



UNIVERSITAS INDONESIA

**KEMAMPUAN OPEN-WEIGHT LARGE LANGUAGE MODEL
DALAM PENALARAN LOGIKA BERBASIS FRAMEWORK
TRANSLATION-DECOMPOSITION-SEARCHRESOLVE PADA
DATASET BERBAHASA INDONESIA**

SKRIPSI

**MIKHAEL DEO BARLI
1906350572**

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
DEPOK
BULAN TAHUN**



UNIVERSITAS INDONESIA

**KEMAMPUAN OPEN-WEIGHT LARGE LANGUAGE MODEL
DALAM PENALARAN LOGIKA BERBASIS FRAMEWORK
TRANSLATION-DECOMPOSITION-SEARCHRESOLVE PADA
DATASET BERBAHASA INDONESIA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Gelar Jurusan Anda

**MIKHAEL DEO BARLI
1906350572**

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
DEPOK
BULAN TAHUN**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Mikhael Deo Barli

NPM : 1906350572

Tanda Tangan :

Tanggal : Tanggal Bulan Tahun

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Mikhael Deo Barli

NPM : 1906350572

Program Studi : Ilmu Komputer

Judul Skripsi : Kemampuan Open-Weight Large Language Model
dalam Penalaran Logika Berbasis Framework
Translation-Decomposition-SearchResolve pada
Dataset Berbahasa Indonesia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Pembimbing Pertama Anda ()

Penguji 1 : Penguji Pertama Anda ()

Penguji 2 : Penguji Kedua Anda ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Tanggal Bulan Tahun

KATA PENGANTAR

Template ini disediakan untuk orang-orang yang berencana menggunakan L^AT_EX untuk membuat dokumen tugas akhir.

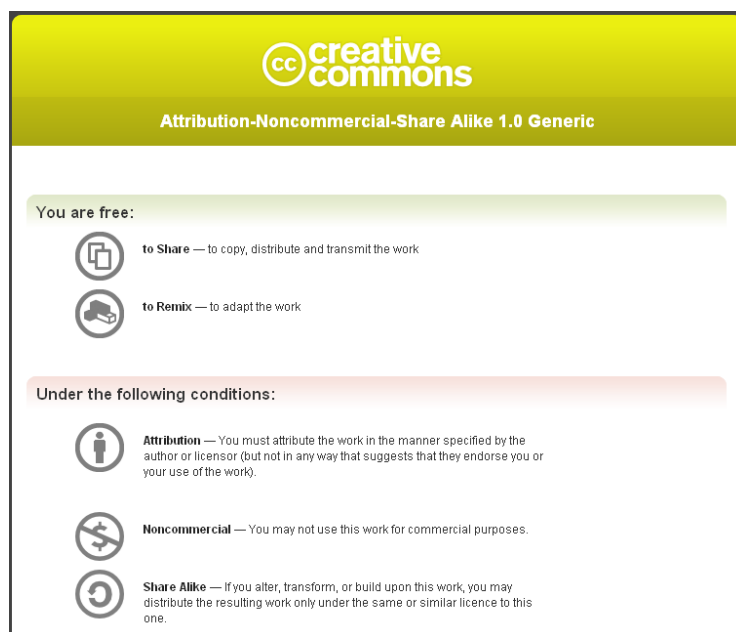
@todo

Silakan ganti pesan ini dengan pendahuluan kata pengantar Anda.

Ucapan Terima Kasih:

1. Pembimbing.
2. Dosen.
3. Instansi.
4. Orang tua.
5. Sahabat.
6. Teman.

Penulis menyadari bahwa laporan Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, apabila terdapat kesalahan atau kekurangan dalam laporan ini, Penulis memohon agar kritik dan saran bisa disampaikan langsung melalui *e-mail* emailanda@mail.id.



Creative Common License 1.0 Generic

Terkait template ini, gambar lisensi di atas diambil dari http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/1.0/deed.en_CA. Jika ingin mengetahui lebih lengkap mengenai *Creative Common License 1.0 Generic*, silahkan buka <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/1.0/legalcode>. Seluruh dokumen yang dibuat dengan menggunakan template ini sepenuhnya menjadi hak milik pembuat dokumen dan bebas didistribusikan sesuai dengan keperluan masing-masing. Lisensi hanya berlaku jika ada orang yang membuat template baru dengan menggunakan template ini sebagai dasarnya.

Penyusun template ingin berterima kasih kepada Andreas Febrian, Lia Sadita, Fahrurrozi Rahman, Andre Tampubolon, dan Erik Dominikus atas kontribusinya dalam template yang menjadi pendahulu template ini. Penyusun template juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Azhar Kurnia atas kontribusinya dalam template yang menjadi pendahulu template ini.

Semoga template ini dapat membantu orang-orang yang ingin mencoba menggunakan \LaTeX . Semoga template ini juga tidak berhenti disini dengan ada kontribusi dari para penggunanya. Jika Anda memiliki perubahan yang dirasa penting untuk disertakan dalam template, silakan lakukan *fork* repositori Git template ini di <https://gitlab.com/ichlaffterlalu/latex-skripsi-ui-2017>, lalu lakukan *merge request* perubahan Anda terhadap *branch* master. Kami berharap agar *template* ini dapat terus diperbarui mengikuti perubahan ketentuan dari pihak Rektorat Universitas Indonesia, dan hal itu tidak mungkin terjadi tanpa kontribusi dari teman-teman sekalian.

