



Article

Penggunaan Blockchain dalam Rekam Medis Elektronik: Tinjauan Literatur Sistematis

Ali Sya'bana Syukurillah¹, Lutviana², Purwono³

¹⁻³Informatika, Universitas Harapan Bangsa, Purwokerto, Indonesia

Corresponding Author: purwono@uhb.ac.id

Abstract: Electronic medical records (eMR) play a critical role in modern healthcare systems, providing medical information necessary for diagnosis, treatment, and disease management. However, security and accessibility concerns have hampered progress in eMR management. In recent years, blockchain technology has emerged as an innovative solution to overcome these challenges. By applying blockchain principles in eMR management, interesting solutions have been proposed to improve the security, integrity and accessibility of medical data. However, blockchain implementation in eMR is still in the experimental stage and faces several challenges, including infrastructure readiness and high implementation costs. Through this research, we conducted a systematic review of existing literature to identify trends, advantages, disadvantages, and potential benefits of using blockchain in eMR management.

Received: 1 August 2024

Revised: 30 August 2024

Accepted: 3 September 2024

Published: 12 September 2024



Copyright: © 2024 by the authors.

License Universitas Harapan Bangsa, Purwokerto, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Keywords: Electronic Medical Records; eMR; Blockchain; Data Security; Data Accessibility

Pendahuluan

Dalam sistem kesehatan modern, rekam medis merupakan pondasi penting yang memuat informasi medis yang diperlukan untuk diagnosis, perawatan, dan manajemen penyakit (Agha 2023). Rekam medis menjadi kunci untuk pemahaman yang mendalam tentang informasi medis yang mencakup laporan diagnostik, rencana perawatan, gambar radiologi, obat-obatan, laboratorium, hasil tes, polis asuransi, dll (Akhter Md Hasib et al. 2022). Rekam medis yang tepat memberikan landasan bagi diagnosis yang akurat, perawatan yang efektif, dan

manajemen penyakit yang efisien sehingga dapat mencegah pemborosan sumber daya medis dan mencapai kualitas dan efisiensi medis yang lebih tinggi (Al Omar et al. 2020). Namun, masalah keamanan dan aksesibilitas telah menghambat kemajuan dalam pengelolaan rekam medis dan menjadi masalah yang harus diselesaikan terlebih dahulu (Arulkumar et al. 2024).

Pada satu sisi, perkembangan teknologi memungkinkan peningkatan distribusi dan pertukaran catatan kesehatan elektronik di antara lembaga layanan kesehatan, yang mencerminkan kebutuhan dalam sektor layanan kesehatan. Di sisi lain, hal ini juga menimbulkan tantangan bagi komunitas penelitian karena munculnya beberapa masalah terkait keamanan dan privasi dalam lingkungan baru ini (Bodur and Al Yaseen 2024). Sistem terpusat yang umumnya digunakan untuk menyimpan rekam medis rentan terhadap risiko keamanan (Capece and Lorenzi 2020). Serangan cyber, pencurian identitas, dan manipulasi data adalah ancaman nyata yang dihadapi oleh penyedia layanan kesehatan dan pasien (Chang, Chen, and Lu 2019). Selain itu, model ini sering kali membuat akses terhadap rekam medis menjadi sulit bagi pasien, yang seharusnya memiliki kontrol penuh atas informasi kesehatan mereka sendiri (Chen et al. 2020).

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi blockchain telah muncul sebagai solusi inovatif untuk mengatasi tantangan ini (Cooper et al. 2018). Blockchain sebagai dasar dari mata uang digital seperti Bitcoin, adalah sistem terdesentralisasi yang mencatat transaksi secara aman, transparan, melindungi data agar tidak diubah (Corradini et al. 2023), dan membatasi akses ke perangkat yang terhubung ke Internet (De Benedictis et al. 2020). Dengan menerapkan prinsip-prinsip ini dalam pengelolaan rekam medis, blockchain menjanjikan solusi yang menarik untuk meningkatkan keamanan, integritas, dan aksesibilitas data medis (Dong, Mun, and Wang 2023).

Beberapa penelitian terdahulu telah meneliti model evaluasi kualitas medis yang menggabungkan pendekatan evaluasi konvensional dengan teknologi berbasis Machine Learning, menggunakan data dari Rekam Medis Elektronik (eMR) (Erler et al. 2024). Dengan kemajuan teknologi informasi yang pesat serta meningkatnya popularitas pengobatan medis digital yang dirasakan saat ini, tidak dapat dipungkiri bahwa penggunaan eMR pun meluas dan menjadi standar dalam industri kesehatan modern (Hegde and Maddikunta 2023). Sistem eMR memungkinkan penyimpanan dan manajemen rekam medis secara elektronik, menggantikan format tradisional berbasis kertas (Hölbl et al. 2018). Disamping kemudahan yang ditawarkannya, eMR juga memiliki tantangan, termasuk masalah keamanan data dan keterbatasan dalam interoperabilitas antar-platform (Huang et al. 2021).

Rekam medis elektronik didefinisikan sebagai catatan elektronik mengenai informasi kesehatan seseorang yang dapat dibuat, dikumpulkan, dikelola dan dikonsultasikan oleh dokter dan staf yang berwenang (Irwin et al. 2024). Teknologi blockchain menawarkan keamanan yang tinggi melalui enkripsi yang canggih dan penggabungan teknologi buku besar yang terdesentralisasi untuk menyelesaikan tantangan-tantangan yang ada (Johari et al. 2022). Data medis disimpan dalam blok yang dienkripsi dan didistribusikan di seluruh jaringan, sehingga meminimalkan risiko manipulasi atau pencurian data (Kim et al. 2020). Selain itu, blockchain memberikan kontrol langsung kepada pemilik data, memungkinkan pasien untuk mengelola siapa yang memiliki akses ke rekam medis mereka (Kraus, Breier, and Dasí-Rodríguez 2020).

Meskipun potensi manfaatnya besar, implementasi blockchain dalam rekam medis masih dalam tahap eksperimental dan menghadapi beberapa tantangan. Salah satunya adalah kesiapan infrastruktur dan biaya implementasi yang tinggi (Kuliha and Verma 2024). Selain itu, standar yang belum sepenuhnya terstandarisasi dan regulasi yang berkembang juga merupakan hambatan dalam penerapan teknologi ini dalam praktik klinis. Seiring berkembangnya teknologi medis dan penambahan data, jumlah data medis akan terus meningkat, dan nilai datanya juga akan terus bertambah, sehingga memberikan tantangan yang lebih signifikan bagi industri aplikasi data medis (Lakshmanan, Anandha Mala, and Anandkumar 2024).

Oleh karena itu, penelitian sistematis tentang penggunaan blockchain dalam rekam medis menjadi sangat penting. Dengan melihat literatur yang ada, kita dapat mengidentifikasi tren, kelebihan, kekurangan, dan potensi manfaat dari penerapan blockchain dalam pengelolaan rekam medis. Melalui penelitian ini, kami berharap dapat memberikan wawasan yang lebih dalam tentang bagaimana teknologi blockchain dapat mempengaruhi masa depan pengelolaan informasi kesehatan dan memberikan arahan untuk pengembangan lebih lanjut dalam bidang ini.

Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan adalah pendekatan Systematic Literature Review (SLR). Sebuah paper menyebutkan bahwa SLR adalah bentuk penelitian yang berhubungan dengan publikasi yang sudah ada dan mengikuti metodologi sistematis untuk mensintesis data yang sudah dipublikasikan (Lax, Nardone, and Russo 2024). Selain metodologinya yang transparan, SLR mengurutkan literatur berdasarkan kualitasnya dan cenderung mengikuti pertanyaan penelitian serta bertujuan untuk menjawabnya dengan cara terbaik. SLR mencapai kesimpulan dan menunjukkan pengetahuan tentang topik tertentu dalam penelitian.

