



SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW: ARSITEKTUR, MEKANISME TEKNIS, DAN METRIK KINERJA PADA PENERAPAN BLOCKCHAIN DI SEKTOR KESEHATAN

Shesyl Yulia Noor Diwani¹, Cindy Jumaida², Daud Sihar Surung Putra Anugerah Daeli³, Natalis Pardamean Situmorang⁴, Anelka Winata Perangin - Angin⁵, Yohana Angeliana Sianturi⁶, Muhammad Abdillah Helmi Rasyid⁷, Sudarto⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Informatika, Universitas Mikroskil
Medan, Sumatera Utara, Indonesia 20212

shesyldwn@gmail.com, cindyjumaida@gmail.com, daudsihar@gmail.com, natalispsitumorang12@gmail.com,
anelperanginangin@gmail.com, yohanasanturi083@gmail.com, abdillahrasyid030@gmail.com, sudarto@mikroskil.ac.id

Abstract

The widespread adoption of digital technology in the healthcare sector has driven the need for transparent, secure, and reliable data management systems, especially those for sensitive patient data and the drug supply chain. Blockchain technology is seen as a potential solution due to its decentralised, immutable, and transparent characteristics. This study aims to identify and analyse the use of blockchain technology in the healthcare sector, focusing on patient data transparency and the efficiency of pharmaceutical supply chains. Using the PRISMA-guided Systematic Literature Review (SLR) method, this research examines 18 Scopus-indexed articles (Q1–Q3) published between 2020 and 2025. The analysis shows that the Hyperledger Fabric platform and Permissioned Blockchain architecture dominate due to their efficiency and suitability for consortium-based systems. The main supporting technologies applied include smart contracts, IPFS-based off-chain storage, and consensus mechanisms such as PoA and PBFT. Empirically, the implementation of blockchain has been proven to improve transaction efficiency, supply chain traceability, and the integrity and security of patient data. However, technical challenges such as scalability, interoperability, and compliance with global privacy regulations remain obstacles. This study contributes by mapping healthcare blockchain architectures and technological trends, and by offering future research directions for performance optimisation and system adoption.

Keywords: Blockchain, Drug Supply Chain, Patient Data, PRISMA, Systematic Literature Review (SLR)

Abstrak

Implementasi teknologi digital secara masif di sektor kesehatan mendorong kebutuhan akan sistem pengelolaan data yang transparan, aman, dan dapat dipercaya, terutama terkait data pasien dan rantai pasok obat yang bersifat sensitif. Teknologi *blockchain* dipandang sebagai solusi potensial karena karakteristiknya yang terdesentralisasi, imutabel, dan transparan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan menganalisis penggunaan teknologi *blockchain* di bidang kesehatan, dengan fokus pada transparansi data pasien serta efisiensi rantai pasok obat. Menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) berbasis pedoman PRISMA, penelitian ini menelaah 18 artikel terindeks Scopus (Q1-Q3) terbitan 2020-2025. Hasil analisis menunjukkan bahwa *platform Hyperledger Fabric* dan arsitektur *Permissioned Blockchain* mendominasi karena efisiensi dan kesesuaiannya untuk sistem konsorsium. Teknologi pendukung utama yang diterapkan meliputi *smart contracts*, penyimpanan *off-chain* berbasis IPFS, serta mekanisme konsensus PoA dan PBFT. Secara empiris, penerapan *blockchain* terbukti memperbaiki efisiensi transaksi, keterlacakan rantai pasok, serta integritas dan keamanan data pasien. Namun, tantangan teknis seperti skalabilitas, interoperabilitas, dan kepatuhan regulasi privasi global masih menjadi hambatan. Kajian ini berkontribusi dalam memetakan arsitektur serta tren teknologi *blockchain* kesehatan, sekaligus menawarkan arah penelitian masa depan terkait optimalisasi kinerja dan adopsi sistem.

Kata kunci: Blockchain, Data Pasien, PRISMA, Rantai Pasok Obat, Systematic Literature Review (SLR)

1. PENDAHULUAN

Teknologi *blockchain* merupakan salah satu inovasi digital terpenting dalam dekade terakhir, karena kemampuannya menciptakan sistem pencatatan terdistribusi (*distributed ledger*) yang bersifat *immutable* (tidak dapat diubah), transparan, dan tahan manipulasi. Karakteristik tersebut menjadikannya solusi potensial untuk berbagai sektor, mulai keuangan hingga logistik dan layanan publik. Di bidang kesehatan, *blockchain* membuka peluang untuk memperkuat keamanan data, mempercepat pertukaran informasi antar-institusi, dan meningkatkan kepercayaan pengguna melalui desain sistem berbasis konsensus terdesentralisasi[1]. Dalam konteks transformasi digital layanan kesehatan, modalitas baru seperti *Internet of Medical Things* (IoMT) dan rekam medis elektronik (RME) memicu kebutuhan sistem yang tidak hanya efisien tetapi juga dapat menjamin keterlacakan dan auditabilitas data. Dengan demikian, pemahaman mendalam tentang penerapan *blockchain* menjadi penting dalam kerangka evolusi ekosistem kesehatan digital.

