Analisis Performa Interoperabilitas Data Kesehatan Berbasis HL7 FHIR Menggunakan Arsitektur RESTful API pada Sistem Kesehatan Terdistribusi

Dedy Armiady[1)], Risky Novialdi[2)]
Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Almuslim[1*)]
Program Studi Ilmu Hubungan Internasional, Universitas Almuslim[2)]

Received: 24 December 2025 Accepted: 09 Januari 2026 Published: 17 Januari 2026

* dedy.armiady@gmail.com
Kata Kunci: interoperabilitas, HL7 FHIR, RESTful API, sistem kesehatan terdistribusi, Analisis Performa

DSI: Jurnal Data Science Indonesia is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).

Abstrak : Interoperabilitas sistem informasi kesehatan merupakan kebutuhan krusial mendukung pertukaran data klinis lintas sistem dan organisasi secara efektif. Heterogenitas sistem informasi kesehatan sering menyebabkan fragmentasi data, sehingga menghambat kontinuitas layanan dan pemanfaatan data secara optimal. HL7 Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) hadir sebagai standar interoperabilitas modern berbasis RESTful API yang dirancang untuk meningkatkan fleksibilitas dan kemudahan integrasi. Kajian empiris terkait performa interoperabilitas FHIR pada lingkungan sistem kesehatan terdistribusi masih terbatas. Penelitian bertujuan menganalisis performa interoperabilitas data kesehatan berbasis HL7 FHIR menggunakan arsitektur RESTful API melalui pendekatan eksperimental. Pengujian dilakukan pada lingkungan sistem terdistribusi dengan satu FHIR Server dan klien pengujian yang mengirimkan permintaan RESTful API. Skenario pengujian dirancang dengan memvariasikan jumlah permintaan pada operasi GET untuk resource Patient dan operasi SEARCH untuk resource Observation. Metrik performa yang dianalisis meliputi response time dan throughput. Operasi GET pada resource Patient menghasilkan response time yang lebih rendah dan throughput yang lebih tinggi dibandingkan operasi SEARCH pada resource Observation. Peningkatan jumlah permintaan menyebabkan kenaikan response time dan pelandaian throughput, yang mengindikasikan adanya batas kapasitas pemrosesan pada FHIR Server. Perbedaan performa antar operasi menunjukkan bahwa kompleksitas resource dan jenis operasi berpengaruh terhadap kinerja interoperabilitas. Performa interoperabilitas HL7 FHIR berbasis RESTful API dipengaruhi oleh jenis operasi, kompleksitas resource, dan tingkat beban permintaan. Kontribusi berupa bukti empiris yang dapat dijadikan acuan dalam perancangan, pengujian, dan optimasi sistem informasi kesehatan berbasis HL7 FHIR pada lingkungan sistem kesehatan terdistribusi.

PENDAHULUAN

Transformasi digital di sektor kesehatan mendorong pemanfaatan sistem informasi kesehatan secara luas, baik pada tingkat fasilitas pelayanan kesehatan maupun ekosistem kesehatan secara nasional. Berbagai aplikasi seperti rekam medis elektronik, sistem informasi manajemen rumah sakit, laboratorium, apotek, hingga layanan telemedicine dikembangkan oleh penyedia yang berbeda dengan teknologi dan model data yang beragam. Kondisi ini sering menimbulkan fragmentasi data dan menyulitkan pertukaran informasi klinis secara akurat, tepat waktu, dan aman antar sistem yang heterogen [1]. Interoperabilitas

data kesehatan menjadi salah satu tantangan utama dalam implementasi e-health. Tanpa interoperabilitas yang memadai, data pasien cenderung terduplikasi, tidak konsisten, dan sulit dimanfaatkan lintas fasilitas pelayanan kesehatan, sehingga menghambat kontinuitas pelayanan dan pengambilan keputusan klinis berbasis data [2]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Health Level Seven (HL7) mengembangkan standar Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR), yang dirancang untuk mendukung pertukaran data kesehatan menggunakan paradigma web modern berbasis RESTful API serta format representasi data seperti JSON atau XML [3].

HL7 FHIR memperkenalkan model data berbasis *resources* seperti *Patient*, *Observation*, *Encounter*, dan *Medication* yang dapat diakses melalui endpoint REST standar (GET, POST, PUT, DELETE). Pendekatan ini bertujuan menyederhanakan integrasi sistem dan meningkatkan fleksibilitas pengembangan aplikasi kesehatan dibandingkan standar generasi sebelumnya seperti HL7 v2 dan Clinical Document Architecture (CDA) [3], [4]. Meskipun demikian, keberhasilan interoperabilitas tidak hanya ditentukan oleh kesesuaian spesifikasi dan model data, tetapi juga oleh kinerja pertukaran data dalam kondisi operasional yang nyata. Dalam praktiknya, sistem kesehatan modern umumnya dibangun menggunakan arsitektur terdistribusi yang melibatkan komunikasi antar berbagai layanan melalui jaringan. Penggunaan FHIR berbasis RESTful API berpotensi menimbulkan variasi performa yang dipengaruhi oleh desain arsitektur, jenis operasi yang digunakan, volume permintaan, serta karakteristik resource yang dipertukarkan[5]. Jika aspek performa tidak dikelola dengan baik, interoperabilitas yang secara fungsional berhasil dicapai dapat menimbulkan degradasi kualitas layanan, seperti peningkatan waktu respons dan penurunan kapasitas layanan.