Pencarian literatur secara sistematis dianggap sebagai elemen yang penting dalam proses tinjauan sistematis. Ini melibatkan pencarian studi secara terstruktur dan tujuan untuk menghasilkan laporan yang jelas mengenai identifikasi studi yang dilakukan, memberikan pemahaman yang transparan kepada pembaca tentang proses identifikasi studi, serta bagaimana hasil tinjauan tersebut disesuaikan dengan bukti yang relevan (S. Lee et al. 2023). Pendekatan ini berusaha untuk menggabungkan seluruh bukti yang telah dipublikasikan tentang suatu topik dan mengevaluasi kualitas bukti tersebut.

Pencarian literatur dalam dilakukan di beberapa basis data, termasuk ScienceDirect sebesar 65%, ResearchGate 13%, MDPI 13%, Springer 7%, dan lainnya sebesar 2%. Pencarian dilakukan menggunakan rangkaian kata kunci yang relevan, seperti "Blockchain", "Medical Record", "eMR", "eHR", dan "Health Record". Pendekatan ini dirancang untuk memastikan bahwa penelitian yang relevan dan mutakhir diidentifikasi untuk penyelidikan lebih lanjut.

Tinjauan Pustaka

Tabel 1. Tinjauan Pustaka

Judul	Tahun	Author	Hasil Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
Secure Electronic Medical Records Storage and Sharing Using Blockchain Technology	(Y.-L. Lee et al. 2022)	Muhammad Usman, Usman Qamar	Penelitian menunjukkan bahwa teknologi blockchain dapat menjadi solusi untuk masalah umum dalam kesehatan, seperti interoperabilitas EHR, kepercayaan informasi medis, auditabilitas, privasi, dan kontrol akses data pasien. Namun, diperlukan penelitian lanjutan untuk memastikan implementasi yang aman dan terpercaya sebelum digunakan secara luas di industri kesehatan.	Penelitian ini menggunakan teknologi blockchain untuk mengelola dan berbagi catatan medis elektronik (EMR) dengan aman dan efisien, dengan penekanan pada hak kontrol pasien. Sistem manajemen catatan berbasis blockchain yang diusulkan memastikan privasi, keamanan, dan aksesibilitas yang mudah bagi pasien, dengan implementasi menggunakan platform permissioned	Diskusi mengenai risiko keamanan dan privasi, implementasi dalam lingkungan nyata dengan data pasien sungguhan, dan kinerja sistem blockchain untuk pengelolaan EMR masih perlu diperluas. Perlunya perlindungan data medis sensitif dan uji coba keefektifan serta kehandalan sistem dalam situasi praktis sebelum penerapan luas, serta analisis efisiensi dan kecepatan dalam menyimpan dan berbagi data medis elektronik, menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pengembangan teknologi blockchain untuk kesehatan.

				blockchain "Hyperledger". Kontribusinya terletak pada inovasi sistem kesehatan dengan solusi yang lebih efisien, aman, dan andal untuk penyimpanan catatan medis sensitif.	
BLOSOM: BLOckchain technology for Security Of Medical records	(Li et al. 2024)	Rahul Johari, Vivek Kumar, Kalpana Gupta, Deo Prakash Vidyarthi	Penelitian ini menghasilkan kerangka kerja blockchain bernama "Medichain" untuk penyimpanan aman Catatan Medis Elektronik (EMR) di rumah sakit. Setiap blok blockchain mengandung detail pasien, menggunakan algoritma blockchain dengan hash kriptografis, bukti kerja, dan pohon Merkle. Simulasi dilakukan menggunakan Python dengan hasil positif, menunjukkan fungsionalitas dasar blockchain dan proses validasi.	Paper ini mengusulkan penggunaan framework BlockChain "Medichain" untuk penyimpanan Rekam Medis Elektronik (EMR) di rumah sakit melalui kontainer BlockChain. Pentingnya partisipasi pasien dalam pengambilan keputusan dan standar format data kesehatan juga ditekankan. Dengan simulasi Algoritma BlockChain menggunakan Python, paper ini memberikan implementasi praktis teknologi BlockChain. Serta, disertakan antarmuka baris perintah (CLI) untuk memudahkan interaksi dengan	Paper tersebut memiliki beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan. Pertama, kurangnya penilaian terhadap implementasi praktis di lingkungan rumah sakit mengurangi keefektifan framework Medichain yang diusulkan. Kedua, tidak ada tinjauan kritis terhadap metode yang digunakan, khususnya dalam menganalisis kelebihan dan kelemahan pendekatan blockchain untuk penyimpanan data kesehatan. Terakhir, kurangnya penekanan pada aspek keamanan data yang spesifik menyebabkan ketidakjelasan tentang langkah-langkah keamanan yang diimplementasikan dalam mencegah peretasan data pasien secara detail.

				BlockChain di institusi medis.	
Secure internet of medical things based electronic health records scheme in trust decentralized loop federated learning consensus blockchain	(Liu et al. 2018)	Megha Kuliha, Sunita Verma	Penelitian ini memperkenalkan kerangka kerja TDLFLB untuk keamanan EHR pasien, dengan fokus pada privasi, IoT, dan prediksi penyakit. Sistem terdiri dari tiga tahap: blockchain, pelatihan, dan validasi. Teknologi blockchain memberikan insentif kepada kontributor FL dan mengamankan akses data medis melalui kontrak pintar. Studi menunjukkan keunggulan dalam privasi dan efisiensi komputasi dibandingkan metode tradisional.	Paper ini memperkenalkan framework TDLFLB untuk meningkatkan keamanan EHR dalam konteks IoMT dengan fokus pada privasi pasien dan prediksi penyakit. Penelitian mencapai kinerja tinggi dengan throughput (2450 Kbps), latensi rendah (4,6 ms), dan keamanan data yang optimal melalui penggunaan blockchain. Hasilnya mengungguli metode tradisional dalam akurasi dan efisiensi komputasi, memberikan kontribusi penting dalam memahami aplikasi blockchain dalam EHR.	Tantangan integrasi EHR dalam lingkungan kesehatan, keterlambatan validasi dokter, biaya komputasi, dan sistem deteksi penipuan perlu diperhatikan. Selain itu, perlu meningkatkan privasi untuk mengurangi kebocoran data tambahan.
Blockchain-enabled bioacoustics signal authentication for cloud-based electronic medical records	(Mayer, da Costa, and Righi 2020)	Zainulabedin Hasan Mohammed, Keattisak Chankaew, Rajeev Ratna Vallabhuni, Vijay R. Sonawane, Srinivas	Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan blockchain untuk otentikasi catatan medis di cloud dengan menggunakan sinyal bioakustik. Algoritma pengenalan fitur	Penelitian ini menggunakan teknologi blockchain untuk menciptakan sistem otentikasi terdesentralisasi yang dapat diandalkan untuk catatan medis elektronik di	Kritik terhadap penelitian ini mencakup kurangnya penjelasan mendalam mengenai implementasi dan uji coba praktis sistem otentikasi yang diusulkan, serta kurangnya pembahasan tentang