Khususnya dalam sektor kesehatan, tantangan besar muncul terkait pengelolaan data pasien serta rantai pasok obat yang kompleks. Data pasien sering kali tersebar di berbagai sistem RME rumah sakit, laboratorium, dan klinik, sehingga rawan terhadap kebocoran, manipulasi atau ketidakakuratan informasi[2]. Sementara itu, rantai pasok farmasi dihadapkan pada risiko berat seperti pemalsuan obat, keterlambatan logistik, serta minimnya mekanisme transparansi dari produsen hingga pasien akhir[3]. Laporan *HIPAA Journal* mencatat lebih dari 133 juta catatan kesehatan mengalami kebocoran atau akses ilegal, menjadikan 2023 sebagai salah satu tahun terburuk bagi keamanan data medis global[4]. Masalah transparansi dan keaslian dalam rantai pasok obat tetap menjadi hambatan utama. World Health Organization melaporkan bahwa sekitar 1 dari 10 produk medis yang diedarkan di negara berpenghasilan rendah dan menengah adalah substandar atau dipalsukan[5]. Kondisi ini menegaskan urgensi penerapan teknologi yang mampu menjamin integritas, keterlacakan, serta transparansi informasi dalam ekosistem kesehatan.

Teknologi *blockchain* menawarkan mekanisme teknis yang potensial untuk menjawab tantangan tersebut melalui *smart contracts*, *off-chain storage*, dan arsitektur konsorsium yang memungkinkan partisipasi multi-entitas tanpa mengorbankan kontrol akses[6][7]. Dalam sistem RME, setiap perubahan data dapat direkam dalam blok yang tidak dapat diubah, dan dalam rantai pasok obat, jejak distribusi dapat ditelusuri secara *real time*.

Beberapa penelitian awal melaporkan bahwa penerapan *blockchain* dapat meningkatkan keterlacakan obat dan memperkuat auditabilitas data medis secara signifikan[8]. Namun demikian, sebagian besar studi masih terbatas pada fase konsep atau prototipe dan belum mengukur performa sistem secara komprehensif. Karena itu, pemfokusan pada aspek transparansi data pasien dan efisiensi rantai pasok

kesehatan melalui penerapan *blockchain* menjadi objek kajian yang strategis dan relevan.

Namun, terdapat *gap* penelitian yang jelas antara potensi teknologi dan realitas implementasi di lapangan. Banyak studi masih bersifat konseptual atau *proof-of-concept* tanpa evaluasi metrik performa atau uji coba klinis skala besar[1][3]. Sementara itu, mekanisme teknis seperti *off-chain storage* dan konsensus *blockchain* sering dibahas secara terpisah tanpa pemetaan sistematis mengenai konfigurasi, efektivitas, dan implikasi bagi transparansi dan keamanan data. Belum ada kajian yang secara spesifik memotret arsitektur *blockchain* yang paling banyak digunakan, mekanisme teknis pendukung integritas dan privasi data pasien, serta metrik kinerja sistem yang dilaporkan dalam konteks kesehatan dan rantai pasok farmasi. Kesenjangan ini menjadi dasar bagi pelaksanaan penelitian ini melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) agar menghasilkan peta komprehensif dan analisis tren penerapan *blockchain* di bidang kesehatan.

Tujuan utama penelitian ini adalah mengidentifikasi serta menganalisis bagaimana *blockchain* diterapkan di sektor kesehatan. Analisis dilakukan melalui tinjauan literatur dan studi kasus yang relevan, memastikan pemahaman komprehensif tentang tantangan dan manfaatnya: (1) arsitektur dan platform *blockchain* yang paling banyak diterapkan dalam layanan kesehatan dan rantai pasok obat; (2) mekanisme teknis yang mendukung integritas, transparansi, dan kepatuhan privasi data pasien; dan (3) metrik kinerja yang digunakan serta hasil empiris terhadap efisiensi, keterlacakan, atau pengurangan pemalsuan. Kajian dibatasi pada artikel *peer-reviewed* dan *prosiding* terindeks Scopus (Q1–Q4) yang terbit antara tahun 2020 hingga 2025. Dengan batasan tersebut, penelitian ini menyajikan kontribusi baru berupa pemetaan *state-of-the-art* penerapan *blockchain* di bidang kesehatan yang menekankan bukti implementasi teknis dan evaluasi kinerja sistem, berbeda dari tinjauan terdahulu yang lebih banyak bersifat konseptual.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

Pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) diterapkan dalam penelitian ini untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, serta mensintesis temuan dari penelitian terkini yang berkaitan dengan implementasi teknologi *blockchain* pada transparansi data pasien dan rantai pasok kesehatan. Metode ini memfasilitasi analisis mendalam terhadap literatur mutakhir, sehingga memungkinkan pengumpulan bukti yang sistematis dan objektif. Melalui proses ini, penelitian dapat menghasilkan wawasan komprehensif mengenai potensi serta tantangan teknologi tersebut di sektor kesehatan. Pendekatan SLR dipilih karena mampu memberikan tinjauan komprehensif yang terstruktur dan terverifikasi terhadap perkembangan penelitian pada domain tertentu.

