

Analisis perbandingan penyimpanan data rekam medis elektronik berstandar FHIR pada sistem basis data: BigchainDB, MySQL dan MongoDB.

Danang Kastowo^{*1} dan Suwanto Raharjo²

- 1 PT. Dua Empat Tujuh,
Jl. Cantel No 352 Baciro Gondokusuman Yogyakarta
danang.kastowo@labs247.id
- 2 Informatika,
Institut Sains & Teknologi AKPRIND
Jl. Kalisahak No.28 Kompleks Balapan, Yogyakarta 55222.
wa2n@akprind.ac.id

Abstrak

Ketersediaan data rekam medis dapat mempengaruhi pelayanan kesehatan yang diberikan, mulai dari perencanaan perawatan, terapi, serta fasilitas kesehatan yang diberikan kepada pasien. Integritas data rekam medis elektronik perlu dijaga, metode yang dapat digunakan dengan menerapkan sistem basis data desentralisasi, yakni menerapkan teknologi blockchain. Selain integritas data, standarisasi data juga perlu dilakukan pada area kesehatan, supaya memudahkan dalam proses pengintegrasian dengan sistem lain. Standar data internasional yang dapat digunakan adalah FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources). FHIR memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan di Indonesia, karena beberapa rumah sakit di Indonesia sudah memiliki sistem kesehatan dan data rekam medis elektronik. BigchainDB dan FHIR dapat dikombinasikan untuk menyimpan data rekam medis elektronik, hasil dari penelitian ini dengan menerapkan keduanya, sistem basis data BigchainDB memerlukan waktu proses yang lama, jika dibandingkan dengan MongoDB dan MySQL, tetapi untuk pembacaan data rekam medis tidak jauh berbeda dengan MongoDB. Basis data MongoDB yang paling efektif dan efisien untuk menyimpan dan membaca data rekam medis dengan skema FHIR, tetapi basis data ini perlu dikonfigurasi lebih mendalam supaya diperoleh fitur desentralisasi seperti halnya pada BigchainDB. MySQL memiliki kemampuan penyimpanan data yang lebih cepat jika dibandingkan dengan BigchainDB, tetapi untuk pembacaan data dan perlu adanya skema replikasi untuk mendapatkan fitur seperti halnya desentralisasi perlu dilakukan konfigurasi yang lebih mendalam. .

Kata Kunci fhir, bigchaindb, emr, blockchain, simrs

Digital Object Identifier 10.36802/jnanaloka.2022.v4-no1-37-4x

1 Pendahuluan

Rekam medis merupakan bagian penting dari perawatan pasien. Kumpulan informasi tertulis tentang perawatan kesehatan pasien yang digunakan dalam pengelolaan dan perencanaan fasilitas / layanan kesehatan, penelitian medis, dan analisa perawatan kesehatan [1]. Catatan medis yang telah ditulis oleh dokter, perawat dan para profesional bidang kesehatan lainnya harus tersedia untuk petugas kesehatan pada saat pasien kembali ke fasilitas pelayanan kesehatan. Ketersediaan rekam medis ini merupakan pekerjaan dari petugas rekam medis,

* Corresponding author.



jika data rekam medis tidak tersedia, hal ini dapat menghambat pemeriksaan pasien, karena informasi sebelumnya dapat menjadi informasi yang penting untuk perawatan berkelanjutan mereka. Selain itu, jika rekam medis tidak tersedia pada saat dibutuhkan untuk perawatan pasien, sistem rekam medis tidak berjalan dengan baik akan berpengaruh terhadap kepercayaan layanan kesehatan [1].

Rekam medis digital atau biasa disebut rekam medis elektronik sudah banyak diadopsi pada sistem informasi kesehatan di beberapa rumah sakit di beberapa negara. Pada tahun 2020, di Indonesia tercatat 1.479 rumah sakit yang sudah menggunakan SIMRS (Sistem Informasi Manajemen Rumah Sakit) dan sudah berfungsi secara front-office maupun back-office [2]. Tujuannya adalah untuk pengembangan layanan informasi pasien otomatis yang akan meningkatkan pengambilan informasi yang efisien untuk perawatan pasien, analisa berkelanjutan, penelitian dan pengajaran. Hal lain yang perlu diperhatikan dalam pengembangan layanan sistem rekam medis elektronik adalah prosedur manual dasar harus sudah ada dan harus terorganisir dengan baik [1].

Di Indonesia, dasar hukum penggunaan rekam medis elektronik diatur dalam UU No. 11 tahun 2008 tentang Informasi dan Transaksi Elektronik, Permenkes No. 269 tahun 2008 tentang Rekam Medis, dan Kepmenkes No. 55 tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Pekerjaan Perekam Medis. Penyelenggaraan SIMRS juga diatur dalam UU No. 82 tahun 2013 tentang Sistem Informasi Manajemen Rumah Sakit, seperti yang tertulis pada pasal 3 dan 4, bahwa setiap rumah sakit wajib menyelenggarakan SIMRS, penyelenggaraan SIMRS dapat menggunakan kode sumber terbuka / open source yang telah disediakan Kemenkes atau yang dibuat oleh rumah sakit, dan setiap rumah sakit harus melaksanakan pengelolaan dan pengembangan [3, 4, 5, 6].

Beberapa masalah yang muncul dalam upaya pengembangan SIMRS, diantaranya manajemen dan kelengkapan standar prosedur operasional yang tidak lengkap, tugas pokok dan fungsi (tupoksi) organisasi SIMRS belum jelas, dan masalah data rekam medis elektronik yang belum tersedia karena ketidak disiplin pengguna dalam penggunaan SIMRS. Selain itu, dalam upaya pengembangan SIMRS harus diupayakan untuk meningkatkan mutu pelayanan medis melalui pengembangan sistem pendukung keputusan klinis.

Didalam pengembangan sistem kesehatan hal utama yang harus diperhatikan mengenai sistem penyimpanan atau sistem basis data yang digunakan untuk menyimpan data-data rekam medis tersebut. Selain itu masalah standar operasional merupakan hal utama yang tidak kalah penting dalam menyiapkan format dan bentuk data-data yang akan disimpan dalam sebuah basis data [7]. Maka dari itu untuk menjawab kebutuhan standar operasional dalam mempersiapkan data-data rekam medis, pada penelitian akan menggunakan standar FHIR. Dimana standar ini sudah banyak digunakan diberbagai negara di Eropa, Amerika dan Canada, bahkan sebagian di kawasan Asia. Dengan standar yang diakui secara internasional diharapkan dapat menjawab permasalahan tersebut. Selain itu, karena rekam medis merupakan hal penting yang harus dijaga keberadaan datanya [1], maka salah satu cara untuk menjaganya perlu dibuat sebuah sistem basis data yang terdesentralisasi, salah satunya menerapkan teknologi berbasis blockchain, yakni BigchainDB [8]. Manfaat dari teknologi ini selain fitur desentralisasi data yang dimiliki juga kebutuhan perangkat keras digunakan tidak terlalu besar.

Integrasi layanan kesehatan merupakan kunci perbaikan perawatan kesehatan pasien. Integrasi layanan dapat berjalan baik apabila data rekam medis pasien sudah tercatat dengan baik secara elektronik [9]. Artinya, data yg disimpan pada sistem basis data juga harus memiliki standar baku di dalam pendefinisian atribut dari suatu entitas data, terlebih data-data yang mencakup data kesehatan. Dengan adanya standar data yang digunakan akan

memudahkan dan mempercepat sistem untuk saling bertukar data, karena sistem sudah memiliki persepsi yang sama terhadap data tersebut [10].

