



## IMPLEMENTASI TEKNOLOGI *BLOCKCHAIN* UNTUK PENGELOLAAN DATA KESEHATAN MENGGUNAKAN METODE *SMART CONTRACT*

Cipto Kurniawan<sup>1</sup>, Angga Putrawansyah<sup>2</sup>, Tata Sutabri<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Magister Teknik Informatika, Universitas Bina Darma, Palembang, Indonesia

email: [ciptok2411@gmail.com](mailto:ciptok2411@gmail.com)<sup>1</sup>, [ang.putra777@gmail.com](mailto:ang.putra777@gmail.com)<sup>2</sup>, [tata.sutabri@gmail.com](mailto:tata.sutabri@gmail.com)<sup>3</sup>

Informasi Artikel	ABSTRACT
<p><b>Riwayat artikel :</b>            Disubmit : 5 Desember 2024            Direvisi : 14 Desember 2024            Diterima : 15 Desember 2024            Dipublikasi : 20 Desember 2024</p> <p><b>Keywords:</b>  <i>blockchain, smart contracts, health data, data security, efficiency</i></p>	<p>The development of information technology has had a significant impact on various sectors, including the health sector. This research aims to implement blockchain technology using smart contracts in health data management to improve security, transparency, and system efficiency. The research method includes needs analysis, system architecture development, and simulation with the Ethereum platform and off-chain storage using IPFS. The process involved stakeholder identification, system requirements design, and prototype testing using real-world usage scenarios. The results show that the blockchain system successfully automates the granting and revoking of health data access permissions through smart contracts. Immutable transaction records ensure transparency and auditability, while data encryption and private key authentication protect patient privacy. The use of off-chain storage overcomes the capacity limitations of blockchain, enabling efficient management of big data. The conclusion of this study confirms that the implementation of blockchain with smart contracts provides an innovative solution to address privacy, security, and interoperability challenges in health data management, although challenges related to transaction costs and scalability still need to be optimised.</p>
<p><b>Kata Kunci:</b>  <i>blockchain, smart contract, data kesehatan, keamanan data, efisiensi</i></p>	<p><b>ABSTRAK</b></p> <p>Perkembangan teknologi informasi telah membawa dampak signifikan pada berbagai sektor, termasuk sektor kesehatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan teknologi <i>blockchain</i> menggunakan <i>smart contract</i> dalam pengelolaan data kesehatan guna meningkatkan keamanan, transparansi, dan efisiensi sistem. Metode penelitian meliputi analisis kebutuhan, pengembangan arsitektur sistem, dan simulasi dengan <i>platform Ethereum</i> serta penyimpanan <i>off-chain</i> menggunakan IPFS. Proses ini melibatkan identifikasi stakeholder, perancangan kebutuhan sistem, dan pengujian prototipe menggunakan skenario penggunaan nyata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem <i>blockchain</i> berhasil mengotomatisasi pemberian dan pencabutan izin akses data kesehatan melalui <i>smart contract</i>. Pencatatan transaksi yang <i>immutable</i> memastikan transparansi dan auditabilitas, sementara enkripsi data dan autentikasi kunci privat melindungi privasi pasien. Penggunaan penyimpanan <i>off-chain</i> mengatasi keterbatasan kapasitas <i>blockchain</i>, sehingga memungkinkan pengelolaan data besar secara efisien. Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa implementasi <i>blockchain</i> dengan <i>smart contract</i> memberikan solusi inovatif untuk mengatasi tantangan privasi, keamanan, dan interoperabilitas dalam pengelolaan data kesehatan, meskipun tantangan terkait biaya transaksi dan skalabilitas masih perlu dioptimalkan.</p>





## PENDAHULUAN

Pengelolaan data kesehatan adalah aspek penting dalam sistem kesehatan modern, terutama karena peningkatan *volume* data dan kebutuhan akan keamanan serta privasi informasi pasien. Namun, sistem tradisional masih menghadapi berbagai tantangan, seperti risiko pelanggaran data, kurangnya interoperabilitas antar sistem, dan ketergantungan pada infrastruktur terpusat (Azaria, A., 2016). *Blockchain*, sebagai teknologi *ledger* terdistribusi, telah muncul sebagai solusi inovatif yang mampu mengatasi tantangan-tantangan tersebut. Teknologi informasi adalah suatu teknologi yang digunakan untuk mengolah data, termasuk memproses, mendapatkan menyusun, menyimpan, memanipulasi data dalam berbagai cara untuk menghasilkan informasi yang berkualitas, yaitu informasi yang relevan, akurat dan tepat waktu, yang digunakan untuk keperluan pribadi, bisnis, dan pemerintahan dan merupakan informasi yang strategis untuk pengambilan keputusan (Sutabri. T., 2014).

*Blockchain* merupakan teknologi yang memungkinkan pencatatan transaksi secara desentralisasi, transparan, dan tidak dapat diubah (*immutable*) (Nakamoto,S., 2008). Teknologi ini menggunakan mekanisme konsensus untuk memastikan keamanan jaringan dan integritas data tanpa memerlukan otoritas tunggal. Salah satu fitur utama yang dapat dimanfaatkan adalah *smart contract*, yaitu protokol otomatis yang menjalankan ketentuan kontrak tanpa intervensi pihak ketiga (Szabo,N., 1997). Dalam pengelolaan data kesehatan, *smart contract* memungkinkan pasien untuk mengontrol akses data mereka, memastikan privasi, dan meningkatkan efisiensi operasional (Christidis, K., 2016).

*Blockchain* Sebagai *Ledger* Terdistribusi *Blockchain* adalah sistem *ledger* terdistribusi yang mencatat setiap transaksi dalam blok yang saling terhubung dan diamankan menggunakan kriptografi. Dalam pengelolaan data kesehatan, *blockchain* menawarkan transparansi dan keamanan yang tidak dimiliki oleh sistem tradisional. *Immutable* Data yang dicatat dalam *blockchain* bersifat tidak dapat diubah (*immutable*), sehingga memberikan jaminan integritas informasi kesehatan (Yue, X., (2016). Hal ini penting untuk memastikan keakuratan data pasien dan mencegah manipulasi. Desentralisasi Sistem Tidak seperti sistem terpusat, *blockchain* mendistribusikan data di seluruh jaringan *node*, mengurangi risiko *single point of failure* (Kuo,T., 2017). Hal ini relevan dalam pengelolaan data kesehatan untuk mengurangi ketergantungan pada *server* tunggal.