Pelaksanaan prosedur *Systematic Literature Review* (SLR) ini mengadopsi panduan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), yang mencakup empat tahapan pokok: (1) identifikasi literatur, (2) penyaringan awal, (3) kelayakan (*eligibility*), dan (4) inklusi akhir. Tahapan-tahapan tersebut dilaksanakan secara metodis untuk memastikan bahwa hanya artikel ilmiah yang relevan, valid, serta berkualitas tinggi yang menjadi subjek analisis. Penelitian ini tidak sebatas menggambarkan tren, melainkan juga menguraikan pola arsitektur, mekanisme teknis, dan hasil evaluasi kinerja *blockchain* dalam konteks kesehatan.

2.2 Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan secara sistematis pada tiga basis data ilmiah bereputasi, yaitu Google Scholar, ScienceDirect (Elsevier), dan dengan bantuan Consensus AI, yang dipilih karena cakupan multidisipliner dan aksesibilitas tinggi terhadap publikasi internasional bereputasi. Kemudian memastikan kembali artikel yang direview berada dalam kuartil Q1-Q4 melalui web resmi SCImago Journal Rank (SJR) Rentang waktu pencarian dibatasi antara tahun 2020 hingga 2025, untuk memastikan relevansi penelitian terhadap perkembangan terkini teknologi *blockchain* di sektor kesehatan. Pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci (*Boolean Query*) berikut:

("blockchain") AND ("healthcare" OR "pharmacy" OR "medical")

Query tersebut dirancang untuk menemukan artikel yang membahas penerapan *blockchain* secara teknis dalam konteks kesehatan, baik untuk pengelolaan data pasien maupun rantai pasok farmasi. Selain itu, pencarian lanjutan dilakukan melalui kata kunci yang relevan dengan pertanyaan penelitian (RQ) untuk menemukan artikel yang mungkin tidak terindeks langsung dalam hasil utama.

2.3 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Literatur dipilih melalui penerapan kriteria inklusi dan eksklusi yang ditetapkan secara ketat, dengan tujuan menghasilkan temuan yang fokus dan tepat sasaran. Pendekatan ini memastikan bahwa hanya sumber yang memenuhi standar tertentu yang dipertimbangkan dalam analisis.

a) Kriteria Inklusi:

- 1) Artikel adalah jurnal *peer-reviewed* atau prosiding konferensi bereputasi yang terindeks Scopus Q1-Q3.
- 2) Topik utama mencakup *Blockchain* AND Kesehatan (Data Pasien/RME) OR Rantai Pasok Kesehatan/Farmasi.
- 3) Artikel harus melaporkan implementasi, *Proof-of-Concept* (PoC) yang divalidasi, atau studi kasus nyata yang menyajikan hasil evaluasi/metrik kinerja (kuantitatif atau kualitatif).

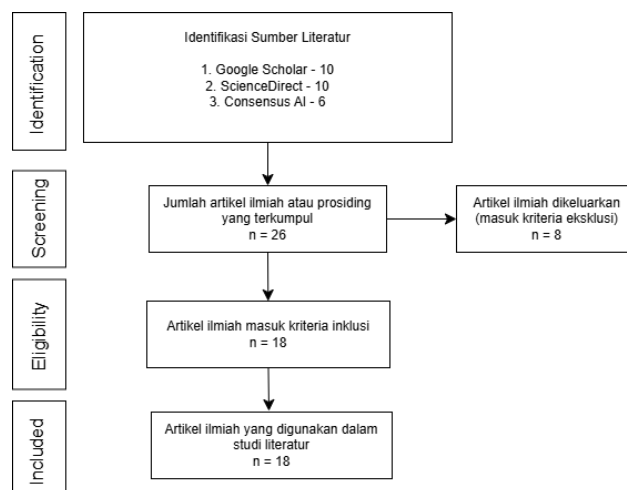
- 4) Studi diterbitkan dalam 5 tahun terakhir 2020-2025 untuk mencerminkan perkembangan teknologi terkini.

b) Kriteria Eksklusi:

- 1) Artikel adalah *review* lainnya (*Systematic Review, Literature Review, Meta-Analysis, Editorial, Commentary, Position Paper*).
- 2) Artikel hanya bersifat konseptual atau mengusulkan kerangka kerja/model tanpa implementasi teknis atau laporan validasi dan evaluasi kinerja yang jelas.
- 3) Artikel fokus pada domain non-kesehatan (misalnya, hanya *supply chain* umum, keuangan, atau politik).
- 4) Publikasi di bawah tahun 2020.

2.4 Proses Seleksi dan Ekstraksi Data

Proses seleksi menggunakan alur *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA) yang terdiri atas empat tahap. Gambar 1 menunjukkan empat tahapan PRISMA.