FHIR merupakan salah satu standar pertukaran data internasional yang dikembangkan oleh organisasi HL7 (*Health Level Seven*). FHIR gabungan dari standar versi sebelumnya HL7 v2, HL7 v3 dan CDA (*Clinical Document Architecture*) yang dapat digunakan dalam pengembangan aplikasi berbasis mobile, komunikasi antar cloud, berbagai data antar EHR (*Electronic Health Record*), serta untuk pengembangan server penyedia layanan kesehatan untuk menyelesaikan berbagai masalah kesehatan. FHIR sendiri sudah banyak diimplementasikan di beberapa negara seperti USA, UK, Germany, Netherlands, Belgium, Denmark, Italy, Switzerland, and Australia [11].

Selain standarisasi data, media penyimpanan yang digunakan untuk menyimpan data rekam medis elektronik juga harus diperhatikan, melihat potensi pertumbuhan data rekam medis elektronik yang selalu meningkat [12], sehingga perlu adanya media penyimpanan yang memiliki fleksibilitas terhadap ruang penyimpanan yang digunakan. Penyimpanan basis data berbasis blockchain dapat digunakan sebagai salah satu alternatif, mengingat perkembangan dan pemanfaatan teknologi ini masih tergolong hal baru khususnya di area kesehatan [13].

Keunggulan penyimpanan basis data ini adalah desentralisasi, artinya semua data rekam medis disimpan secara menyebar ke seluruh node dari kluster tersebut. Secara tidak langsung model penyimpanan ini sudah membuat backup data untuk tiap-tiap data yang disimpan. Konsep ini mirip sekali dengan sistem penyimpanan Big Data menggunakan HDFS (*Hadoop Distributed File System*), data yg disimpan juga disebar ke dalam node / data node yang dikontrol oleh name node [14]. Berbeda dengan HDFS, metode yang digunakan untuk menyimpan data di dalam blockchain biasa disebut dengan IPFS (*Inter-Planetary File System*) [15]. Selain itu di dalam pengaksesan data, pengguna diwajibkan untuk mencantumkan smart contract atau token yang berfungsi sebagai identitas pemilik data sekaligus untuk verifikasi terhadap data tersebut, sehingga data disimpan lebih aman.

Beberapa penelitian yang telah mengadopsi teknologi blockchain maupun BigchainDB untuk data rekam medis elektronik adalah penelitian yang telah dilakukan oleh J.O.Y. Tampubolon, dkk pada tahun 2022 yang berjudul “Implementasi Blockchain berbasis BigchainDB untuk Menjamin Keamanan Data dalam Sistem Pencatatan Rekam Medis”. Kelebihan dari penelitian tersebut adalah metode yang digunakan untuk menyimpan data rekam medis elektronik supaya tidak mudah hilang, yakni menggunakan BigchainDB dengan fitur desentralisasi data yang dimiliki untuk menjaga integritas atau keberadaan data supaya tetap terjaga. Kekurangan pada penelitian tersebut hanya menguji kemampuan sistem basis data pada BigchainDB untuk menyimpan data rekam medis, tetapi belum dibandingkan bagaimana kemampuan BigchainDB dengan sistem basis data terpusat, seperti basis data RDBMS (MySQL) maupun NoSQL (MongoDB). Selain itu, data rekam medis yang digunakan dalam pengujian tidak dijelaskan menggunakan standar tertentu atau format tertentu [8]. Berangkat dari penelitian tersebut, penelitian ini melakukan perbandingan kemampuan sistem basis data terdesentralisasi menggunakan BigchainDB dengan standar data rekam medis menggunakan FHIR dengan sistem basis data terpusat MySQL dan MongoDB.

Penelitian selanjutnya yang menggunakan atau mengadopsi teknologi blockchain untuk penyimpanan data rekam medis elektronik yang telah dilakukan oleh M.M. Mahdy, dkk pada tahun 2020. Kelebihan dari penelitian tersebut adalah metode yang digunakan untuk menyimpan data rekam medis elektronik dengan mengadopsi teknologi blockchain khususnya desentralisasi data supaya data tidak mudah hilang, akibat kesalahan manusia (penghapusan yang tidak sengaja) atau kesalahan sistem. Namun demikian, metode yang digunakan dalam penelitian tersebut masih memiliki kekurangan karena menggunakan sistem data

terpusat (PostgreSQL) sebagai penyimpanan data rekam medis yang telah dikonfigurasi untuk menyerupai konsep penyimpanan desentralisasi yang ada pada teknologi blockchain [16].

Kelemahan metode ini terletak pada proses konfigurasi desentralisasinya, yang mana pada tiap-tiap basis data terpusat, seperti MySQL, Oracle, maupun MongoDB memiliki konfigurasi yang berbeda-beda. Metode ini dinilai kurang efektif dan efisien jika digunakan pada era sekarang, pada penelitian ini diusulkan sistem penyimpanan data rekam medis elektronik berbasis blockchain dengan menggunakan BigchainDB untuk menjaga keamanan data rekam medis elektronik.

Penelitian selanjutnya yang menggunakan teknologi blockchain untuk penyimpanan data rekam medis elektronik telah dilakukan oleh R. Kumar, dkk pada tahun 2020. Kelebihan dari penelitian tersebut adalah metode yang digunakan untuk menyimpan data rekam medis khususnya dokumen yang diunggah ke dalam sistem berbasis blockchain dengan penyimpanan berbasis IPFS [17]. Kekurangan dari metode ini adalah keterbatasan jenis data yang disimpan, IPFS cocok digunakan untuk menyimpan data berupa dokumen. Sehingga, untuk jenis data rekam medis lain seperti identitas pasien, data perawatan pasien, data resep dan jenis data lainnya yang biasa disimpan pada sistem basis data tradisional (RDBMS) berupa tabel dan berformat JSON pada sistem basis data NoSQL, harus dikonversi ke dalam sebuah dokumen untuk disimpan ke dalam IPFS. Selain itu akan sulit dilakukan analisa datanya karena berupa dokumen.

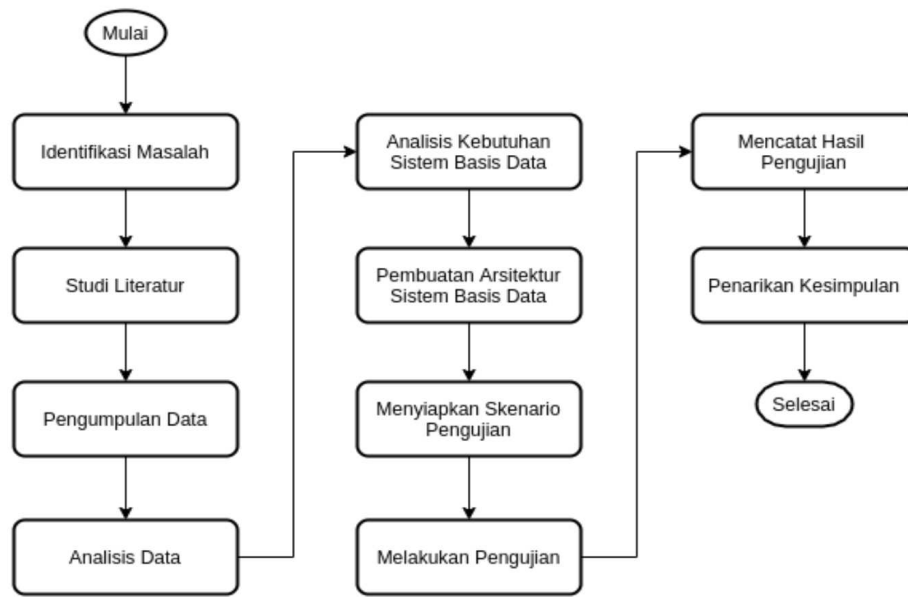
Maka pada penelitian yang dilakukan menggunakan BigchainDB sebagai basis data untuk rekam medis elektronik, selain fitur desentralisasi, teknologi ini menggunakan MongoDB untuk penyimpanan data-datanya. Sehingga, tidak ada keterbatasan jenis data yang disimpan pada basis data ini. Penelitian lain yang berkaitan dengan masalah standarisasi data kesehatan atau data rekam medis elektronik, telah dilakukan oleh S.M. Marier pada tahun 2018. Pada penelitian tersebut melakukan analisa mengenai potensi standarisasi data rekam medis elektronik pada sistem di rumah sakit menggunakan standar data HL7 versi 2 [18].