Keamanan Kriptografi *Blockchain* menggunakan algoritma kriptografi untuk melindungi data dari akses tidak sah. Setiap transaksi dienkripsi sebelum dicatat dalam *ledger*, sehingga privasi data pasien tetap terjaga. *Smart contract* adalah program yang berjalan di *blockchain* untuk mengotomatiskan proses tertentu. Dalam pengelolaan data kesehatan, *smart contract* dapat mengatur izin akses data berdasarkan kebijakan yang telah ditentukan pasien (Ekblaw, A., (2016). Interoperabilitas Data *Blockchain* memungkinkan integrasi sistem rekam medis elektronik (*Electronic Health Records/EHR*),





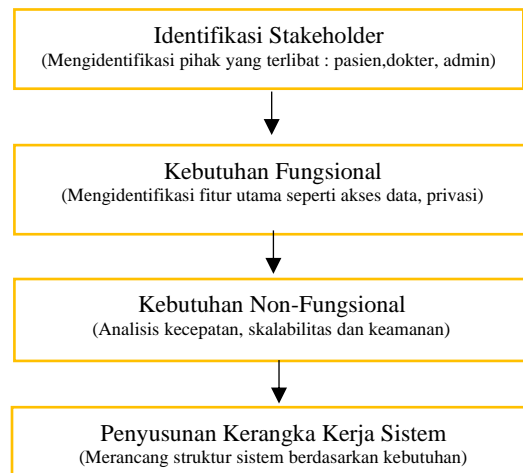
memfasilitasi pertukaran data antar penyedia layanan kesehatan secara aman dan efisien (Azaria, A., 2016). Privasi Pasien *Blockchain* mendukung kontrol penuh oleh pasien atas data mereka, memastikan bahwa hanya pihak yang diotorisasi dapat mengakses informasi sensitif (Peterson, K., 2016).

Otomatisasi dan Efisiensi Dengan menggunakan *smart contract*, *blockchain* mengurangi kebutuhan akan proses manual, meningkatkan efisiensi operasional, dan mengurangi biaya administrasi (Xia, Q., 2017). Jejak Audit Setiap transaksi yang dilakukan melalui *blockchain* dicatat secara permanen, memberikan jejak audit yang transparan dan dapat diverifikasi (Bocek, T., 2017). Manajemen Rantai Pasokan Farmasi *Blockchain* membantu melacak pergerakan obat dari produsen ke konsumen, memastikan keaslian produk dan mengurangi risiko obat palsu (Zhang, P., 2018). Kepatuhan Regulasi *Blockchain* dapat dirancang untuk memenuhi regulasi seperti GDPR atau HIPAA, dengan fitur enkripsi dan anonimisasi data (Engelhardt, M., 2017). Keberlanjutan Teknologi *Blockchain* memiliki potensi untuk diintegrasikan dengan teknologi lain seperti AI dan IoT untuk menciptakan sistem pengelolaan kesehatan yang lebih holistik (Roehrs, A., 2019).

## METODE PENELITIAN

### 2.1 Analisis Kebutuhan

Secara sederhana alur analisis kebutuhan untuk penelitian yang dilakukan dalam pembuatan pengolahan data dapat diimplementasikan seperti yang terlihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1 Alur Analisis Kebutuhan





Tahapan alur dalam penelitian ini meliputi :

a. Latar Belakang Masalah

Pengelolaan data kesehatan menjadi isu yang sangat penting di era digital, terutama karena data ini mencakup informasi sensitif seperti riwayat medis, diagnosis, hasil pemeriksaan, dan catatan perawatan pasien. Sistem pengelolaan data kesehatan yang ada saat ini sering kali berbasis terpusat, sehingga rentan terhadap serangan siber, kebocoran data, dan manipulasi. Selain itu, kurangnya transparansi dalam pengelolaan data menyebabkan sulitnya melacak siapa yang mengakses informasi tersebut dan bagaimana penggunaannya. Hal ini diperparah dengan rendahnya interoperabilitas antara berbagai sistem kesehatan, yang membuat data sulit diakses lintas platform, serta minimnya kendali pasien atas data mereka sendiri.

Perkembangan teknologi *blockchain* menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi berbagai tantangan ini. *Blockchain*, dengan sifatnya yang terdesentralisasi, mampu menciptakan sistem pencatatan data yang aman, transparan, dan tidak dapat diubah. Fitur seperti kriptografi, jejak audit yang jelas, dan kontrol data berbasis kunci privat memungkinkan *blockchain* menjadi alat yang ideal untuk pengelolaan data kesehatan. Selain itu, penggunaan *smart contract*, yaitu program otomatis yang berjalan di atas *blockchain*, memungkinkan sistem untuk memberikan izin akses, mencatat transaksi secara otomatis, serta mengelola kebijakan privasi dan keamanan tanpa campur tangan pihak ketiga.

Dengan meningkatnya ancaman keamanan terhadap data kesehatan dan kebutuhan untuk memenuhi regulasi global seperti GDPR dan HIPAA, solusi berbasis *blockchain* menjadi semakin relevan. Teknologi ini tidak hanya menjawab kebutuhan akan keamanan dan privasi data, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional dan membangun kepercayaan antara pasien dan penyedia layanan kesehatan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan teknologi *blockchain* menggunakan metode *smart contract* dalam pengelolaan data kesehatan, sehingga dapat menciptakan sistem yang lebih aman, transparan, dan efisien.

b. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa metode yang saling melengkapi untuk mendapatkan informasi yang relevan dan mendalam terkait implementasi teknologi *blockchain* dalam pengelolaan data kesehatan. Metode pertama adalah studi literatur, yang mencakup kajian terhadap jurnal ilmiah, artikel, buku, dan laporan yang membahas teknologi *blockchain*, *smart contract*, pengelolaan data kesehatan, serta regulasi seperti GDPR, HIPAA, dan UU Perlindungan Data Pribadi. Studi ini bertujuan untuk memahami aspek teknis, permasalahan dalam sistem konvensional, dan standar keamanan data yang berlaku.