		Ambala, Markkanda	dinamis dan kriptografi ringan digunakan untuk meningkatkan keamanan. Blockchain memastikan transparansi data dan meningkatkan privasi serta keamanan sistem. Tujuannya adalah meningkatkan efisiensi akses catatan medis dan memberikan infrastruktur kesehatan IoT yang aman dan dapat dipercaya.	cloud, dengan fokus pada penggunaan fitur sinyal bioakustik. Menerapkan strategi pengenalan fitur dinamis, sinkronisasi data real-time, dan kriptografi ringan, serta menggunakan algoritma belief propagation untuk meningkatkan keberhasilan otentikasi. Model Blockchain memastikan transparansi data, meningkatkan efisiensi pemeriksaan, privasi, dan keamanan sistem, dalam rangka sistem informasi medis perawatan jarak jauh (TMIS) yang terdiri dari sensor tubuh nirkabel, jaringan blockchain, dan penyedia layanan kesehatan.	potensi tantangan dalam mengimplementasikan otentikasi bioakustik pada rekaman medis elektronik. Selain itu, tidak disebutkan dengan detail parameter tambahan yang digunakan dalam pengujian, seperti kecepatan dan akurasi deteksi bioakustik jari, yang dapat mempengaruhi pemahaman pembaca tentang kehandalan sistem tersebut.
SEMRES - A Triple Security Protected Blockchain Based Medical Record Exchange Structure	(Mohammed et al. 2023).	Yen-Liang Lee, Hsiu-An Lee, Chien-Yeh Hsu d, Hsin-Hua Kung, Hung-Wen Chiu	Penelitian ini menciptakan SEMRES, struktur pertukaran catatan medis berbasis blockchain yang aman. Dengan enkripsi ganda AES dan RSA, serta repositori EMR Terdesentralisasi dan arsitektur	Penelitian ini mengusulkan SEMRES, sebuah struktur pertukaran rekam medis berbasis blockchain yang dilindungi tiga lapisan, untuk menangani keamanan dan	Penelitian ini kurang mendalam dalam menjelaskan metode pengumpulan data yang digunakan, serta tidak memberikan pembahasan yang memadai mengenai potensi kendala dalam implementasi struktur pertukaran catatan medis berbasis

			blockchain, memastikan kebenaran data medis dan keamanan yang tinggi. Ini memberikan cara baru dan efisien untuk berbagi catatan medis secara aman.	privasi data medis. Dengan menggunakan enkripsi ganda AES dan RSA, serta repositori EMR Terdesentralisasi (DERy) untuk pertukaran data, SEMRES memastikan kebenaran data melalui arsitektur blockchain dengan nilai hash rekam medis yang terenkripsi. Ini memberikan mekanisme enkripsi triple yang efisien untuk rekam medis elektronik dan memastikan verifikasi non-repudiasi layanan medis.	blockchain, analisis efektivitas dan efisiensi, serta tinjauan dampak sosial, etika, dan hukum. Hal ini mengurangi nilai temuan penelitian dalam konteks validitas, reliabilitas, dan penerapan praktisnya.
An Improved blockchain-based secure medical record sharing scheme	(Mollart et al. 2023).	Hu" seyin Bodur, Imad Fakhri Taha Al Yaseen	Penelitian ini mengusulkan skema berbagi catatan medis berbasis blockchain yang aman, dengan kombinasi teknologi database terdistribusi dan blockchain serta tiga mekanisme konsensus yang dibandingkan untuk kinerjanya. Privasi data pasien dan keamanan penyimpanan menjadi fokus utama, dengan teknologi blockchain	Penelitian ini mengusulkan skema inovatif untuk penyimpanan dan berbagi data rekam medis pasien dengan menggunakan teknologi blockchain dan basis data terdistribusi. Skema ini menawarkan tingkat keamanan data yang tinggi, memastikan integritas dan kerahasiaan informasi medis, sambil	Paper tersebut mengusulkan skema berbagi data medis berbasis blockchain yang mengevaluasi tiga mekanisme konsensus (Proof of Work, Proof of Stake, Proof of Authority) tanpa memberikan diskusi mendalam tentang kelebihan dan kelemahan masing-masing mekanisme tersebut. Selain itu, tidak ada pembahasan tentang aplikasi skema ini di berbagai bidang atau potensi risiko lainnya selain keamanan data pasien. Analisis kinerja yang

			memberikan integritas data dan perlindungan terhadap serangan keamanan. Studi ini juga menyoroti pentingnya kontrol pasien terhadap catatan medis mereka sendiri, serta potensi meningkatkan ekosistem perawatan kesehatan.	memberikan kontrol penuh kepada pasien atas rekam medis mereka sendiri. Analisis kinerja skema dengan tiga mekanisme konsensus menunjukkan keunggulan dalam hal efisiensi dan keamanan terhadap serangan keamanan. Penelitian ini responsif terhadap kebutuhan pasien dengan menempatkan kepentingan mereka sebagai prioritas utama.	mendalam juga absen dalam papernya, meskipun beberapa aspek kinerja telah dilaporkan.
Secure Medical Data Storage with Blockchain Technology	(Monem et al. 2024)	Olga Siedlecka-Lamch	Penelitian ini menyajikan model manajemen data medis hibrid yang menggabungkan basis data relasional dan teknologi blockchain. Model tersebut dapat diimplementasikan pada server basis data pasca-relasional yang terhubung dengan jaringan blockchain atau melalui layanan awan. Implementasi dilakukan pada Oracle Database 21c dengan menggunakan	Penelitian ini memperkenalkan model manajemen data medis yang menggabungkan basis data relasional tradisional dengan teknologi blockchain, memberikan solusi inovatif dengan keamanan dan privasi tinggi. Model tersebut memberikan solusi praktis dan hemat biaya bagi fasilitas medis untuk mengintegrasikan teknologi	Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang perlu diperhatikan. Fokus pada implementasi model hybrid hanya pada server Oracle Database 21c dapat membatasi generalisasi temuan tersebut ke sistem database lainnya. Selain itu, pengujian kinerja model hanya dilakukan pada skala kecil, sehingga penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi skalabilitasnya dalam lingkungan yang lebih besar. Terakhir, implikasi hukum dan etika dari implementasi model

			tabel blockchain untuk lapisan keamanan tambahan. Model ini menjamin keamanan dan privasi data serta dapat disesuaikan dengan kebutuhan fasilitas medis.	blockchain ke dalam infrastruktur yang sudah ada. Selain itu, penelitian ini memberikan landasan untuk penelitian lebih lanjut dalam pemanfaatan blockchain di bidang kesehatan dan teknologi informasi, termasuk skalabilitas, langkah-langkah keamanan, dan integrasi dengan teknologi baru seperti kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin.	yang diusulkan belum dieksplorasi dalam penelitian ini.
A blockchain-enabled sharing platform for personal health records	(Oladele et al. 2024)	Yibin Dong, Seong K. Mun, Yue Wang	Penelitian ini mengeksplorasi kontrol pasien atas akses catatan kesehatan untuk riset, melalui juri warga negara dan tinjauan opsi opt-out. Temuan menyoroti batasan desain, khususnya dalam kebijakan privasi kesehatan global. Platform berbagi catatan kesehatan berbasis blockchain dikembangkan untuk memberikan pasien kontrol lebih dalam privasi dan izin akses, dengan dukungan	Penelitian ini mengusulkan model akses kontrol baru yang didukung oleh teknologi blockchain untuk berbagi Rekam Medis Pribadi (PHR) antara penyedia layanan kesehatan dengan aman. Konsep consent dinamis diperkenalkan, memungkinkan pasien untuk mengubah pengaturan berbagi kapan saja, meningkatkan kepercayaan dan	Penelitian ini memiliki beberapa batasan, termasuk cakupan yang terbatas pada Amerika Serikat, masalah skalabilitas sistem terkait dengan ukuran graf izin akses, dan perlunya penelitian lebih lanjut untuk menguji perubahan dari aspek teknis ke sosial-teknis dalam membangun kepercayaan terhadap platform berbagi PHR. Meskipun fokus pada pengaturan izin granular yang dikendalikan oleh pasien, implementasi sistem masih membutuhkan perbaikan dan

