

**IMPLEMENTASI INTEGRASI SISTEM INFORMASI MANAJEMEN
KLINIK DENGAN PLATFORM SATUSEHAT MENGGUNAKAN
STANDAR HL7 FAST HEALTHCARE INTEROPERABILITY
RESOURCES (FHIR)**

Fitrandi Ramadhana¹, Gayuh Abdi Mahardika²

Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

E-mail: 22081010005@student.upnjatim.ac.id¹,

22081010067@student.upnjatim.ac.id²

Abstrak

Transformasi digital di sektor kesehatan mendorong kebutuhan akan interoperabilitas data antar fasilitas pelayanan kesehatan melalui platform SATUSEHAT yang dikembangkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Untuk mewujudkan pertukaran data yang terstandarisasi, platform tersebut mengadopsi standar Health Level Seven Fast Healthcare Interoperability Resources (HL7 FHIR) sebagai dasar komunikasi antar sistem informasi kesehatan. Namun, banyak sistem informasi manajemen klinik masih menggunakan struktur data internal yang berbeda sehingga memerlukan mekanisme integrasi agar mampu berkomunikasi dengan platform nasional secara efektif. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan integrasi antara sistem informasi manajemen klinik dengan platform SATUSEHAT menggunakan standar HL7 FHIR. Metode yang digunakan meliputi analisis kebutuhan interoperabilitas, pemetaan struktur basis data lokal ke dalam resource FHIR, implementasi mekanisme autentikasi OAuth 2.0, pengembangan proses sinkronisasi data master (Location, Patient, dan Practitioner), serta integrasi data pelayanan klinis yang mencakup Encounter, Condition, dan Observation. Selain itu, sistem dilengkapi mekanisme pencatatan log sinkronisasi dan penanganan kesalahan untuk meningkatkan keandalan proses pertukaran data. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan transformasi dan sinkronisasi data rekam medis elektronik ke platform SATUSEHAT sesuai standar HL7 FHIR. Mekanisme pencarian identitas sebelum pembuatan resource berhasil meminimalkan duplikasi data, sedangkan penerapan kode ICD-10, LOINC, dan UCUM meningkatkan kesesuaian semantik data klinis. Implementasi OAuth 2.0 serta mekanisme logging mendukung keamanan, keterlacakan, dan keandalan proses integrasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan standar HL7 FHIR dapat meningkatkan interoperabilitas sistem informasi kesehatan serta mendukung implementasi rekam medis elektronik yang terintegrasi pada ekosistem kesehatan nasional.

Kata Kunci: Interoperabilitas, HL7 FHIR, SATUSEHAT, Rekam Medis Elektronik, Sistem Informasi Manajemen Klinik.

PENDAHULUAN

Transformasi digital di sektor kesehatan telah menjadi salah satu fokus utama dalam meningkatkan kualitas pelayanan, efisiensi operasional, dan kontinuitas layanan kesehatan. Penerapan teknologi informasi memungkinkan fasilitas pelayanan kesehatan untuk mengelola data pasien secara lebih akurat, cepat, dan terintegrasi sehingga mendukung pengambilan keputusan klinis yang lebih baik. Salah satu implementasi transformasi digital tersebut adalah penggunaan Rekam Medis Elektronik (RME) yang menggantikan pencatatan konvensional berbasis kertas menjadi sistem digital yang lebih efektif dan mudah

diakses. Selain meningkatkan efisiensi administrasi, RME juga berperan penting dalam mendukung kesinambungan pelayanan pasien karena informasi medis dapat tersimpan secara terstruktur dan terdokumentasi dengan baik. Secara global, adopsi RME terbukti mereduksi tingkat kesalahan medis secara signifikan dan mempercepat waktu respons klinis di fasilitas pelayanan primer [1]. Lebih lanjut, integrasi teknologi digital yang berfokus pada pasien terbukti mendorong efisiensi biaya operasional jangka Panjang [2].