Selain itu, observasi sistem pengelolaan data kesehatan eksisting dilakukan di beberapa institusi kesehatan untuk mempelajari alur kerja, kendala yang sering muncul seperti isu privasi dan keamanan, serta analisis efisiensi waktu dan biaya pada sistem yang sudah ada. Wawancara mendalam juga dilakukan dengan berbagai stakeholder, termasuk pasien, dokter, administrator sistem, dan ahli *blockchain*, untuk menggali kebutuhan pengguna, tantangan teknis, serta potensi implementasi *blockchain* dalam konteks kesehatan.

Penelitian ini juga menggunakan data simulasi untuk menguji sistem yang dirancang. Data simulasi meliputi rekam medis anonim, pola akses data pengguna seperti dokter dan pasien, serta log transaksi yang digunakan untuk menganalisis performa sistem berbasis *blockchain*. Di samping itu, survei melalui kuesioner diberikan kepada pengguna potensial, seperti tenaga kesehatan dan pasien, untuk mengumpulkan opini mereka terkait pentingnya privasi, keamanan, dan persepsi terhadap penggunaan teknologi *blockchain* dalam pengelolaan data kesehatan.

Dengan instrumen seperti dokumen pendukung, panduan wawancara, kuesioner, dan alat simulasi *blockchain* seperti *Ethereum* atau *Hyperledger*, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan, tantangan, dan manfaat implementasi *blockchain* dalam pengelolaan data kesehatan. Hasil pengumpulan data ini menjadi dasar untuk merancang dan mengevaluasi solusi yang diusulkan, sehingga sistem yang dikembangkan mampu memenuhi kebutuhan pengguna dengan keamanan dan efisiensi yang lebih baik.

#### c. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan melalui beberapa tahapan untuk memastikan data yang dikumpulkan dapat memberikan hasil yang valid dan relevan terhadap tujuan penelitian. Data yang diperoleh dari studi literatur, observasi, wawancara, survei, dan simulasi diolah secara sistematis. Tahap awal melibatkan klasifikasi data berdasarkan sumbernya, seperti data kebutuhan sistem dari wawancara, data persepsi pengguna dari survei, dan data performa dari simulasi sistem *blockchain*. Selanjutnya, data dari wawancara dan survei dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif untuk mengidentifikasi pola, kebutuhan, serta persepsi stakeholder terhadap pengelolaan data kesehatan berbasis *blockchain*.

Untuk data simulasi, dilakukan analisis kuantitatif yang melibatkan pengukuran performa sistem, seperti waktu transaksi, penggunaan sumber daya, dan tingkat keamanan. Data ini dibandingkan dengan sistem konvensional untuk menilai efektivitas solusi berbasis *blockchain*. Selain itu, hasil simulasi diuji untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi teknis yang dirancang, seperti pengelolaan izin akses berbasis *smart contract* dan pencatatan transaksi yang transparan.

Setelah semua data diolah, dilakukan triangulasi data untuk memastikan konsistensi dan validitas antara hasil yang diperoleh dari berbagai sumber. Pengolahan data ini menghasilkan wawasan





mendalam yang digunakan untuk mengevaluasi solusi yang diusulkan, memberikan rekomendasi perbaikan, serta menyusun laporan akhir penelitian. Dengan pendekatan ini, pengolahan data dapat memberikan informasi yang akurat dan mendukung implementasi teknologi *blockchain* dalam pengelolaan data kesehatan.

#### d. Rancang dan Bangun Sistem

Perancangan dan pembangunan sistem dilakukan melalui beberapa tahap untuk menghasilkan solusi yang komprehensif dalam pengelolaan data kesehatan berbasis teknologi *blockchain* dengan *smart contract*. Tahap pertama adalah desain arsitektur sistem, di mana sistem dirancang dengan memperhatikan kebutuhan fungsional dan non-fungsional yang telah diidentifikasi sebelumnya. Sistem ini menggunakan *blockchain* sebagai platform utama untuk penyimpanan data yang terdesentralisasi dan aman, dengan *smart contract* yang berfungsi mengatur alur kerja seperti pemberian izin akses, pencatatan transaksi, dan validasi data.

Selanjutnya, dilakukan pengembangan sistem, yang dimulai dengan implementasi *smart contract* menggunakan bahasa pemrograman seperti Solidity pada platform *blockchain* yang dipilih, seperti *Ethereum* atau *Hyperledger Fabric*. *Smart contract* ini dirancang untuk mengelola hak akses data kesehatan secara otomatis, memastikan transparansi transaksi, dan menjamin privasi data dengan metode enkripsi. Sistem ini juga mencakup antarmuka pengguna (*user interface*) yang memungkinkan pasien, dokter, dan administrator sistem untuk berinteraksi dengan data melalui aplikasi berbasis *web* atau *mobile*.

Pada tahap integrasi dan pengujian, komponen-komponen sistem diuji untuk memastikan interoperabilitas dan keandalan. Simulasi data kesehatan dilakukan untuk menguji performa sistem dalam skenario nyata, seperti pengelolaan data pasien, pemberian akses dokter, dan pencatatan transaksi secara *real-time*. Evaluasi dilakukan terhadap berbagai parameter, termasuk waktu proses, efisiensi penggunaan sumber daya, dan tingkat keamanan sistem terhadap potensi ancaman.

Hasil dari rancang bangun ini adalah sebuah prototipe sistem *blockchain* untuk pengelolaan data kesehatan yang dirancang untuk menjawab kebutuhan keamanan, transparansi, dan efisiensi. Prototipe ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut dan memberikan solusi inovatif untuk permasalahan pengelolaan data kesehatan di dunia nyata.

## 2.2 Arsitektur Penelitian

Arsitektur sistem penelitian dirancang untuk mengintegrasikan teknologi *blockchain* dan *smart contract* dalam pengelolaan data kesehatan yang aman, transparan, dan efisien. Sistem ini terdiri dari beberapa lapisan utama. Pada lapisan pengguna, terdapat antarmuka berbasis *web* atau aplikasi *mobile* yang memungkinkan pasien, dokter, dan administrator untuk berinteraksi dengan sistem. Pasien dapat





mengunggah data kesehatan, memberikan atau mencabut izin akses, dan memantau aktivitas data mereka. Dokter dapat meminta izin akses data pasien, sedangkan administrator memantau aktivitas sistem, seperti log transaksi dan status akses pengguna.