			aplikasi web untuk manajemen izin.	keterlibatan. Arsitektur platform berbagi yang diaktifkan blockchain (BEST) memberikan kontrol keamanan, privasi, dan consent yang lebih granular kepada pasien, dengan pengujian yang dilakukan untuk mengidentifikasi skalabilitas sistem dan batasan-batasannya, serta memberikan rekomendasi perbaikan untuk perancangan masa depan.	peningkatan lebih lanjut.
Research on medical data storage and sharing model based on blockchain	(Pei et al. 2024)	Jian Zhao, Wenqian Qiang, Zisong Zhao, Tianbo An, Zhejun Kuang, Dawei Xu, Lijuan Shi	Penelitian mengembangkan model penyimpanan data medis berbasis blockchain dan enkripsi homomorfik. Ini memungkinkan transmisi aman antar institusi medis dengan anonimitas total untuk melindungi privasi dan identitas pasien. Protokol enkripsi data privasi dan komputasi juga dirancang untuk memastikan keamanan transmisi data medis. Model ini	Penelitian ini mengusulkan model penyimpanan dan pembagian data medis berbasis blockchain yang aman, menggunakan teknologi enkripsi homomorfik untuk melindungi privasi data. Hasil eksperimen menunjukkan kecepatan enkripsi yang tinggi dibandingkan dengan model tradisional, memungkinkan akses data medis	Solusi yang diajukan memiliki keterbatasan dalam kemampuan transmisi yang cepat dan aman, serta operasi normal data selama proses tersebut. Metode ini juga terbatas pada transmisi antar rumah sakit tertentu dan belum mempertimbangkan keragaman pihak berbagi data. Penyesuaian parameter skema BGV dalam enkripsi homomorfik juga menimbulkan masalah yang dapat memengaruhi kinerja dan efisiensi sistem. Selain itu, masih ada

			menawarkan keamanan dan berbagi data yang lebih baik dibandingkan dengan model tradisional.	dengan efisien. Model ini juga memberikan solusi untuk berbagi data medis antar lembaga dengan mekanisme yang aman dan dapat dipercaya.	keterbatasan dalam memastikan keamanan dan enkripsi data medis selama proses transmisi dan berbagi data.
BEHeDaS: A Blockchain Electronic Health Data System for Secure Medical Records Exchange	(Qu, Zhang, and Zheng 2022)	James Kolapo Oladele, Arnold Adimabua Ojugo, Christopher Chukwufunaya Odiakaose, Frances Uchechukwu Emordi, Reuben Akporube Abere, Blessing Nwozor, Patrick Ogholuwaremi Ejeh and Victor Ochuko Gete-loma	Penelitian menunjukkan keberhasilan BEHeDaS, sebuah sistem pertukaran catatan medis berbasis blockchain. Dengan menggunakan blockchain berizin, sistem ini memberikan transparansi terkontrol dan mengatasi berbagai tantangan dalam pertukaran data kesehatan. BEHeDaS bertujuan untuk meningkatkan pengiriman layanan kesehatan dengan memastikan keamanan dan kerahasiaan catatan pasien.	Implementasi sistem BEHeDaS berbasis blockchain memastikan pertukaran data medis yang aman dan terjamin bagi pengguna, termasuk pasien, praktisi, dan petugas kesehatan. Penggunaan teknologi blockchain berizin menjamin manajemen rekam medis dengan transparansi terkontrol dan standar keamanan tinggi. BEHeDaS bertujuan meningkatkan layanan kesehatan, autentikasi, dan validasi untuk melindungi rekam medis pasien serta menjaga keamanan data. Penerapan ledger hyper-fabric dalam sistem memastikan	Penelitian BEHeDaS menyoroti keberhasilan implementasi sistem pertukaran catatan medis berbasis blockchain, tetapi kurangnya pemaparan tentang potensial risiko keamanan, interaksi dengan sistem kesehatan yang ada, serta bagaimana sistem ini mengatasi kerentanan terhadap serangan siber. Tidak ada analisis mendalam mengenai pendapat langsung dari pengguna atau pasien yang terlibat, dan tidak ada diskusi mengenai biaya implementasi, pemeliharaan, dan keberlanjutan jangka panjang sistem blockchain.

				kecocokan fitur data dengan sifat rekam medis, waktu respons transaksi, dan skalabilitas platform. Studi ini menyoroti manfaat teknologi blockchain dalam menjaga kerahasiaan, interoperabilitas, dan kepatuhan terhadap regulasi HIPAA dalam pertukaran data medis elektronik.	
Electronic health records in a Blockchain: A systematic review	(Rahman, Tura, and Mahamud 2023)	André Henrique Mayer Cristiano André da Costa Rodrigo da Rosa Righi	Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa teknologi blockchain mungkin menjadi solusi yang tepat untuk permasalahan umum di bidang kesehatan, seperti interoperabilitas Rekam Medis Elektronik (EHR), peningkatan kepercayaan berbagi informasi medis antara penyedia layanan kesehatan, auditabilitas, privasi, dan pemberian kontrol akses data kesehatan oleh pasien.	Paper ini unggul dalam memberikan gambaran komprehensif tentang potensi teknologi blockchain dalam merevolusi pertukaran dan penyimpanan catatan kesehatan elektronik (EHR) di industri kesehatan. Dengan menganalisis lebih dari 300 studi ilmiah, paper ini berhasil menciptakan taksonomi baru, mengidentifikasi tantangan, dan membahas pendekatan, jenis data, standar, serta arsitektur yang berkaitan dengan	Penelitian ini terbatas pada metode systematic literature review, mungkin tidak mencakup semua data relevan. Fokusnya hanya pada aplikasi Blockchain dalam rekam medis elektronik (EHR), tanpa mempertimbangkan aplikasi lain dalam kesehatan. Adapun teknologi saat ini masih memiliki keterbatasan dalam memenuhi persyaratan keamanan, privasi, skalabilitas, dan interoperabilitas. Investasi lebih lanjut diperlukan untuk mengkonsolidasikan standar terbuka guna meningkatkan interoperabilitas antara penyedia layanan kesehatan dan pasien.

				penggunaan blockchain dalam EHR. Fokus pada layanan perawatan pasien dan keamanan data, blockchain berpotensi mengubah industri kesehatan dan meningkatkan kualitas layanan kesehatan.	
Blockchain-Enabled Electronic Health Records for Healthcare 4.0	(Rai 2022)	Bipin Kumar Rai,	Artikel membahas PcBEHR, sistem EHR yang dikendalikan pasien dengan dukungan blockchain. Ini memungkinkan kontrol data medis terdesentralisasi dan aman. PcBEHR menggunakan IPFS untuk penyimpanan file, menyoroti pentingnya standarisasi data kesehatan, interoperabilitas, dan tantangan privasi. Solusi ini bertujuan memberikan kepemilikan data medis yang aman kepada pasien, sambil mengatasi masalah privasi.	Penelitian ini mengusulkan PcBEHR, sistem rekam medis elektronik berbasis blockchain, yang memungkinkan pasien mengontrol data mereka secara aman. Dengan menggunakan teknologi blockchain dan IPFS terdesentralisasi, PcBEHR meningkatkan keamanan dan aksesibilitas data kesehatan.	Sistem EHR yang memberikan kontrol kepada pasien atas data mereka menimbulkan tantangan dalam penerapannya, terutama terkait aksesibilitas dan penggunaan data oleh penyedia layanan kesehatan. Penggunaan teknologi blockchain menambah kompleksitas pada sistem EHR, memungkinkan keamanan yang lebih baik tetapi membutuhkan pemahaman teknis yang tinggi. Masalah skalabilitas mungkin muncul karena pertumbuhan data kesehatan dan transaksi di blockchain, sementara keamanan terus menjadi perhatian utama dengan kemungkinan serangan baru dan ancaman keamanan yang berkembang.

