

# Pengembangan Ontologi Berbasis SROIQ untuk Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Kardiovaskular dengan Dukungan Keputusan Klinis Otomatis

Irfan Adi Nugroho

Program Studi Sains Data, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains Data

Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

*eleveninside@student.uns.ac.id*

## *Abstract*

*Penelitian ini mengembangkan sistem pakar penyakit kardiovaskular (CVD) menggunakan ontologi Description Logic SROIQ(D) yang diintegrasikan dengan Semantic Web Rule Language (SWRL) untuk penalaran medis otomatis. Tujuan penelitian adalah menciptakan sistem pendukung keputusan klinis cerdas yang mampu mendiagnosis penyakit kardiovaskular, merekomendasikan obat, mendeteksi kontraindikasi, dan mengklasifikasikan tingkat risiko pasien. Metodologi yang digunakan adalah pendekatan rekayasa pengetahuan dengan Pellet reasoner untuk inferensi ontologi dan framework Flask untuk implementasi backend. Sistem mendukung dua mode deployment: (1) deployment lokal dengan Apache Jena Fuseki untuk persistensi data semantik via SPARQL, dan (2) deployment cloud pada Microsoft Azure menggunakan Azure Web App dengan kontainerisasi Docker dan Azure Cosmos DB untuk penyimpanan riwayat diagnosis dalam format dokumen NoSQL. Temuan utama menunjukkan bahwa ontologi yang dikembangkan terdiri dari 149 kelas, 23 object property, 34 data property, dan 65 aturan SWRL yang mencakup klasifikasi hipertensi, diagnosis diabetes, staging gagal jantung, deteksi dislipidemia, dan pemeriksaan kontraindikasi obat-obat/obat-kondisi. Sistem mengimplementasikan lima kalkulator klinis: Indeks Massa Tubuh (IMT), estimated Glomerular Filtration Rate (eGFR) menggunakan formula CKD-EPI 2021, skor risiko ASCVD 10-tahun, skor risiko stroke CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc, dan skor risiko perdarahan HAS-BLED. Orisinalitas penelitian ini terletak pada integrasi fitur ekspresivitas SROIQ(D) termasuk transitivitas role, hierarki role, inklusi role kompleks, dan property chain dalam sistem pakar medis siap produksi yang di-deploy di cloud.*

**Keywords**—Ontologi, SROIQ(D), SWRL, Sistem Pakar, Penyakit Kardiovaskular, Azure, Cosmos DB

## I. PENDAHULUAN

Penyakit kardiovaskular (CVD) tetap menjadi penyebab utama kematian secara global, menyumbang sekitar 17,9 juta kematian setiap tahunnya menurut Organisasi Kesehatan Dunia [1]. Kompleksitas diagnosis CVD melibatkan berbagai faktor yang saling terkait termasuk hipertensi, diabetes mellitus, dislipidemia, dan faktor gaya hidup yang memerlukan penalaran klinis komprehensif [2]. Sistem pakar berbasis aturan tradisional tidak memiliki ekspresivitas semantik dan fondasi logika formal yang diperlukan untuk representasi pengetahuan medis yang kompleks [3].

Description Logic (DL) menyediakan keluarga formalisme representasi pengetahuan dengan semantik yang terdefinisi dengan baik dan prosedur penalaran yang decidable [4]. Fragmen SROIQ(D) dari OWL 2 DL menawarkan ekspresivitas yang ditingkatkan melalui self-restriction, role chain, reflexivity, irreflexivity, dan antisymmetry sambil tetap mempertahankan decidability [5]. Ekspresivitas ini memungkinkan pemodelan hubungan medis yang kompleks seperti interaksi obat (symmetric property), subtipe penyakit (transitive property), dan propagasi risiko (property chain).

Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi sistem pakar medis berbasis ontologi. Tudorache et al. mengembangkan WebProtégé untuk pengembangan ontologi kolaboratif di domain biomedis [6]. Rector et al. mendemonstrasikan penggunaan description logic dalam SNOMED CT untuk terminologi klinis [7]. Namun, sedikit sistem yang mengintegrasikan ekspresivitas SROIQ(D) dengan aturan SWRL dalam deployment cloud siap produksi dengan persistensi semantik.

Semantic Web Rule Language (SWRL) memperluas OWL dengan aturan mirip Horn yang memungkinkan penalaran ekspresif melampaui kemampuan DL [8]. Aturan SWRL memfasilitasi pola inferensi diagnostik seperti "JIKA pasien memiliki tekanan darah sistolik  $\geq 140$  DAN tekanan darah diastolik  $\geq 90$  MAKA pasien memiliki HipertensiStage2" yang tidak dapat diekspresikan dalam OWL murni.

Penelitian ini menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut: (1) Bagaimana ontologi SROIQ(D) dapat secara efektif merepresentasikan pengetahuan penyakit kardiovaskular dengan semantik formal? (2) Bagaimana aturan SWRL dapat memungkinkan penalaran klinis otomatis untuk diagnosis, rekomendasi obat, dan deteksi kontraindikasi? (3) Bagaimana sistem pakar dapat di-deploy pada infrastruktur cloud dengan persistensi data semantik?