Gambar 1. PRISMA Flow Diagram

a) Identifikasi (*Identification*)

Pencarian awal menghasilkan sekitar 26 artikel dari tiga basis data utama. Seluruh artikel dikompilasi dan dilakukan pemeriksaan duplikasi menggunakan *tool Mendeley Reference Manager*.

b) Penyaringan (*Screening*)

Sebanyak 8 artikel dieliminasi karena tidak sesuai dengan topik kesehatan atau hanya bersifat konseptual tanpa hasil implementasi.

c) Kelayakan (*Eligibility*)

Dari 18 artikel tersisa, dilakukan pembacaan menyeluruh terhadap isi untuk menilai kesesuaian dengan kriteria inklusi.

d) Inklusi Akhir (*Included*)

Sebanyak 18 artikel memenuhi kriteria inklusi dan digunakan sebagai bahan analisis sistematis. Artikel tersebut memiliki kualitas metodologis tinggi dan melaporkan hasil evaluasi komprehensif sehingga dijadikan sumber utama untuk menjawab pertanyaan penelitian (RQ).

e) Ekstraksi Data

Data dari setiap artikel yang lolos seleksi disusun ke dalam tabel sintesis dengan kolom berikut: (1) judul, (2) tahun terbit, (3) tujuan penelitian, (4) arsitektur *blockchain*, (5) teknologi pendukung (*smart contracts*, *off-chain storage*, mekanisme konsensus), (6) domain aplikasi, (7) jenis implementasi, (8) metrik evaluasi, (9) hasil utama, (10) kelebihan, (11) keterbatasan, dan (12) relevansi terhadap RQ1–RQ3.

2.5 Sintesis Pertanyaan Penelitian (*Research Question Synthesis*)

Data dari setiap artikel yang lolos seleksi disusun ke dalam tabel sintesis dengan kolom berikut: (1) judul, (2) tahun terbit, (3) tujuan penelitian, (4) arsitektur *blockchain*, (5) teknologi pendukung (*smart contracts*, *off-chain storage*, mekanisme konsensus), (6) domain aplikasi, (7) jenis implementasi, (8) metrik evaluasi, (9) hasil utama, (10) kelebihan, (11) keterbatasan, dan (12) relevansi terhadap RQ1–RQ3.

2.6 Pertanyaan Penelitian (*Research Question*)

Penelitian ini menggunakan pertanyaan penelitian yang telah ditetapkan secara spesifik sebagai panduan utama, meliputi:

RQ1: Jenis arsitektur dan *platform Blockchain* apa yang paling banyak diterapkan dalam sektor kesehatan, serta bagaimana konfigurasi teknologi pendukung (*off-chain storage*, *smart contracts*, konsensus) digunakan dalam implementasinya?

RQ2: Bagaimana mekanisme teknis *Blockchain* mendukung integritas, transparansi, dan kepatuhan terhadap regulasi privasi data pasien dalam sistem informasi kesehatan?

RQ3: Metrik kinerja apa yang digunakan untuk mengevaluasi implementasi *Blockchain* dalam sektor kesehatan, dan bagaimana hasil empiris menunjukkan dampak terhadap efisiensi, ketelusuran, atau pengurangan risiko pemalsuan?

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai artikel yang dianalisis dalam penelitian ini, Tabel 1 menyajikan daftar artikel yang memenuhi seluruh kriteria inklusi. Informasi yang ditampilkan mencakup judul artikel, nama penulis dan tahun publikasi, sumber jurnal,

dan peringkat jurnal (Q1–Q3) sebagai dasar analisis sistematis dalam studi ini.

Tabel 1. Artikel yang Memenuhi Kriteria Inklusi

No.	Judul	Jurnal	Jurnal Rank (Q1–Q3)
1.	<i>Blockchain for Increased Trust in Virtual Health Care: Proof-of-Concept Study</i>	<i>Journal of Medical Internet Research</i>	Q1
2.	<i>Proof of Concept of Scalable Integration of Internet of Things and Blockchain in Healthcare</i>	<i>Sensors (Switzerland)</i>	Q1
3.	<i>A Novel Blockchain-Based Healthcare System Design and Performance Benchmarking on a Multi-Hosted Testbed</i>	<i>Sensors</i>	Q1
4.	<i>Blockchain and Smart Contracts: An Effective Approach for the Transaction Security & Privacy in Electronic Medical Records</i>	<i>Computers, Materials and Continua</i>	Q2
5.	<i>PharmaChain: Blockchain-Based Drug Supply Chain Provenance Verification System</i>	<i>Heliyon</i>	Q1
6.	<i>Blockchain-Based Secure Storage and Access Scheme for Electronic Medical Records in IPFS</i>	<i>IEEE Access</i>	Q1
7.	<i>A Blockchain-Based Approach for Drug Traceability in Healthcare Supply Chain</i>	<i>IEEE Access</i>	Q1
8.	<i>A blockchain and machine learning-based drug supply chain management and recommendation system for smart pharmaceutical industry</i>	<i>Electronics (Switzerland)</i>	Q2
9.	<i>BioMT: A State-of-the-Art Consortium Serverless Network Architecture for Healthcare System Using Blockchain Smart Contracts</i>	<i>IEEE Access</i>	Q1
10.	<i>Decentralised Provenance for Healthcare Data</i>	<i>International Journal of Medical Informatics</i>	Q1
11.	<i>Deep Learning Based Homomorphic Secure Searchable Encryption for Keyword Search in Blockchain Healthcare System</i>	<i>Sensors</i>	Q1
12.	<i>Blockchain-Based Security Mechanisms for IoMT Edge Networks in IoMT-Based</i>	<i>Sensors</i>	Q1