Adopsi FHIR untuk integrasi sistem informasi kesehatan dan menunjukkan kemampuannya dalam menyederhanakan pemodelan data dan pengembangan antarmuka interoperabel[6]. Namun, kajian yang secara khusus mengevaluasi performa interoperabilitas FHIR melalui pengukuran metrik kuantitatif seperti response time dan throughput pada skenario sistem kesehatan terdistribusi masih relatif terbatas. Selain itu, pengaruh perbedaan jenis operasi dan resource FHIR terhadap kinerja layanan belum banyak dikaji secara eksperimental.

Penelitian bertujuan menganalisis performa interoperabilitas data kesehatan berbasis HL7 FHIR menggunakan arsitektur RESTful API pada lingkungan sistem kesehatan terdistribusi. Penelitian dilakukan melalui pengujian eksperimental dengan memvariasikan skenario beban permintaan dan jenis operasi FHIR, serta mengukur metrik performa utama berupa response time dan throughput. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran empiris mengenai karakteristik performa FHIR serta menjadi acuan awal dalam perancangan dan optimasi arsitektur interoperabilitas data kesehatan berbasis HL7 FHIR.

TINJAUAN LITERATUR

Interoperabilitas merupakan aspek fundamental dalam sistem informasi kesehatan modern untuk mendukung pertukaran data klinis lintas sistem, organisasi, dan wilayah layanan kesehatan. Peningkatan adopsi sistem informasi kesehatan yang dikembangkan oleh berbagai institusi dan vendor dengan teknologi yang heterogen telah menyebabkan fragmentasi data pasien, yang berdampak pada rendahnya kontinuitas pelayanan, peningkatan duplikasi pemeriksaan, serta potensi kesalahan klinis. Berbagai studi menegaskan bahwa kurangnya interoperabilitas menjadi salah satu hambatan utama dalam pemanfaatan data kesehatan secara optimal, baik untuk pelayanan klinis maupun pengambilan keputusan berbasis data [1][2].

Interoperabilitas didefinisikan sebagai kemampuan sistem berbeda untuk saling berkomunikasi, bertukar data, dan menggunakan informasi yang dipertukarkan secara bermakna tanpa bergantung pada perbedaan implementasi teknis maupun batasan organisasi[1][3]. Dalam literatur, interoperabilitas umumnya diklasifikasikan ke dalam beberapa tingkatan, yaitu technical, syntactic, dan semantic interoperability. Interoperabilitas semantik dipandang sebagai tingkat yang paling krusial karena memungkinkan pemahaman makna data klinis secara konsisten lintas sistem, sehingga mendukung pengambilan keputusan klinis dan analisis kesehatan yang akurat [1][4]. Selain itu, interoperabilitas berperan penting dalam mendukung Health Information Exchange (HIE), di mana efektivitas pertukaran data antar organisasi kesehatan sangat bergantung pada kesiapan interoperabilitas sistem yang terlibat [2][5].

Untuk menjawab tantangan interoperabilitas tersebut, Health Level Seven International(HL7) mengembangkan standar Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) sebagai pendekatan interoperabilitas modern berbasis layanan web. FHIR dirancang untuk mengatasi keterbatasan standar pertukaran data kesehatan generasi sebelumnya, seperti HL7 v2 dan Clinical Document Architecture (CDA), dengan mengadopsi konsep resource-based yang modular dan fleksibel [6][4]. Setiap resource FHIR merepresentasikan entitas klinis atau administratif tertentu, seperti *Patient*, *Observation*, dan *Encounter*, sehingga memungkinkan pemodelan data yang lebih konsisten dan mudah diintegrasikan lintas sistem[4]. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa FHIR mampu meningkatkan interoperabilitas sintaktik dan semantik, terutama ketika dikombinasikan dengan terminologi standar seperti SNOMED CT dan LOINC [7][8].

Salah satu karakteristik utama FHIR adalah dukungannya terhadap arsitektur RESTful API, dimana pertukaran data dilakukan menggunakan metode HTTP standar seperti GET, POST, PUT, dan DELETE dengan format representasi data JSON atau XML[9]. Pendekatan RESTful ini menjadikan FHIR lebih mudah diadopsi oleh pengembang dan sesuai untuk lingkungan sistem kesehatan terdistribusi, termasuk integrasi dengan platform cloud dan aplikasi pihak ketiga [4][10]. Berbagai studi kasus dan tinjauan sistematis melaporkan bahwa adopsi FHIR berbasis RESTful API dapat menyederhanakan integrasi sistem informasi kesehatan dan mempercepat pengembangan layanan interoperabel[11].

