. 1432–1465, 2020.

[10] T. Nododile and C. Nyirenda, "A Hybrid Blockchain-IPFS Solution for Secure and Scalable Data Collection and Storage for Smart Water Meters", *arXiv* [cs.CR]. 2025.

[11] A. A. Alhussayen, K. Jambi, M. Khemakhem, and F. E. Eassa, "A Blockchain Oracle Interoperability Technique for Permissioned Blockchain," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 68130–68148, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3400672.

[12] J. Polge, J. Robert, and Y. Le Traon, "Permissioned blockchain frameworks in the industry: A comparison", *ICT Express*, vol. 7, no. 2, pp. 229–233, 2021.

[13] X. Chen, S. He, L. Sun, Y. Zheng, and C. Q. Wu, "A Survey of Consortium Blockchain and Its Applications", *Cryptography*, vol. 8, no. 2, 2024.

[14] W. Wang et al., "A Survey on Consensus Mechanisms and Mining Strategy Management in Blockchain Networks", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 22328–22370, 2019.

[15] M. Muneeb, Z. Raza, I. U. Haq, and O. Shafiq, "SmartCon: A Blockchain-Based Framework for Smart Contracts and Transaction Management," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 23687–23699, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3135562.

[16] E. A. Jaya, M. Z. C. Candra, and T. D. Ferindra, "Development of Blockchain-Based Traceability System for Fishery Products", in Proceedings of 2021 International Conference on Data and Software Engineering: Data and Software Engineering for Supporting Sustainable Development Goals, *ICoDSE 2021*, 2021.

[17] J. Sun, S. Huang, C. Zheng, T. Wang, C. Zong, and Z. Hui, "Mutation testing for integer overflow in ethereum smart contracts", *Tsinghua Science and Technology*, vol. 27, no. 1, pp. 27–40, 2022, doi: 10.26599/TST.2020.9010036.

[18] L. Li, D. Jin, T. Zhang, and N. Li, "A Secure, Reliable and Low-Cost Distributed Storage Scheme Based on Blockchain and IPFS for Firefighting IoT Data", *IEEE Access*, vol. 11, pp. 97318–97330, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3311712.

[19] N. A. Ugochukwu, S. B. Goyal, A. S. Rajawat, C. Verma, and Z. Illés, "Enhancing Logistics With the Internet of Things: A Secured and Efficient Distribution and Storage Model Utilizing Blockchain Innovations and Interplanetary File System", *IEEE Access*, vol. 12, pp. 4139–4152, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3339754.