No.	Judul	Jurnal	Jurnal Rank (Q1-Q3)
	<i>Healthcare Monitoring Systems</i>		
13.	<i>Enhancing Data Protection in Dynamic Consent Management Systems: Formalizing Privacy and Security Definitions with Differential Privacy, Decentralization, and Zero-Knowledge Proofs</i>	<i>Sensors</i>	Q1
14.	<i>Blockchain-Powered Healthcare Systems: Enhancing Scalability and Security with Hybrid Deep Learning</i>	<i>Sensors</i>	Q1
15.	<i>Blockchain and Cloud Computing-Based Secure Electronic Healthcare Records Storage and Sharing</i>	<i>Frontiers in Public Health</i>	Q1
16.	<i>An Efficient Secure Sharing of Electronic Health Records Using IoT-Based Hyperledger Blockchain</i>	<i>International Journal of Intelligent Systems</i>	Q1
17.	<i>An Architecture and Management Platform for Blockchain-Based Personal Health Record Exchange</i>	<i>Journal of Medical Internet Research</i>	Q1
18.	<i>A Decentralized Architecture for Trusted Dataset Sharing Using Smart Contracts and Distributed Storage</i>	<i>Sensors</i>	Q1

3.1 Arsitektur, Platform, dan Konfigurasi Teknologi Pendukung

Berdasarkan analisis sintesis terhadap 18 studi yang memenuhi kriteria inklusi yang ditetapkan, menunjukkan kecenderungan yang jelas dalam pemilihan arsitektur dan platform Blockchain di sektor kesehatan.

3.1.1 Tren Arsitektur dan Platform

Terdapat dominasi yang signifikan pada implementasi *Blockchain* jenis *permissioned* atau *private* seperti *Hyperledger Fabric* dan *Private Ethereum* dibandingkan dengan *public blockchain* seperti *Ethereum* publik. *Platform Hyperledger Fabric* menjadi pilihan utama dalam mayoritas studi, terutama yang berfokus pada manajemen *Electronic Health Record (EHR)* dan rantai pasok obat[9][10][11][12]. Keunggulan *Hyperledger Fabric* terletak pada kemampuannya menawarkan kontrol akses yang ketat, identitas anggota yang terverifikasi, serta mekanisme konsensus yang lebih efisien dan terukur untuk lingkungan bisnis dan konsorsium kesehatan[9][10][11].

Meskipun demikian, beberapa studi memilih *Ethereum* publik[8][13][14] untuk kasus penggunaan yang menuntut desentralisasi maksimal dan transparansi total, seperti

verifikasi identitas profesional medis atau berbagi *dataset* penelitian. Untuk menyeimbangkan persyaratan keamanan data pasien dengan kebutuhan skalabilitas, arsitektur *Hybrid Blockchain*, yang mengintegrasikan *private chain* (untuk transaksi sensitif) dan *public chain* (untuk pencatatan *hash* data) atau penyimpanan data *off-chain*[15][16][17], menjadi solusi yang sering diimplementasikan. Pendekatan ini secara efektif mengurangi biaya gas dan meningkatkan *throughput* jaringan.

3.1.2 Konfigurasi Teknologi Pendukung

Konfigurasi teknologi pendukung menunjukkan pola yang konsisten untuk mengatasi keterbatasan kapasitas dan latensi *Blockchain* utama.

a) Penyimpanan Off-Chain

Mayoritas penelitian mengadopsi skema penyimpanan *hybrid* dengan menggunakan *InterPlanetary File System (IPFS)*[18][19][10][17][14] sebagai solusi penyimpanan *off-chain* yang terdesentralisasi. Data mentah misalnya, EHR atau citra medis, disimpan dalam IPFS, sementara hanya *hash* (sidik jari digital) dari data tersebut yang dicatatkan secara permanen (*on-chain*). Pendekatan ini memastikan integritas data dan kepatuhan terhadap regulasi privasi data dengan tidak menyimpan informasi sensitif di *ledger* publik.

b) Smart Contracts

Kontrak pintar berfungsi sebagai inti logis dari sistem, mendefinisikan dan secara otomatis menegakkan aturan akses, otorisasi, dan mekanisme transfer data. Dalam domain rantai pasok obat, kontrak pintar digunakan untuk verifikasi keaslian dan ketelusuran produk[18][10]. Sementara itu, dalam manajemen data pasien, kontrak pintar mengelola persetujuan dinamis (*dynamic consent*)[20][21] dan memfasilitasi pertukaran data yang aman antar institusi[11].

c) Mekanisme Konsensus

Pilihan mekanisme konsensus bervariasi tergantung jenis *Blockchain*. Untuk *Private Blockchain* terutama *Hyperledger Fabric*, konsensus berbasis *Proof-of-Authority (PoA)*[21] atau varian ringan seperti *Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)* sering digunakan untuk mencapai finalitas transaksi dengan cepat dan efisien. Di sisi lain, *Public Blockchain* yang berorientasi pada penelitian cenderung menggunakan *Proof-of-Work (PoW)* atau *Proof-of-Stake (PoS)* untuk studi perbandingan dan *benchmarking* kinerja[9][22].

3.2 Mekanisme Teknis Pendukung Integritas, Transparansi, dan Kepatuhan Privasi Data (RQ2)

Mekanisme teknis yang dikembangkan dalam artikel yang disintesis ini secara sistematis diarahkan untuk menyelesaikan konflik yang melekat antara transparansi

yang diusung *Blockchain* dan persyaratan kerahasiaan data pasien misalnya, HIPAA di AS atau GDPR di Eropa.