Depok, Tanggal Bulan Tahun

Mikhael Deo Barli

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mikhael Deo Barli
NPM : 1906350572
Program Studi : Ilmu Komputer
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Kemampuan Open-Weight Large Language Model dalam Penalaran Logika Berbasis
Framework Translation-Decomposition-SearchResolve pada Dataset Berbahasa
Indonesia

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Tanggal Bulan Tahun
Yang menyatakan

(Mikhael Deo Barli)

ABSTRAK

Nama : Mikhael Deo Barli
Program Studi : Ilmu Komputer
Judul : Kemampuan Open-Weight Large Language Model dalam
Penalaran Logika Berbasis Framework Translation-
Decomposition-SearchResolve pada Dataset Berbahasa In-
donesia
Pembimbing : Pembimbing Pertama Anda

Isi abstrak.

Kata kunci:

Keyword satu, kata kunci dua

ABSTRACT

Name : Mikhael Deo Barli
Study Program : Computer Science
Title : The Capability of Open-Weight Large Language Model in Logical
Inference Framework Translation-Decomposition-SearchResolve
on Indonesian Language Dataset
Counselor : Pembimbing Pertama Anda

Abstract content.

Key words:

Keyword one, keyword two

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR KODE PROGRAM	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
1. Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Posisi Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
2. Landasan Teori	6
2.1 Aturan Inferensi dan Resolusi	6
2.1.1 Aturan Inferensi Klasik	6
2.1.2 Prinsip Resolusi dan Unifikasi	6
2.2 (<i>First-Order Logic</i>)	7
2.2.1 Definisi dan Sintaks	7
2.2.2 Semantik dan Interpretasi	7
2.3 Bentuk Normal: Standardisasi untuk Algoritma	8
2.3.1 Bentuk Normal Prenex (PNF)	8
2.3.2 Skolemisasi (Skolemization)	8
2.3.3 Bentuk Normal Konjungtif (CNF)	9
2.4 Paradigma Neuro-Symbolic	9
2.5 Kerangka Kerja Aristotle	9
2.5.1 Logika Translasi (<i>Logical Translation</i>)	10
2.5.2 Dekomposer (<i>Decomposer</i>)	10
2.5.3 Penyelesai Pencarian (<i>Search Router</i>)	10
2.5.4 Resolusi (<i>Resolver</i>)	10
3. CARA KERJA FRAMEWORK	11
3.1 Desain Penelitian	11
3.2 Instrumen Data: ProntoQA	12
3.2.1 Adaptasi Linguistik dan Penerjemahan	12
3.3 Konfigurasi Model dan Kuantisasi	12
3.3.1 Model Eksperimen	12

3.3.2	Skema Kuantisasi (Unquantized vs Q4_K_M)	12
3.4	Prosedur Eksperimen	13
3.4.1	Teknik Prompting	13
3.4.2	Parameter Inferensi	13
3.5	Teknik Analisis Data: Regex Adaptif	14
3.5.1	Algoritma <i>Load Template</i>	14
3.5.2	Algoritma Pengiriman Jawaban (<i>Question Sending</i>)	15
3.5.3	Algoritma Penangkapan Jawaban (<i>Result Grabbing</i>)	21
3.5.4	Metrik Evaluasi	25
4.	HASIL EKSPERIMEN DAN ANALISA	26
4.1	Naive Prompting	26
4.2	Aristotle	26
5.	PENUTUP	27
5.1	Kesimpulan	27
5.2	Saran	27
	DAFTAR REFERENSI	28
	DAFTAR ISTILAH	1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Diagram posisi penelitian yang dilakukan	4
--	---

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Hasil Eksperimen dengan Naive Prompting	26
Tabel 4.2.	Hasil Eksperimen dengan Aristotle Framework	26

DAFTAR KODE PROGRAM

Kode 3.1.	Kode untuk mendefinisikan kelas dan fungsi generate pada LLM	13
Kode 3.2.	Kode untuk memparse prompt template dengan data point	14
Kode 3.3.	Kode untuk memberikan pertanyaan ke LLM	15
Kode 3.4.	Kode untuk mem-parse hasil dari LLM untuk translasi ke FOL	21
Kode 3.5.	Kode untuk mem-parse hasil dari LLM untuk translasi ke FOL	22
Kode 3.6.	Kode untuk mem-parse hasil dari LLM untuk translasi ke FOL	24

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. CHANGELOG	29
Lampiran 2. Judul Lampiran 2	32

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan, manfaat, ringkasan metodologi, serta sistematika penulisan penelitian ini. Penelitian ini berfokus pada evaluasi kemampuan penalaran logis oleh *Large Language Models* (LLM) yang bersifat *open-weight* ketika bekerja pada dataset berbahasa Indonesia dengan *framework translation-decomposition-searchresolve* juga perbandingannya dengan *naive prompting*

1.1 Latar Belakang

Perkembangan *Large Language Model* (LLM) telah mendorong kemajuan signifikan pada berbagai tugas pemrosesan bahasa natural seperti penerjemahan, ringkasan, dan tanya-jawab. Namun, kemampuan LLM untuk melakukan penalaran logis, yaitu melakukan inferensi yang benar dari himpunan premis dan aturan formal, masih menghadapi kendala pada akurasi dari hasil inferensi, terutama di kasus yang memerlukan normalisasi, dekomposisi, pencarian bukti, dan resolusi logika.