Dari beberapa studi literatur di atas, yang dilakukan pada penelitian ini adalah menstandarisasi data kesehatan menggunakan FHIR yang disimpan ke dalam basis data berbasis blockchain. Standar HL7 terbaru yakni FHIR sebagai rekomendasi standar data rekam medis yang digunakan dan disimpan pada sistem basis data berbasis blockchain. Selanjutnya pada penelitian ini juga melakukan bagaimana melakukan mapping dari struktur data sebelumnya ke dalam struktur dan format data FHIR, serta bagaimana mengetahui kemampuan basis data blockchain dengan basis data lainnya. Sehingga dari penelitian ini, menghasilkan metode penyimpanan data rekam medis elektronik berstandar FHIR dengan penyimpanan berbasis blockchain untuk menjaga keberadaan datanya supaya tidak mudah hilang dan untuk mengetahui kemampuan BigchainDB jika dibandingkan dengan sistem basis data tradisional (MySQL) dan basis data NoSQL (MongoDB).

2 Metodologi

Metodologi penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1, di mana tahapan-tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data, analisis data, analisis kebutuhan sistem basis data, pembuatan arsitektur sistem basis data, menyiapkan skenario pengujian, melakukan pengujian, mencatat hasil pengujian, dan terakhir adalah penarikan kesimpulan.

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah disampaikan, belum digunakannya standar baku untuk data rekam medis elektronik pada sistem penyimpanan berbasis blockchain. Penggunaan FHIR sebagai standar baku untuk data rekam medis elektronik, dan BigchainDB



■ **Gambar 1** Diagram alur penelitian.

sebagai tempat penyimpanan data rekam medis elektroniknya digunakan dalam penelitian ini. Hal ini dilakukan untuk memberikan ketersediaan data rekam medis untuk perawatan pasien karena fitur desentralisasi yang dimiliki BigchainDB dan keseragaman data yang dihasilkan dapat mempermudah proses integrasi dan pengembangan dengan sistem luar karena telah menerapkan FHIR sebagai standar baku.

BigchainDB merupakan basis data berbasis blockchain yang dikembangkan pada tahun 2015 dan resmi dirilis pada tahun 2016 yang bersifat *open source*. Konsep penyimpanan data pada basis data ini berupa format JSON (*Javascript object Notation*) dengan menggunakan MongoDB versi enterprise. Kemudian untuk proses desentralisasi data supaya dapat saling terintegrasi di masing-masing node yang sudah didaftarkan menggunakan Tendermint [19].

Dipilihnya BigchainDB sebagai basis data penyimpanan data rekam medis elektronik, karena cocok dengan standarisasi data FHIR yang menggunakan format JSON, diharapkan dengan metode ini dapat mempercepat proses pendefinisian dan mempermudah dalam proses penyimpanan datanya. Beberapa fitur dari BigchainDB yang menjadi pertimbangan dalam penelitian ini diantaranya, *Decentralization*, *Immutability*, *BFT (Byzantine Fault Tolerant)*, *Customizable*, *Open Source*, *Query*, *Native Support of Multi Assets*, *Low Latency*, *Rich Permissioning*, *Public or Private* [19].

Decentralization memberikan alternatif backup data, karena kontrol desentralisasi melalui node-node dengan membuat jaringan P2P (*peer to peer*), yang mana setiap node saling berbagi dan terhubung pada node-node yang lain [20]. *Immutability*, selain tahan terhadap kerusakan data, setelah disimpan data aset tidak dapat diubah dan dihapus, apabila ingin menambahkan informasi terhadap aset, anda harus menambahkan informasi pada metadata aset tersebut. *BFT* dapat memberikan toleransi terhadap node-node yang mengalami kegagalan (*down server*), bahkan sampai sepertiga node dalam jaringan. Node-node yang lain akan tetap dapat digunakan untuk menyimpan data dan saling terhubung dalam jaringan tersebut. *Customizable*, pengguna dapat mendefinisikan rancangan jaringan yang akan digunakan dengan aset, transaksi, hak akses dan transparansi khusus sesuai dengan

kebutuhan pengguna. *Open source*, dukungan dari komunitas dapat memberikan informasi yang lebih luas ketika mendapatkan masalah, sehingga proses penyelesaian masalah lebih cepat.

Query, proses pemanggilan data asset, transaksi, metadata dan blok yang tersimpan menggunakan query dari MongoDB. Native Support of Multiassets, tanpa adanya mata uang asli di BigchainDB, asset, token atau mata uang apapun dapat diterbitkan. *Low Latency*, pada jaringan global membutuhkan waktu sekitar satu detik untuk mencapai konsensus tentang blok baru. Dengan kata lain, finalitas transaksi terjadi dengan cepat. *Rich Permissioning*, pemberian hak akses pada tingkat transaksi untuk memastikan pemisahan tugas yang jelas dan menegakkan akses selektif. *Public or Private*, dapat menerbitkan jaringan mandiri, secara publik maupun privat sesuai dengan kebutuhan bisnis tertentu [20].

FHIR digunakan sebagai dasar penentuan standarisasi data rekam medis elektronik, khusus pada penelitian ini hanya menggunakan sumber daya Patient. Sumber daya tersebut digunakan untuk memformat data sebelumnya ke dalam format FHIR yang akan disimpan di dalam basis data BigchainDB. Format data Patient dalam format FHIR dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2 mendeskripsikan skema, format dan tipe data yang digunakan di FHIR (*Patient Resource*), di dalam istilah FHIR mengenal tipe data tradisional seperti integer, string, date, boolean dan date atau time. Kemudian ada tipe data yang didefinisikan sendiri oleh FHIR, seperti *contactpoint*, *code*, *address*, *attachment*, *identifier*, dst. Tujuan dari pendefinisian tersebut untuk memudahkan dan memperringkas dokumen template dari setiap sumber daya / *resource*, sehingga dapat dengan mudah membedakan struktur data yang digunakan, apakah tradisional atau struktur data FHIR.

Struktur basis data MySQL berbasis FHIR yang digunakan pada penelitian ini, mengadopsi struktur tabel yang dimiliki oleh OpenEMR. Pada penelitian ini OpenEMR versi 6.0.0 digunakan sebagai model basis data RDBMS (*Relational Database Management System*) yang sudah mengadopsi skema FHIR pada sistem basis datanya [21]. Dari model basis data tersebut akan diujikan pada skenario yang akan dilakukan pada penelitian ini, sehingga mendapatkan perbandingan kemampuan basis data MySQL dengan basis data yang lain.

MongoDB pada penelitian ini digunakan sebagai basis data pembanding dengan BigchainDB, dimana BigchainDB sendiri sudah menggunakan MongoDB dalam penyimpanan datanya. Perbedaannya pada penyimpanan kedua sistem basis data tersebut (MySQL dan MongoDB) tidak menggunakan metode penyimpanan berbasis blockchain.

Data penelitian yang digunakan adalah data ekspor dari basis data SIMRS Rumah Sakit Jantung Harapkan Kita khusus untuk pasien pediatrik anak berupa dokumen csv, dengan total data sebanyak 3.219 pasien. Penggunaan data sudah mendapatkan persetujuan dari pihak rumah sakit melalui kesepakatan kerja sama dengan instansi peneliti bekerja, dengan catatan informasi mengenai privasi pasien tidak boleh ditampilkan dan jika harus ditampilkan harus dilakukan perubahan dengan data dummy. Data-data tersebut digunakan untuk membantu melakukan simulasi pengujian untuk mendapatkan hasil analisis pada penelitian ini.