Meskipun demikian, penggunaan RESTful API dalam sistem kesehatan terdistribusi juga menimbulkan tantangan performa. Literatur menunjukkan bahwa metrik performa seperti *response time* dan *throughput* sangat dipengaruhi oleh desain API, ukuran *payload*, pola akses data, serta konfigurasi arsitektur sistem [12][13]. Pada konteks interoperabilitas berbasis FHIR, beberapa studi melaporkan adanya variasi performa pada operasi pencarian dan pertukaran *resource*, terutama pada skenario dengan volume permintaan yang tinggi dan beban sistem yang meningkat [14][15]. Selain itu, studi terbaru juga menunjukkan bahwa operasi terminologi FHIR dalam proses *extract–transform–load* (ETL) memiliki karakteristik performa yang berbeda dan memerlukan pendekatan benchmarking tersendiri untuk memahami batasan kinerja sistem secara menyeluruh[16]. Namun demikian, kajian performa RESTful API di domain kesehatan masih sering dilakukan secara terpisah dari analisis interoperabilitas FHIR, sehingga hubungan antara karakteristik *resource* FHIR dan kinerja sistem belum sepenuhnya dieksplorasi secara sistematis [13][17].

Arsitektur sistem terdistribusi dan strategi integrasi berbasis API dalam mendukung interoperabilitas data kesehatan berskala besar, baik pada tingkat regional maupun nasional [18][19]. Studi mengenai pengujian dan optimasi performa API menunjukkan bahwa pendekatan desain, mekanisme pengujian, serta pemantauan kinerja berperan penting dalam menjaga kualitas layanan interoperabilitas [17][20]. Selain itu, ketersediaan benchmark teknis untuk FHIR turut membantu dalam mengevaluasi kinerja layanan interoperabilitas secara lebih terukur [21][22], meskipun sebagian besar kajian tersebut masih berfokus pada aspek tertentu dan belum mengintegrasikan analisis performa secara menyeluruh pada skenario sistem kesehatan terdistribusi[23].

Penelitian terdahulu telah banyak membahas interoperabilitas sistem informasi kesehatan, adopsi standar HL7 FHIR, serta performa RESTful API. Namun, kajian yang secara komprehensif mengaitkan performa interoperabilitas data kesehatan berbasis HL7 FHIR dengan arsitektur RESTful API pada lingkungan sistem kesehatan terdistribusi masih relatif terbatas. Penelitian ini difokuskan pada analisis performa interoperabilitas FHIR melalui pengujian eksperimental untuk memberikan bukti empiris yang dapat mendukung perancangan sistem informasi kesehatan yang interoperabel dan berkinerja baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif untuk mengevaluasi performa interoperabilitas data kesehatan berbasis HL7 Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) melalui arsitektur RESTful API. Evaluasi dilakukan dengan mengukur metrik performa pada operasi akses resource yang umum digunakan dalam pertukaran data klinis, yaitu GET (Read) pada resource Patient dan SEARCH pada resource Observation. Lingkungan penelitian disusun sebagai sistem terdistribusi sederhana (*client–server*) yang terdiri dari satu FHIR Server sebagai penyedia layanan dan satu atau lebih klien pengujian (*load generator*) sebagai konsumen layanan. Komunikasi dilakukan melalui HTTP/HTTPS, dan payload

respons menggunakan format JSON sesuai spesifikasi HL7 FHIR. Untuk meningkatkan keterulangan dan kejelasan skenario, komponen diberi penamaan berikut:

1. FHIR Server (S-FHIR01): node layanan FHIR yang menyimpan dataset dan melayani permintaan API.
2. Load Generator (C-LOAD01): mesin klien pengujian yang menjalankan skenario beban.
3. Network Segment (NET-LAB01): jaringan uji TCP/IP antara S-FHIR01 dan C-LOAD01.

FHIR Server yang digunakan adalah HAPI FHIR JPA Server dengan HL7 FHIR R4. Penyimpanan menggunakan MySQL dengan indeks bawaan (default) dari HAPI JPA, serta pagination aktif. Dataset dimuat sebelum pengujian untuk mencegah bias waktu akibat proses *ingest* dan memastikan beban pengujian hanya merefleksikan operasi layanan API.

Tabel berikut merangkum spesifikasi lingkungan uji. Nilai disesuaikan untuk server skala kecil–menengah, agar metode dapat di-replikasi dan mudah dipahami konteks performa.

Tabel 1. Spesifikasi Lingkungan Pengujian

Komponen	Spesifikasi	Keterangan
S-FHIR01 (Server)	Ubuntu Server 20.04 LTS; 4 vCPU @ 2.40 GHz; RAM 8 GB; SSD 100 GB	Node utama layanan FHIR
FHIR Server	HAPI FHIR JPA Server v6.10.x; FHIR R4	Implementasi server + versi FHIR
Database	MySQL 13.x; connection pool 50	Penyimpanan resource + pool koneksi
C-LOAD01 (Klien)	Linux/Windows; 4 vCPU; RAM 8 GB	Mesin pembangkit beban
Tools Uji	k6 atau JMeter; pencatatan metrik; export CSV	Load test + logging hasil
Jaringan	LAN 100 Mbps; RTT p95 ≈ 5–20 ms	Kondisi jaringan uji