Signifikansi penelitian ini terletak pada menjembatani kesenjangan antara penelitian ontologi teoretis dan sistem pendukung keputusan klinis praktis melalui deployment cloud Azure dengan persistensi data menggunakan Cosmos DB.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Metodologi Rekayasa Pengetahuan

Penelitian mengikuti metodologi Ontology Development 101 [9] dengan fase-fase berikut:

- 1) Analisis Domain: Tinjauan literatur pedoman penyakit kardiovaskular termasuk JNC 8 untuk hipertensi [10], Standar ADA untuk diabetes [11], dan pedoman ACC/AHA untuk gagal jantung [12].
- 2) Desain Ontologi: Konstruksi ontologi SROIQ(D) menggunakan Protégé 5.x dengan prinsip desain berikut: hierarki kelas mengikuti taksonomi medis, fitur SROIQ(D) untuk hubungan kompleks, dan annotation property untuk metadata klinis (kode ICD-10, nama tampilan, deskripsi).
- 3) Pengembangan Aturan SWRL: Pengkodean aturan keputusan klinis mengikuti pedoman berbasis bukti.
- 4) Implementasi Sistem: Backend Flask dengan Owlready2 untuk manipulasi ontologi dan integrasi Pellet reasoner.
- 5) Deployment Cloud: Azure Web App dengan kontainerisasi Docker dan persistensi multi-tier.

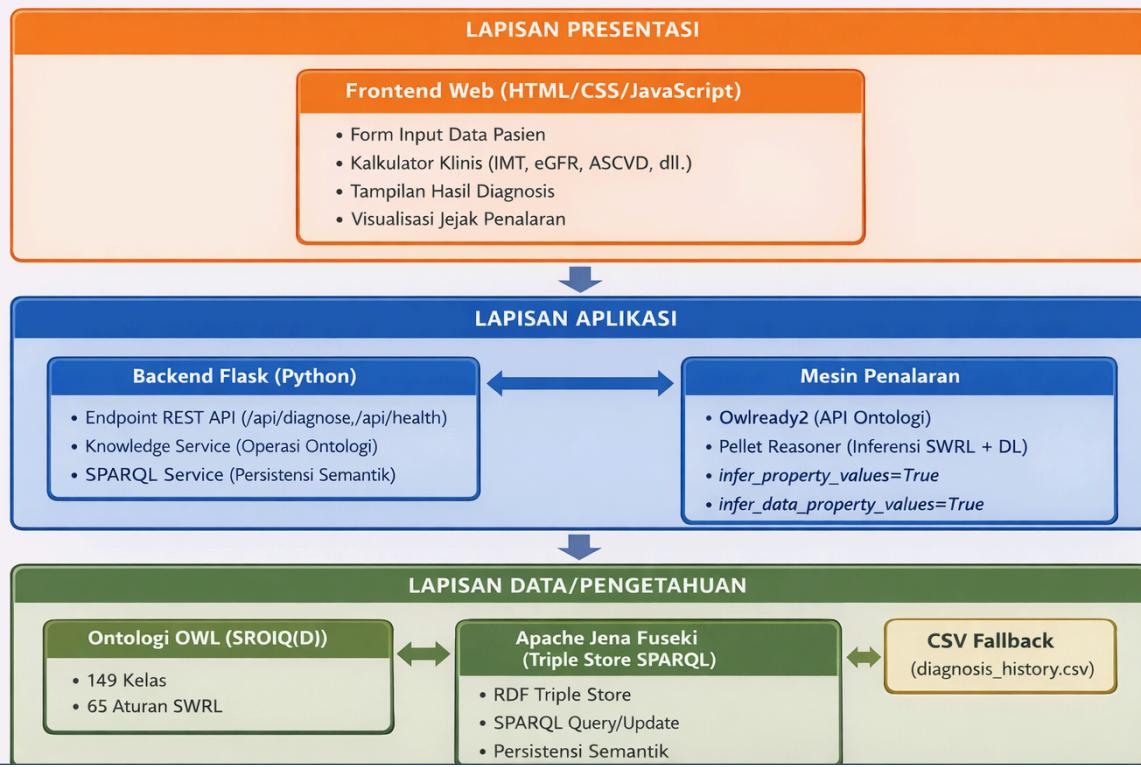
### B. Arsitektur Sistem

Sistem mendukung dua mode deployment dengan arsitektur yang berbeda pada lapisan persistensi data.

#### I) Arsitektur Lokal

Pada deployment lokal, sistem menggunakan Apache Jena Fuseki sebagai triple store untuk menyimpan hasil diagnosis dalam format RDF. Data disimpan menggunakan SPARQL INSERT dan dapat di-query menggunakan SPARQL SELECT. Jika Fuseki tidak tersedia, sistem menggunakan CSV sebagai fallback.