Penelitian sebelumnya sudah dilakukan pada berbagai dataset menggunakan framework yang sama. Dataset yang digunakan sebagian besar dalam bahasa Inggris, sehingga studi terhadap kemampuan penalaran LLM pada bahasa lain, termasuk Bahasa Indonesia, masih terbatas. Perbedaan struktur linguistik, idiom, dan masalah tokenisasi serta kualitas terjemahan dapat memengaruhi performa model setelah adaptasi lintas bahasa. Penelitian sebelumnya juga menggunakan *proprietary* LLM yang bukan *open-weight*, sehingga untuk mencari perbedaan dan perbandingan performa *apple-to-apple* tidak memungkinkan.

Dari *gap* penelitian yang sudah disebutkan, belum ada kajian untuk meneliti efektivitas *framework* pada dataset berbahasa Indonesia. Penelitian ini menjadi penting untuk mengevaluasi kemampuan LLM dalam inferensi pada dataset berbahasa Indonesia dan mengeksplorasi sebuah *framework* yang mengintegrasikan modul terjemahan dan normalisasi, dekomposisi logis, mekanisme pencarian bukti, serta resolusi logika. Diharapkan bahwa pendekatan terintegrasi ini dapat secara signifikan meningkatkan kemampuan penalaran LLM pada bahasa Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perbandingan performa antara model open-weight berparameter rendah dalam inferensi dataset berbahasa Indonesia?
2. bagaimana efektivitas *framework translate → decompose → search → resolve* dalam meningkatkan akurasi inferensi pada data Bahasa Indonesia dibanding dengan penalaran secara langsung secara naive?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan dari penelitian sesuai dengan latar belakang dan rumusan masalah

Tujuan:

1. Mengukur performa beberapa model pada tugas penalaran menggunakan metrik akurasi.
2. Mengevaluasi kemampuan penalaran logika LLM pada dataset berbahasa Indonesia menggunakan *framework* dan tanpa *framework*, seperti *naive prompting*
3. Menyediakan dataset terjemahan, skrip eksperimen, dan laporan yang dapat digunakan penelitian selanjutnya.

1.4 Batasan Penelitian

Agar fokus dan ruang lingkup terukur, penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

- **Dataset:** Fokus pada dataset diterjemahkan ke Bahasa Indonesia, yaitu ProntoQA saja
- **Model:** Eksperimen menggunakan model open-weight yang dapat dijalankan lokal maupun server, khususnya dengan kuantisasi. Model tersebut antara lain: Qwen2.5-7B-IT-GGUF, SEALIONv3-LLama-8B-IT-GGUF, dan SahabatAIv1-LLama-8B-IT-GGUF
- **Evaluasi:** Metrik utama adalah akurasi jawaban akhir terhadap ground truth.

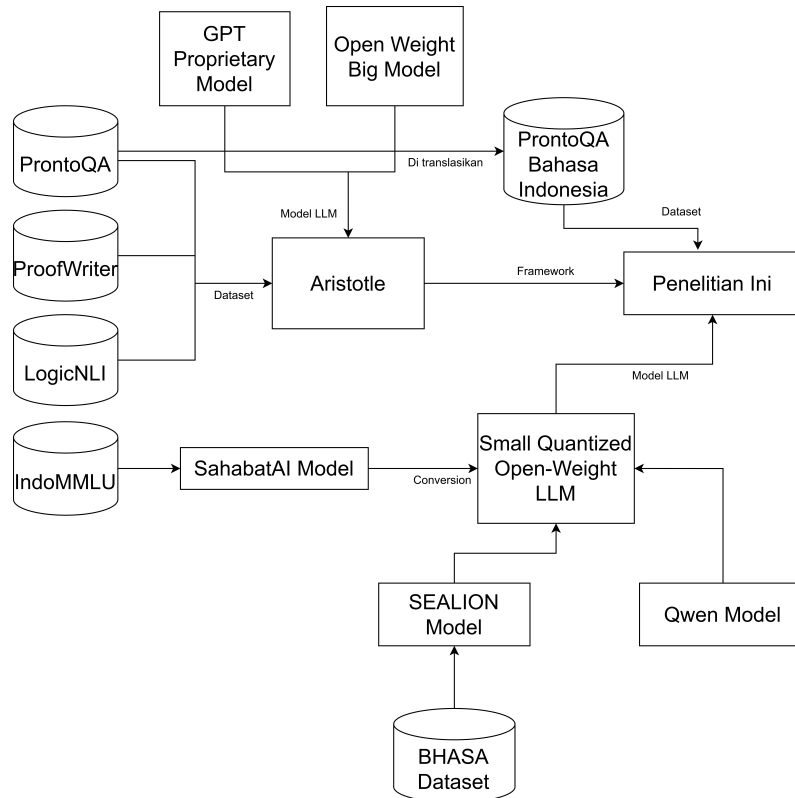
Referensi dari framework dan metode, termasuk skrip seperti `translate_decompose.py`, `negate.py`, dan `search_resolve.py`, serta utilitas evaluasi tersedia pada repositori eksperimen yang menjadi inspirasi implementasi ini, yaitu pada repositori Aristotle.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi yang bermakna bagi berbagai pihak:

- **Bagi pengembangan ilmu pengetahuan:** Penelitian ini dapat menambah pemahaman tentang kemampuan penalaran logis LLM pada bahasa Indonesia, sebuah aspek yang masih jarang dikaji. Temuan ini dapat menjadi fondasi bagi penelitian lanjutan dalam evaluasi model bahasa pada tugas-tugas inferensi kompleks dalam bahasa lokal.
- **Bagi praktisi dan pengembang:** Hasil analisis perbandingan model dan efektivitas framework dapat menjadi panduan dalam memilih model open-weight yang tepat dan merancang pipeline pemrosesan bahasa untuk tugas inferensi logis berbahasa Indonesia, terutama dengan sumber daya komputasi terbatas.
- **Bagi komunitas penelitian terbuka:** Dataset ProntoQA yang diterjemahkan ke bahasa Indonesia, skrip eksperimen, serta laporan hasil penelitian akan dibagikan kepada publik. Kontribusi ini memungkinkan peneliti lain untuk mereplikasi, memvalidasi, dan melanjutkan penelitian dalam domain yang sama tanpa perlu melakukan terjemahan dan persiapan data dari awal.

1.6 Posisi Penelitian



Gambar 1.1: Diagram posisi penelitian yang dilakukan

Penelitian ini dilakukan menggunakan *framework* yang sudah diusulkan pada penelitian sebelumnya, tetapi penelitian ini menggunakan dataset berbahasa Indonesia dengan open-weight LLM berparameter rendah dengan kuantisasi.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan adalah sebagai berikut:

- Bab 1 PENDAHULUAN

Bab ini mencakup latar belakang, cakupan penelitian, dan pendefinisian masalah.

- Bab 2 LANDASAN TEORI

Bab ini mencakup pemaparan terminologi dan teori yang terkait dengan penelitian berdasarkan hasil tinjauan pustaka yang telah digunakan, sekaligus memperlihatkan kaitan teori dengan penelitian.

- Bab 3 CARA KERJA FRAMEWORK

Bab ini mencakup metodologi atau langkah-langkah yang digunakan untuk melakukan

penelitian ini.

- **Bab 4 HASIL EKSPERIMEN DAN ANALISA**

Bab ini mencakup eksperimen dan hasil eksperimen penelitian serta analisis dari hasil eksperimen tersebut

- **PENUTUP**

Bab ini mencakup kesimpulan akhir penelitian dan saran untuk pengembangan berikutnya.

BAB 2

LANDASAN TEORI

Bab ini membangun kerangka teoretis yang mendasari analisis kemampuan *Large Language Models* (LLM) dalam melakukan inferensi logika, khususnya dalam konteks Bahasa Indonesia. Pembahasan mencakup prinsip formal dari (*First-Order Logic*), transformasi bentuk normal (PNF, Skolemisasi, CNF), serta arsitektur *Neuro-Symbolic* "Aristotle".

2.1 Aturan Inferensi dan Resolusi

2.1.1 Aturan Inferensi Klasik

Sistem ini secara implisit mencakup aturan-aturan logika klasik:

- **Modus Ponens:** Jika $P \rightarrow Q$ dan P , maka Q .
- **Modus Tollens:** Jika $P \rightarrow Q$ dan $\neg Q$, maka $\neg P$.
- **Silogisme Hipotetis:** Jika $P \rightarrow Q$ dan $Q \rightarrow R$, maka $P \rightarrow R$.
- **Silogisme Disjungtif:** Jika $P \vee Q$ dan $\neg P$, maka Q .

2.1.2 Prinsip Resolusi dan Unifikasi

Dalam pembuktian teorema aturan inferensi, aturan-aturan di atas dapat digeneralisasi menjadi satu aturan tunggal yang disebut **Resolusi**.

Untuk resolusi memerlukan proses **Unifikasi**. Unifikasi adalah proses mencari substitusi θ (pemetaan variabel ke term) sehingga dua literal menjadi identik.

$$\frac{L_1 \vee A, \quad \neg L_2 \vee B}{A \vee B\theta} \quad (2.1)$$

Dimana θ adalah *Most General Unifier* (MGU) dari L_1 dan L_2 .

Contoh implementasi:

- Premis: "Semua orang menyukai Budi" ($\forall x \text{Loves}(x, \text{Budi})$).
- Query: "Apakah Ali menyukai Budi?" ($\neg \text{Loves}(\text{Ali}, \text{Budi})$).
- Unifikasi: Substitusi $\{x / \text{Ali}\}$ membuat $\text{Loves}(x, \text{Budi})$ berlawanan langsung dengan $\neg \text{Loves}(\text{Ali}, \text{Budi})$.

- Hasil: Klausa kosong (\perp), yang berarti terbukti terjadi kontradiksi, sehingga Ali menyukai Budi.

2.2 (First-Order Logic)

FOL atau sering disebut Kalkulus Predikat, berfungsi sebagai fondasi untuk merepresentasikan pengetahuan secara tidak ambigu. Berbeda dengan Logika Proposisi yang memperlakukan pernyataan sebagai objek yang tak terbagi, FOL memodelkan dunia sebagai domain objek, properti, dan hubungan antar objek tersebut.