Lapisan aplikasi berfungsi sebagai penghubung antara antarmuka pengguna dan *blockchain*, dengan menggunakan API *gateway* dan *middleware* untuk memvalidasi dan mengelola permintaan sebelum diteruskan ke *blockchain*. Pada lapisan inti, *blockchain* digunakan sebagai platform terdesentralisasi untuk mencatat metadata, *log* transaksi, dan menjalankan *smart contract*. *Smart contract* ini dirancang untuk mengelola hak akses data, memberikan izin, mencatat transaksi, serta memastikan transparansi dan kepatuhan terhadap kebijakan privasi.

Sistem ini juga dilengkapi dengan lapisan penyimpanan *off-chain* untuk data besar seperti file pencitraan medis atau hasil laboratorium, yang dihubungkan ke *blockchain* melalui metadata yang dicatat di *ledger*. Data yang disimpan di *off-chain* dienkripsi terlebih dahulu untuk menjaga privasi dan keamanan. Selain itu, lapisan keamanan melibatkan mekanisme enkripsi data, autentikasi berbasis kunci *privat* dan *public key*, serta pemantauan aktivitas untuk mencegah akses tidak sah dan manipulasi data.

Dengan arsitektur ini, sistem mampu memberikan keamanan tinggi, transparansi melalui pencatatan transaksi yang tidak dapat diubah, dan efisiensi melalui pemisahan data besar ke *off-chain*. Pasien memiliki kendali penuh atas data mereka, yang diatur melalui *smart contract*, sementara sistem juga mendukung interoperabilitas dan skalabilitas untuk digunakan di lingkungan kesehatan yang kompleks. Arsitektur ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan pengelolaan data kesehatan yang sesuai dengan regulasi privasi data yang berlaku.

### 2.3 Metode *Smart contract*

Metode *smart contract* yang diterapkan dalam penelitian ini dirancang untuk mendukung pengelolaan data kesehatan dengan keamanan, transparansi, dan efisiensi. *Smart contract*, sebagai program otomatis yang berjalan di *blockchain*, digunakan untuk mengelola akses data, mencatat transaksi, dan memastikan kepatuhan terhadap aturan yang telah ditentukan. Berikut adalah pendekatan penerapan *smart contract* dalam penelitian :

#### a. Perancangan Logika *Smart contract*

Logika *smart contract* dirancang untuk mengatur seluruh alur kerja sistem pengelolaan data kesehatan. Fungsionalitas utama yang dirancang meliputi:

1. Hak Akses Data: Implementasi kontrol berbasis peran (*role-based access control*) untuk memastikan hanya pihak yang berwenang yang dapat mengakses data kesehatan.
2. Pemberian dan Pencabutan Izin Akses: Pasien memiliki kendali penuh atas data mereka, termasuk kemampuan untuk memberikan atau mencabut akses data secara *real-time*.





3. Pencatatan Transaksi: Semua transaksi yang berkaitan dengan akses atau perubahan data dicatat secara otomatis di *blockchain* untuk memastikan transparansi dan auditabilitas.

#### b. Implementasi *Smart contract*

1. *Platform Blockchain*: *Smart contract* dikembangkan menggunakan platform seperti *Ethereum* atau *Hyperledger Fabric* yang mendukung eksekusi kontrak cerdas.
2. Bahasa Pemrograman: *Solidity* digunakan untuk menulis logika *smart contract*, yang mencakup fungsi untuk memvalidasi permintaan akses data, mencatat transaksi, dan mengatur hak akses pengguna.
3. Integrasi dengan Sistem: *Smart contract* dihubungkan dengan antarmuka pengguna melalui *middleware*, yang bertindak sebagai penghubung antara aplikasi dan *blockchain*.

#### c. Alur Kerja *Smart contract*

1. Registrasi Pengguna: Pasien, dokter, dan administrator mendaftar ke sistem dan mendapatkan kunci *privat* untuk mengakses *smart contract*.
2. Unggah Data: Pasien mengunggah data kesehatan yang dienkripsi, dengan metadata dicatat dalam *blockchain* melalui *smart contract*.
3. Permintaan Akses: Dokter mengajukan permintaan akses data melalui antarmuka sistem, yang diteruskan ke *smart contract* untuk diverifikasi.
4. Verifikasi dan Akses: *Smart contract* memverifikasi permintaan berdasarkan hak akses yang diberikan pasien. Jika valid, akses diberikan kepada dokter.
5. Pencatatan Transaksi: Semua interaksi, termasuk pemberian akses dan perubahan data, dicatat oleh *smart contract* di *blockchain*.

#### d. Keamanan *Smart contract*

Untuk memastikan keamanan, *smart contract* dirancang dengan langkah-langkah berikut:

1. Validasi Input: Setiap *input* yang diterima oleh *smart contract* diperiksa untuk mencegah manipulasi atau data yang tidak *valid*.
2. Enkripsi Data: Data kesehatan dienkripsi sebelum diproses atau dicatat di *blockchain*.
3. Pengujian Keamanan: *Smart contract* diuji terhadap kerentanan seperti *re-entrancy*, *integer overflow*, dan manipulasi data.

#### e. Simulasi dan Evaluasi

*Smart contract* diuji melalui simulasi dengan menggunakan jaringan uji (*testnet*). Simulasi ini melibatkan pengujian pada skenario seperti:

1. Waktu Transaksi: Mengukur kecepatan dalam memberikan izin akses data.





2. Skalabilitas: Menilai kemampuan sistem dalam menangani jumlah pengguna dan transaksi yang besar.
3. Efisiensi Biaya: Menganalisis biaya gas (*gas fees*) yang diperlukan untuk menjalankan *smart contract*.
4. Reliabilitas Sistem: Memastikan kontrak dapat berjalan sesuai logika yang dirancang tanpa kesalahan atau kegagalan.