Design of Secure Protocol for Cloud-Assisted Electronic Health Record System Using Blockchain	(Sanda, Pavlidis, and Polatidis 2022)	MyeongHyun Kim, SungJin Yu, JoonYoung Lee, YoHan Park and YoungHo Park	Penelitian ini mengusulkan protokol keamanan blockchain untuk EHR berbasis cloud. ECC digunakan untuk melindungi data kesehatan yang dibagikan. Analisis keamanan menunjukkan keefektifan sistem dalam mencegah serangan. Sistem ini dianggap cocok untuk implementasi praktis dengan pertimbangan keamanan dan efisiensi yang baik.	Sistem yang diusulkan menawarkan keunggulan dalam integritas data dan kontrol akses melalui teknologi blockchain, dengan penyimpanan data yang aman di server cloud. Otentikasi timbal balik yang aman antara pasien dan pusat medis disediakan melalui analisis logika BAN dan simulasi AVISPA. Solusi ini juga menjanjikan efisiensi dan skalabilitas untuk sistem kesehatan praktis.	Paper tersebut mengidentifikasi beberapa kekurangan utama. Pertama, menyimpan data EHR lengkap dalam blockchain menjadi tantangan karena ukuran dan biaya yang terkait. Kedua, kekhawatiran keamanan masih ada meskipun paper tersebut mengusulkan protokol keamanan dengan blockchain dan cloud. Ketiga, meskipun ada analisis keamanan informal dan simulasi AVISPA, bukti formal yang komprehensif kurang. Terakhir, tidak ada studi kasus atau pengujian kinerja yang mendalam untuk menunjukkan efektivitas praktis sistem EHR yang diusulkan.
Securing Electronic Health Records using Blockchain	(Saranya and Murugan 2023)	Syed Tayyab Raza Zaidi, Dur-e-Shawar Agha, SafiUllah, AzamKhan, Taimoor Ali Khan	Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan blockchain untuk aman dan terintegrasi dengan sensor IoT untuk pemantauan pasien real-time dalam rekam medis elektronik. Fokusnya adalah meningkatkan keamanan dan keandalan melalui desentralisasi blockchain, serta mengatasi hambatan interoperabilitas	Paper ini unggul dalam beberapa hal: keamanan terdesentralisasi menggunakan blockchain, pemantauan real-time melalui sensor IoT, interoperabilitas dalam pertukaran informasi pasien, serta skalabilitas dan ketahanan sistem yang ditingkatkan.	Artikel tersebut cenderung fokus pada teori daripada implementasi praktis, kurang memperhatikan studi kasus nyata. Penggunaan teknologi seperti blockchain dan sensor IoT membutuhkan pemahaman teknis yang dalam dan infrastruktur yang kompleks, mungkin tidak mudah diadopsi oleh semua lembaga kesehatan. Masalah skalabilitas dan biaya juga perlu

			dalam pertukaran informasi pasien.		diperhatikan, termasuk bagaimana sistem dapat diperluas untuk menangani volume data yang lebih besar dan analisis biaya yang lebih mendalam002E
Electronic Health Record Monitoring System and Data Security Using Blockchain Technology	(Shen et al. 2024)	Kazi Tamzid Akhter Md Hasib, Ixion Chowdhury, Saadman Sakib, Mohammad Monirujjaman Khan, Nawal Alsufyani, Abdulmajeed Alsufyani, and Sami Bourouis	Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan rekam medis elektronik yang menggunakan teknologi blockchain untuk meningkatkan keamanan data. Blockchain digunakan untuk melindungi data dari akses tidak sah dan memastikan ketidakbisaan perubahan atau pemalsuan data. Pasien dapat mengunggah laporan medis mereka, memberikan akses kepada dokter setelah mendapatkan izin, dan untuk mengakses opsi tersebut, pembayaran Ethereum diperlukan sebagai biaya transaksi.	Paper ini memiliki kelebihan dalam keamanan data medis yang tinggi melalui penggunaan blockchain, memastikan hanya akses terotentikasi, meningkatkan efisiensi waktu dalam manajemen perawatan kesehatan, serta memberikan transparansi dan akuntabilitas dalam pengelolaan data kesehatan.	Paper ini memiliki kekurangan dalam beberapa aspek kunci. Pertama, tidak membahas secara mendalam batasan teknologi blockchain, seperti skalabilitas dan biaya transaksi. Kedua, kurangnya penjelasan tentang bagaimana sistem akan mengatasi serangan siber atau pelanggaran data, meskipun menekankan keamanan data melalui enkripsi. Ketiga, tidak ada penjelasan tentang interoperabilitas dengan sistem kesehatan lainnya, yang penting untuk pertukaran data kesehatan yang efektif. Terakhir, kurangnya detail tentang upaya untuk mendorong adopsi oleh dokter dan pasien, yang sangat penting untuk keberhasilan implementasi teknologi baru.

Berdasarkan tinjauan beberapa paper dalam tabel, dapat diidentifikasi terkait penelitian terdahulu yang menegaskan bahwa teknologi blockchain memiliki potensi besar dalam meningkatkan keamanan dan privasi penyimpanan serta pertukaran eMR. Fokus utama studi-studi ini adalah pada pengembangan kerangka kerja dan

sistem yang memanfaatkan blockchain untuk memastikan integritas data, transparansi terkontrol, dan aksesibilitas yang lebih baik bagi pasien. Keamanan data menjadi prioritas utama dengan beberapa penelitian mengusulkan enkripsi ganda dan mekanisme konsensus untuk melindungi data dari serangan siber, sementara privasi pasien diperkuat dengan solusi yang memberikan kontrol lebih kepada pasien atas data mereka sendiri. Meskipun terdapat kemajuan signifikan, masih ada tantangan dalam implementasi praktis, seperti skalabilitas, biaya, dan interoperabilitas dengan sistem kesehatan yang ada, sehingga penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi hambatan-hambatan tersebut.

Hasil dan Diskusi

Rekam Medis Elektronik (eMR)

Paper terdahulu menyebutkan bahwa eMR dianggap sebagai faktor kunci untuk meningkatkan kualitas dan keselamatan perawatan kesehatan, mengurangi kejadian buruk bagi pasien, mengurangi biaya, mengoptimalkan proses, meningkatkan penelitian klinis, dan mendapatkan kinerja klinis terbaik. eMR diyakini akan berdampak positif pada kualitas, efisiensi, dan efektivitas perawatan, serta komunikasi serah terima antar pekerja Kesehatan (Siedlecka-Lamch 2023). Disebutkan dalam penelitian lainnya bahwa eMR memegang peranan penting dalam sistem kesehatan, namun seringkali disimpan dalam basis data terpisah yang dimiliki oleh lembaga yang berbeda, menyebabkan sulitnya akses, perlindungan, dan pelacakan data pribadi ini. Hal ini memunculkan kekhawatiran tentang privasi dan keamanan data pengguna, terutama setelah skandal penyalahgunaan data pribadi oleh platform media sosial dan serangkaian pelanggaran data identitas pengguna. Oleh karena itu, kami memperkenalkan sebuah arsitektur sistem yang bertanggung jawab atas pengelolaan semua informasi pribadi elektronik dan rekam medis kesehatan (EPIHR) individu berbasis blockchain. Arsitektur sistem yang kami usulkan memanfaatkan sifat blockchain yang tidak dapat dimanipulasi dan mengatasi kelemahan sistem penyimpanan data berbasis awan (Siyal et al. 2019).