2.2.1 Definisi dan Sintaks

Secara formal, FOL adalah sistem logika deduktif yang memperluas logika proposisi dengan memperkenalkan:

- **Variabel** (x, y, z): Simbol yang mewakili objek dalam suatu domain.
- **Predikat** ($P(x, y)$): Fungsi yang memetakan objek ke nilai kebenaran (*True/False*).
- **Kuantor** (\forall, \exists): Operator yang menentukan *range* variabel terhadap domain.

Alfabet dari FOL (Σ) terdiri dari:

1. Simbol Logika:

- Konektif: \neg (Negasi), \wedge (Konjungsi), \vee (Disjungsi), \rightarrow (Implikasi).
- Kuantor Universal (\forall): Dibaca "Untuk semua".
- Kuantor Eksistensial (\exists): Dibaca "Terdapat".

2. Simbol Non-Logika: Konstanta (objek spesifik seperti "Wumpus", "Merah") dan Predikat

2.2.2 Semantik dan Interpretasi

Validitas dalam FOL ditentukan oleh sebuah **Model** $\mathcal{M} = \langle \mathcal{D}, I \rangle$, di mana:

- \mathcal{D} adalah **Domain** (misalnya, himpunan semua entitas dalam basis data kependudukan).
- I adalah **Interpretasi** yang memetakan simbol konstanta ke elemen di \mathcal{D} dan simbol predikat ke relasi di \mathcal{D} .

Dalam konteks Bahasa Indonesia, struktur kalimat *Subjek-Predikat-Objek* dapat dipetakan ke dalam FOL, namun tantangan muncul pada ambiguitas konteks. Misalnya, kalimat "Ga-

jah itu besar” bisa berarti konstanta ($Biggajah_1$) atau aturan universal ($(\forall x Elephant x \rightarrow Bigx)$), juga misalnya subjek plural dan singular yang perlu di normalisasi. Modul dekomposisi dalam penelitian ini bertugas menyelesaikan ambiguitas ini menjadi representasi FOL yang benar.

2.3 Bentuk Normal: Standardisasi untuk Algoritma

Algoritma penalaran, khususnya resolusi, tidak dapat bekerja secara efisien pada formula FOL yang tidak terstruktur atau tidak *strict*. Formula harus dikonversi ke dalam bentuk standar atau *Normal Forms*.

2.3.1 Bentuk Normal Prenex (PNF)

Langkah pertama standardisasi adalah *Prenex Normal Form* (PNF). Sebuah formula dikatakan dalam bentuk PNF jika seluruh kuantor ditarik ke depan (prefix), meninggalkan bagian bebas-kuantor (matriks) di belakangnya.

Bentuk umum:

$$Q_1x_1Q_2x_2\ldots Q_nx_n \mathcal{M} \quad (2.2)$$

Dimana $Q_i \in \{\forall, \exists\}$ dan \mathcal{M} adalah matriks tanpa kuantor. Contoh transformasi dalam Bahasa Indonesia:

- *Asli*: ”Tidak benar bahwa semua orang menyukai durian.” ($\neg \forall x Likesx, Durian$).
- *PNF*: ”Terdapat seseorang yang tidak menyukai durian.” ($\exists x \neg Likesx, Durian$).

2.3.2 Skolemisasi (Skolemization)

Skolemisasi adalah proses menghilangkan **Kuantor Eksistensial** (\exists) untuk menghasilkan formula yang *equisatisfiable* (memiliki keterpenuhan yang setara). Kuantor eksistensial digantikan oleh **Konstanta Skolem** atau **Fungsi Skolem**.

Algoritma:

1. Jika $\exists y$ tidak berada dalam lingkup \forall , ganti y dengan konstanta baru c .
2. Jika $\exists y$ berada dalam lingkup $\forall x_1, \dots, \forall x_k$, ganti y dengan fungsi f_{x_1, \dots, x_k} .

Contoh kasus:

”Setiap warga negara memiliki sebuah NIK.”

FOL: $\forall x (Citizen(x) \rightarrow \exists y (NIK(y) \wedge Has(x, y)))$

Skolemisasi: $\forall x (Citizen(x) \rightarrow (NIK(nikOf(x)) \wedge Has(x, nikOf(x))))$

Di sini, $nikOf(x)$ adalah fungsi Skolem yang memetakan setiap warga ke NIK spesifik mereka.

2.3.3 Bentuk Normal Konjungtif (CNF)

Conjunctive Normal Form (CNF) adalah representasi akhir yang dibutuhkan oleh mesin inferensi. CNF adalah konjungsi dari klausa-klausa, di mana setiap klausa adalah disjungsi dari literal.

$$L_{1,1} \vee \dots \vee L_{1,n} \wedge L_{2,1} \vee \dots \vee L_{2,m} \quad (2.3)$$

2.4 Paradigma Neuro-Symbolic

Integrasi LLM dengan penalaran logika formal, sering disebut juga sebagai *Neuro-Symbolic AI*, merupakan pergeseran penting dalam riset *artificial intelligence*. Komponen ”neuro” (model *deep learning* seperti Qwen atau Llama) unggul dalam pengenalan pola, namun memiliki keterbatasan dalam melakukan inferensi multi-langkah yang *strict* dan deterministik (Saparov and He (2023)). Keterbatasan ini menjadi poin penting pada bahasa dengan sumber daya rendah hingga menengah seperti Bahasa Indonesia, di mana korpus pelatihan untuk penalaran kompleks jauh lebih sedikit dibandingkan Bahasa Inggris.