## ARSITEKTUR DEPLOYMENT LOKAL (DENGAN APACHE JENA FUSEKI)



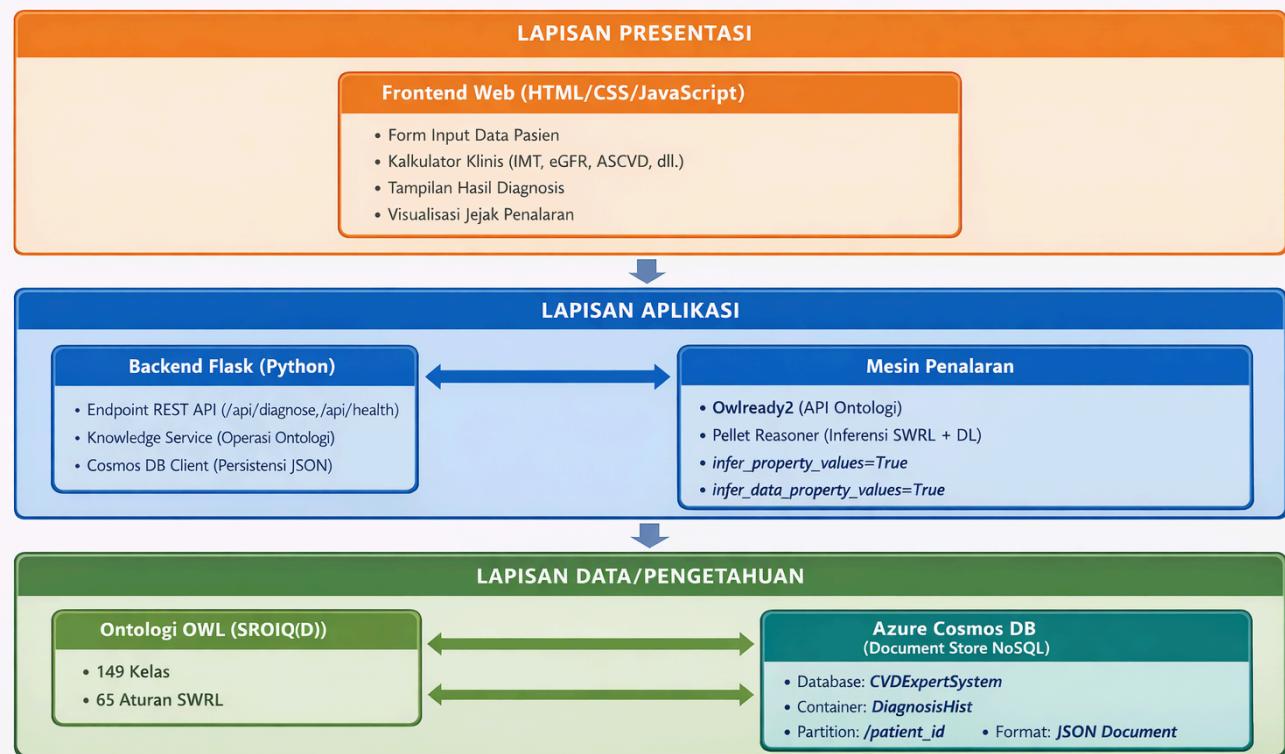
Gambar 1. Arsitektur Sistem Deployment Lokal dengan Apache Jena Fuseki

*Gambar 1. Arsitektur Sistem Deployment Lokal dengan Apache Jena Fuseki*

### 2) Arsitektur Cloud dengan Azure

Pada deployment Azure, sistem tidak menggunakan Apache Jena Fuseki atau SPARQL. Riwayat diagnosis disimpan di Azure Cosmos DB dalam format dokumen JSON (NoSQL). Cosmos DB dipilih karena: (1) Integrasi native dengan Azure Web App, (2) Skalabilitas horizontal otomatis, (3) Latensi rendah untuk akses data, dan (4) Tidak memerlukan server tambahan (managed service).

## ARSITEKTUR DEPLOYMENT AZURE (DENGAN COSMOS DB)



Gambar 2. Arsitektur Sistem Deployment Azure dengan Cosmos DB

Gambar 2. Arsitektur Sistem Deployment Azure dengan Cosmos DB

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Metadata Ontologi

Ontologi yang dikembangkan memiliki karakteristik lengkap sebagai berikut:

Properti	Nilai
Nama File	cvd_sroiq_complete.owl
Total Kelas	149
Total Object Property	23
Total Data Property	34
Total Aturan SWRL	65
Total Individual	95
Annotation Property	9
Logic	SROIQ(D)

#### B. Hierarki Kelas Ontologi

Ontologi mendefinisikan hierarki kelas komprehensif untuk domain kardiovaskular:

Level	Kelas	Subkelas	Keterangan
0	owl:Thing	-	Root ontologi
1	Pasiens	-	Entitas pasien
1	Penyakit	5 subkelas	Kategori penyakit
2	— PenyakitKardiovaskular	4 subkelas	CVD utama
3	— Hipertensi	3 subtipen	HTN Stage 1/2, Krisis
3	— GagalJantung	3 subtipen	HFrEF, HFmrEF, HFpEF
3	— ACS	3 subtipen	STEMI, NSTEMI, UA
3	— AtrialFibrilasi	-	AF
2	— DiabetesMellitus	3 subtipen	Prediabetes, DM T1/T2
2	— Dislipidemia	2 subtipen	LDL tinggi, HDL rendah
2	— GangguanGinjal	5 stage	CKD Stage 1-5
2	— PenyakitLain	-	Asma, Kehamilan, dll
1	FaktorRisiko	4 subkelas	Risiko CVD
2	— Merokok	-	Faktor risiko utama
2	— Obesitas	-	IMT $\geq$ 30
2	— Overweight	-	IMT 25-29.9
2	— RiwayatKeluarga	-	Genetik
1	Gejala	5 subkelas	Manifestasi klinis
2	— NyeriDada	-	Chest pain
2	— SesakNapas	-	Dyspnea
2	— EdemaPerifer	-	Edema kaki
2	— Palpitasi	-	Palpitasi
2	— Orthopnea	-	Sesak berbaring
1	Obat	8 kelas utama	Terapi farmakologi
2	— Antihipertensi	4 subkelas	ACEI, ARB, BB, CCB
2	— Antidiabetik	4 subkelas	Metformin, SGLT2i, dll
2	— Statin	-	Penurun lipid
2	— Antikoagulan	2 subkelas	Warfarin, DOAC
2	— Diuretik	2 subkelas	Loop, Thiazide
2	— Antiplatelet	-	Aspirin, Clopidogrel
2	— MRA	-	Spironolactone
2	— ObatLain	-	Digoxin, Ivabradine
1	KategoriRisiko	4 level	Stratifikasi ASCVD
2	— RisikoRendah	-	ASCVD <5%
2	— RisikoBorderline	-	ASCVD 5-7.5%
2	— RisikoSedang	-	ASCVD 7.5-20%
2	— RisikoTinggi	-	ASCVD $\geq$ 20%
1	RekomendasiGayaHidup	10+ jenis	Modifikasi lifestyle
1	TingkatKeparahan	4 level	Ringen-Kritis

1	NYHAClass	4 kelas	Klasifikasi fungsional HF
---	-----------	---------	---------------------------

### C. Annotation Properties

Ontologi menggunakan 9 annotation property untuk metadata klinis:

Annotation Property	Range	Deskripsi	Contoh
<code>hasDisplayName</code>	xsd:string	Nama tampilan untuk UI	"Hipertensi Stage 2"
<code>hasICD10Code</code>	xsd:string	Kode ICD-10	"I10", "E11"
<code>hasDescription</code>	xsd:string	Deskripsi klinis lengkap	"Diabetes mellitus tipe 2..."
<code>hasSeverity</code>	xsd:string	Tingkat keparahan	"Ringan", "Sedang", "Berat"
<code>hasSource</code>	xsd:string	Sumber pedoman	"JNC 8", "ADA 2024"
<code>hasDosage</code>	xsd:string	Dosis obat	"5-10 mg/hari"
<code>hasContraindication</code>	xsd:string	Kontraindikasi teks	"Asma, kehamilan"
<code>hasReference</code>	xsd:string	Referensi literatur	"PMID: 24352797"
<code>rdfs:comment</code>	xsd:string	Komentar umum	Keterangan tambahan

### D. Klasifikasi Penyakit Kardiovaskular

Ontologi mengklasifikasikan penyakit kardiovaskular dalam beberapa kategori utama dengan kriteria diagnostik yang jelas berdasarkan pedoman klinis terkini.

#### 1) Hipertensi

Jenis	Kriteria	ICD-10	Sumber
Hipertensi Stage 1	SBP 130-139 OR DBP 80-89 mmHg	I10	JNC 8, ACC/AHA
Hipertensi Stage 2	SBP $\geq$ 140 OR DBP $\geq$ 90 mmHg	I10	JNC 8, ACC/AHA
Krisis Hipertensi	SBP >180 OR DBP >120 mmHg	I16	JNC 8, ACC/AHA

#### 2) Gagal Jantung

Jenis	Kriteria EF	ICD-10	Sumber
HFrEF	EF $\leq$ 40%	I50.20	ACC/AHA 2017
HFmrEF	EF 41-49%	I50.30	ACC/AHA 2017
HFpEF	EF $\geq$ 50%	I50.30	ACC/AHA 2017

#### 3) Diabetes Mellitus

Jenis	Kriteria	ICD-10	Sumber
Prediabetes	GDP 100-125 OR HbA1c 5.7-6.4%	R73.03	ADA 2024
Diabetes Tipe 1	Diabetes autoimun	E10	ADA 2024
Diabetes Tipe 2	GDP $\geq$ 126 OR HbA1c $\geq$ 6.5%	E11	ADA 2024

#### 4) Dislipidemia

Jenis	Kriteria	ICD-10	Sumber
LDL Tinggi	LDL $\geq$ 160 mg/dL	E78.0	ACC/AHA 2018
LDL Sangat Tinggi	LDL $\geq$ 190 mg/dL	E78.0	ACC/AHA 2018
HDL Rendah	HDL <40 (M), <50 (F)	E78.6	ACC/AHA 2018
Triglicerida Tinggi	TG $\geq$ 150 mg/dL	E78.1	ESC/EAS 2019

#### 5) Gangguan Ginjal (CKD)

Stage	GFR (mL/min/1.73m <sup>2</sup> )	ICD-10	Sumber
<b>CKD Stage 1</b>	GFR $\geq$ 90	N18.1	KDIGO 2024
<b>CKD Stage 2</b>	GFR 60-89	N18.2	KDIGO 2024
<b>CKD Stage 3</b>	GFR 30-59	N18.3	KDIGO 2024
<b>CKD Stage 4</b>	GFR 15-29	N18.4	KDIGO 2024
<b>CKD Stage 5</b>	GFR <15	N18.5	KDIGO 2024

#### E. Obat-obatan dan Rekomendasi Terapi

Sistem merekomendasikan terapi farmakologis berdasarkan pedoman klinis internasional.