Metode analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan membuat kode program menggunakan bahasa pemrograman Python. Kode program tersebut digunakan untuk menguji 8 skenario pengujian pada penelitian ini. Dari setiap skenario memiliki kode program yang diujikan pada kluster 1 dan kluster 2, total akan ada 8 kode program yang berbeda sesuai kebutuhan dari skenarionya. Alur kode program untuk proses insert data dengan skema FHIR dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 menjelaskan mengenai alur proses penyimpanan data ke dalam suatu basis data, proses pertama adalah mencatat waktu kode program dijalankan, setelah membaca



```
{
  "resourceType": "Patient",
  // from Resource: id, meta, implicitRules, and language
  // from DomainResource: text, contained, extension, and modifierExtension
  "identifier": [{ Identifier }], // An identifier for this patient
  "active": <boolean>, // Whether this patient's record is in active use
  "name": [{ HumanName }], // A name associated with the patient
  "telecom": [{ ContactPoint }], // A contact detail for the individual
  "gender": "<code>", // male | female | other | unknown
  "birthDate": "<date>", // The date of birth for the individual
  // deceased[x]: Indicates if the individual is deceased or not. One of these 2:
  "deceasedBoolean": <boolean>,
  "deceasedDateTime": "<dateTime>",
  "address": [{ Address }], // An address for the individual
  "maritalStatus": { CodeableConcept }, // Marital (civil) status of a patient
  // multipleBirth[x]: Whether patient is part of a multiple birth. One of these 2:
  "multipleBirthBoolean": <boolean>,
  "multipleBirthInteger": <integer>,
  "photo": [{ Attachment }], // Image of the patient
  "contact": [{ // A contact party (e.g. guardian, partner, friend) for the patient
    "relationship": [{ CodeableConcept }], // The kind of relationship
    "name": { HumanName }, // A name associated with the contact person
    "telecom": [{ ContactPoint }], // A contact detail for the person
    "address": { Address }, // Address for the contact person
    "gender": "<code>", // male | female | other | unknown
    "organization": { Reference(Organization) }, // C? Organization that is associated with the
    contact
    "period": { Period } // The period during which this contact person or organization is vali
    d to be contacted relating to this patient
  }],
  "communication": [{ // A language which may be used to communicate with the patient about his
    or her health
    "language": { CodeableConcept }, // R! The language which can be used to communicate with
    the patient about his or her health
    "preferred": <boolean> // Language preference indicator
  }],
  "generalPractitioner": [{ Reference(Organization|Practitioner|
    PractitionerRole) }], // Patient's nominated primary care provider
  "managingOrganization": { Reference(Organization) }, // Organization that is the custodian of
  the patient record
  "link": [{ // Link to another patient resource that concerns the same actual person
    "other": { Reference(Patient|RelatedPerson) }, // R! The other patient or related person r
    esource that the link refers to
    "type": "<code>" // R! replaced-by | replaces | refer | seealso
  }],
}
```

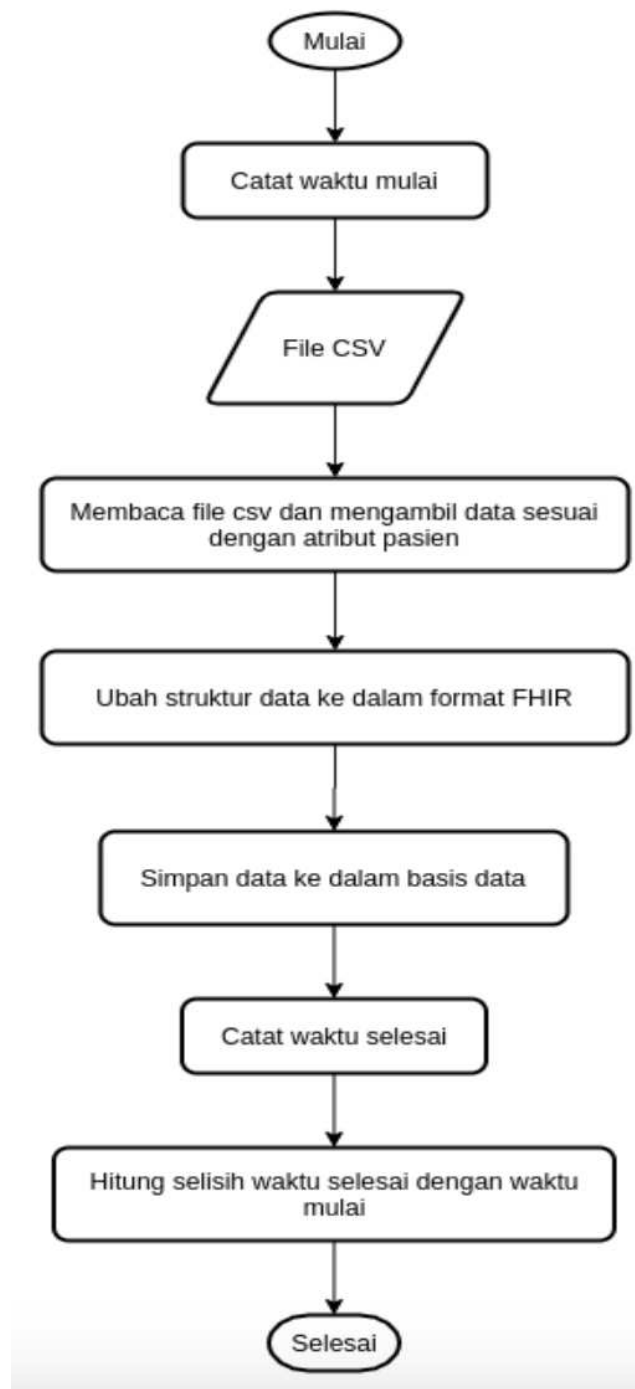
■ **Gambar 2** Struktur sumber daya Pasien di FHIR.

dokumen atau csv yang isinya data rekam medis pasien, yang terdiri dari 27 kolom, detail dari data csv tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari Tabel 1, beberapa kolom yang digunakan pada penelitian ini adalah `medical_record_id`, `firstname`, `lastname`, `birthdate`, `gender`, `address`, `city`, `state_id`, `country_id`, `postcode`, `phone` dan `email`. Proses selanjutnya adalah mengkonversi struktur data tersebut sesuai dengan format FHIR yang dapat dilihat pada Gambar 2. Kemudian proses selanjutnya adalah menyimpan data-data tersebut kedalam basis data. Tiga basis data yang digunakan, yakni MySQL, MongoDB dan BigchainDB. Proses selanjutnya adalah proses pencatatan waktu akhir dari program yang sudah dijalankan, kemudian dilakukan penghitungan selisih, antara waktu akhir dan waktu mulai untuk mendapatkan informasi periode waktu eksekusi yang dibutuhkan dari setiap skenario pengujian.

Selanjutnya, Gambar 4 menunjukkan proses alur pengujian untuk mengambil data pasien dari basis data MySQL, MongoDB dan BigchainDB menggunakan skema FHIR.

Kebutuhan sistem yang harus dicapai pada penelitian ini sesuai dengan masalah dan solusi



■ **Gambar 3** Alur kode program untuk proses insert data.

yang diusulkan adalah sistem basis data BigchainDB dapat digunakan untuk menyimpan dan membaca ulang data rekam medis elektronik berbasis FHIR, dan sistem basis data BigchainDB harus dapat saling terhubung antara node 1 - node 3 untuk memastikan desentralisasi datanya dapat berjalan dengan baik. Sehingga capaian untuk menjaga integritas data rekam medis dapat dihasilkan dengan baik.