Penelitian ini mengadopsi kerangka kerja yang tidak hanya mengandalkan prediksi token probabilitas, melainkan memisahkan proses menjadi translasi simbolik, pencarian terstruktur, dan resolusi formal, sebagaimana diusulkan dalam arsitektur **Aristotle** (Xu et al. (2025)).

2.5 Kerangka Kerja Aristotle

Penelitian ini mengimplementasikan *framework Aristotle* (Xu et al. (2025)) yang membagi proses inferensi menjadi empat modul utama:

2.5.1 Logika Translasi (*Logical Translation*)

Modul ini menggunakan LLM *open-weight* untuk menerjemahkan premis bahasa natural menjadi FOL

- **Input:** Data poin dalam bahasa Indonesia
- **Proses:** Menerjemahkan data poin menjadi 3 bagian, sesuai dengan formula, yaitu premis dari konteks \rightarrow fakta dan aturan, pertanyaan dari konteks \rightarrow konjektur

2.5.2 Dekomposer (*Decomposer*)

Modul ini menggunakan LLM *open-weight* untuk dekomposisi aturan yang sudah berbentuk FOL ke dalam PNF, CNF, dan Skolemisasi

- **Input:** data poin yang sudah melewati Logical Translation dalam bentuk FOL
- **Proses:** Dekomposisi data poin yang sudah menjadi FOL ke dalam bentuk NF, lalu Skolemisasi, dan terakhir CNF.

2.5.3 Penyelesai Pencarian (*Search Router*)

Mesin inti inferensi terdiri dari dua sub-komponen:

1. **Logical Search Router:** Memilih klausa mana yang relevan untuk diproses. Hal ini mencegah terjadinya ledakan kombinatorial yang mengakibatkan proses komputasi yang lama dan pencarian bukti yang sesuai dengan pembuatan set untuk menyimpan premis yang sudah ditelusuri dan memberi batasan banyaknya ronde dalam pencarian bukti
2. **Logical Resolver:** Menerapkan aturan resolusi secara iteratif hingga ditemukan kontradiksi (untuk pembuktian salah) atau hingga ruang pencarian habis.

2.5.4 Resolusi (*Resolver*)

Sistem memverifikasi sebuah hipotesis S melalui dua jalur paralel dengan menerapkan pembuktian dengan kontradiksi (*Proof By Contradiction*)

- **Jalur 1 :** Asumsikan S . Jika ditemukan kontradiksi, maka S adalah **Benar**.
- **Jalur 2 :** Asumsikan $\neg S$ (Negasi S). Jika ditemukan kontradiksi, maka S adalah **Benar**.

BAB 3

CARA KERJA FRAMEWORK

Bab ini menjelaskan desain eksperimen, persiapan dataset ProntoQA, konfigurasi model, serta teknik evaluasi yang diadaptasi untuk Bahasa Indonesia.

Pendekatan penelitian ini bersifat kuantitatif-eksperimental. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan dua skenario *prompting*: (1) **Naive Prompting**, prompt langsung tanpa *scaffolding* atau petunjuk langkah demi langkah, tetapi diberikan beberapa contoh pengerjaan. (2) **Prompting Terstruktur dengan Kerangka Aristotle**, *prompt* yang dilakukan dengan *prompt template* beserta contoh keluaran pada setiap tahapannya.

Hasil setiap percobaan diukur menggunakan metrik akurasi yang didefinisikan pada Bagian 3.1 dan untuk melihat perbedaan signifikan pada perbedaan performa antar skenario *prompting*. Semua eksperimen dijalankan deterministik (parameter inferensi seperti $temperature=0.0$ dan *fixed seed*) agar perbedaan kinerja mencerminkan efek *prompting*, bukan variansi sampling.

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi kemampuan *reasoning* model dari pengetahuan umumnya. Oleh karena itu, desain penelitian difokuskan pada parameter-parameter berikut:

1. Variabel Bebas (*Independent Variables*):

- **Presisi Model:** Tingkat kuantisasi bobot model, dibagi menjadi dua level: *Unquantized* (FP16/BF16) dan *4-bit K-Quant Medium* (Q4_K_M).

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*):

- **Akurasi Logika (*Strict Accuracy*):** Persentase jawaban yang benar secara biner (True/False) yang diekstraksi dari luaran *framework*.

3. Variabel Kontrol:

- Parameter model yang sama untuk memastikan kesetaraan antar model.
- *Prompt* dan *data point* yang diberikan ke LLM.

3.2 Instrumen Data: ProntoQA

Penelitian ini menggunakan dataset **ProntoQA** (*Prompting with Ontologies for QA*). Pemilihan dataset ini didasarkan pada karakteristiknya yang sintetik dan tidak terlalu kompleks untuk dilakukan inferensi. Penggunaan entitas fiktif (seperti "Wumpus", "Jompus") mencegah model menggunakan "hafalan" pengetahuan dunia, sehingga memaksa model untuk benar-benar melakukan deduksi berdasarkan premis yang diberikan.