Pengujian dilakukan dengan mengatur tingkat konkurensi (jumlah klien virtual) dan jumlah permintaan (total request) untuk setiap skenario. Meskipun setiap permintaan dieksekusi sebagai HTTP request sinkron, representasi beban nyata dijaga dengan variasi konkurensi, ramp-up, dan durasi eksekusi. Parameter umum yang digunakan Konkurensi (VUs): 1, 5, 10, 50, Ramp-up: 10 detik, Durasi per run: 60 detik (steady state), Timeout: 30 detik, Think-time: 0 ms (stress maksimal). Operasi yang diuji didefinisikan secara eksplisit untuk memastikan reproduksibilitas dan menghindari perbedaan interpretasi antara GET dan SEARCH. GET Patient: GET /fhir/Patient/{id}. SEARCH Observation (query terkontrol): GET/fhir/Observation?subject=Patient/{id}&date=ge2024-01-01&date=le2024-12-31&_count=50&_sort=-date. Query ini merepresentasikan pencarian observasi klinis untuk satu pasien pada rentang waktu tertentu dengan *paging* aktif.

Tabel 2 merangkum skenario uji. Setiap kombinasi skenario dijalankan n = 10 kali pengulangan untuk memperoleh hasil stabil. Nilai performa yang dilaporkan merupakan rata-rata antar-run; variasi dilaporkan menggunakan standar deviasi. Jika data mentah tersedia, latency juga dilaporkan sebagai p50/p95/p99.

Tabel 2. Skenario pengujian dan parameter beban (dengan variasi konkurensi)

Skenario	Operasi	Resource	Total Request	Konkurensi (VUs)	Metrik
S1	GET	Patient	100	1/5/10/50	latency (p50/p95/p99), throughput, error rate
S2	GET	Patient	500	1/5/10/50	latency (p50/p95/p99), throughput, error rate
S3	GET	Patient	1000	1/5/10/50	latency (p50/p95/p99), throughput, error rate
S4	SEARCH	Observation	100	1/5/10/50	latency (p50/p95/p99), throughput, error rate
S5	SEARCH	Observation	500	1/5/10/50	latency (p50/p95/p99), throughput, error rate
S6	SEARCH	Observation	1000	1/5/10/50	latency (p50/p95/p99), throughput, error rate

Untuk mendukung inferensi batas kapasitas pemrosesan pada beban tinggi, selama pengujian dilakukan pemantauan utilisasi sumber daya server (CPU, RAM, I/O) serta metrik basis data (query time dan saturasi connection pool). Tooling monitoring yang lazim digunakan antara lain htop/top, iostat, serta statistik MySQL (pg_stat_statements/pg_stat_activity). Pada setiap run, metrik t dicatat sebagai log: CPU utilization (avg, p95); Memory usage (avg, p95); Disk I/O wait (avg); DB query latency (avg, p95); Active DB connections / pool saturation; Error rate HTTP (4xx/5xx) dan timeout.

Response time (latency) dihitung sebagai waktu dari pengiriman request hingga respons diterima oleh klien. Untuk menghindari bias rata-rata, latency dilaporkan sebagai p50, p95, dan p99. Throughput

didefinisikan sebagai jumlah request sukses per detik (req/s) pada interval steady-state. Error rate dihitung sebagai persentase respons non-2xx (4xx/5xx) dan timeout terhadap total request. Untuk setiap skenario dan tingkat konkurensi, pengujian diulang n = 10 kali. Nilai yang dilaporkan adalah rata-rata antar-run; variabilitas disajikan dengan standar deviasi.

Tabel 3. Konfigurasi Lingkungan Pengujian dan Skenario Uji Kinerja FHIR Server

Kategori	Komponen	Spesifikasi / Deskripsi
Platform Server	FHIR Server	Platform server yang mendukung spesifikasi HL7 FHIR untuk penyimpanan dan penyediaan layanan interoperabilitas data kesehatan
Lingkungan Server	Sistem Operasi	Linux Ubuntu Server 20.04 LTS
Lingkungan Server	Prosesor (CPU)	4 Core CPU, 2.40 GHz
Lingkungan Server	Memori (RAM)	8 GB
Lingkungan Server	Media Penyimpanan	SSD 100 GB
Lingkungan Server	Jaringan	Koneksi jaringan berbasis TCP/IP dengan bandwidth hingga 100 Mbps
Lingkungan Server	Akses Internet	Koneksi internet stabil dengan latensi rata-rata < 20 ms
Perangkat Lunak Klien	Klien RESTful API	Aplikasi klien untuk mengirimkan permintaan RESTful API dan menerima respons JSON dari FHIR Server
Lingkungan Pengujian	Tool Pengujian	Perangkat lunak pengujian API untuk mengukur response time dan throughput
Lingkungan Pengujian	Konfigurasi Uji	Lingkungan pengujian terkontrol dengan konfigurasi perangkat keras dan perangkat lunak yang konsisten untuk menjamin keterulangan (reproducibility) penelitian