#### 2.4 Implementasi

Implementasi penelitian ini melibatkan penerapan teknologi *blockchain* dan *smart contract* untuk menciptakan sistem pengelolaan data kesehatan yang aman, transparan, dan efisien. Tahap awal implementasi dimulai dengan pemilihan *platform blockchain*, di mana *Ethereum* dipilih karena mendukung eksekusi *smart contract* secara luas. Alat pengembangan seperti *Solidity* untuk menulis *smart contract*, *Remix IDE* untuk *debugging*, *Ganache* untuk simulasi jaringan *blockchain* lokal, dan *Web3.js* untuk menghubungkan aplikasi dengan *blockchain* digunakan dalam proses ini.

Pada tahap implementasi *smart contract*, fungsi utama yang dikembangkan mencakup registrasi pengguna, pemberian dan pencabutan izin akses data, pencatatan transaksi, serta enkripsi data kesehatan sebelum diunggah ke penyimpanan *off-chain*. *Smart contract* diuji pada jaringan uji (*testnet*) untuk memastikan logika berjalan sesuai kebutuhan. Selanjutnya, aplikasi *front-end* dikembangkan untuk menyediakan antarmuka pengguna yang intuitif. *Dashboard* pasien memungkinkan mereka untuk mengelola data kesehatan dan kontrol akses, sementara *dashboard* dokter memungkinkan akses ke data yang telah diberikan izin. Administrator juga dapat memantau *log* aktivitas sistem melalui *dashboard* mereka.

Penyimpanan data kesehatan yang besar, seperti hasil pencitraan medis, dilakukan di sistem *off-chain* menggunakan *IPFS (InterPlanetary File System)* dengan metadata terhubung ke *blockchain*. Semua data yang disimpan *off-chain* dienkripsi menggunakan kunci privat untuk menjaga privasi dan keamanan. Pengujian sistem dilakukan dengan simulasi penggunaan, seperti registrasi pengguna, pengunggahan data, dan permintaan akses oleh dokter, yang diverifikasi oleh *smart contract*. Evaluasi melibatkan analisis waktu transaksi, biaya gas pada *blockchain*, dan keamanan sistem terhadap ancaman seperti manipulasi data atau akses tidak sah.

Hasil implementasi ini adalah prototipe sistem pengelolaan data kesehatan berbasis *blockchain* yang memastikan keamanan, transparansi, dan kendali penuh oleh pasien atas data mereka. Sistem ini juga memberikan kemudahan bagi dokter dan *administrator* untuk mengakses data dengan persetujuan pasien. Dokumentasi proses, kode, dan hasil pengujian melengkapi implementasi ini, yang menjadi dasar untuk evaluasi dan pengembangan lebih lanjut.





## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Penelitian

Implementasi teknologi *blockchain* menggunakan *smart contract* dalam pengelolaan data kesehatan menghasilkan prototipe sistem yang dapat mengelola data kesehatan secara aman, transparan, dan efisien. Berikut adalah hasil utama dari penelitian ini:

#### a. Fungsi *Smart contract* Berjalan Optimal

Tabel 1. Fungsi *Smart contract* Berjalan Normal

No	Fungsi <i>Smart contract</i>	Deskripsi	Keuntungan
1	Registrasi Pengguna	Pengguna (pasien, dokter, <i>administrator</i> ) dapat mendaftarkan diri dan mendapatkan kunci <i>privat</i> .	Meningkatkan keamanan dengan autentikasi berbasis <i>blockchain</i> .
2	Pemberian dan Pencabutan Izin	Pasien dapat memberikan atau mencabut izin akses data kesehatan secara <i>real-time</i> .	Pasien memiliki kontrol penuh atas data mereka.
3	Pencatatan Transaksi	Semua interaksi dengan data kesehatan dicatat di <i>blockchain</i> untuk transparansi dan audit.	Menciptakan jejak audit yang tidak dapat diubah.
4	Validasi Permintaan Akses Data	<i>Smart contract</i> memverifikasi permintaan akses berdasarkan hak akses yang diberikan pasien.	Memastikan hanya pengguna yang sah dapat mengakses data.
5	Enkripsi Data	Data kesehatan dienkripsi sebelum diunggah ke penyimpanan <i>off-chain</i> untuk menjaga privasi.	Melindungi data sensitif dari akses ilegal.

1. *Smart contract* berhasil mengotomatisasi pemberian dan pencabutan izin akses data. Pasien dapat mengontrol data mereka melalui antarmuka pengguna, sementara dokter dapat meminta akses sesuai kebutuhan.
2. Semua transaksi, termasuk pemberian akses dan perubahan data, tercatat di *blockchain* secara permanen dan transparan.

#### b. Keamanan Data Terjamin

Tabel 2. Keamanan Data Terjamin

No	Aspek Keamanan	Deskripsi	Keuntungan
1	Enkripsi Data	Data kesehatan dienkripsi sebelum diunggah ke penyimpanan <i>off-chain</i> untuk memastikan privasi.	Melindungi data sensitif dari akses ilegal.
2	Autentikasi Pengguna	Pengguna diverifikasi dengan kunci <i>privat</i> dan <i>public key</i> untuk memastikan akses hanya oleh pihak yang sah.	Mengurangi risiko kebocoran data dengan autentikasi berbasis <i>blockchain</i> .
3	Pencatatan Transaksi	Setiap interaksi dengan data dicatat secara permanen di <i>blockchain</i> untuk memastikan transparansi.	Memberikan jejak audit yang jelas untuk semua transaksi.





4	Pencegahan Manipulasi Data	<i>Blockchain</i> mencegah manipulasi data karena sifatnya yang immutable.	Memastikan integritas data tanpa risiko perubahan tidak sah.
5	Pemantauan Aktivitas	Sistem memantau aktivitas untuk mendeteksi dan mencegah akses tidak sah atau aktivitas mencurigakan.	Meningkatkan keamanan proaktif melalui deteksi dini ancaman.