Meskipun pemanfaatan sistem informasi kesehatan semakin luas, interoperabilitas antar sistem masih menjadi tantangan utama dalam implementasi layanan kesehatan digital. Setiap fasilitas pelayanan kesehatan umumnya menggunakan sistem informasi dengan struktur basis data, format penyimpanan, dan mekanisme pertukaran data yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut menyebabkan data kesehatan sulit dipertukarkan secara otomatis sehingga berpotensi menimbulkan duplikasi data, inkonsistensi informasi pasien, serta menghambat proses pelayanan kesehatan yang terintegrasi. Fenomena "silosasi data" (data silos) ini diperparah oleh fragmentasi vendor perangkat lunak yang belum mengadopsi standar komunikasi terbuka, sehingga mempersulit koordinasi perawatan pasien lintas faskes [3]. Oleh karena itu, diperlukan suatu standar interoperabilitas yang mampu menyatukan berbagai sistem informasi kesehatan agar dapat saling berkomunikasi secara konsisten.

Sebagai upaya mewujudkan interoperabilitas nasional, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia mengembangkan platform SATUSEHAT sebagai bagian dari transformasi digital kesehatan nasional. Platform ini berfungsi sebagai media pertukaran data kesehatan antar fasilitas pelayanan kesehatan dengan menggunakan standar Health Level Seven Fast Healthcare Interoperability Resources (HL7 FHIR). Standar tersebut menyediakan resource yang terstruktur untuk merepresentasikan berbagai informasi klinis, seperti data pasien (Patient), tenaga kesehatan (Practitioner), lokasi pelayanan (Location), kunjungan (Encounter), diagnosis (Condition), dan hasil observasi medis (Observation). Dengan adanya standar yang seragam, proses integrasi antar sistem informasi kesehatan menjadi lebih mudah dikembangkan, dipelihara, serta mampu meningkatkan interoperabilitas data secara nasional. Dibandingkan dengan standar pendahulunya, HL7 FHIR menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi melalui pemanfaatan komponen modular (resources) yang berbasis teknologi web modern [4]. Arsitektur berbasis resource ini mempermudah representasi entitas klinis yang kompleks secara granuler, mulai dari demografi pasien hingga riwayat observasi vital [5].

Walaupun standar HL7 FHIR telah tersedia, implementasi integrasi dengan platform SATUSEHAT masih menghadapi berbagai tantangan teknis. Sistem informasi manajemen klinik yang telah digunakan sebelumnya umumnya dibangun dengan struktur basis data yang disesuaikan dengan kebutuhan internal masing-masing fasilitas pelayanan kesehatan. Akibatnya, data lokal tidak dapat langsung dikirimkan ke platform SATUSEHAT karena harus melalui proses pemetaan (mapping) ke resource HL7 FHIR, transformasi format data, autentikasi menggunakan OAuth 2.0, serta validasi referensi sesuai standar yang ditetapkan. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa ketidakcocokan skema (*schema mismatch) antara basis data relasional lokal dengan struktur dokumen JSON/XML pada FHIR sering kali membutuhkan lapisan middleware atau transformasi data yang intensif untuk mencegah hilangnya konteks klinis [6]. Selain itu, proses sinkronisasi harus mampu menjamin konsistensi data, mencegah duplikasi resource, serta menyediakan mekanisme pencatatan (logging) dan penanganan kesalahan (error handling) agar proses integrasi berjalan secara andal.

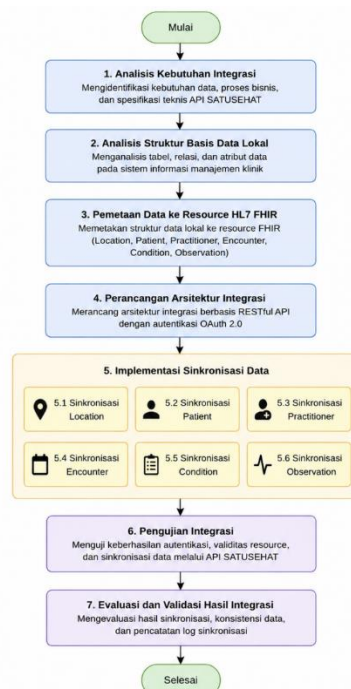
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengimplementasikan mekanisme integrasi antara sistem informasi manajemen klinik dengan platform SATUSEHAT menggunakan standar HL7 Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR). Implementasi dilakukan melalui pemetaan data lokal ke resource FHIR, sinkronisasi data master yang meliputi Location, Patient, dan Practitioner, pengelolaan alur kunjungan pasien melalui resource Encounter, serta pengiriman data klinis menggunakan resource Condition dan Observation. Selain itu, penelitian ini menerapkan mekanisme autentikasi OAuth 2.0,