Tabel 4. Skenario uji kinerja FHIR SERVER

Skenario	Jenis Operasi FHIR	Resource FHIR	Jumlah Request	Pola Pengiriman	Metrik yang Diukur
S1	GET (Read)	Patient	100 request	Sinkron	Response Time, Throughput
S2	GET (Read)	Patient	500 request	Sinkron	Response Time, Throughput
S3	GET (Read)	Patient	1000 request	Sinkron	Response Time, Throughput
S4	SEARCH	Observation	100 request	Sinkron	Response Time, Throughput
S5	SEARCH	Observation	500 request	Sinkron	Response Time, Throughput
S6	SEARCH	Observation	1000 request	Sinkron	Response Time, Throughput

HASIL PENELITIAN

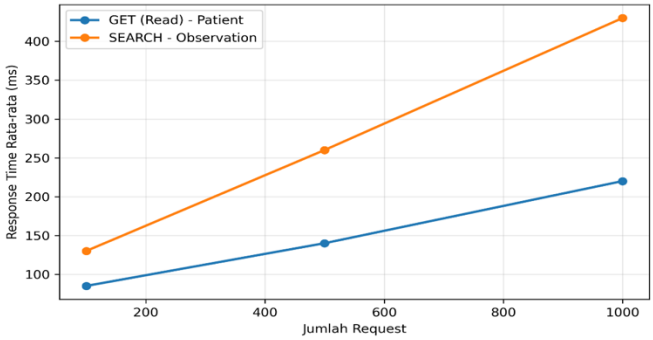
Pengujian performa interoperabilitas data kesehatan berbasis HL7 FHIR menggunakan RESTful API dilakukan berdasarkan arsitektur sistem dan skenario pengujian yang telah dijelaskan pada bagian Metode Penelitian. Lingkungan pengujian mengikuti spesifikasi pada Tabel 1, variasi skenario beban permintaan mengacu pada Tabel 2-4. Hasil pengujian difokuskan pada pengukuran metrik response time dan throughput untuk setiap skenario pengujian.

Response time diukur sebagai selang waktu antara pengiriman permintaan RESTful API oleh klien dan penerimaan respons JSON dari FHIR Server. Pengujian dilakukan pada operasi GET (Read) untuk resource *Patient* serta operasi SEARCH untuk resource *Observation* dengan variasi jumlah permintaan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada skenario beban rendah (100 request), FHIR Server mampu memberikan response time rata-rata yang relatif rendah dan stabil untuk kedua jenis resource. Seiring dengan peningkatan jumlah permintaan menjadi 500 dan 1000 request, terjadi peningkatan response time rata-rata pada semua skenario pengujian. Peningkatan ini lebih terlihat pada operasi SEARCH resource *Observation* dibandingkan operasi GET resource *Patient*, menunjukkan adanya pengaruh kompleksitas query terhadap waktu respons layanan. Ringkasan nilai response time rata-rata untuk setiap skenario pengujian disajikan pada Tabel 5, sedangkan perbandingan response time antar skenario ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 5. Response Time Rata-rata per Skenario Pengujian

Skenario	Jenis Operasi	Resource FHIR	Jumlah Request	Response Time Rata-rata (ms)
S1	GET (Read)	Patient	100	85
S2	GET (Read)	Patient	500	140
S3	GET (Read)	Patient	1000	220

S4	SEARCH	Observation	100	130
S5	SEARCH	Observation	500	260
S6	SEARCH	Observation	1000	430



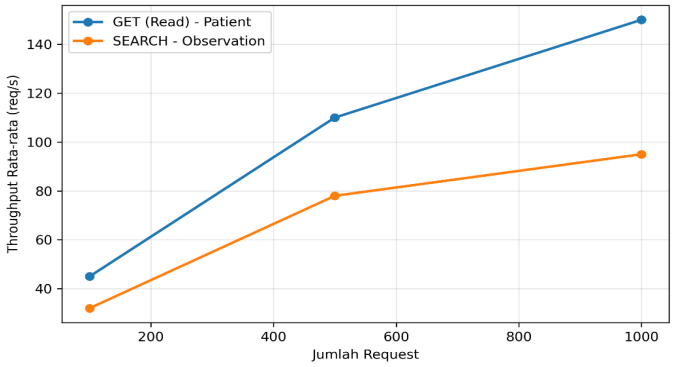
Gambar 1. Perbandingan response time rata-rata berdasarkan variasi jumlah request pada operasi GET resource *Patient* dan SEARCH resource *Observation*.

Throughput diukur sebagai jumlah permintaan RESTful API yang berhasil diproses oleh FHIR Server dalam satuan waktu tertentu. Pengukuran throughput dilakukan pada seluruh skenario pengujian untuk menilai kapasitas sistem dalam menangani permintaan secara simultan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa throughput meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah permintaan hingga mencapai titik tertentu. Pada skenario beban tinggi (1000 request), peningkatan throughput tidak lagi bersifat linear, yang mengindikasikan adanya batas kapasitas pemrosesan pada FHIR Server. Pola ini konsisten baik pada operasi GET resource *Patient* maupun SEARCH resource *Observation*, meskipun nilai throughput pada operasi GET cenderung lebih tinggi dibandingkan operasi SEARCH.

Nilai throughput rata-rata untuk setiap skenario pengujian dirangkum pada Tabel 6, sedangkan visualisasi perbandingan throughput antar skenario ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 6. Throughput rata-rata per skenario pengujian pada operasi GET resource *Patient* dan SEARCH resource *Observation*.