Dalam penelitian terdahulu oleh (Sun et al. 2023), disebutkan bahwa penyimpanan eMR adalah area penelitian yang luas, dan sistem kesehatan sering kali mengalihkan tugas ini kepada penyedia layanan awan (CSP). Namun, dominasi yang dimiliki oleh CSP tersentralisasi mengancam privasi pribadi pasien, karena dapat menyebabkan akses tidak sah dan penyalahgunaan data medis oleh CSP dan pengguna data lainnya, seperti dokter. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian tersebut mengusulkan sebuah solusi eMR menggunakan blockchain-based multi-keyword searchable encryption (BMSE). Solusi ini mengintegrasikan teknologi blockchain dan menggunakan advanced encryption standard (AES) untuk enkripsi data simetris. Selain itu, metode attribute-based encryption (ABE) digunakan untuk mengenkripsi indeks pencarian. Pendekatan ini bertujuan untuk

mengatasi masalah kekuatan berlebih yang dimiliki oleh CSP tersentralisasi, yang dapat mengakibatkan pengorbanan privasi pasien. Selain itu, algoritma K-means digunakan untuk mengelompokkan dokumen dan menggunakan skor relevansi kata kunci dan dokumen sebagai indeks pencarian untuk meningkatkan efisiensi pencarian. Penelitian tersebut menyajikan hasil analisis keamanan dan analisis eksperimental yang menunjukkan bahwa BMSE meningkatkan efisiensi pencarian. Penelitian tersebut juga menekankan bahwa penggunaan CSP tersentralisasi dalam menyimpan eMR dapat mengakibatkan risiko keamanan dan privasi yang signifikan bagi pasien.

Blockchain

Blockchain adalah sebuah ledger terdistribusi yang terdiri dari rangkaian transaksi yang disusun dalam blok-blok yang saling terhubung, membentuk struktur berantai, menggunakan mekanisme yang didasarkan pada kriptografi (Usman and Qamar 2020). Dalam paper lain disebutkan bahwa blockchain merupakan bentuk dari Distributed Ledger Technology (DLT) yang memungkinkan pertukaran data sensitif pasien secara aman antar organisasi di sektor kesehatan (Venkatesh and Savadatti Hanumantha 2023). Teknologi ini menghilangkan kebutuhan akan perantara pusat untuk kepercayaan, dengan mengandalkan prosedur kriptografi yang dirancang untuk tahan manipulasi dan transparan.

Setiap blok dalam blockchain mengandung hash kriptografis dari blok sebelumnya, sebuah cap waktu, dan catatan transaksi. Struktur ini memastikan bahwa setiap blok terhubung satu sama lain secara kriptografis, menciptakan rantai blok yang tahan terhadap perubahan dan manipulasi (Wu and Ho 2023). Teknologi ini memiliki sifat desentralisasi, yang berarti tidak ada satu entitas tunggal yang mengontrolnya, dan didukung oleh algoritma konsensus seperti Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS), dan sebagainya (Yang et al. 2024). Disebutkan dalam penelitian terdahulu bahwa di masa depan blockchain dapat menjadi teknologi yang berpotensi membantu layanan kesehatan yang dipersonalisasi, autentik, dan aman dengan menggabungkan seluruh data klinis kesehatan pasien secara real-time dan menyajikannya dalam pengaturan layanan kesehatan yang aman dan terkini (Zaghloul, Li, and Ren 2023).

Pada penelitian oleh (G. Zhang, Yang, and Liu 2022) blockchain menjadi solusi atas beberapa masalah serupa seperti keamanan dan resiko sentralisasi dalam penggunaan skema kontrol akses data tradisional. Solusi yang ditawarkan adalah memanfaatkan blockchain dalam membangun skema kontrol akses terdesentralisasi yang dapat memberikan akses data dengan transparansi dan pelacakan. Penelitian lainnya oleh (Q. Zhang et al. 2023) yang membahas hal serupa juga menyatakan bahwa dalam manajemen eMR, penggunaan teknologi cloud telah membawa berbagai keuntungan sekaligus menimbulkan beberapa tantangan terkait keamanan dan privasi data.

Masalah terkait integritas eMR selama proses outsourcing data dan kebutuhan akan privasi dan jejak auditabilitas dalam berbagi data menjadi perhatian utama. Tantangan utama terletak pada ketidakpastian keamanan data medis di cloud, seperti risiko kegagalan tunggal pada server cloud dan kekhawatiran akan privasi pasien akibat kepercayaan berlebihan pada penyedia layanan cloud. Solusi BCES menggunakan teknologi blockchain ditawarkan dalam mengatasi tantangan ini. BCES memanfaatkan blockchain untuk memastikan integritas data dan jejak auditabilitas. Setiap operasi penggantian data oleh konsumen data dan rumah sakit akan dicatat sebagai transaksi dalam blockchain untuk penyimpanan permanen. Dengan demikian, BCES memberikan lingkungan yang terpercaya dan tidak dapat diubah untuk manajemen dan berbagi data medis.

Kontribusi Blockchain dalam eMR

Penggunaan blockchain dalam eMR telah menjadi perhatian utama dalam rangka meningkatkan keamanan, keandalan, dan privasi data medis. Teknologi blockchain menawarkan pendekatan terdesentralisasi yang memungkinkan pertukaran data medis sensitif di antara organisasi medis tanpa kehilangan kontrol atas keamanan informasi. Namun, tantangan utama dalam sistem blockchain saat ini adalah rentannya terhadap serangan dari komputer kuantum yang dapat membahayakan keamanan data yang tersimpan.

Sebuah paper terdahulu oleh (Zhao et al. 2023), memperkenalkan konsep blockchain kuantum yang revolusioner untuk meningkatkan keamanan sistem blockchain terhadap ancaman komputer kuantum. Dengan memanfaatkan prinsip-prinsip kuantum, seperti entanglement dan superposisi, sistem blockchain kuantum dirancang untuk menyimpan blok data dengan nilai hash yang dienkripsi dalam satu kubit, sambil secara otomatis menciptakan cap waktu untuk menurunkan kebutuhan ruang penyimpanan. Metode ini juga menggunakan protokol otentikasi kuantum yang menggantikan algoritma enkripsi dan tanda tangan digital tradisional.

Melalui analisis matematis yang mendalam, sistem blockchain kuantum ini telah terbukti memiliki keamanan yang kuat terhadap serangan dari komputer kuantum, termasuk serangan eksternal, Intercept-Measure-Repeat attack, dan Entanglement-Measure attack. Dengan demikian, penggunaan teknologi kuantum dalam blockchain dapat memberikan lapisan keamanan tambahan yang diperlukan untuk menjaga integritas dan kerahasiaan rekam medis elektronik.

Kesimpulan

Penerapan teknologi blockchain dalam pengelolaan rekam medis elektronik (eMR) menjanjikan solusi yang menarik untuk meningkatkan keamanan, integritas, dan aksesibilitas data medis. Namun, implementasi blockchain dalam eMR masih menghadapi beberapa tantangan, termasuk kesiapan infrastruktur dan biaya

implementasi yang tinggi, serta regulasi yang berkembang. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dan upaya untuk mengatasi tantangan ini sangat penting untuk mewujudkan potensi penuh teknologi blockchain dalam transformasi pengelolaan informasi kesehatan. Dengan demikian, perlu dilakukan kolaborasi antara industri, akademisi, dan pemerintah untuk mempercepat adopsi dan pengembangan solusi blockchain yang dapat mengatasi masalah yang dihadapi dalam pengelolaan eMR.