3.2.1 Adaptasi Linguistik dan Penerjemahan

Dataset asli ProntoQA yang berbahasa Inggris diterjemahkan ke dalam Bahasa Indonesia. Adapun kriteria dalam translasi dataset ke dalam Bahasa Indonesia: Translasi dilakukan secara otomatis menggunakan LLM *open-source* dengan *prompting* menggunakan *template* Contoh: "Every X is Y" → "Setiap X adalah Y".

3.3 Konfigurasi Model dan Kuantisasi

Kuantisasi model dilakukan menggunakan `llama.cpp` Gerganov (2023), jika model tersebut belum memiliki versi kuantisasi yang ada pada repositori developer model tersebut

3.3.1 Model Eksperimen

Tiga arsitektur model digunakan untuk mewakili kategori global dan regional:

- **Qwen2.5-7B-Instruct:** Mewakili model *state-of-the-art* global dengan kemampuan matematika dan logika yang kuat.
- **SEA-LION-v3-Llama-8B-Instruct:** Mewakili model regional yang dilatih khusus dengan data Asia Tenggara (termasuk Bahasa Indonesia), untuk melihat apakah spesialisasi bahasa memberikan keuntungan pada penalaran.
- **SahabatAI-v1-Llama-8B-Instruct:** Mewakili model nasional yang dilatih khusus dengan data Bahasa Indonesia sesuai dengan dataset yang sudah ditranslasikan

3.3.2 Skema Kuantisasi (Unquantized vs Q4_K_M)

Penelitian ini juga membandingkan dua kondisi presisi bobot hanya sebagai benchmark pada naive prompting untuk melihat seberapa tingkat error dan kecepatan inferensi jika menggunakan metode kuantisasi dibandingkan dengan *full precision*

1. **Unquantized (FP16/BF16):** Model dijalankan pada presisi aslinya (16-bit). Ini berfungsi sebagai *baseline* performa ideal (maksimal).
2. **Q4_K_M (4-bit K-Quant Medium):** Model dikompresi menggunakan metode *k-quantization* tipe Medium. Metode ini dipilih karena menyeimbangkan ukuran dan akurasi dengan cara:
 - Bobot *Attention.v* (output value) dan sebagian *Feed-Forward* disimpan dengan presisi lebih tinggi (6-bit) karena krusial untuk akurasi.
 - Bobot lainnya dikuantisasi ke 4-bit.

3.4 Prosedur Eksperimen

3.4.1 Teknik Prompting

Setiap input ke model diformat menggunakan prompt template dan menambahkan sebuah data point dan diteruskan ke LLM untuk diproses. Struktur *prompt* terdiri dari:

1. **Instruksi Sistem:** Menetapkan persona (misal: "Anda adalah ahli logika..") dan juga perintah dari user (misal: "Deskripsi tugas: Anda diberikan..")
2. **Contoh:** Contoh soal logika beserta langkah penyelesaiannya (*reasoning steps*).
3. **Soal Target:** Premis dan pertanyaan dari dataset PrOntoQA yang harus dijawab sesuai dengan fungsi dari tahapan yang sedang dijalankan

3.4.2 Parameter Inferensi

Untuk memastikan reproduisibilitas, model dan parameter diatur di dalam *class* berikut:

```

1 class LlamaCPPBackend:
2     def __init__(self, local_model_path: str):
3         """
4         local_model_path: Must point to a specific .gguf FILE, not just a directory.
5         """
6         if not LLAMACPP_AVAILABLE: raise ImportError("llama-cpp-python not installed.
          Run 'pip install llama-cpp-python'")
7
8         # n_gpu_layers=-1 means offload ALL layers to GPU
9         self.llm = Llama(
10             model_path=local_model_path,
11             n_ctx=0,
12             n_gpu_layers=-1,
13             verbose=False
14         )
15

```

```

16     def generate(self, prompt: str, max_new_tokens: int = 512, temperature: float =
17         0.0, **kwargs) -> str:
18         output = self.llm(
19             prompt,
20             max_tokens=max_new_tokens,
21             stop=[],
22             echo=True, # Return prompt + completion to match others
23             temperature=temperature
24         )
25     return output['choices'][0]['text']

```

Kode 3.1: Kode untuk mendefinisikan kelas dan fungsi generate pada LLM

3.5 Teknik Analisis Data: Regex Adaptif

Tantangan utama dalam mengevaluasi respons dalam Bahasa Indonesia adalah variasi linguistik dalam menyatakan kebenaran dan kesalahan. Model tidak selalu menjawab sesuai dengan *template* atau dalam formula yang diinginkan. Oleh karena itu, modul evaluasi standar ProntoQA dimodifikasi pada bagian load prompt template, pengiriman jawaban (*question sending*), dan penangkapan hasil pengiriman (*result grabbing*).