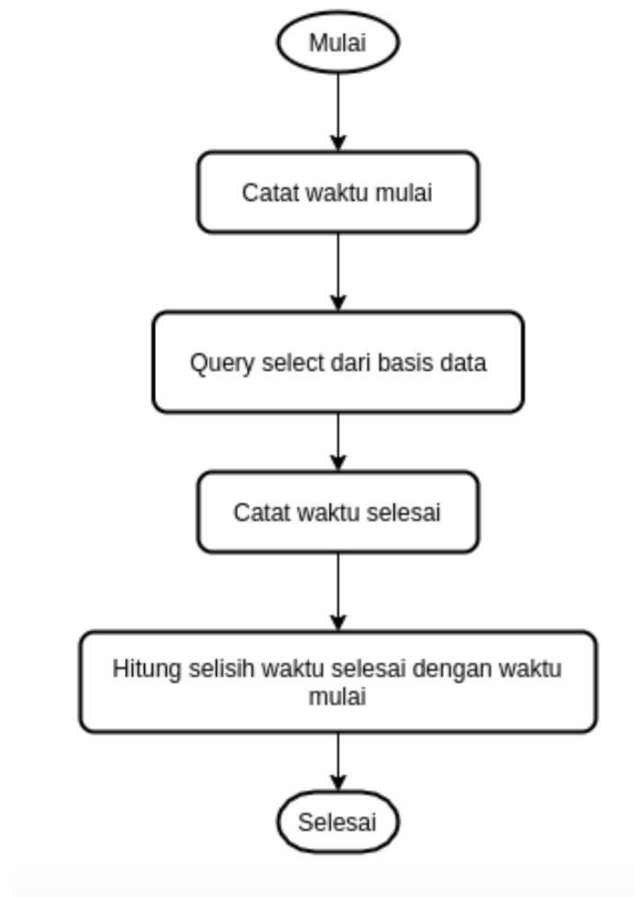
■ **Tabel 1** Struktur dan format data pasien RS Jantung Harapan Kita

nama kolom	tipe data	panjang karakter
patient_id	nteger	11
firstname	varchar	45
lastname	varchar	45
birthdate	date	-
birth_maturity	varchar	45
gender	enum("M", "F")	-
address	text	-
city	varchar	20
state_id	integer	11
country_id	char	3
postcode	varchar	10
phone	char	15
email	varchar	50
updated	date	-
status	enum("Discharged", Dead)	-
status_date	date	-
gestational_age	integer	11
cardiologist	varchar	45
diagnosis	ext-	-
sts_diagnosis	text	-
referring_doctor	varchar	45
national_id	char	3
family_doctor	varchar	45
follow_up_centre	varchar	45
comment	text	-
legacy_id	integer	11
medical_record_id	char	16

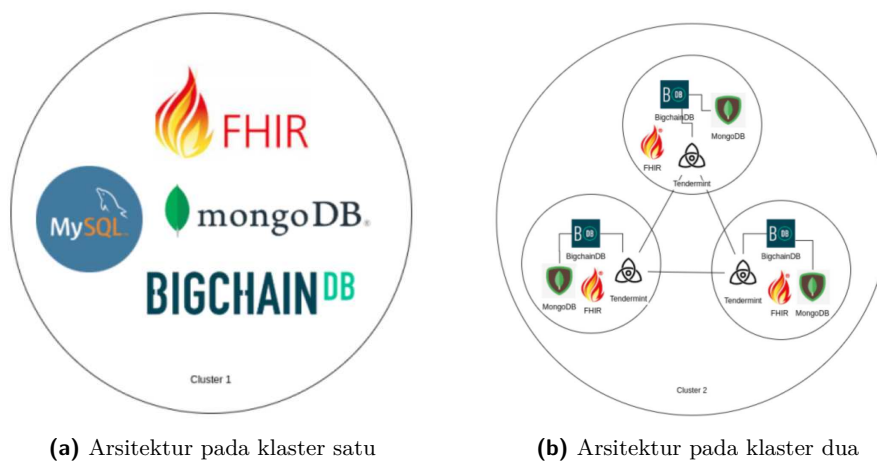
Rancangan arsitektur sistem basis data rekam medis pada penelitian ini menggunakan 2 cluster node, kluster pertama terdiri dari 1 node dengan spesifikasi prosesor dengan jumlah core 7 dan kapasitas memori sebesar 16 GB, kluster kedua terdiri dari 3 node dengan spesifikasi setiap nodenya prosesor dengan jumlah core 4 dan kapasitas memori sebesar 4 GB. Pada kluster pertama diinstall basis data MySQL, MongoDB dan BigchainDB, kemudian pada kluster kedua diinstall BigchainDB yang terdesentralisasi datanya. Gambaran arsitektur yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5(a) merupakan kluster yang digunakan untuk menguji kemampuan dari setiap basis data yang digunakan pada penelitian ini, seperti MySQL, MongoDB dan BigchainDB dalam satu node dan spesifikasi yang sama. Tujuannya adalah untuk membandingkan kemampuan BigchainDB dengan basis data yang lainnya dengan menggunakan skema FHIR. Pada kluster ini juga digunakan untuk menguji kemampuan insert data dan select data tanpa skema FHIR.

Gambar 5(b) merupakan arsitektur yang khusus digunakan untuk menguji kemampuan dan kecepatan pemrosesan BigchainDB dalam skema desentralisasi data. Proses komunikasi antar node melalui Tendermint. Dalam penelitian ini menggunakan 3 node, 1 node sebagai kordinator dan 2 node sebagai member. Penentuan kordinator maupun member diatur pada



■ **Gambar 4** Alur proses pengambilan data dengan skema FHIR.

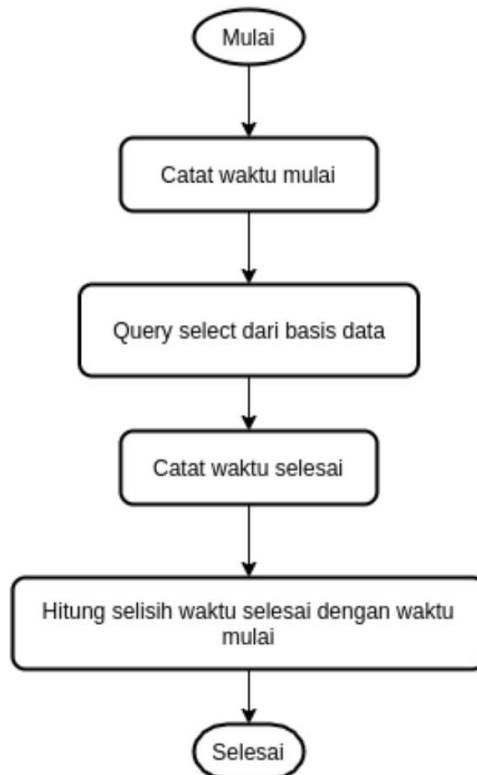


■ **Gambar 5** Arsitektur pada kluster satu dan dua

file genesis.json. Fungsi dari file ini adalah sebagai identitas jaringan yang telah dibuat, bahwa setiap node memiliki chain_id yang sama, tujuannya agar masing-masing node dapat

saling berinteraksi. Selanjutnya, penentuan node sebagai member juga diatur pada file dengan mendaftarkan kunci publik yang dimiliki dari masing-masing node yang dapat dilihat pada file `priv_validator_key.json`.

Selain itu, setiap member yang saling terhubung harus ditambahkan `node_id` yang dimiliki di dalam file `config.toml` di masing-masing node member. Pada node kordinator tidak perlu ditambahkan [20]. Gambar 6 merupakan contoh dari konfigurasi pada file `genesis.json`. Hal ini mesti diperhatikan karena file `genesis.json` yang telah diubah pada node kordinator, harus dibagikan ke seluruh node member.



■ **Gambar 6** Contoh konfigurasi pada file `genesis.json`.