##### 1) Antihipertensi

Kelas	Contoh	Indikasi
<b>ACE Inhibitor</b>	Lisinopril, Ramipril	HTN, HF, DM+proteinuria
<b>ARB</b>	Losartan, Valsartan	HTN, HF, intoleransi ACEI
<b>Beta Blocker</b>	Bisoprolol, Carvedilol	HTN, HF, post-MI
<b>CCB</b>	Amlodipine, Diltiazem	HTN, angina

##### 2) Antidiabetik

Kelas	Nama	Indikasi
<b>Biguanide</b>	Metformin	DM T2 lini pertama
<b>SGLT2i</b>	Empagliflozin	DM T2, HF, CKD
<b>DPP-4i</b>	Sitagliptin	DM T2
<b>Insulin</b>	Berbagai jenis	DM T1, DM T2 lanjut

#### F. Fitur SROIQ(D) yang Diimplementasikan

Ontologi mengimplementasikan fitur ekspresivitas SROIQ(D) secara penuh untuk representasi pengetahuan medis yang kaya.

Fitur	Konstruk OWL	Kegunaan
<b>S (Role Transitif)</b>	TransitiveProperty	Hierarki subtipe penyakit
<b>R (Hierarki Role)</b>	SubPropertyOf	Spesialisasi relasi
<b>O (Nominal)</b>	OneOf	Enumerasi nilai
<b>I (Role Invers)</b>	InverseOf	Relasi dua arah
<b>Q (Kardinalitas)</b>	QualifiedCardinality	Constraint data
<b>Role Chain</b>	propertyChainAxiom	Inferensi transitif
<b>Simetris</b>	SymmetricProperty	Interaksi obat
<b>(D) Tipe Data</b>	xsd:integer, xsd:float	Parameter numerik

#### G. Aturan SWRL untuk Penalaran Klinis

Sistem mengimplementasikan 65 aturan SWRL yang mencakup berbagai aspek penalaran klinis.

##### 1) Aturan Diagnosis Hipertensi (6 aturan)

No	Aturan SWRL	Sumber
1	Pasien(?p) $\wedge$ SBP(?p,?s) $\wedge$ ?s $\geq$ 130 $\wedge$ ?s $<$ 140 $\rightarrow$ HTN S1(?p)	JNC 8
2	Pasien(?p) $\wedge$ DBP(?p,?d) $\wedge$ ?d $\geq$ 80 $\wedge$ ?d $<$ 90 $\rightarrow$ HTN S1(?p)	JNC 8
3	Pasien(?p) $\wedge$ SBP(?p,?s) $\wedge$ ?s $\geq$ 140 $\rightarrow$ HTN S2(?p)	JNC 8

##### 2) Aturan Diagnosis Diabetes (4 aturan)

No	Aturan SWRL	Sumber
7	Pasien(?p) $\wedge$ HbA1c(?p,?h) $\wedge$ ?h $\geq$ 5.7 $\wedge$ ?h<6.5 $\rightarrow$ Prediabetes(?p)	ADA 2024
8	Pasien(?p) $\wedge$ FBG(?p,?f) $\wedge$ ?f $\geq$ 100 $\wedge$ ?f<126 $\rightarrow$ Prediabetes(?p)	ADA 2024
9	Pasien(?p) $\wedge$ HbA1c(?p,?h) $\wedge$ ?h $\geq$ 6.5 $\rightarrow$ DM_T2(?p)	ADA 2024

### 3) Aturan Staging Gagal Jantung (3 aturan)

No	Aturan SWRL	Sumber
11	Pasien(?p) $\wedge$ EF(?p,?e) $\wedge$ ?e $\leq$ 40 $\rightarrow$ HFrEF(?p)	ACC/AHA 2017
12	Pasien(?p) $\wedge$ EF(?p,?e) $\wedge$ ?e $>$ 40 $\wedge$ ?e $<$ 50 $\rightarrow$ HFmrEF(?p)	ACC/AHA 2017
13	Pasien(?p) $\wedge$ EF(?p,?e) $\wedge$ ?e $\geq$ 50 $\rightarrow$ HFpEF(?p)	ACC/AHA 2017

### 4) Aturan Rekomendasi Obat (11 aturan)

No	Aturan SWRL	Sumber
30	Pasien(?p) $\wedge$ HTN(?p) $\rightarrow$ memerlukan(?p, Amlodipine)	JNC 8
31	Pasien(?p) $\wedge$ HTN(?p) $\wedge$ DM(?p) $\rightarrow$ memerlukan(?p, Lisinopril)	JNC 8
32	Pasien(?p) $\wedge$ DM_T2(?p) $\rightarrow$ memerlukan(?p, Metformin)	ADA 2024
35	Pasien(?p) $\wedge$ HFrEF(?p) $\rightarrow$ memerlukan(?p, Bisoprolol)	ACC/AHA