1. Data kesehatan yang diunggah ke sistem dienkripsi dengan kunci privat milik pasien, menjaga privasi meskipun data tersebut disimpan di penyimpanan off-chain.
2. Tidak ada indikasi manipulasi data selama simulasi, membuktikan bahwa sistem berbasis *blockchain* dapat mencegah akses tidak sah.

c. Efisiensi Operasional

Tabel 3. Efisiensi Operasional

No	Aspek Efisiensi	Deskripsi	Keuntungan
1	Waktu Transaksi Cepat	Transaksi seperti pemberian atau pencabutan izin akses rata-rata selesai dalam waktu di bawah 2 detik.	Mempercepat proses pengelolaan data tanpa penundaan.
2	Penyimpanan <i>Off-Chain</i>	Data besar seperti pencitraan medis disimpan di <i>off-chain</i> untuk mengurangi beban <i>blockchain</i> .	Mengoptimalkan penyimpanan untuk data besar tanpa mengorbankan keamanan.
3	Otomatisasi Proses	<i>Smart contract</i> mengotomatisasi alur kerja seperti validasi akses dan pencatatan transaksi.	Mengurangi kesalahan manual dengan otomatisasi berbasis <i>smart contract</i> .
4	Efisiensi Biaya	Penggunaan <i>off-chain storage</i> membantu menekan biaya gas pada <i>blockchain</i> .	Menurunkan biaya operasional dalam pengelolaan data.
5	Skalabilitas Sistem	Sistem dirancang untuk menangani jumlah pengguna yang besar dengan performa stabil.	Memungkinkan penerapan sistem pada lingkungan dengan skala besar.

1. Pengujian menunjukkan waktu transaksi untuk pemberian atau pencabutan akses rata-rata di bawah 2 detik, meskipun dengan skala data yang besar.
2. Penggunaan IPFS sebagai penyimpanan *off-chain* membantu mengurangi beban pada *blockchain* dan biaya transaksi (gas fees)





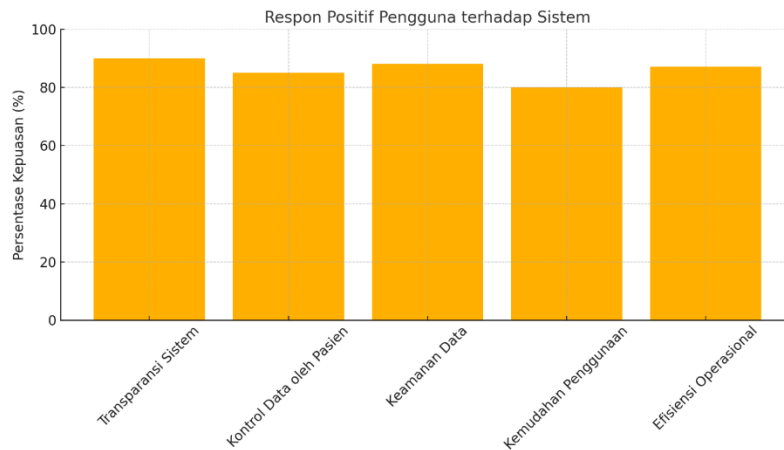
d. *Interoperabilitas* Sistem

Tabel 4. *Interoperabilitas* Sistem

No	Aspek <i>Interoperabilitas</i>	Deskripsi	Keuntungan
1	Integrasi dengan Aplikasi Kesehatan	Sistem dapat dihubungkan dengan berbagai aplikasi kesehatan melalui API.	Mempermudah pertukaran data antar <i>platform</i> kesehatan.
2	Penggunaan Metadata di <i>Blockchain</i>	Metadata data kesehatan dicatat di <i>blockchain</i> untuk memungkinkan akses lintas <i>platform</i> .	Meningkatkan keterhubungan data tanpa mengorbankan privasi.
3	Kompatibilitas <i>Off-Chain</i>	Data besar disimpan di <i>off-chain</i> menggunakan teknologi seperti IPFS, yang kompatibel dengan sistem lain.	Memastikan data besar tetap dapat diakses dengan efisien.
4	Protokol Standar Terbuka	Menggunakan protokol terbuka untuk mendukung komunikasi antar sistem kesehatan yang berbeda.	Mendukung <i>interoperabilitas</i> yang luas tanpa memerlukan konversi data yang rumit.
5	Fleksibilitas Pengembangan	Arsitektur memungkinkan pengembang untuk menyesuaikan sistem sesuai kebutuhan organisasi kesehatan.	Memungkinkan skalabilitas dan adaptasi sistem untuk berbagai skenario kesehatan.

1. Metadata yang dicatat di *blockchain* berhasil menghubungkan data kesehatan yang disimpan di penyimpanan *off-chain*, memungkinkan integrasi dengan berbagai aplikasi kesehatan lainnya.

e. Respon Positif Pengguna



Gambar 2. Grafik Aspek Penilaian

1. Survei terhadap pasien dan dokter menunjukkan bahwa sistem ini meningkatkan kepercayaan pengguna karena transparansi dan kendali penuh terhadap data mereka.

3.2 Pembahasan

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa teknologi *blockchain* dengan *smart contract* memiliki potensi besar dalam mengatasi tantangan pengelolaan data kesehatan. Hasil yang diperoleh memberikan





solusi inovatif terhadap permasalahan keamanan, privasi, transparansi, efisiensi, dan interoperabilitas sistem kesehatan modern, seperti yang telah dibahas dalam berbagai studi sebelumnya (Agbo et al., 2019; Beinke et al., 2019; Handayani, 2023).

### 1. Keunggulan Sistem

Sistem berbasis *blockchain* yang dikembangkan dalam penelitian ini memberikan beberapa keunggulan signifikan. Salah satunya adalah kemampuan *smart contract* untuk memberikan kontrol penuh kepada pasien terhadap data kesehatan mereka. Dengan mekanisme ini, pasien dapat memberikan atau mencabut izin akses data secara real-time tanpa perlu bergantung pada pihak ketiga. Temuan ini sejalan dengan Guo & Lin (2020) yang menekankan peran *smart contract* dalam implementasi kontrol akses berbasis kebijakan privasi. Selain itu, *blockchain* menjamin transparansi melalui sifat immutable-nya, di mana semua transaksi dicatat secara permanen dalam ledger terdistribusi. Pencatatan ini menciptakan jejak audit yang jelas, yang meningkatkan kepercayaan antara pasien, dokter, dan administrator sistem. Hal ini mendukung pandangan Beinke et al. (2019) bahwa integritas data merupakan komponen kunci dalam pengelolaan rekam medis elektronik (EHR).