Skenario pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2. Jumlah data yang digunakan pada skenario ini mengacu dari penelitian sebelumnya [8]. Kemudian untuk pengujiannya hanya dilakukan pada proses insert dan select data, karena mengikuti konsep dari BigchainDB. Pada BigchainDB tidak mengenal istilah update data dan juga delete data. Data yang disimpan pada BigchainDB dibedakan menjadi dua kategori, yakni data aset yang merupakan entitas utama, dan data metadata sebagai entitas pendukung. Apabila pengguna ingin mengubah data pada entitas utama, maka pengguna harus menambahkan informasi tambahan ke dalam metadata. Sebagai contoh data pasien dan data hasil pemeriksaan. Dalam BigchainDB, apabila ada kesalahan pada data pemeriksaan, maka perubahan data pemeriksaan harus ditambahkan ke dalam tabel metadata. Aturan inilah yang membuat data-data yang disimpan dalam BigchainDB tidak dapat dengan mudah dilakukan manipulasi, dan perubahan informasi pada data aset selalu terlihat pada data metadata [22].

■ **Tabel 2** Skenario pengujian [8]

skenario	keterangan
SK-1	Insert data pasien ke basis data MySQL dengan skema FHIR (40, 80, 120, 160 dan 200 data)
SK-2	Insert data pasien ke basis data MongoDB dengan skema FHIR (40, 80, 120, 160 dan 200 data)
SK-3	Insert data pasien ke basis data BigchainDB dengan 1 node dan skema FHIR (40, 80, 120, 160 dan 200 data)
SK-4	Insert data pasien ke basis data BigchainDB dengan 3 node dan skema FHIR (40, 80, 120, 160 dan 200 data)
SK-5	Mengambil data dari basis data MySQL dengan skema FHIR (40, 80, 120, 160 dan 200 data)
SK-6	Mengambil data dari basis data MongoDB dengan skema FHIR (40, 80, 120, 160 dan 200 data)
SK-7	Mengambil data dari basis data BigchainDB dengan 1 node dan skema FHIR (40, 80, 120, 160 dan 200 data)
SK-8	Mengambil data dari basis data BigchainDB dengan 3 node dan skema FHIR (40, 80, 120, 160 dan 200 data)

3 Hasil dan pembahasan

Keberhasilan konektivitas pada BigchainDB berkaitan mekanisme desentralisasi dapat dilihat pada Gambar 7 yang sudah diberikan tanda kotak berwarna merah. Tujuan dari konektivitas antar node inilah yang memiliki peranan penting untuk menjaga keberadaan data rekam elektronik yang telah disimpan pada sistem basis data ini.

```
bigchain3@bigchain3:~$ bigchaindb start --no-init
INFO:bigchaindb.config_utils:Configuration loaded from '/home/bigchain3/.bigchaindb'
[2022-07-24 04:23:15] [INFO] (bigchaindb.commands.bigchaindb) BigchainDB Version 2.2.2 (MainProcess - pid: 2391)
[2022-07-24 04:23:15] [INFO] (bigchaindb.commands.bigchaindb) Starting BigchainDB main process. (MainProcess - pid: 2391)
[2022-07-24 04:23:16] [INFO] (bigchaindb.start) Starting BigchainDB (MainProcess - pid: 2391)
[2022-07-24 04:23:16] [INFO] (bigchaindb.start)

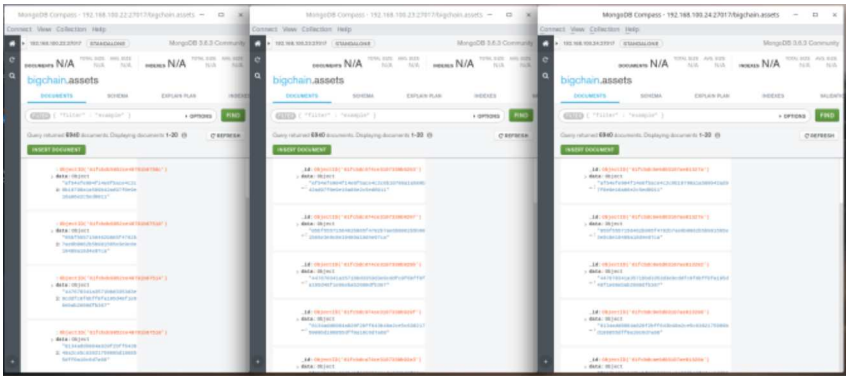
*****
*                               *
*       BigchainDB 2.2.2       *
*                               *
* codename "jumping sloth"    *
*                               *
* Initialization complete. BigchainDB Server is ready and waiting. *
*                               *
* You can send HTTP requests via the HTTP API documented in the *
* BigchainDB Server docs at: *
*   https://bigchaindb.com/http-api *
*                               *
* Listening to client connections on: 0.0.0.0:9984 *
*                               *
*****

(MainProcess - pid: 2391)
[2022-07-24 04:23:16 +0000] [2400] [INFO] Starting gunicorn 20.0.4
[2022-07-24 04:23:16 +0000] [2400] [INFO] Listening at: http://0.0.0.0:9984 (2400)
[2022-07-24 04:23:16 +0000] [2400] [INFO] Using worker: sync
[2022-07-24 04:23:16 +0000] [2401] [INFO] Booting worker with pid: 2401
[2022-07-24 04:23:16 +0000] [2402] [INFO] Booting worker with pid: 2402
[2022-07-24 04:23:16 +0000] [2403] [INFO] Booting worker with pid: 2403
[2022-07-24 04:23:16 +0000] [2404] [INFO] Booting worker with pid: 2404
[2022-07-24 04:23:16 +0000] [2405] [INFO] Booting worker with pid: 2405
***** Running on http://0.0.0.0:9984 *****
(Press CTRL-C to quit)
[2022-07-24 04:23:17] [INFO] (abcl.app) ARGIServer started on port: 26658 (MainProcess - pid: 2391)
[2022-07-24 04:23:25] [INFO] (abcl.app) ... connection from Tendermint: 127.0.0.1:59012 ... (MainProcess - pid: 2391)
[2022-07-24 04:23:25] [INFO] (abcl.app) ... connection from Tendermint: 127.0.0.1:59014 ... (MainProcess - pid: 2391)
[2022-07-24 04:23:25] [INFO] (abcl.app) ... connection from Tendermint: 127.0.0.1:59016 ... (MainProcess - pid: 2391)
[2022-07-24 04:23:25] [INFO] (bigchaindb.core) Tendermint version: 0.31.5-d2eab536 (MainProcess - pid: 2391)
```

■ **Gambar 7** Konektivitas yang terjalin antar node pada BigchainDB.

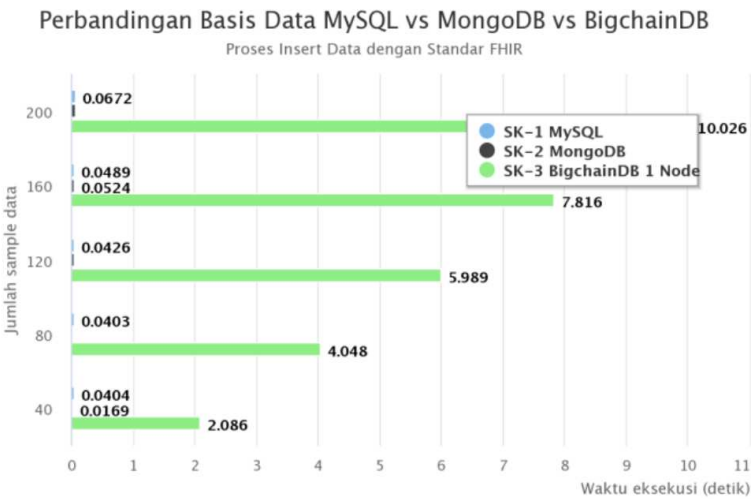
Gambar 7 Konektivitas yang terjalin antar node pada BigchainDB Data yang disimpan dalam basis data MongoDB dan BigchainDB disimpan dalam format JSON, dengan skema FHIR, dimana data tersebut merupakan hasil dari proses mapping yang telah dibungkus dalam kode program yang dijalankan untuk pengujian skenario dalam penelitian ini. Kemu-

dian untuk data yang disimpan pada basis data MySQL adalah data yang sesuai dengan skema FHIR, dalam hal ini tabel yang digunakan untuk menyimpan mengikuti jumlah kolom yang ada pada FHIR khususnya untuk data pasien [21]. Keberhasilan penyimpanan data pada skema desentralisasi menggunakan 3 node server, dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Hasil penyimpanan pada basis BigchainDB.