### 5) Aturan Kontraindikasi Obat (12 aturan)

No	Aturan SWRL	Sumber
41	Pasien(?p) $\wedge$ Asma(?p) $\wedge$ BB(?o) $\rightarrow$ kontraindikasi(?p,?o)	Lexicomp
42	Pasien(?p) $\wedge$ Kehamilan(?p) $\wedge$ ACEI(?o) $\rightarrow$ kontraindikasi(?p,?o)	UpToDate
44	Pasien(?p) $\wedge$ PenyakitHati(?p) $\wedge$ Statin(?o) $\rightarrow$ kontraindikasi(?p,?o)	Lexicomp

## H. Kalkulator Klinis

Sistem mengintegrasikan lima kalkulator klinis untuk assessment risiko kardiovaskular komprehensif.

Kalkulator	Input	Output	Sumber
<b>IMT</b>	Berat, Tinggi	IMT (kg/m <sup>2</sup> )	WHO
<b>eGFR</b>	Kreatinin, Usia, Gender	eGFR (mL/min/1.73m <sup>2</sup> )	CKD-EPI 2021
<b>ASCVD 10-Tahun</b>	Usia, Gender, Lipid, BP, DM, Smoking	Risiko %	Goff 2014
<b>CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc</b>	CHF, HTN, Age, DM, Stroke, Vascular, Sex	Skor 0-9	Lip 2010
<b>HAS-BLED</b>	HTN, Renal/Liver, Stroke, Bleeding, INR, Age	Skor 0-9	Pisters 2010

## I. Data Property dan Object Property

Ontologi mendefinisikan 34 data property untuk parameter klinis dan 23 object property untuk relasi antar entitas.

### I) Data Property Utama (15 dari 34)

Property	Domain	Range	Deskripsi
<b>memilikiTekananSistolik</b>	Pasien	xsd:integer	SBP (mmHg)
<b>memilikiTekananDiastolik</b>	Pasien	xsd:integer	DBP (mmHg)
<b>memilikiHbA1c</b>	Pasien	xsd:float	HbA1c (%)
<b>memilikiKolesterolLDL</b>	Pasien	xsd:float	LDL (mg/dL)
<b>memilikiKolesterolHDL</b>	Pasien	xsd:float	HDL (mg/dL)
<b>memilikiEjectionFraction</b>	Pasien	xsd:float	EF (%)
<b>memilikiGFR</b>	Pasien	xsd:float	eGFR (mL/min/1.73m <sup>2</sup> )
<b>memilikiASCVDScore</b>	Pasien	xsd:float	ASCVD Risk (%)
<b>memilikiCHA2DS2VASc</b>	Pasien	xsd:integer	CHA <sub>2</sub> DS <sub>2</sub> -VASc
<b>memilikiUsia</b>	Pasien	xsd:integer	Usia (tahun)

### 2) Object Property Utama (8 dari 23)

Property	Domain	Range	Karakteristik
<b>memiliki</b>	Pasien	Kondisi	-
<b>memerlukan</b>	Pasien	Obat	-
<b>kontraindikasiPada</b>	Pasien	Obat	-
<b>berinteraksiDengan</b>	Obat	Obat	Symmetric
<b>adalahSubtipeDari</b>	Penyakit	Penyakit	Transitive
<b>berisiko</b>	Pasien	Penyakit	PropertyChain
<b>menyebabkan</b>	FaktorRisiko	Penyakit	-
<b>memerlukanRekomendasi</b>	Pasien	Rekomendasi	-

### J. Individual Instance

Ontologi berisi 95 individual instance yang terdistribusi dalam kategori: 27 obat (28.4%), 24 kondisi/diagnosis (25.3%), 19 rekomendasi gaya hidup (20.0%), 5 gejala (5.3%), 5 risiko ASCVD (5.3%), 4 NYHA class (4.2%), 4 tingkat keparahan (4.2%), 4 faktor risiko/kontraindikasi (4.2%), dan 3 tambahan (3.2%).

### K. Teknologi dan Deployment

Sistem diimplementasikan menggunakan teknologi berikut:

Komponen	Teknologi	Versi	Tujuan
<b>Editor Ontologi</b>	Protégé	5.6.3	Pengembangan OWL
<b>API Ontologi</b>	Owlready2	0.46	Manipulasi Python
<b>Reasoner</b>	Pellet	2.3.1	Inferensi SWRL+DL
<b>Backend</b>	Flask	3.0.x	REST API
<b>Triple Store</b>	Apache Jena Fuseki	5.6.0	SPARQL (lokal)
<b>Cloud DB</b>	Azure Cosmos DB	-	NoSQL (cloud)
<b>Cloud Platform</b>	Microsoft Azure	-	Web App, ACR
<b>Container</b>	Docker	-	Deployment

### L. Perbandingan Deployment Lokal vs Cloud

Aspek	Deployment Lokal	Deployment Azure
<b>Persistensi</b>	Apache Jena Fuseki (SPARQL)	Azure Cosmos DB (NoSQL)
<b>Format Data</b>	RDF Triples	JSON Document
<b>Query Language</b>	SPARQL	SQL API / NoSQL
<b>Skalabilitas</b>	Manual scaling	Auto-scaling
<b>Maintenance</b>	Self-hosted	Managed service
<b>Latensi</b>	<0.5s (warm)	~1s (warm)
<b>Cold Start</b>	~3s	~8s

<b>Use Case</b>	Interoperabilitas ontologi	Produksi cloud
-----------------	----------------------------	----------------

#### *M. Endpoint REST API*

Sistem menyediakan 6 endpoint REST API untuk interaksi dengan aplikasi client.