### 2. Efisiensi dengan Penyimpanan Off-Chain

Salah satu tantangan utama dalam implementasi teknologi *blockchain* adalah keterbatasan kapasitas penyimpanan pada jaringan on-chain. Untuk mengatasi permasalahan ini, penelitian ini memanfaatkan IPFS sebagai penyimpanan off-chain, di mana data besar seperti hasil pencitraan medis disimpan dengan aman. Metadata dari data tersebut dicatat di *blockchain*, sehingga integritas dan aksesibilitas data tetap terjaga tanpa membebani jaringan *blockchain*. Pendekatan ini sejalan dengan temuan Zhang et al. (2018) dan Shi et al. (2019) yang merekomendasikan kombinasi *off-chain storage* untuk meningkatkan efisiensi operasional sistem *blockchain*. Solusi ini memastikan bahwa biaya transaksi tetap terkendali dan performa sistem tidak terganggu, meskipun harus mengelola volume data yang besar.

### 3. Keterbatasan dan Tantangan

Meskipun penelitian ini memberikan berbagai keunggulan, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan untuk implementasi skala besar.

#### a. Biaya Transaksi

Platform *blockchain* publik seperti *Ethereum* masih memiliki biaya transaksi (gas fees) yang cukup tinggi. Ini menjadi kendala terutama dalam skenario dengan volume transaksi yang besar. Sebagaimana diidentifikasi oleh Durneva et al. (2020) dan Nasir et al. (2018), solusi





seperti layer-2 scaling atau penggunaan *blockchain* alternatif seperti *Polygon* atau *Solana* perlu dipertimbangkan untuk mengurangi biaya tersebut.

b. Skalabilitas

Penelitian ini menunjukkan bahwa performa sistem mengalami penurunan seiring peningkatan jumlah pengguna dan transaksi. Hal ini menegaskan tantangan skalabilitas yang telah diidentifikasi dalam studi sebelumnya (Reijsbergen & Dinh, 2020; Monrat et al., 2020). Solusi seperti sharding dan sidechains dapat diterapkan di masa depan untuk meningkatkan skalabilitas sistem.

c. Pemahaman Pengguna

Hasil survei menunjukkan bahwa sebagian pengguna memiliki keterbatasan pemahaman terhadap teknologi *blockchain* dan *smart contract*. Hal ini mengindikasikan perlunya upaya edukasi yang lebih masif untuk meningkatkan penerimaan teknologi ini di kalangan pengguna.

4. Kontribusi terhadap Dunia Kesehatan

Penelitian ini berkontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem pengelolaan data kesehatan modern dengan tiga cara utama:

a. Meningkatkan Privasi dan Keamanan Data

Teknologi *blockchain* dengan *smart contract* memberikan solusi yang efektif untuk melindungi data kesehatan sensitif. Dengan fitur enkripsi dan kontrol akses yang terdesentralisasi, pasien memiliki kendali penuh atas data mereka, seperti yang dipaparkan oleh Handayani (2023) dan Esmailzadeh & Mirzaei (2019).

b. Mendorong Interoperabilitas Sistem Kesehatan

Dengan mencatat metadata di *blockchain*, sistem ini memungkinkan integrasi dengan berbagai platform kesehatan lainnya, mendukung interoperabilitas yang lebih luas dalam ekosistem layanan kesehatan digital.

c. Meningkatkan Efisiensi Operasional

Automatisasi proses validasi data dan pemberian izin akses melalui *smart contract* mengurangi beban administrasi manual, mempercepat proses pengelolaan data, dan meminimalisir risiko kesalahan manusia. Kontribusi ini tidak hanya relevan dalam konteks pengelolaan data kesehatan, tetapi juga dapat menjadi model bagi sektor lain yang membutuhkan perlindungan data sensitif dalam skala besar.

5. Pengembangan Masa Depan

Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam beberapa area penting:

a. Integrasi dengan Kecerdasan Buatan (AI)





Teknologi kecerdasan buatan dapat digunakan untuk menganalisis data kesehatan secara otomatis, memberikan wawasan tambahan bagi penyedia layanan kesehatan, dan meningkatkan kualitas pengambilan keputusan.

b. Mekanisme Pembayaran Berbasis *Cryptocurrency*

Dengan mengadopsi pembayaran berbasis *cryptocurrency*, sistem ini dapat diintegrasikan dengan layanan medis berbasis *blockchain*, menciptakan ekosistem yang lebih efisien dan transparan.

## SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi *blockchain* dengan *smart contract* dapat diimplementasikan secara efektif untuk pengelolaan data kesehatan yang aman, transparan, dan efisien. Sistem yang dirancang memberikan kendali penuh kepada pasien atas data kesehatan mereka, memungkinkan mereka untuk memberikan dan mencabut izin akses dengan mudah melalui antarmuka pengguna. Pencatatan transaksi secara otomatis di *blockchain* menciptakan jejak audit yang transparan dan tidak dapat diubah, meningkatkan kepercayaan antara pasien, dokter, dan administrator. Penyimpanan *off-chain* yang digunakan membantu mengurangi beban pada *blockchain*, memungkinkan pengelolaan data besar seperti pencitraan medis tanpa mengorbankan keamanan. Efisiensi operasional tercapai dengan waktu transaksi yang cepat dan biaya yang lebih rendah dibandingkan metode konvensional.