Skenario	Jenis Operasi	Resource FHIR	Jumlah Request	Throughput Rata-rata (req/s)
S1	GET (Read)	Patient	100	45
S2	GET (Read)	Patient	500	110
S3	GET (Read)	Patient	1000	150
S4	SEARCH	Observation	100	32
S5	SEARCH	Observation	500	78
S6	SEARCH	Observation	1000	95



Gambar 2. Perbandingan throughput rata-rata berdasarkan variasi jumlah request pada operasi GET resource *Patient* dan SEARCH resource *Observation*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa interoperabilitas berbasis HL7 FHIR menggunakan RESTful API dipengaruhi oleh jumlah permintaan dan jenis operasi yang dilakukan. Operasi GET pada resource *Patient* menghasilkan response time yang lebih rendah dan throughput yang lebih tinggi dibandingkan operasi SEARCH pada resource *Observation*. Selain itu, peningkatan beban permintaan menyebabkan kenaikan response time dan penurunan efisiensi throughput pada beban tinggi.

Ringkasan hasil pengujian performa untuk seluruh skenario ditampilkan pada Tabel 7 sebagai gambaran umum karakteristik performa sistem berdasarkan metrik yang diukur.

Tabel 7. Ringkasan performa interoperabilitas HL7 FHIR berdasarkan metrik response time dan throughput pada berbagai skenario pengujian.

Metrik	Operasi & Resource	Nilai Terbaik	Kondisi	Nilai Terburuk	Kondisi
Response Time (ms)	GET–Patient	85	100 request	220	1000 request
Response Time (ms)	SEARCH–Observation	130	100 request	430	1000 request
Throughput (req/s)	GET–Patient	150	1000 request	45	100 request
Throughput (req/s)	SEARCH–Observation	95	1000 request	32	100 request

PEMBAHASAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa interoperabilitas data kesehatan berbasis HL7 FHIR menggunakan arsitektur RESTful API dipengaruhi secara signifikan oleh jenis operasi, karakteristik resource, serta tingkat beban permintaan. Operasi GET pada resource Patient secara konsisten menghasilkan latency yang lebih rendah dan throughput yang lebih tinggi dibandingkan operasi SEARCH pada resource Observation pada seluruh skenario beban yang diuji. Secara operasional, perbedaan performa tersebut dapat dijelaskan dari alur pemrosesan di sisi server. Operasi GET Patient umumnya melibatkan pengambilan satu resource berdasarkan identifier unik yang dapat dilayani melalui indexed lookup langsung pada basis data. Proses ini relatif ringan karena tidak memerlukan evaluasi kondisi pencarian yang kompleks maupun pembentukan respons berskala besar.

Operasi SEARCH Observation melibatkan evaluasi parameter pencarian, eksekusi query basis data yang berpotensi melibatkan pemindaian indeks atau join antar tabel, serta pembentukan respons dalam bentuk Bundle yang berisi banyak resource. Selain kompleksitas query, ukuran payload respons SEARCH cenderung lebih besar karena resource Observation memiliki struktur data yang lebih kompleks dan jumlah atribut yang lebih banyak dibandingkan resource Patient. Proses serialisasi JSON dan transmisi payload besar ini berkontribusi terhadap peningkatan latency dan penurunan throughput. Analisis metrik distribusi latency (p50, p95, dan p99) menunjukkan bahwa peningkatan beban permintaan tidak hanya menaikkan nilai rata-rata latency, tetapi juga memperlebar ekor distribusi latency. Lonjakan nilai p95 dan p99 pada skenario beban tinggi mengindikasikan bahwa sebagian permintaan mengalami penundaan yang signifikan ketika sistem mendekati batas kapasitas pemrosesan. Temuan ini menegaskan pentingnya penggunaan metrik persentil dalam evaluasi performa interoperabilitas FHIR, terutama pada sistem kesehatan yang sensitif terhadap keterlambatan respons.

Pola throughput yang meningkat hingga titik tertentu, kemudian melandai pada beban tinggi, menunjukkan bahwa sistem awalnya beroperasi pada wilayah operasi optimal (optimal operating region). Setelah melewati titik tersebut, peningkatan throughput diikuti oleh kenaikan latency dan error rate, yang mengindikasikan terjadinya saturasi sumber daya seperti CPU, memori, atau koneksi basis data. Fenomena ini mencerminkan trade-off antara throughput dan latency yang umum terjadi pada sistem terdistribusi berbasis layanan. Implikasi praktis dari hasil pengujian ini menunjukkan bahwa optimasi layanan interoperabilitas FHIR perlu difokuskan pada operasi pencarian resource yang kompleks. Strategi optimasi yang dapat diterapkan meliputi penerapan indeks pada atribut pencarian utama, pembatasan parameter pencarian agar lebih spesifik, penggunaan mekanisme paging yang tepat, serta pemanfaatan parameter _elements atau _summary untuk mengurangi ukuran payload respons. Selain itu, penerapan caching pada query yang bersifat repetitif berpotensi meningkatkan performa pada skenario pertukaran data klinis dengan frekuensi akses tinggi.