Dari Gambar 8 menunjukkan bahwa penyimpanan data rekam medis berstandar FHIR dapat disimpan dengan baik pada sistem desentralisasi dengan ditampilkan informasi mengenai jumlah data yang sama antar ketiga node sebanyak 6.940 data, dengan key berakhiran 0911. Key ini menunjukkan bahwa data pada ketiga node merupakan data yang sama. Hasil perbandingan ketiga basis data pada pengujian insert data dengan format data FHIR, dapat dilihat pada Gambar 9.



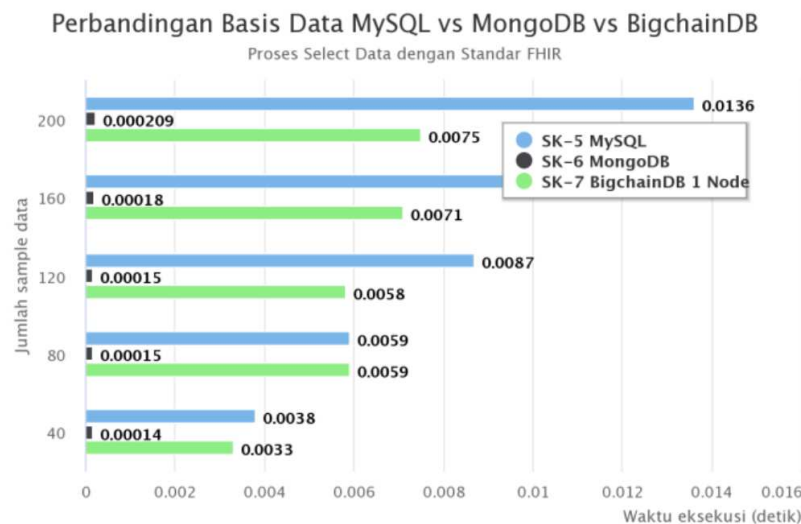
Gambar 9 Grafik perbandingan insert data dengan standar FHIR.

Basis data MongoDB menempati urutan pertama pada pengujian skenario SK-1, SK-2, dan SK-3 dengan variasi data mulai dari 40, 80, 120, 160 dan 200 membutuhkan waktu 0.0169 detik, 0.0243 detik, 0.0377 detik, 0.0524 detik dan yang terakhir 0.0607 detik. MySQL menempati urutan kedua dengan lama waktu eksekusi 0.0404 detik, 0.0403 detik, 0.0426 detik, 0.0489 detik dan yang terakhir 0.0672 detik. Urutan ketiga ditempati oleh basis data

BigchainDB dengan lama waktu eksekusi mulai dari 2.086 detik, 4.048 detik, 5.989 detik, 7.816 detik dan yang terakhir 10.026 detik.

Pada proses insert ini, basis data BigchainDB memiliki kecenderungan peningkatan waktu eksekusi secara linear, seiring dengan peningkatan data yang diujikan. BigchainDB membutuhkan waktu proses yang lebih lama, karena karakteristik basis data ini yang memang berbeda dari kedua basis data lainnya, yakni dalam melakukan proses penyimpanannya, BigchainDB selalu membuat *hashing* pada setiap transaksi yang dilakukan, hal ini dapat menjadi penyebab kenapa proses insert pada basis data ini lebih lama. Selain hashing, data yang disimpan ini juga diberikan signature atau key kepemilikan terhadap data tersebut, dimana proses inilah yang tidak ada pada kedua basis data MongoDB dan MySQL. Sehingga, pada skenario pengujian insert data basis data MongoDB merupakan basis data yang paling cepat untuk menyimpan data rekam medis dengan standar FHIR, akan tetapi masih belum dapat dikatakan aman untuk menjaga integritas data yang disimpan.

Hasil perbandingan ketiga basis data pada pengujian skenario SK-5, SK-6, dan SK-7 untuk pembacaan / pemanggilan data dengan skema FHIR dapat dilihat pada Gambar 10.

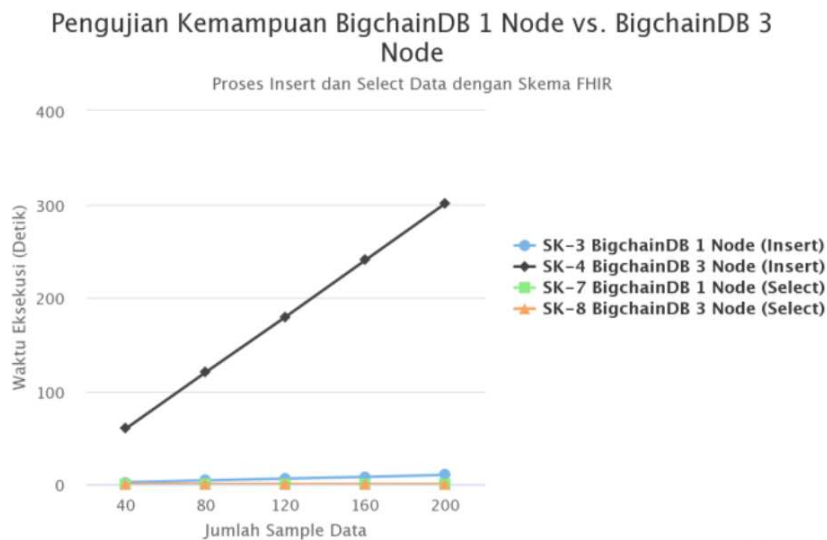


Gambar 10 Grafik perbandingan select data dengan standar FHIR.

Hasil menunjukkan untuk menampilkan beberapa data sample, yang dimulai dari 40, 80, 120, 160 dan 200 data, basis data MongoDB membutuhkan waktu yang paling cepat untuk membaca data rekam medis berstandar FHIR mulai dari 0.00014 detik, 0.00015 detik, 0.00015 detik, 0.00018 detik dan yang terakhir 0.000209 detik. Pada grafik juga menunjukkan bahwa basis data ini relatif lebih stabil untuk pembacaan berbagai jumlah data. Berikutnya basis data BigchainDB berada di urutan kedua berkaitan proses skenario pengujian ini, waktu proses yang dihasilkan mulai dari 0.0033 detik, 0.0059 detik, 0.0058 detik, 0.0071 detik dan yang terakhir 0.0078 detik. Pada grafik juga menunjukkan bahwa kenaikan waktu eksekusi tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan basis MySQL. Semakin banyak data yang ingin dibaca oleh basis data MySQL, lama waktu eksekusinya mengalami peningkatan yang signifikan. Mulai dari 0.0038 detik, 0.0059 detik, 0.0087 detik, 0.011 detik, dan yang terakhir 0.0136 detik. Sehingga dari pengujian ini, diperoleh kesimpulan bahwa basis data MongoDB adalah yang tercepat untuk proses pembacaan ulang data rekam medis dengan skema FHIR.

Selain perbandingan ketiga basis data untuk proses insert maupun select data, kami juga

menguji perbandingan kemampuan basis data BigchainDB 1 node dengan BigchainDB 3 node, seperti yang sudah dijelaskan pada skenario SK-3, SK-4, SK-7 dan SK-8. Supaya diperoleh hasil yang memadai untuk memberikan kesimpulan terkait usulan pada penelitian ini. Gambar 13 menunjukkan perbandingan waktu proses insert / select data pada basis data BigchainDB.



Gambar 11 Grafik perbandingan proses insert dan select data dengan standar FHIR pada 1 node dan 3 node.