Namun, penelitian ini juga menghadapi beberapa keterbatasan. Biaya transaksi pada *platform blockchain* publik seperti *Ethereum* masih cukup tinggi untuk implementasi skala besar, dan performa sistem mulai menurun ketika jumlah pengguna meningkat secara signifikan. Selain itu, kurangnya pemahaman teknis sebagian pengguna memerlukan pendekatan edukasi yang lebih baik. Meskipun demikian, sistem ini memberikan fondasi yang kuat untuk solusi inovatif dalam pengelolaan data kesehatan, terutama dalam memastikan keamanan dan transparansi data.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan *blockchain* dengan biaya transaksi lebih rendah, seperti Polygon atau Solana, serta mengadopsi teknologi layer-2 scaling untuk meningkatkan skalabilitas sistem. Penggunaan *blockchain hybrid* dapat menjadi opsi untuk memadukan efisiensi *blockchain* privat dengan keamanan *blockchain* publik. Selain itu, integrasi teknologi kecerdasan buatan dapat membantu menganalisis data kesehatan secara otomatis, memberikan wawasan tambahan bagi pengguna. Upaya edukasi kepada pengguna juga harus ditingkatkan melalui pelatihan dan pengembangan antarmuka yang lebih intuitif. Pengujian dalam lingkungan nyata, seperti rumah sakit atau klinik, diperlukan untuk mengevaluasi performa dan penerimaan sistem dalam skala





besar. Dengan pengembangan lebih lanjut, sistem berbasis *blockchain* ini memiliki potensi besar untuk menjadi solusi standar dalam pengelolaan data kesehatan di masa depan.

## DAFTAR RUJUKAN

- Agbo, C., Mahmoud, Q., & Eklund, J. (2019). Blockchain Technology in Healthcare: A Systematic Review. *Healthcare*, 7(2), 56. <https://doi.org/10.3390/healthcare7020056>
- Azaria, A., Ekblaw, A., Vieira, T., & Lippman, A. (2016). MedRec: Using *Blockchain* for Medical Data Access. *Proceedings of the 2nd International Conference on Open and Big Data (OBD)*, pp. 25–30.
- Beinke, J., Fitte, C., & Teuteberg, F. (2019). Towards a Stakeholder-Oriented Blockchain-Based Architecture for Electronic Health Records: Design Science Research Study. *Journal of Medical Internet Research*, 21(10), e13585. <https://doi.org/10.2196/13585>
- Bocek, T., Rodrigues, B. B., Strasser, T., & Stiller, B. (2017). *Blockchain* in Supply Chains: Concepts, Applications and Research Opportunities. *Proceedings of the IEEE Blockchain Applications Conference*, pp. 1–8.
- Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). *Blockchains* and *Smart contracts* for the Internet of Things. *IEEE Access*, 4, 2292–2303.
- Durneva, P., Cousins, K., & Chen, M. (2020). The Current State of Research, Challenges, and Future Research Directions of Blockchain Technology in Patient Care: Systematic Review (preprint).. <https://doi.org/10.2196/preprints.18619>
- Ekblaw, A., Azaria, A., Halamka, J. D., & Lippman, A. (2016). MedRec for EHR Integration. *Proceedings of the IEEE Blockchain Conference*, pp. 32–38.
- Engelhardt, M. A. (2017). Hitching Healthcare to the Chain: An Introduction to *Blockchain* Technology in the Healthcare Sector. *Technology Innovation Management Review*, 7(10), 22–34.
- Esmailzadeh, P. and Mirzaei, T. (2019). The Potential of Blockchain Technology For Health Information Exchange: Experimental Study From Patients' Perspectives. *Journal of Medical Internet Research*, 21(6), e14184. <https://doi.org/10.2196/14184>
- Guo, Z. and Lin, H. (2020). Poster: Oblivious Access System on Decentralized Database Over Parallel Smart Contract Model.. <https://doi.org/10.1145/3320269.3405436>
- Handayani, I. (2023). Enhancing Security and Privacy of Patient Data in Healthcare: A Smartpls Analysis of Blockchain Technology Implementation. *Iaic Transactions on Sustainable Digital Innovation (Itsdi)*, 5(1), 8-17. <https://doi.org/10.34306/itsdi.v5i1.603>
- Kuo, T. T., Kim, H. E., & Ohno-Machado, L. (2017). *Blockchain* for Biomedical Applications. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 24(6), 1211–1220.
- Monrat, A., Schelén, O., & Andersson, K. (2020). Performance evaluation of permissioned blockchain platforms., 1-8. <https://doi.org/10.1109/csde50874.2020.9411380>
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. [Online]. Available: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Nasir, Q., Qasse, I., Talib, M., & Nassif, A. (2018). Performance Analysis of Hyperledger Fabric Platforms. *Security and Communication Networks*, 2018, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2018/3976093>





- Peterson, K., Deeduvanu, R., Kanjamala, P., & Boles, K. (2016). *Blockchain for Health Information Exchange*. *Journal of Innovation in Health Informatics*, 23(2), 234–247.
- Reijsbergen, D. and Dinh, T. (2020). On Exploiting Transaction Concurrency To Speed Up Blockchains.. <https://doi.org/10.1109/icdcs47774.2020.00083>
- Roehrs, A., da Costa, C. A., Righi, R. D. R., & de Oliveira, K. S. F. (2019). Personal Health Records: A Systematic Literature Review. *Journal of Medical Systems*, 43(1), 16.
- Shi, Z., Zhou, H., Surbiryala, J., Laat, C., & Zhao, Z. (2019). Operating Permissioned Blockchain in Clouds: A Performance Study Of Hyperledger Sawtooth., 50-57. <https://doi.org/10.1109/ispdc.2019.00010>
- Sutabri, T. (2014). *Pengantar Teknologi Informasi*. Penerbit Andi, Indonesia.
- Szabo, N. (1997). The Idea of *Smart contracts*. *First Monday*. [Online]. Available: [https://www.fourthplanet.org/nick\\_szabo\\_idea\\_of\\_smart\\_contracts.pdf](https://www.fourthplanet.org/nick_szabo_idea_of_smart_contracts.pdf)
- Xia, Q., Sifah, E. B., Asamoah, K. O., Gao, J., Du, X., & Guizani, M. (2017). MedShare: Trust-Less Medical Data Sharing Among Cloud Service Providers via *Blockchain*. *IEEE Access*, 5, 14757–14767.
- Yue, X., Wang, H., Jin, D., Li, M., & Jiang, W. (2016). Healthcare Data Gateways: *Blockchain* with Privacy Risk Control. *Journal of Medical Internet Research*, 18(7), e56.
- Zhang, P., White, J., Schmidt, D., Lenz, G., & Rosenbloom, S. (2018). Fhirchain: Applying Blockchain to Securely and Scalably Share Clinical Data. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 16, 267-278. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2018.07.004>