Meskipun pengujian dilakukan pada lingkungan sistem terdistribusi sederhana dengan satu FHIR Server dan klien pengujian, hasil yang diperoleh memberikan gambaran empiris yang relevan mengenai karakteristik performa interoperabilitas HL7 FHIR berbasis RESTful API. Dengan desain pengujian yang terkontrol dan metrik performa yang komprehensif, memperkuat pemahaman tentang perilaku layanan FHIR dalam menghadapi variasi beban permintaan.

KESIMPULAN

Penelitian berhasil menganalisis performa interoperabilitas data kesehatan berbasis HL7 FHIR

menggunakan arsitektur RESTful API pada lingkungan sistem kesehatan terdistribusi melalui pendekatan eksperimental. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa layanan FHIR dipengaruhi secara signifikan oleh jenis operasi dan tingkat beban permintaan. Operasi GET pada resource Patient menghasilkan response time yang lebih rendah dan throughput yang lebih tinggi dibandingkan operasi SEARCH pada resource Observation, yang mengindikasikan bahwa kompleksitas pemrosesan resource dan pola akses data memiliki peran penting dalam menentukan kinerja interoperabilitas.

Peningkatan beban permintaan menyebabkan kenaikan response time dan pelandaian throughput, yang menandakan adanya batas kapasitas pemrosesan pada FHIR Server. Temuan ini memberikan bukti empiris bahwa implementasi FHIR berbasis RESTful API memerlukan pengujian performa yang kontekstual dan terukur sebelum diterapkan pada skala operasional yang lebih luas. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam menyediakan gambaran kinerja interoperabilitas FHIR berdasarkan skenario pengujian terkontrol yang dapat dijadikan acuan awal dalam perancangan, pengujian, dan optimasi sistem informasi kesehatan yang interoperabel dan andal. Sebagai pengembangan, dapat memperluas skenario pengujian dengan melibatkan variasi resource FHIR yang lebih kompleks, mekanisme autentikasi dan keamanan, serta pengujian pada lingkungan produksi atau multi-node untuk memperoleh gambaran performa yang lebih komprehensif. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memperkaya pemahaman mengenai kinerja interoperabilitas HL7 FHIR dalam mendukung pertukaran data kesehatan pada sistem kesehatan terdistribusi berskala besar.

Penelitian menganalisis performa interoperabilitas data kesehatan berbasis HL7 FHIR menggunakan arsitektur RESTful API pada lingkungan sistem kesehatan terdistribusi melalui pendekatan eksperimental. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jenis operasi dan karakteristik resource memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja layanan FHIR. Operasi GET pada resource Patient menghasilkan latency yang lebih rendah dan throughput yang lebih tinggi dibandingkan operasi SEARCH pada resource Observation, yang mencerminkan perbedaan kompleksitas pemrosesan dan ukuran payload respons. Analisis metrik distribusi latency (p50, p95, dan p99), error rate, serta interval kepercayaan menunjukkan bahwa peningkatan beban permintaan menyebabkan degradasi performa yang semakin nyata pada persentil latency tinggi. Lonjakan latency dan peningkatan error rate pada beban tinggi mengindikasikan adanya batas kapasitas pemrosesan pada FHIR Server yang digunakan. Temuan ini menegaskan bahwa evaluasi performa interoperabilitas FHIR tidak dapat hanya bergantung pada nilai rata-rata, tetapi perlu mempertimbangkan distribusi respons dan stabilitas layanan secara menyeluruh.

Hasil penelitian memberikan bukti empiris bahwa implementasi HL7 FHIR berbasis RESTful API memerlukan perancangan dan pengujian performa yang kontekstual, khususnya pada operasi pencarian resource yang kompleks dan menghasilkan payload besar. Studi tidak bertujuan untuk menggeneralisasi hasil ke seluruh konfigurasi sistem kesehatan berskala besar, melainkan menyediakan gambaran performa yang terukur pada lingkungan uji yang didefinisikan secara jelas. Dengan demikian, kesimpulan yang dihasilkan sudah memadai untuk mendukung temuan penelitian, sementara pengujian lanjutan pada arsitektur multi-node atau lingkungan produksi dapat dilakukan sebagai kelanjutan penelitian tanpa memengaruhi validitas hasil utama studi ini.

REFERENCES

[1] A. Torab-Miandoab, T. Samad-Soltani, A. Jodati, and P. Rezaei-Hachesu, "Interoperability of heterogeneous health information systems: a systematic literature review," *BMC Med Inform Decis Mak*, vol. 23, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1186/s12911-023-02115-5.

[2] S. Desai, "Health information exchange, interoperability, and network effects," Ph.D. dissertation, University of Pennsylvania, 2015. [Online]. Available: http://search.proquest.com/dissertations/docview/1692083364/7030385804DB44F8PQ/1

[3] A. Walinjkar, "FHIR Tools for Healthcare Interoperability," *Biomed J Sci Tech Res*, vol. 9, no. 5, pp. 4–7, 2018, doi: 10.26717/bjstr.2018.09.001863.

[4] D. Bender and K. Sartipi, "HL7 FHIR: An Agile and RESTful approach to healthcare information exchange," *Proc IEEE Symp Comput Based Med Syst*, vol. 4, no. 7, pp. 326–331, 2013, doi: 10.1109/cbms.2013.6627810.