3.2.1 Integritas dan Transparansi Data

Integritas data dijamin melalui dua prinsip utama: *hashing* kriptografis dan *immutability* (*ledger* yang tidak dapat diubah). Setiap data pasien atau transaksi rantai pasok di-*hash* menggunakan algoritma seperti SHA-256[20][21], dan *hash* ini dicatatkan ke *Blockchain*. Setiap upaya modifikasi pada data *off-chain* akan menghasilkan *hash* yang berbeda, yang dengan mudah dideteksi sebagai ketidaksesuaian oleh *smart contract*, sehingga secara otomatis memvalidasi integritas data.

Transparansi dalam penerapan *permissioned blockchain* dikategorikan sebagai *selective transparency*. Artinya, setiap entitas yang memiliki otoritas seperti dokter, apotek, maupun regulator berhak melakukan verifikasi terhadap catatan transaksi. Namun demikian, isi dari data yang bersifat sensitif tetap dienkripsi dan hanya dapat diakses oleh pihak yang memegang kunci otorisasi, di mana pengelolaan kunci tersebut dilakukan melalui *smart contract*[12][16].

3.2.2 Kepatuhan Terhadap Regulasi dan Privasi Data Pasien

Kepatuhan terhadap regulasi privasi data pasien dicapai melalui kombinasi enkripsi dan mekanisme kontrol akses yang terperinci.

a) Enkripsi Data Sensitif

Data pasien yang disimpan *off-chain* selalu dienkripsi. Teknik enkripsi yang sering digunakan meliputi Enkripsi Asimetris (RSA)[21] dan skema yang lebih kompleks seperti *Attribute-Based Encryption* (ABE)[23] atau variannya (*Modified Key Policy Attribute-Based Encryption*/MKP-ABE)[16]. Teknik ABE memungkinkan pasien untuk mendefinisikan kebijakan akses yang sangat rinci berdasarkan atribut pengguna misalnya, hanya dokter spesialis jantung di Rumah Sakit X yang diimplementasikan melalui *smart contract*.

b) Dynamic Consent Management

Beberapa arsitektur dirancang untuk memungkinkan pasien memberikan, mencabut, atau memodifikasi persetujuan mereka secara *real time* melalui antarmuka yang terhubung dengan *smart contract*[20][21]. Kontrak pintar kemudian secara otomatis memperbarui hak akses ke data pasien, memastikan bahwa pengguna (institusi atau peneliti) hanya dapat mengakses data selama periode dan tujuan yang diizinkan oleh pasien.

c) Integrasi IoT dan Edge Computing

Dalam sistem pemantauan kesehatan berbasis *Internet of Medical Things* (IoMT), *Blockchain* diimplementasikan untuk mengamankan data yang dihasilkan di *edge devices*. Mekanisme keamanan seperti *Deep Learning-based*

Homomorphic Secure Searchable Encryption[23] dan skema keamanan berbasis *Blockchain* untuk jaringan *edge* [24] digunakan untuk memastikan bahwa bahkan data yang ditransfer dari perangkat IoMT tetap aman dan terenkripsi, memitigasi risiko serangan di lapisan jaringan[7][24].

3.3 Metrik Kinerja dan Dampak Empiris Implementasi (RQ3)

Evaluasi implementasi *Blockchain* di sektor kesehatan sebagian besar berfokus pada metrik kinerja teknis dan fungsional, yang hasilnya menunjukkan dampak positif terhadap efisiensi dan keamanan.

3.3.1 Metrik Kinerja yang Digunakan

Studi yang berorientasi pada kinerja secara umum menggunakan metrik yang relevan dengan efisiensi jaringan terdistribusi dan skalabilitas:

a) Throughput

Diukur dalam transaksi per detik (TPS), metrik ini menunjukkan kemampuan sistem untuk memproses data. Studi menggunakan *Hyperledger Fabric* atau *Blockchain* yang dioptimalkan melaporkan *throughput* yang tinggi, sering kali mencapai ratusan hingga ribuan TPS dalam pengujian simulasi[9][11][22].

b) Latency

Diukur sebagai waktu yang dibutuhkan untuk mengonfirmasi suatu transaksi (waktu mulai dari pengiriman hingga pencatatan di *ledger*). *Latency* yang rendah (di bawah beberapa detik) adalah kriteria penting untuk aplikasi *real time* seperti pemantauan IoMT dan layanan kesehatan *virtual*[9][15].

c) Gas Consumption (Biaya Transaksi) dan Penggunaan Sumber Daya

Metrik ini terutama relevan untuk *platform* berbasis *Ethereum*[14]. Penggunaan arsitektur *hybrid* dengan penyimpanan *off-chain* secara signifikan mengurangi biaya transaksi dan penggunaan sumber daya komputasi dan memori [9][16].

d) Metrik Fungsional dan Kualitatif

Beberapa artikel mengandalkan evaluasi fungsional (PoC) melalui uji pengguna terbatas, memvalidasi keberhasilan verifikasi identitas[8], interoperabilitas data (standar FHIR)[21], dan tingkat keamanan yang dirasakan pengguna.