pencatatan log sinkronisasi, dan penanganan kegagalan komunikasi untuk meningkatkan keandalan proses pertukaran data.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran implementasi integrasi sistem informasi kesehatan berbasis HL7 FHIR pada lingkungan klinik, sekaligus menjadi referensi dalam pengembangan interoperabilitas sistem informasi kesehatan yang mendukung transformasi digital pelayanan kesehatan di Indonesia melalui platform SATUSEHAT.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan implementatif (implementation research) yang berfokus pada pengembangan mekanisme interoperabilitas antara sistem informasi manajemen klinik dengan platform SATUSEHAT menggunakan standar Health Level Seven Fast Healthcare Interoperability Resources (HL7 FHIR). Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan integrasi, pemetaan data ke resource FHIR, perancangan arsitektur integrasi, implementasi sinkronisasi data, serta pengujian hasil integrasi. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



1. Analisis Kebutuhan Integrasi

Tahap pertama dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan interoperabilitas antara sistem informasi manajemen klinik dengan platform SATUSEHAT. Analisis dilakukan terhadap struktur basis data lokal, proses bisnis pelayanan pasien, serta spesifikasi teknis API SATUSEHAT. Hasil analisis digunakan untuk menentukan data yang harus disinkronkan serta resource HL7 FHIR yang digunakan pada proses integrasi.

Data yang dianalisis meliputi data pasien, tenaga kesehatan, lokasi pelayanan, kunjungan pasien, diagnosis, serta hasil pemeriksaan klinis. Selain itu dilakukan identifikasi mekanisme autentikasi, format pertukaran data, serta aturan validasi yang diterapkan oleh platform SATUSEHAT.

2. Pemetaan Data ke Resource HL7 FHIR

Tahap berikutnya adalah melakukan pemetaan (mapping) struktur basis data lokal ke resource HL7 FHIR. Proses ini bertujuan agar setiap data yang tersimpan pada sistem informasi klinik dapat direpresentasikan sesuai standar interoperabilitas kesehatan.

Beberapa resource utama yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

- Location untuk merepresentasikan unit pelayanan klinik.
- Patient untuk menyimpan identitas pasien.
- Practitioner untuk merepresentasikan tenaga kesehatan.
- Encounter untuk mencatat aktivitas kunjungan pasien.
- Condition untuk merepresentasikan diagnosis berdasarkan standar ICD-10.
- Observation untuk menyimpan hasil pemeriksaan klinis menggunakan kode LOINC dan satuan UCUM.

Penerapan terminologi standar seperti LOINC untuk observasi laboratorium/vital dan ICD-10 untuk diagnosis sangat krusial untuk mencapai interoperabilitas semantik, sehingga makna data yang dipertukarkan tetap sama di sisi pengirim maupun penerima [7]. Setiap data yang berhasil disinkronkan akan memperoleh identitas (resource identifier) dari platform SATUSEHAT yang kemudian disimpan pada basis data lokal sebagai referensi sinkronisasi berikutnya.