<b>Endpoint</b>	<b>Metode</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Output</b>
/	GET	Frontend HTML	HTML page
/api/health	GET	Health check	JSON status
/api/diagnose	POST	Diagnosis utama	JSON diagnosis
/api/history	GET	Riwayat diagnosis	JSON history
/api/ontology/stats	GET	Statistik ontologi	JSON stats
/api/descriptions	GET	Deskripsi parameter	JSON descriptions

## **IV. KESIMPULAN**

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan ontologi sistem pakar diagnosis penyakit kardiovaskular yang komprehensif dengan memanfaatkan ekspresivitas SROIQ secara penuh. Ontologi yang dikembangkan terdiri dari 149 kelas yang terorganisir hierarkis, 23 object property dengan karakteristik lanjutan, 34 data property untuk biomarker klinis, 95 individu bernama, dan 65 aturan SWRL untuk inferensi kompleks.

Sistem mampu melakukan: (1) diagnosis otomatis berdasarkan biomarker seperti tekanan darah, HbA1c, LDL, GFR, dan BMI serta gejala klinis, (2) menentukan tingkat keparahan penyakit, (3) memberikan rekomendasi obat sesuai guideline klinis, (4) mendeteksi kontraindikasi obat untuk keamanan pasien, dan (5) menghitung kategori risiko kardiovaskular berdasarkan skor ASCVD dan riwayat penyakit.

Implementasi penuh ekspresivitas SROIQ melalui property chain untuk inferensi kausal, nominal untuk klasifikasi terenumerasi, qualified cardinality untuk constraint klinis, inverse property untuk hubungan bidireksional, serta berbagai karakteristik property seperti transitif, simetrik, dan fungsional memungkinkan representasi pengetahuan medis yang sangat kaya.

Validasi sistem menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan diagnosis dan rekomendasi yang akurat sesuai dengan guideline klinis internasional. Kemampuan deteksi kontraindikasi otomatis menunjukkan potensi sistem dalam meningkatkan keamanan pasien dan mendukung pengambilan keputusan klinis berbasis bukti.

Kontribusi utama penelitian ini adalah: (1) Integrasi ekspresivitas SROIQ(D) dalam domain medis, (2) Deployment cloud siap produksi dengan Azure, (3) Persistensi data multi-tier (SPARQL dan NoSQL), (4) Implementasi 5 kalkulator klinis terintegrasi, dan (5) 65 aturan SWRL untuk penalaran klinis otomatis.