3.3.2 Hasil Empiris dan Implikasi

Hasil empiris dari 18 artikel secara konsisten menunjukkan bahwa implementasi *Blockchain* memberikan dampak signifikan pada tiga area utama:

a) Peningkatan Efisiensi dan Skalabilitas

Penerapan *Blockchain* yang memadukan mekanisme konsensus *Proof of Stake* (PoS) dengan *Multi-Key Policy Attribute-Based Encryption* (MKP-ABE) terbukti mampu memberikan waktu pemrosesan yang lebih singkat serta meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya jika dibandingkan dengan metode *Proof of Work* (PoW)[15]. Optimalisasi arsitektur *hybrid* dan penggunaan *platform permissioned* berhasil mengatasi hambatan skalabilitas dan *throughput* yang menjadi isu utama *public blockchain* tradisional.

b) Keterlurusan (*Traceability*) dan Pengurangan Risiko Pemalsuan

Dalam rantai pasok obat dan logistik kesehatan, *smart contracts* meningkatkan ketelusuran aktivitas produk secara transparan dari produsen hingga konsumen akhir[10][18]. Pencatatan yang tidak dapat diubah (*immutability*) meminimalkan risiko pemalsuan rekam medis dan produk obat, yang secara langsung berdampak pada peningkatan kualitas dan keamanan layanan.

c) Peningkatan Kepercayaan dan Kepatuhan

Penerapan sistem *dynamic consent* berbasis *Blockchain* memperkuat otonomi pasien atas datanya, yang secara inheren meningkatkan kepercayaan pengguna terhadap layanan kesehatan digital[20]. Selain itu, integrasi *Blockchain* dengan skema enkripsi canggih memastikan bahwa transparansi tidak mengorbankan kerahasiaan data, sehingga mendukung kepatuhan terhadap regulasi privasi global.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil telaah sistematis terhadap 18 artikel yang memenuhi kriteria inklusi, dapat disimpulkan bahwa penerapan *blockchain* dalam sektor kesehatan menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan transparansi, keamanan, dan efisiensi pengelolaan data pasien serta rantai pasok obat. Arsitektur *permissioned blockchain* seperti *Hyperledger Fabric* mendominasi karena kemampuannya menyediakan kontrol akses yang ketat dan efisiensi konsensus yang tinggi. Mekanisme pendukung seperti *smart contracts* dan *off-chain storage* berbasis IPFS berperan penting dalam menjaga integritas data sekaligus memastikan kepatuhan terhadap kebijakan privasi global seperti HIPAA dan GDPR. Evaluasi kinerja dari berbagai penelitian menunjukkan peningkatan signifikan pada aspek *throughput*, *latency*, dan keterlacakan data yang berdampak pada efisiensi operasional dan penurunan risiko pemalsuan produk medis.

Meskipun demikian, masih terdapat keterbatasan terkait interoperabilitas antar sistem, biaya implementasi, dan kebutuhan akan standar global untuk pertukaran data medis berbasis *blockchain*. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi integrasi antara *blockchain*, *Internet of Medical Things* (IoMT), dan kecerdasan buatan guna

mengoptimalkan keandalan, keamanan, serta skalabilitas sistem informasi kesehatan.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi utama berupa sintesis terstruktur mengenai arsitektur *blockchain*, mekanisme teknis pendukung, serta metrik evaluasi kinerja yang digunakan dalam penerapan *blockchain* di sektor kesehatan. Temuan ini memperjelas pola implementasi yang efektif dan kesenjangan penelitian yang masih ada, sehingga dapat menjadi rujukan bagi peneliti, pengembang sistem, dan pengambil kebijakan dalam merancang serta mengevaluasi adopsi teknologi *blockchain* secara lebih terarah dan berbasis bukti ilmiah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pengampu mata kuliah yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta kesempatan untuk mengembangkan penelitian ini dalam bentuk publikasi ilmiah. Ucapan apresiasi turut ditujukan kepada seluruh anggota kelompok yang telah berperan aktif dalam kegiatan pengumpulan data, analisis literatur, serta penyusunan naskah, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan optimal. Kolaborasi, dedikasi, dan komitmen dari setiap pihak menjadi elemen krusial yang mendukung keberhasilan penyusunan jurnal *Systematic Literature Review* (SLR) ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. M. Abdelsalam, "Blockchain Revolutionizing Healthcare Industry: A Systematic Review of Blockchain Technology Benefits and Threats," *Perspect Health Inf Manag*, Sep. 2023.
- [2] A. AbuHalimeh and O. Ali, "Comprehensive review for healthcare data quality challenges in blockchain technology," *Front Big Data*, vol. 6, 2023, doi: 10.3389/fdata.2023.1173620.
- [3] J. S. Jadhav and J. Deshmukh, "A review study of the blockchain-based healthcare supply chain," *Social Sciences and Humanities Open*, vol. 6, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.ssaho.2022.100328.
- [4] The HIPAA Journal, "Security Breaches With The Compliments of The HIPAA Journal in Healthcare in 2023," Jan. 2024. [Online]. Available: <https://www.hipaajournal.com/security-breaches-in-healthcare/>. [Accessed: Dec. 04, 2025].
- [5] World Health Organization, "Substandard and falsified medical products," *World Health Organization*, Dec. 2024. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/substandard-and-falsified-medical-products>. [Accessed: Dec. 04, 2025].
- [6] U. Ullah Tariq *et al.*, "Blockchain-Based Secured Data Sharing in Healthcare: A Systematic Literature Review," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 45415–45435, Mar. 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3547953.