3. Perancangan Arsitektur Integrasi

Arsitektur integrasi dirancang menggunakan pendekatan RESTful API yang disediakan oleh platform SATUSEHAT. Penggunaan RESTful API yang memanfaatkan protokol HTTP standar terbukti mempercepat proses pengembangan (development lifecycle) dan menghemat beban komputasi pada perangkat klien di lingkungan klinik [8]. Sebelum melakukan pertukaran data, sistem terlebih dahulu melakukan proses autentikasi menggunakan protokol OAuth 2.0 untuk memperoleh access token. Protokol OAuth 2.0 direkomendasikan secara luas dalam ekosistem *Health Information Exchange (HIE) karena mampu mengamankan delegasi otorisasi tanpa mengekspos kredensial pengguna utama [9]. Implementasi token berdurasi terbatas (expiring tokens) ini meminimalkan risiko intersepsi data medis yang sensitif di jaringan public [10]. Token tersebut digunakan sebagai otorisasi pada setiap permintaan (request) ke API SATUSEHAT.

Setelah proses autentikasi berhasil, sistem melakukan sinkronisasi data secara bertahap dimulai dari data master (Location, Patient, dan Practitioner), kemudian dilanjutkan dengan pengiriman data transaksi berupa Encounter, Condition, dan Observation. Pendekatan bertahap ini diterapkan agar seluruh resource memiliki referensi yang valid sehingga hubungan antar resource tetap konsisten.

4. Implementasi Sinkronisasi Data

Implementasi sinkronisasi dilakukan melalui beberapa tahapan utama. Tahap pertama adalah sinkronisasi data master yang bertujuan menghasilkan identitas resource pada platform SATUSEHAT. Selanjutnya sistem membentuk resource Encounter sebagai representasi kunjungan pasien. Setelah Encounter berhasil dibuat, sistem mengirimkan data diagnosis sebagai resource Condition dan data hasil pemeriksaan sebagai resource Observation.

Untuk menjaga kualitas data, sistem menerapkan mekanisme pencarian resource sebelum proses pembuatan data baru sehingga dapat meminimalkan terjadinya duplikasi data. Selain itu, seluruh aktivitas sinkronisasi dicatat pada sistem logging sehingga setiap proses pengiriman data dapat ditelusuri apabila terjadi kegagalan komunikasi maupun kesalahan validasi.

5. Pengujian Integrasi

Pengujian dilakukan menggunakan API SATUSEHAT untuk memastikan setiap resource berhasil dikirim sesuai spesifikasi HL7 FHIR. Pengujian meliputi keberhasilan autentikasi OAuth 2.0, validitas pembentukan resource, keberhasilan sinkronisasi data master, keberhasilan pengiriman data klinis, serta kesesuaian respons yang diterima dari server SATUSEHAT.

Keberhasilan integrasi ditentukan berdasarkan kemampuan sistem dalam menghasilkan resource HL7 FHIR yang valid, memperoleh identitas resource dari platform SATUSEHAT, menjaga konsistensi hubungan antar resource, serta mencatat seluruh aktivitas sinkronisasi sebagai bagian dari mekanisme audit sistem.

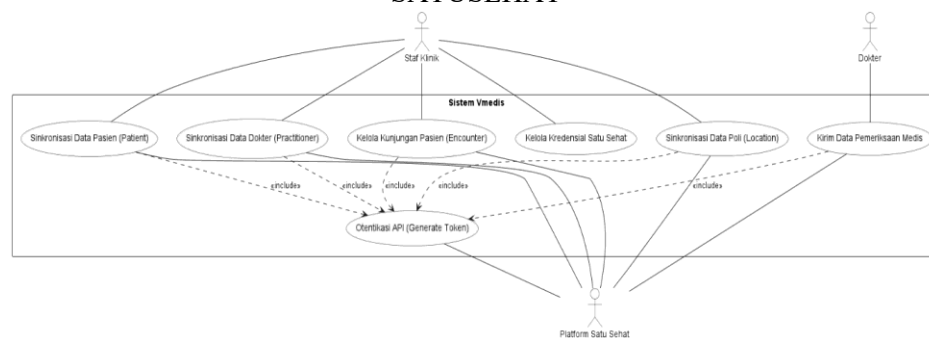
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Arsitektur Integrasi Sistem

Implementasi integrasi dikembangkan menggunakan standar Health Level Seven Fast Healthcare Interoperability Resources (HL7 FHIR) sebagai mekanisme pertukaran data antara sistem informasi manajemen klinik dengan platform SATUSEHAT. Komunikasi data dilakukan melalui RESTful API yang disediakan oleh SATUSEHAT dengan mekanisme autentikasi OAuth 2.0 untuk memperoleh access token sebelum proses sinkronisasi dilakukan.