Proses insert pada BigchainDB yang menerapkan desentralisasi data dengan menggunakan 3 node server relatif lebih lama jika dibandingkan dengan 1 node server. Hal ini dikarenakan adanya aktivitas prosedur yang meski dilakukan pada teknologi ini pada saat menuliskan atau menyimpan data, juga mendistribusikan ke seluruh data-data yang disimpan pada kluster yang telah ditentukan. Sebagai contoh untuk 40 data sample pada BigchainDB 1 node membutuhkan waktu proses sebesar 2.086 detik sedangkan pada BigchainDB 3 node membutuhkan waktu proses sebesar 59.552 detik (hampir 1 menit). Semakin besar jumlah node yang digunakan, dan data yang disimpan juga semakin besar, maka membutuhkan waktu proses yang relatif lebih lama. Selanjutnya untuk pembacaan data pada BigchainDB, baik 1 node maupun 3 node membutuhkan waktu yang sangat cepat, sebagai contoh pada jumlah sample data 200, waktu yang dibutuhkan keduanya tidak berbeda terlalu jauh, yakni 0.0075 detik untuk BigchainDB 1 node dan 0.0106 untuk BigchainDB 3 node.

4 Kesimpulan dan saran

Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini, beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut, BigchainDB dapat diinstal pada 1 node server maupun beberapa node server, dimana proses penyimpanan dengan beberapa node server jauh lebih lama jika hanya menggunakan 1 node server.

Basis data MongoDB merupakan basis data yang paling efektif dan efisien untuk menyimpan data rekam medis elektronik berbasis FHIR, tetapi basis data ini masih harus dilakukan konfigurasi untuk replikasi data, supaya data-data yang disimpan memiliki backup, seperti halnya sistem desentralisasi pada BigchainDB.

Basis data BigchainDB cocok digunakan untuk menyimpan data rekam medis elektronik berbasis FHIR, selain mendukung penyimpanan data berbentuk JSON yang cocok dengan format data FHIR, fitur desentralisasi data yang dimiliki dapat digunakan untuk menjaga keberadaan data rekam medis elektronik yang telah disimpan dan kecepatan akses pembacaan data yang hampir sama dengan MongoDB. Basis data ini layak digunakan untuk membuat sistem basis data rekam medis elektronik berbasis FHIR dan blockchain. Meskipun pada penelitian ini, pada proses insert datanya, baik pada 1 node maupun 3 node, basis data ini membutuhkan waktu yang paling lama jika dibandingkan dengan kedua basis data lainnya.

Basis data MySQL memiliki kemampuan insert data yang lebih bagus jika dibandingkan dengan BigchainDB, namun demikian memiliki sedikit masalah pada saat pemanggilan data. Peningkatan yang signifikan pada waktu pemrosesan yang dibutuhkan perlu dilakukan konfigurasi lebih mendalam untuk mendapatkan hasil pemrosesan yang lebih baik lagi untuk membaca data rekam medis elektronik berbasis FHIR.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan uji coba dengan basis data berbasis blockchain yang lain, seperti Avalanche atau pun Hyperledger Fabric. Didalam penelitian ini BigchainDB memiliki latensi yang tinggi, khususnya dalam insert data sedangkan low latency yang disebutkan dalam salah satu fitur unggulan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap hal tersebut.

Pustaka

- 1 Weltgesundheitsorganisation, *Medical records manual: a guide for developing countries*. World Health Organization, 2002.
- 2 A. Rosyada, L. Lazuardi, and K. Kusri, "Persepsi petugas kesehatan terhadap peran rekam medis elektronik sebagai pendukung manajemen pelayanan pasien di rumah sakit panti rapih," *Journal of Information Systems for Public Health*, vol. 2, no. 1, pp. 29–36, 2016.
- 3 U. Undang, "Uu no 11 tahun 2008 tentang informasi dan transaksi elektronik," *Jakarta: Undang Undang*, 2008.
- 4 R. Menkes, "Permenkes no. 269 tahun 2008 tentang rekam medis," 2008.
- 5 R. Permenkes, "No 55 tahun 2013 tentang penyelenggaraan pekerjaan perekam medis," *Menteri Kesehatan Republik Indonesia Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia*, 2013.
- 6 U. Undang, "Uu no. 82 tahun 2013 tentang sistem informasi manajemen rumah sakit," *Jakarta: Undang Undang*, 2013.
- 7 Y. E. Kristanti and R. Q. Ain, "Sistem informasi manajemen rumah sakit: Literature review," *Muhammadiyah Public Health Journal*, vol. 1, no. 2, pp. 179–193, 2021.
- 8 J. O. Y. Tampubolon, A. Bhawiyuga, and R. A. Siregar, "Implementasi blockchain berbasis bigchaindb untuk menjamin keamanan data dalam sistem pencatatan rekam medis," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 6, no. 3, pp. 1471–1480, 2022.
- 9 T. I. Arief and L. Dewi, "Manajemen mutu informasi kesehatan i: Quality assurance," 2017.
- 10 M. Arief, D. Handoko, F. Ba'abdullah, and I. W. S. Wicaksana, *Kerangka Acuan dan Pedoman Interoperabilitas Sistem Informasi Pemerintahan*. Jakarta: Direktorat Sistem Informasi, Perangkat Lunak dan Konten - Direktorat Jenderal Aplikasi Telematika - Departemen Komunikasi dan Informatika, 2008.

- 11 T. Benson and G. Grieve, "Principles of health interoperability," *Cham: Springer International*, pp. 21–40, 2021.
- 12 H. Suryanto, A. Munawwarah, and B. A. Fitriyana, "Perhitungan kebutuhan rak penyimpanan dokumen rekam medis dan luas ruang filing di rumah sakit tahun 2020-2024," *Jurnal Rekam Medis Dan Informasi Kesehatan*, vol. 4, no. 1, pp. 8–17, 2021.
- 13 S. Kumar, A. K. Bharti, and R. Amin, "Decentralized secure storage of medical records using blockchain and ipfs: A comparative analysis with future directions," *Security and Privacy*, vol. 4, no. 5, p. e162, 2021.
- 14 K. Shvachko, H. Kuang, S. Radia, and R. Chansler, "The hadoop distributed file system," in *2010 IEEE 26th symposium on mass storage systems and technologies (MSST)*. IEEE, 2010, pp. 1–10.
- 15 L. Lukac, "A technical guide to ipfs – the decentralized storage of web3," 2021. [Online]. Available: <https://www.freecodecamp.org/news/technical-guide-to-ipfs-decentralized-storage-of-web3/>
- 16 M. M. Mahdy, "Semi-centralized blockchain based distributed system for secure and private sharing of electronic health records," in *2020 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)*. IEEE, 2021, pp. 1–4.
- 17 R. Kumar, N. Marchang, and R. Tripathi, "Distributed off-chain storage of patient diagnostic reports in healthcare system using ipfs and blockchain," in *2020 International conference on communication systems & networks (COMSNETS)*. IEEE, 2020, pp. 1–5.
- 18 S. M. Marier, "Potensi interoperabilitas sistem informasi rumah sakit untuk penerapan standar pertukaran data hl7," *Query: Journal of Information Systems*, vol. 2, no. 2, 2018.
- 19 BigchainDB, "Bigchaindb: Features & use cases," 2022. [Online]. Available: <https://www.bigchaindb.com/features/>
- 20 —, "Bigchaindb : Set up bigchaindb, mongodb and tendermint," 2022. [Online]. Available: <http://docs.bigchaindb.com/projects/server/en/latest/simple-deployment-template/set-up-node-software.html>
- 21 OpenEMR, "Openemr features," 2022. [Online]. Available: <http://docs.bigchaindb.com/projects/server/en/latest/simple-deployment-template/set-up-node-software.html>
- 22 BigchainDB, "Bigchaindb, "key concepts of bigchaindb," 2022. [Online]. Available: https://www.open-emr.org/wiki/index.php/OpenEMR_Features