- [7] K. Abbas, M. Afaq, T. A. Khan, and W. C. Song, "A blockchain and machine learning-based drug supply chain management and recommendation system for smart pharmaceutical industry," *Electronics (Switzerland)*, vol. 9, no. 5, May 2020, doi: 10.3390/electronics9050852.
- [8] A. Hasselgren, J. A. H. Rensaa, K. Kravlevska, D. Gligoroski, and A. Faxvaag, "Blockchain for increased trust in virtual health care: Proof-of-concept study," *J Med Internet Res*, vol. 23, no. 7, Jul. 2021, doi: 10.2196/28496.
- [9] N. R. Pradhan *et al.*, "A Novel Blockchain-Based Healthcare System Design and Performance Benchmarking on a Multi-Hosted Testbed," *Sensors*, vol. 22, no. 9, May 2022, doi: 10.3390/s22093449.
- [10] A. Musamih *et al.*, "A blockchain-based approach for drug traceability in healthcare supply chain," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 9728–9743, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3049920.
- [11] S. Velmurugan, M. Prakash, S. Neelakandan, and E. O. Martinson, "An Efficient Secure Sharing of Electronic Health Records Using IoT-Based Hyperledger Blockchain," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 2024, 2024, doi: 10.1155/2024/6995202.
- [12] A. A. Khan, A. A. Wagan, A. A. Laghari, A. R. Gilal, I. A. Aziz, and B. A. Talpur, "BIO-MT: A State-of-the-Art Consortium Serverless Network Architecture for Healthcare System Using Blockchain Smart Contracts," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 78887–78898, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3194195.
- [13] A. Margheri, M. Masi, A. Miladi, V. Sassone, and J. Rosenzweig, "Decentralised Provenance for Healthcare Data," *Int J Med Inform*, vol. 141, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2020.104197.
- [14] M. Pincheira, E. Donini, M. Vecchio, and S. Kanhere, "A Decentralized Architecture for Trusted Dataset Sharing Using Smart Contracts and Distributed Storage," *Sensors*, vol. 22, no. 23, Dec. 2022, doi: 10.3390/s22239118.
- [15] K. P. Satamraju and B. Malarkodi, "Proof of concept of scalable integration of internet of things and blockchain in healthcare," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 5, Mar. 2020, doi: 10.3390/s20051389.
- [16] A. Ali *et al.*, "Blockchain-Powered Healthcare Systems: Enhancing Scalability and Security with Hybrid Deep Learning," *Sensors*, vol. 23, no. 18, Sep. 2023, doi: 10.3390/s23187740.
- [17] A. Amanat, M. Rizwan, C. Maple, Y. Bin Zikria, A. S. Almadhor, and S. Won Kim, "Blockchain and cloud computing-based secure electronic healthcare records storage and sharing," *Front Public Health*, Jul. 2022, doi: 10.3389/fpubh.2022.938707.
- [18] S. S. Gomasta, A. Dhali, T. Tahlil, M. M. Anwar, and A. B. M. S. Ali, "PharmaChain: Blockchain-based drug supply chain provenance verification system," *Heliyon*, vol. 9, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e17957.
- [19] J. Sun, X. Yao, S. Wang, and Y. Wu, "Blockchain-Based Secure Storage and Access Scheme for Electronic Medical Records in IPFS," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 59389–59401, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2982964.
- [20] M. I. Khalid, M. Ahmed, and J. Kim, "Enhancing Data Protection in Dynamic Consent Management Systems: Formalizing Privacy and Security Definitions with Differential Privacy, Decentralization, and Zero-Knowledge Proofs," *Sensors*, vol. 23, no. 17, Sep. 2023, doi: 10.3390/s23177604.
- [21] H. A. Lee *et al.*, "An architecture and management platform for blockchain-based personal health record exchange: Development and usability study," *J Med Internet Res*, vol. 22, no. 6, Jun. 2020, doi: 10.2196/16748.
- [22] A. Al-Rasheed, H. Ali, R. Khan, and A. Saeed, "Blockchain and Smart Contracts: An Effective Approach for the Transaction Security & Privacy in Electronic Medical Records," *Computers, Materials and Continua*, vol. 85, no. 2, pp. 3419–3436, 2025, doi: 10.32604/cmc.2025.065156.
- [23] A. Ali *et al.*, "Deep Learning Based Homomorphic Secure Search-Able Encryption for Keyword Search in Blockchain Healthcare System: A Novel Approach to Cryptography," *Sensors*, vol. 22, no. 2, Jan. 2022, doi: 10.3390/s22020528.
- [24] F. Pelekoudas-Oikonomou *et al.*, "Blockchain-Based Security Mechanisms for IoMT Edge Networks in IoMT-Based Healthcare Monitoring Systems," *Sensors*, vol. 22, no. 7, Apr. 2022, doi: 10.3390/s22072449.