Daftar Pustaka

- Agha, Dureshawar. 2023. "Securing Electronic Health Records Using Blockchain." *VFAST Transactions on Software Engineering* 11(4): 57–66. doi:10.21015/vtse.v11i4.1656.
- Akhter Md Hasib, Kazi Tamzid, Ixion Chowdhury, Saadman Sakib, Mohammad Monirujjaman Khan, Nawal Alsufyani, Abdulmajeed Alsufyani, and Sami Bourouis. 2022. "Electronic Health Record Monitoring System and Data Security Using Blockchain Technology" ed. Chinmay Chakraborty. *Security and Communication Networks* 2022: 1–15. doi:10.1155/2022/2366632.
- Arulkumar, N., A. Manimaran, D. Chandramohan, and Sam Goundar. 2024. "Internet of Things and Blockchain in Healthcare: Challenges and Solutions." In , 17–29. doi:10.1007/978-3-031-35751-0_2.
- De Benedictis, Anna, Emanuele Lettieri, Luca Gastaldi, Cristina Masella, Alessia Urgu, and Daniela Tartaglioni. 2020. "Electronic Medical Records Implementation in Hospital: An Empirical Investigation of Individual and Organizational Determinants" ed. Stefano Triberti. *PLOS ONE* 15(6): e0234108. doi:10.1371/journal.pone.0234108.
- Bodur, Hüseyin, and Imad Fakhri Taha Al Yaseen. 2024. "An Improved Blockchain-Based Secure Medical Record Sharing Scheme." *Cluster Computing* 27(6): 7981–8000. doi:10.1007/s10586-024-04414-6.
- Capece, Guendalina, and Francesco Lorenzi. 2020. "Blockchain and Healthcare: Opportunities and Prospects for the EHR." *Sustainability* 12(22): 9693. doi:10.3390/su12229693.
- Chang, Shuchih Ernest, Yi-Chian Chen, and Ming-Fang Lu. 2019. "Supply Chain Re-Engineering Using Blockchain Technology: A Case of Smart Contract Based Tracking Process." *Technological Forecasting and Social Change* 144: 1–11. doi:10.1016/j.techfore.2019.03.015.
- Chen, Chin-Ling, Yong-Yuan Deng, Wei Weng, Hongyu Sun, and Ming Zhou. 2020. "A Blockchain-Based Secure Inter-Hospital EMR Sharing System." *Applied Sciences* 10(14): 4958. doi:10.3390/app10144958.
- Cooper, Chris, Andrew Booth, Jo Varley-Campbell, Nicky Britten, and Ruth Garside. 2018. "Defining the Process to Literature Searching in Systematic Reviews: A Literature Review of Guidance and Supporting Studies." *BMC Medical Research Methodology* 18(1): 85. doi:10.1186/s12874-018-0545-3.
- Corradini, Flavio, Alessandro Marcelletti, Andrea Morichetta, Andrea Polini, Barbara Re, and Francesco Tiezzi. 2023. "A Flexible Approach to Multi-Party Business Process Execution on Blockchain." *Future Generation Computer Systems* 147: 219–34. doi:10.1016/j.future.2023.05.006.
- Dong, Yibin, Seong K. Mun, and Yue Wang. 2023. "A Blockchain-Enabled Sharing Platform for Personal Health Records." *Heliyon* 9(7): e18061. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e18061.
- Erler, Christina, Ann-Marit Bauer, Friedrich Gauger, and Wilhelm Stork. 2024. "Decision Model to Design Trust-

- Focused and Blockchain-Based Health Data Management Applications." *Blockchains* 2(2): 79–106. doi:10.3390/blockchains2020005.
- Hegde, Pawan, and Praveen Kumar Reddy Maddikunta. 2023. "Amalgamation of Blockchain with Resource-Constrained IoT Devices for Healthcare Applications – State of Art, Challenges and Future Directions." *International Journal of Cognitive Computing in Engineering* 4: 220–39. doi:10.1016/j.ijcce.2023.06.002.
- Hölbl, Marko, Marko Kompara, Aida Kamišalić, and Lili Nemec Zlatolas. 2018. "A Systematic Review of the Use of Blockchain in Healthcare." *Symmetry* 10(10): 470. doi:10.3390/sym10100470.
- Huang, Haiping, Xiang Sun, Fu Xiao, Peng Zhu, and Wenming Wang. 2021. "Blockchain-Based EHealth System for Auditable EHRs Manipulation in Cloud Environments." *Journal of Parallel and Distributed Computing* 148: 46–57. doi:10.1016/j.jpdc.2020.10.002.
- Irwin, Pauletta, Melissa Hanson, Simon McDonald, Danielle Noble, and Lyndall Mollart. 2024. "Nursing Students' Perspectives on Being Work-Ready with Electronic Medical Records: Intersections of Rurality and Health Workforce Capacity." *Nurse Education in Practice* 77: 103948. doi:10.1016/j.nepr.2024.103948.
- Johari, Rahul, Vivek Kumar, Kalpana Gupta, and Deo Prakash Vidyarthi. 2022. "BLOSOM: BLOckchain Technology for Security Of Medical Records." *ICT Express* 8(1): 56–60. doi:10.1016/j.icte.2021.06.002.
- Kim, MyeongHyun, SungJin Yu, JoonYoung Lee, YoHan Park, and YoungHo Park. 2020. "Design of Secure Protocol for Cloud-Assisted Electronic Health Record System Using Blockchain." *Sensors* 20(10): 2913. doi:10.3390/s20102913.
- Kraus, Sascha, Matthias Breier, and Sonia Dasí-Rodríguez. 2020. "The Art of Crafting a Systematic Literature Review in Entrepreneurship Research." *International Entrepreneurship and Management Journal* 16(3): 1023–42. doi:10.1007/s11365-020-00635-4.
- Kuliha, Megha, and Sunita Verma. 2024. "Secure Internet of Medical Things Based Electronic Health Records Scheme in Trust Decentralized Loop Federated Learning Consensus Blockchain." *International Journal of Intelligent Networks* 5: 161–74. doi:10.1016/j.ijin.2024.03.001.
- Lakshmanan, M., G.S. Anandha Mala, and K.M. Anandkumar. 2024. "Highly Secured EHR Management System Based on Blockchain Technology with Digitally Signed Authentication Using Data Sanitization and Polynomial Interpolation." *Biomedical Signal Processing and Control* 87: 105412. doi:10.1016/j.bspc.2023.105412.
- Lax, Gianluca, Roberto Nardone, and Antonia Russo. 2024. "Enabling Secure Health Information Sharing among Healthcare Organizations by Public Blockchain." *Multimedia Tools and Applications* 83(24): 64795–811. doi:10.1007/s11042-024-18181-4.
- Lee, Seunghee, Gyun-Ho Roh, Jong-Yeup Kim, Young Ho Lee, Hyekyung Woo, and Suehyun Lee. 2023. "Effective Data Quality Management for Electronic Medical Record Data Using SMART DATA." *International Journal of Medical Informatics* 180: 105262. doi:10.1016/j.ijmedinf.2023.105262.
- Lee, Yen-Liang, Hsiu-An Lee, Chien-Yeh Hsu, Hsin-Hua Kung, and Hung-Wen Chiu. 2022. "SEMRES - A Triple Security Protected Blockchain Based Medical Record Exchange Structure." *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 215: 106595. doi:10.1016/j.cmpb.2021.106595.
- Li, Zhi, Ming Li, Aofei Li, and Zhiyu Lin. 2024. "Blockchain-Based Collaborative Data Analysis Framework for Distributed Medical Knowledge Extraction." *Computers & Industrial Engineering* 190: 110099. doi:10.1016/j.cie.2024.110099.