Tahapan integrasi diawali dengan sinkronisasi data master yang terdiri atas resource Location, Patient, dan Practitioner. Ketiga resource tersebut menjadi prasyarat sebelum sistem membentuk resource Encounter sebagai representasi kunjungan pasien. Setelah Encounter berhasil dibuat, sistem melanjutkan sinkronisasi data klinis melalui resource Condition untuk diagnosis dan Observation untuk hasil pemeriksaan pasien. Seluruh proses integrasi dirancang agar setiap resource saling terhubung sesuai standar HL7 FHIR sehingga menjaga konsistensi data pada platform SATUSEHAT.

Gambar 2. Arsitektur Integrasi Sistem Informasi Manajemen Klinik dengan Platform SATUSEHAT

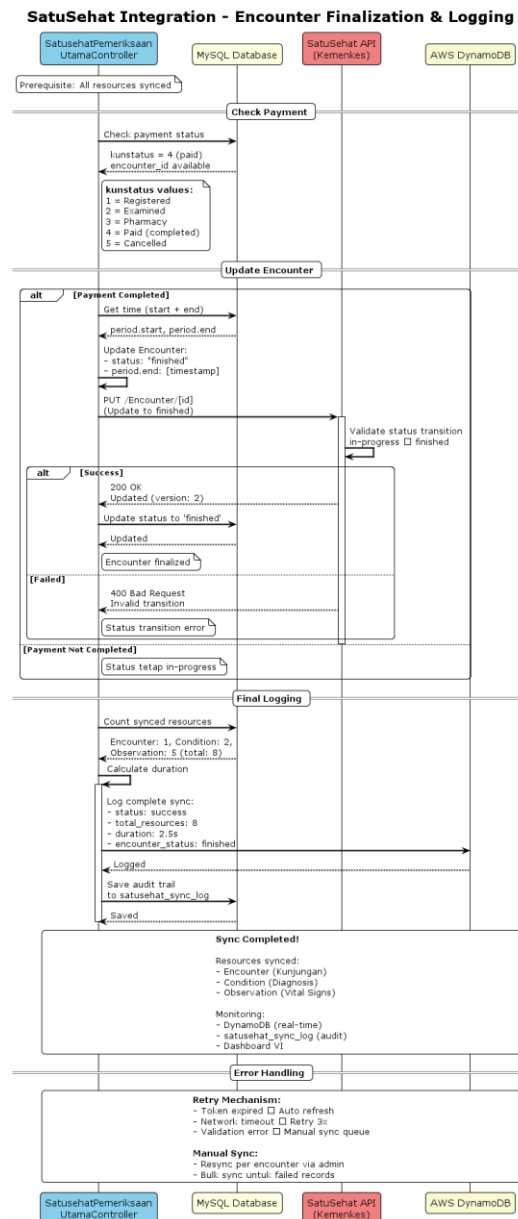


2. Implementasi Integrasi Data

Implementasi integrasi dimulai dengan sinkronisasi data master. Sistem terlebih dahulu memeriksa apakah data Location, Patient, dan Practitioner telah memiliki identitas (resource identifier) pada platform SATUSEHAT. Apabila identitas belum tersedia, sistem membentuk payload sesuai standar HL7 FHIR dan mengirimkannya melalui RESTful API. Identitas yang dikembalikan oleh SATUSEHAT kemudian disimpan pada basis data lokal sebagai referensi untuk proses sinkronisasi berikutnya.