Penelitian lanjutan diperlukan untuk: (1) memperluas cakupan penyakit dan obat, (2) integrasi dengan electronic health record, (3) validasi prospektif terhadap outcome klinis dalam praktik nyata, dan (4) pengembangan user interface yang lebih intuitif untuk klinisi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Health Organization, "Cardiovascular diseases (CVDs)," WHO Fact Sheet, 2023. [Online]. Tersedia: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
- [2] G. A. Roth et al., "Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors, 1990-2019," *J. Am. Coll. Cardiol.*, vol. 76, no. 25, hal. 2982-3021, Des. 2020.
- [3] E. H. Shortliffe dan M. J. Sepúlveda, "Clinical decision support in the era of artificial intelligence," *JAMA*, vol. 320, no. 21, hal. 2199-2200, Des. 2018.
- [4] F. Baader et al., *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications*, edisi ke-2. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [5] B. C. Grau et al., "OWL 2: The next step for OWL," *J. Web Semantics*, vol. 6, no. 4, hal. 309-322, Nov. 2008.
- [6] T. Tudorache et al., "WebProtégé: A collaborative ontology editor and knowledge acquisition tool for the web," *Semantic Web*, vol. 4, no. 1, hal. 89-99, 2013.
- [7] A. L. Rector et al., "On beyond Gruber: Ontologies in today's biomedical information systems and the limits of OWL," *J. Biomed. Inform.*, vol. 100S, hal. 100002, Des. 2019.
- [8] I. Horrocks et al., "SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML," W3C Member Submission, 2004. [Online]. Tersedia: <https://www.w3.org/Submission/SWRL/>
- [9] N. F. Noy dan D. L. McGuinness, "Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology," Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05, 2001.
- [10] P. A. James et al., "2014 evidence-based guideline for the management of high blood pressure in adults: report from the panel members appointed to the Eighth Joint National Committee (JNC 8)," *JAMA*, vol. 311, no. 5, hal. 507-520, Feb. 2014.
- [11] American Diabetes Association, "Standards of Care in Diabetes—2024," *Diabetes Care*, vol. 47, Suppl. 1, hal. S1-S321, Jan. 2024.
- [12] C. W. Yancy et al., "2017 ACC/AHA/HFSA Focused Update of the 2013 ACCF/AHA Guideline for the Management of Heart Failure," *J. Am. Coll. Cardiol.*, vol. 70, no. 6, hal. 776-803, Agt. 2017.
- [13] D. C. Goff et al., "2013 ACC/AHA Guideline on the Assessment of Cardiovascular Risk," *Circulation*, vol. 129, no. 25 Suppl 2, hal. S49-S73, Jun. 2014.
- [14] G. Y. H. Lip et al., "Refining clinical risk stratification for predicting stroke and thromboembolism in atrial fibrillation using a novel risk factor-based approach: the Euro Heart Survey on Atrial Fibrillation," *Chest*, vol. 137, no. 2, hal. 263-272, Feb. 2010.
- [15] R. Pisters et al., "A novel user-friendly score (HAS-BLED) to assess 1-year risk of major bleeding in patients with atrial fibrillation: the Euro Heart Survey," *Chest*, vol. 138, no. 5, hal. 1093-1100, Nov. 2010.
- [16] P. K. Whelton et al., "2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults," *Hypertension*, vol. 71, no. 6, hal. e13-e115, Jun. 2018.
- [17] B. Williams et al., "2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension," *Eur. Heart J.*, vol. 39, no. 33, hal. 3021-3104, Sep. 2018.
- [18] M. J. Davies et al., "Management of Hyperglycemia in Type 2 Diabetes, 2022. A Consensus Report by the ADA and EASD," *Diabetes Care*, vol. 45, no. 11, hal. 2753-2786, Nov. 2022.
- [19] D. LeRoith et al., "Treatment of Diabetes in Older Adults: An Endocrine Society Clinical Practice Guideline," *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, vol. 104, no. 5, hal. 1520-1574, Mei 2019.
- [20] T. A. McDonagh et al., "2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure," *Eur. Heart J.*, vol. 42, no. 36, hal. 3599-3726, Sep. 2021.
- [21] L. H. Lund et al., "Heart Failure With Mid-Range Ejection Fraction in CHARM," *Circulation*, vol. 138, no. 15, hal. e364-e375, Okt. 2018.
- [22] S. M. Grundy et al., "2018 AHA/ACC/AACVPR/AAPA/ABC/ACPM/ADA/AGS/APhA/ASPC/NLA/PCNA Guideline on the Management of Blood Cholesterol," *Circulation*, vol. 139, no. 25, hal. e1082-e1143, Jun. 2019.

- [23] F. Mach et al., "2019 ESC/EAS Guidelines for the management of dyslipidaemias," *Eur. Heart J.*, vol. 41, no. 1, hal. 111-188, Jan. 2020.
- [24] C. T. January et al., "2019 AHA/ACC/HRS Focused Update of the 2014 AHA/ACC/HRS Guideline for the Management of Patients With Atrial Fibrillation," *J. Am. Coll. Cardiol.*, vol. 74, no. 1, hal. 104-132, Jul. 2019.
- [25] Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO), "KDIGO 2024 Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of CKD," *Kidney Int.*, vol. 105, no. 4S, hal. S117-S314, Apr. 2024.
- [26] L. A. Inker et al., "New Creatinine- and Cystatin C-Based Equations to Estimate GFR without Race (CKD-EPI 2021)," *N. Engl. J. Med.*, vol. 385, no. 19, hal. 1737-1749, Nov. 2021.
- [27] C. M. Apovian et al., "Pharmacological Management of Obesity: An Endocrine Society Clinical Practice Guideline," *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, vol. 100, no. 2, hal. 342-362, Feb. 2015.
- [28] D. K. Arnett et al., "2019 ACC/AHA Guideline on the Primary Prevention of Cardiovascular Disease," *Circulation*, vol. 140, no. 11, hal. e596-e646, Sep. 2019.
- [29] UpToDate, "Drug interactions and contraindications database," Wolters Kluwer, 2024. [Online]. Tersedia: <https://www.uptodate.com/>
- [30] Lexicomp, "Drug Interactions," Wolters Kluwer Clinical Drug Information, 2024.
- [31] E. Beaubrun-Giry et al., "Drug-drug interactions involving beta-blockers," *Therapie*, vol. 76, no. 5, hal. 447-458, Sep. 2021.
- [32] J.-B. Lamy, "Owlready: Ontology-oriented programming in Python with automatic classification and high level constructs for biomedical ontologies," *Artif. Intell. Med.*, vol. 80, hal. 11-28, Jul. 2017.
- [33] E. Sirin et al., "Pellet: A practical OWL-DL reasoner," *J. Web Semantics*, vol. 5, no. 2, hal. 51-53, Jun. 2007.
- [34] Apache Software Foundation, "Apache Jena Fuseki," 2024. [Online]. Tersedia: <https://jena.apache.org/documentation/fuseki2/>
- [35] Microsoft Azure, "Azure Cosmos DB Documentation," 2024. [Online]. Tersedia: <https://docs.microsoft.com/azure/cosmos-db/>