- Liu, Yi, Yinghui Zhang, Jie Ling, and Zhusong Liu. 2018. "Secure and Fine-Grained Access Control on e-Healthcare Records in Mobile Cloud Computing." *Future Generation Computer Systems* 78: 1020–26. doi:10.1016/j.future.2016.12.027.
- Mayer, André Henrique, Cristiano André da Costa, and Rodrigo da Rosa Righi. 2020. "Electronic Health Records in a Blockchain: A Systematic Review." *Health Informatics Journal* 26(2): 1273–88. doi:10.1177/1460458219866350.
- Mohammed, Zainulabedin Hasan, Keattisak Chankaew, Rajeev Ratna Vallabhuni, Vijay R. Sonawane, Srinivas Ambala, and Markkandan S. 2023. "Blockchain-Enabled Bioacoustics Signal Authentication for Cloud-Based Electronic Medical Records." *Measurement: Sensors* 26: 100706. doi:10.1016/j.measen.2023.100706.
- Mollart, Lyndall, Pauletta Irwin, Danielle Noble, and Leigh Kinsman. 2023. "Promoting Patient Safety Using Electronic Medical Records in Nursing/Midwifery Undergraduate Curricula: Discussion Paper." *Nurse Education in Practice* 70: 103653. doi:10.1016/j.nepr.2023.103653.
- Monem, Maruf, Md Tamjid Hossain, Md. Golam Rabiul Alam, Md. Shirajum Munir, Md. Mahbubur Rahman, Salman A. AlQahtani, Samah Almutlaq, and Mohammad Mehedi Hassan. 2024. "A Sustainable Bitcoin Blockchain Network through Introducing Dynamic Block Size Adjustment Using Predictive Analytics." *Future Generation Computer Systems* 153: 12–26. doi:10.1016/j.future.2023.11.005.
- Oladele, James Kolapo, Arnold Adimabua Ojugo, Christopher Chukwufunaya Odiakaose, Frances Uchechukwu Emordi, Reuben Akporube Abere, Blessing Nwozor, Patrick Ogholuwaremi Ejeh, and Victor Ochuko Geteloma. 2024. "BEHeDaS: A Blockchain Electronic Health Data System for Secure Medical Records Exchange." *Journal of Computing Theories and Applications* 1(3): 231–42. doi:10.62411/jcta.9509.
- Al Omar, Abdullah, Abu Kaisar Jamil, Md. Shakhawath Hossain Nur, Md Mahamudul Hasan, Rabeya Bosri, Md Zakirul Alam Bhuiyan, and Mohammad Shahriar Rahman. 2020. "Towards A Transparent and Privacy-Preserving Healthcare Platform with Blockchain for Smart Cities." In *2020 IEEE 19th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)*, IEEE, 1291–96. doi:10.1109/TrustCom50675.2020.00173.
- Pei, Hongmei, Peng Yang, Weihao Li, Miao Du, and Zhongjian Hu. 2024. "Proxy Re-Encryption for Secure Data Sharing with Blockchain in Internet of Medical Things." *Computer Networks* 245: 110373. doi:10.1016/j.comnet.2024.110373.
- Qu, Zhiguo, Zhexi Zhang, and Min Zheng. 2022. "A Quantum Blockchain-Enabled Framework for Secure Private Electronic Medical Records in Internet of Medical Things." *Information Sciences* 612: 942–58. doi:10.1016/j.ins.2022.09.028.
- Rahman, MD Saifur, Fouzia Faria Tura, and Shafayet Mahamud. 2023. "Unlocking the Power of Blockchain for Safe and Secure Electronic Personal Information and Health Record Management with the Use of Cloud Storage." In *2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, IEEE, 495–500. doi:10.1109/SIST58284.2023.10223495.
- Rai, Bipin Kumar. 2022. "Blockchain-Enabled Electronic Health Records for Healthcare 4.0." *International Journal of E-Health and Medical Communications* 13(4): 1–13. doi:10.4018/IJEHMC.309438.
- Sanda, Olanrewaju, Michalis Pavlidis, and Nikolaos Polatidis. 2022. "A Regulatory Readiness Assessment Framework for Blockchain Adoption in Healthcare." *Digital* 2(1): 65–87. doi:10.3390/digital2010005.
- Saranya, R., and A. Murugan. 2023. "A Systematic Review of Enabling Blockchain in Healthcare System: Analysis, Current Status, Challenges and Future Direction." *Materials Today: Proceedings* 80: 3010–15.

doi:10.1016/j.matpr.2021.07.105.

- Shen, Fanfan, Lin Shi, Jun Zhang, Chao Xu, Yong Chen, and Yanxiang He. 2024. "BMSE: Blockchain-Based Multi-Keyword Searchable Encryption for Electronic Medical Records." *Computer Standards & Interfaces* 89: 103824. doi:10.1016/j.csi.2023.103824.
- Siedlecka-Lamch, Olga. 2023. "Secure Medical Data Storage with Blockchain Technology." *Procedia Computer Science* 225: 961–68. doi:10.1016/j.procs.2023.10.083.
- Siyal, Asad Ali, Aisha Zahid Junejo, Muhammad Zawish, Kainat Ahmed, Aiman Khalil, and Georgia Sourso. 2019. "Applications of Blockchain Technology in Medicine and Healthcare: Challenges and Future Perspectives." *Cryptography* 3(1): 3. doi:10.3390/cryptography3010003.
- Sun, Zhijie, Dezhi Han, Dun Li, Tien-Hsiung Weng, Kuan-Ching Li, and Xiaojun Mei. 2023. "MedRSS: A Blockchain-Based Scheme for Secure Storage and Sharing of Medical Records." *Computers & Industrial Engineering* 183: 109521. doi:10.1016/j.cie.2023.109521.
- Usman, Muhammad, and Usman Qamar. 2020. "Secure Electronic Medical Records Storage and Sharing Using Blockchain Technology." *Procedia Computer Science* 174: 321–27. doi:10.1016/j.procs.2020.06.093.
- Venkatesh, Ranjitha, and Brahmananda Savadatti Hanumantha. 2023. "Electronic Medical Records Protection Framework Based on Quantum Blockchain for Multiple Hospitals." *Multimedia Tools and Applications* 83(14): 42721–34. doi:10.1007/s11042-023-16848-y.
- Wu, Tzu-Chi, and Chien-Ta Bruce Ho. 2023. "Blockchain Revolutionizing in Emergency Medicine: A Scoping Review of Patient Journey through the ED." *Healthcare* 11(18): 2497. doi:10.3390/healthcare11182497.
- Yang, Zenghui, Xiubo Chen, Yunfeng He, Luxi Liu, Yinmei Che, Xiao Wang, Ke Xiao, and Gang Xu. 2024. "An Attribute-Based Access Control Scheme Using Blockchain Technology for IoT Data Protection." *High-Confidence Computing* 4(3): 100199. doi:10.1016/j.hcc.2024.100199.
- Zaghloul, Ehab, Tongtong Li, and Jian Ren. 2023. "<math Altimg='si2.Svg' Display='inline' Id='d1e1070'><mi>d</Mi> </Math>-EMR: Secure and Distributed Electronic Medical Record Management." *High-Confidence Computing* 3(1): 100101. doi:10.1016/j.hcc.2022.100101.
- Zhang, Guipeng, Zhenguo Yang, and Wenying Liu. 2022. "Blockchain-Based Privacy Preserving e-Health System for Healthcare Data in Cloud." *Computer Networks* 203: 108586. doi:10.1016/j.comnet.2021.108586.
- Zhang, Qizhi, Yale He, Ruilin Lai, Zhihao Hou, and Gansen Zhao. 2023. "A Survey on the Efficiency, Reliability, and Security of Data Query in Blockchain Systems." *Future Generation Computer Systems* 145: 303–20. doi:10.1016/j.future.2023.03.044.
- Zhao, Jian, Wenqian Qiang, Zisong Zhao, Tianbo An, Zhejun Kuang, Dawei Xu, and Lijuan Shi. 2023. "Research on Medical Data Storage and Sharing Model Based on Blockchain." *High-Confidence Computing* 3(3): 100133. doi:10.1016/j.hcc.2023.100133.