Setelah seluruh data master berhasil tersinkronisasi, sistem membentuk resource Encounter sebagai representasi kunjungan pasien. Resource ini berfungsi sebagai penghubung seluruh aktivitas pelayanan medis sehingga setiap data klinis yang dikirim memiliki konteks kunjungan yang jelas. Alur pembentukan Encounter ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Sequence Diagram Pembentukan Resource Encounter



Selanjutnya, sistem mengirimkan data diagnosis menggunakan resource Condition dengan mengacu pada standar klasifikasi penyakit ICD-10. Hasil pemeriksaan pasien, seperti tekanan darah, suhu tubuh, denyut nadi, tinggi badan, dan berat badan dipetakan ke dalam resource Observation menggunakan kode LOINC serta satuan UCUM. Sebelum proses sinkronisasi dilakukan, sistem menerapkan mekanisme validasi dan pencarian resource untuk mengurangi kemungkinan terjadinya duplikasi data pada platform SATUSEHAT. Strategi pencarian berbasis parameter unik (seperti NIK atau ID Fasilitas) sebelum eksekusi metode POST/PUT terbukti efektif mereduksi duplikasi catatan medis hingga di bawah 1% pada sistem kesehatan terdistribusi [11]. Selain itu, penanganan kegagalan dengan algoritma *exponential backoff dan mekanisme antrean (queue) pada middleware terbukti menjaga stabilitas sistem saat terjadi lonjakan trafik lalu lintas data [12].

3. Evaluasi Implementasi

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan sinkronisasi data

antara sistem informasi manajemen klinik dengan platform SATUSEHAT sesuai standar HL7 FHIR. Mekanisme autentikasi OAuth 2.0 berhasil digunakan untuk memperoleh access token sehingga proses komunikasi dengan API SATUSEHAT dapat dilakukan secara aman. Hal ini sejalan dengan regulasi privasi kesehatan global yang mewajibkan adanya kendali akses berbasis peran (*Role-Based Access Control) pada platform berskala nasional [13].

Proses pemetaan data ke resource Location, Patient, Practitioner, Encounter, Condition, dan Observation berjalan sesuai spesifikasi interoperabilitas yang ditetapkan. Selain itu, penerapan mekanisme pencarian resource sebelum proses sinkronisasi mampu meminimalkan duplikasi data, sedangkan mekanisme logging memungkinkan setiap aktivitas pertukaran data dicatat sehingga memudahkan proses monitoring dan penelusuran ketika terjadi kegagalan sinkronisasi. Pencatatan log transaksi yang komprehensif bertindak sebagai komponen *audit trail yang vital untuk memenuhi standar kepatuhan hukum (compliance) dan forensik digital jika terjadi anomali pertukaran data [14].

Secara keseluruhan, implementasi yang dikembangkan berhasil mendukung interoperabilitas data kesehatan antara sistem informasi manajemen klinik dengan platform SATUSEHAT. Model arsitektur terpusat nasional seperti SATUSEHAT ini mereplikasi keberhasilan beberapa negara maju yang mengintegrasikan ekosistem kesehatan digitalnya demi pemantauan kesehatan masyarakat (*public health surveillance) yang lebih responsif [15]. Penerapan standar HL7 FHIR tidak hanya meningkatkan konsistensi pertukaran data, tetapi juga memberikan dasar yang lebih baik bagi pengembangan sistem informasi kesehatan yang terintegrasi dengan ekosistem digital kesehatan nasional.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan integrasi antara sistem informasi manajemen klinik dengan platform SATUSEHAT menggunakan standar Health Level Seven Fast Healthcare Interoperability Resources (HL7 FHIR). Implementasi dilakukan melalui mekanisme autentikasi OAuth 2.0, pemetaan data ke resource FHIR, serta sinkronisasi data master dan data klinis yang meliputi Location, Patient, Practitioner, Encounter, Condition, dan Observation. Hasil implementasi menunjukkan bahwa proses pertukaran data dapat dilakukan secara terstruktur sesuai standar interoperabilitas yang ditetapkan, sehingga mendukung konsistensi dan integritas data kesehatan. Selain itu, penerapan mekanisme validasi dan logging mampu meningkatkan keandalan proses sinkronisasi serta memudahkan pemantauan apabila terjadi kegagalan komunikasi. Dengan demikian, implementasi yang dikembangkan dapat mendukung interoperabilitas sistem informasi kesehatan dan berkontribusi terhadap pengembangan ekosistem layanan kesehatan digital yang terintegrasi melalui platform SATUSEHAT.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Cruoglio et al., "An Extract, Transform, Load foundation for Biobank Data Interoperability," *Journal of Data and Information Quality*, vol. 17, no. 4, Dec. 2025, doi: 10.1145/3769117.
- A. M. Ștefan, N. R. Rusu, E. Ovreiu, and M. Ciuc, "Empowering Healthcare: A Comprehensive Guide to Implementing a Robust Medical Information System—Components, Benefits, Objectives, Evaluation Criteria, and Seamless Deployment Strategies," *Applied System Innovation*, vol. 7, no. 3, Jun. 2024, doi: 10.3390/asi7030051.
- C. B. Hakim, J. Pornomo, I. N. Aryani, and T. D. Wijayanti, "Evaluation of electronic medical records risk management in Kudus hospitals: A comparative qualitative study," *Intelligent Hospital*, vol. 2, no. 2, p. 100056, Jun. 2026, doi: 10.1016/j.inhs.2026.100056.
- C. Gaudet-Blavignac, J. L. Raisaro, V. Touré, S. Österle, K. Crameri, and C. Lovis, "A national, semantic-driven, three-pillar strategy to enable health data secondary usage interoperability for research within the swiss personalized health network: Methodological study," *JMIR Med.*