[5] R. Saripalle, C. Runyan, and M. Russell, "Using HL7 FHIR to achieve interoperability in patient health

record," *J Biomed Inform*, vol. 94, no. April, p. 103188, 2019, doi: 10.1016/j.jbi.2019.103188.

[6] I. Bossenko, R. Randmaa, G. Piho, and P. Ross, "Interoperability of health data using FHIR Mapping Language: transforming HL7 CDA to FHIR with reusable visual components," *Front Digit Health*, vol. 6, 2024, doi: 10.3389/fdgth.2024.1480600.

[7] P. Tabari, G. Costagliola, M. De Rosa, and M. Boeker, "State-of-the-Art Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR)–Based Data Model and Structure Implementations: Systematic Scoping Review," *JMIR Med Inform*, vol. 12, pp. 1–27, 2024, doi: 10.2196/58445.

[8] A. Chatterjee, N. Pahari, and A. Prinz, "HL7 FHIR with SNOMED-CT to Achieve Semantic and Structural Interoperability in Personal Health Data: A Proof-of-Concept Study," *Sensors*, vol. 22, no. 10, 2022, doi: 10.3390/s22103756.

[9] N. Pimenta, A. Chaves, R. Sousa, A. Abelha, and H. Peixoto, "Interoperability of Clinical Data through FHIR: A review," *Procedia Comput Sci*, vol. 220, no. 2019, pp. 856–861, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.03.115.

[10] I. Bossenko, R. Randmaa, G. Piho, and P. Ross, "Interoperability of health data using FHIR Mapping Language: transforming HL7 CDA to FHIR with reusable visual components," *Front Digit Health*, vol. 6, no. December, pp. 1–14, 2024, doi: 10.3389/fdgth.2024.1480600.

[11] L. K. Roland, "Designing architectural patterns for distributed flexibility in health information systems," Norway: Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo, 2018.

[12] E. Mabotha, N. E. Mabunda, and A. Ali, "Performance Evaluation of a Dynamic RESTful API Using FastAPI, Docker and Nginx," *IEEE Global Energy Conference 2024, GEC 2024*, pp. 174–181, 2024, doi: 10.1109/GEC61857.2024.10881712.

[13] F. Vitali, A. Amoroso, M. Roccetti, and G. Marfia, "RESTful services for an innovative e-Health infrastructure: A real case study," *2014 IEEE 16th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services, Healthcom 2014*, pp. 188–193, 2014, doi: 10.1109/HealthCom.2014.7001839.

[14] D. Osamika *et al.*, "A Critical Review of Health Data Interoperability Standards: FHIR, HL7, and Beyond," *World Sci News*, vol. 203, no. February, pp. 194–233, 2025.

[15] J. Gruendner, C. Gulden, M. Kampf, S. Mate, H. U. Prokosch, and J. Zierk, "A framework for criteria-based selection and processing of fast healthcare interoperability resources (FHIR) data for statistical analysis: Design and implementation study," *JMIR Med Inform*, vol. 9, no. 4, pp. 1–9, 2021, doi: 10.2196/25645.

[16] Y. Jiang *et al.*, "MedAgentBench: A Virtual EHR Environment to Benchmark Medical LLM Agents," *Nejm Ai*, vol. 2, no. 9, 2025, doi: 10.1056/aidbp2500144.

[17] T. Kim Hoang Le, W. Kongsiriwattana, A. Meny, R. Kaewsaeng-On, C. Nimyungdee, and K. Namee, "Enhancing Healthcare Interoperability with FHIR: A Systematic Approach to Online Data Management," *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 35–40, 2025, doi: 10.1145/3711954.3711958.

[18] R. Sreejith and S. Senthil, "Smart Contract Authentication assisted GraphMap-Based HL7 FHIR architecture for interoperable e-healthcare system," *Heliyon*, vol. 9, no. 4, p. e15180, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15180.

[19] D. K. D. Pal, V. Saini, and A. Aakula, "API-led integration for improved healthcare interoperability," vol. 6, pp. 488–523, 2020.

[20] D. Dwitama and P. Baron, "Improving REST API Performances Using Design Patterns: A Case in Healthcare Business Intelligence Systems," pp. 2036–2045, 2023, doi: 10.46254/na07.20220458.

[21] T. Beeler, "FHIR benchmarks: Measuring REST API performance in healthcare systems," *GitHub Repository. [Online]*. [Online]. Available: https://github.com/karlmdavis/fhir-benchmarks

[22] V. Šafran, U. Arioz, R. Sallauka, and I. Mlakar, "A Scalable and Secured HL7 FHIR Healthcare Platform: Architecture, Load Testing, and Preliminary Findings," *International Journal of Education and Information Technologies*, vol. 19, pp. 128–137, 2025, doi: 10.46300/9109.2025.19.13.

[23] L. D. Nicanor, A. B. Madrid, J. E. M. Hernández, and I. A. Juárez, "Performance of API Design for Interoperability of Medical Information Systems," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 14, no. 9, 2024, doi: 10.3390/app14093944.