- Inform., vol. 9, no. 6, Jun. 2021, doi: 10.2196/27591.
- C. N. Vorisek et al., “Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) for Interoperability in Health Research: Systematic Review,” *JMIR Med. Inform.*, vol. 10, no. 7, Jul. 2022, doi: 10.2196/35724.
- C. Unal and H. Yildirim, “A study on physicians’ perceptions of privacy in the context of the e-Nabiz (e-Pulse) in the Turkish healthcare system,” *Sci. Rep.*, May 2026, doi: 10.1038/s41598-026-53539-8.
- D. C. Kaelber and D. W. Bates, “Health information exchange and patient safety,” *J. Biomed. Inform.*, vol. 40, no. 6 SUPPL., Dec. 2007, doi: 10.1016/j.jbi.2007.08.011.
- D. G. Chakravarthy, R. Gopi, S. Murugan, and E. R. Joseph, “Enhancing confidentiality and access control in electronic health record systems using a hybrid hashing blockchain framework,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-13831-5.
- D. Osamika et al., “A Critical Review of Health Data Interoperability Standards: FHIR, HL7, and Beyond”.
- G. Vial, “JOURNAL OF STRATEGIC INFORMATION SYSTEMS REVIEW Manuscript title: Understanding digital transformation: A review and a research agenda,” 2019.
- H. A. Lee et al., “Implementing a Cross-Border Next-Generation Personal Health Record in the Philippines and Taiwan: An Implementation Case Report Using Health Level 7 International Fast Healthcare Interoperability Resources,” *JMIR Form. Res.*, vol. 9, 2025, doi: 10.2196/56272.
- I. N. Rachmania, G. Yudoko, M. H. Basri, and S. Novani, “Systemic digital co-creation framework for unified electronic health record implementation: A case study in Indonesia,” *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 12, no. 1, Mar. 2026, doi: 10.1016/j.joitmc.2026.100743.
- K. H. Goh et al., “The Benefits of Integrating Electronic Medical Record Systems Between Primary and Specialist Care Institutions: Mixed Methods Cohort Study,” *J. Med. Internet Res.*, vol. 27, 2025, doi: 10.2196/49363.
- W. Robert et al., “A Comprehensive Review on Cryptographic Techniques for Securing Internet of Medical Things: A State-of-the-Art, Applications, Security Attacks, Mitigation Measures, and Future Research Direction,” Dec. 15, 2024, Mesopotamian Academic Press. doi: 10.58496/MJAIH/2024/016.
- Y. L. Lee, H. A. Lee, C. Y. Hsu, H. H. Kung, and H. W. Chiu, “Implement an international interoperable phr by fhir—a taiwan innovative application,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 1, pp. 1–17, Jan. 2021, doi: 10.3390/su13010198.