3.5.1 Algoritma Load Template

Sistem menggunakan logika *Regular Expression* (Regex) untuk mem-*parse template* dan me-*replace* label sesuai dengan formatnya

1. Load file prompt template sesuai dengan fungsi yang ingin dijalankan
2. Replace marker, seperti `[[PREMISIS]]` sesuai dengan data point

Implementasi *load template* untuk *translation to first order logic*:

```

1 def construct_prompt_a(self, record, in_context_examples_trans):
2     full_prompt = in_context_examples_trans
3     if self.dataset_name == "LogicNLI":
4         context = "\n".join(record['facts'] + record['rules'])
5         question = record['conjecture']
6     else:
7         context = record['context']
8         question = re.search(r'\?(.*)', record['question'].strip()).group(1).strip()
9     full_prompt = full_prompt.replace('[[PREMISES]]', context)
10    full_prompt = full_prompt.replace('[[CONJECTURE]]', question)
11    return full_prompt

```

Kode 3.2: Kode untuk memparse prompt template dengan data point

Kode tersebut kurang lebih sama untuk setiap tahapan fungsi dari translasi, dekomposisi, dan *search_resolve*

3.5.2 Algoritma Pengiriman Jawaban (*Question Sending*)

Sistem menggunakan modul *generate* dari model untuk menghasilkan jawaban dari pertanyaan yang diberikan ke LLM

1. Prompt template + data point yang sudah dimasukkan ke dalam prompt dikirim ke LLM

Implementasi logika pengiriman jawaban untuk *search_resolve*:

```

1 def process_example(example, counter):
2     try:
3         print(f"Running example: {example['id']}")
4
5         flag = 'true'
6         reasoning_step = []
7         search_round = 0
8
9         normalized_context = example['normalized_context']
10        cleaned_normalized_context = self.clean_conjecture(normalized_context)
11        normalized_context_list = cleaned_normalized_context.splitlines()
12        normalized_context_list = [
13            '\n'.join(self.remove_negations(line) for line in
14            item.replace('\textnormal', '').replace('\textrm', '').replace('\\\\text', '\\text')
15                .replace('\\text', '').replace('-', '' )
16                .replace('{', '').replace('}', '').replace('\\right', '')
17                .replace('\\left', '').replace('\\newline', '\\n').replace('$',
18            '').split('\\n'))
19            for item in normalized_context_list if "(" in item and ")" in item
20        ]
21
22        normalized_conjecture = self.clean_conjecture(example['normalized_conjecture'])
23        negated_label = example['negated_label']
24        sos_list = self.clean_conjecture(example['sos_list'])
25        if '(' not in sos_list and ')' not in sos_list:
26            sos_list = normalized_conjecture
27            sos_list = self.remove_negations(sos_list)
28            if example['negated_label'] == 'True':
29                sos_list = self.negate_boolean(sos_list)
30
31        modified_context_list = []
32        for item in normalized_context_list:
33            item = next((p.strip() for p in item.split(":::", 1) if "(" in p), "")
34            if '\\wedge' in item:
35                split_items = item.split('\\wedge')

```

```

34         modified_context_list.extend([sub_item.strip() for sub_item in
split_items])
35         elif '\\land' in item:
36             split_items = item.split('\\land')
37             modified_context_list.extend([sub_item.strip() for sub_item in
split_items])
38         elif '\\u2227' in item:
39             split_items = item.split('\\u2227')
40             modified_context_list.extend([sub_item.strip() for sub_item in
split_items])
41         else:
42             modified_context_list.append(item)
43         normalized_context_list = [item for item in modified_context_list if "(" in
item and ")" in item]
44         print("Normalized Context List: ", normalized_context_list)
45         print("Normalized Conjecture: ", normalized_conjecture)
46         print("sos_list: ", sos_list)
47
48         normalized_context_list.append(sos_list)
49
50         list_of_sos = []
51         list_of_compelment = []
52
53         selected_clause = None
54
55         while flag == 'true':
56             if search_round >= self.search_round:
57                 final_answer = "No final answer found in the text."
58                 break
59
60             if selected_clause == None:
61                 print("Search Router Operating...")
62                 print("Running: ", example['id'])
63                 print("Ground truth: ", example['ground_truth'])
64
65                 complement_indices =
self.filter_complementary_context(normalized_context_list, sos_list)
66                 print("Complement Indices: ", complement_indices)
67
68                 if complement_indices:
69                     potential_clauses = [normalized_context_list[index] for index in
complement_indices]
70
71                 # Normalize sos_list and reasoning_step entries for robust
duplicate checking
72                 norm_sos = normalize_clause_for_compare(sos_list)
73                 used_pairs = set()
74                 for step in reasoning_step:
75                     # step is [sos, selected_clause, new_clause]
76                     used_sos = normalize_clause_for_compare(step[0])

```

```

77         used_selected = normalize_clause_for_compare(step[1])
78         used_pairs.add((used_sos, used_selected))
79
80         # Keep clauses that are not present in used_pairs for (sos, clause)
81         valid_clauses = sorted(
82             [
83                 clause for clause in potential_clauses
84                 if (norm_sos, normalize_clause_for_compare(clause)) not in
used_pairs
85             ],
86             key=len
87         )
88         print("Potential Clauses: ", potential_clauses)
89         print("Valid Clauses: ", valid_clauses)
90
91         if valid_clauses:
92             if len(valid_clauses) > 1:
93                 list_of_sos.append(sos_list)
94                 list_of_complement.append(valid_clauses)
95                 print("Current SOS: ", sos_list, "Current Complement: ",
valid_clauses)
96
97                 selected_clause = list_of_complement[-1].pop(0)
98             else:
99                 selected_clause = valid_clauses[0]
100         else:
101             print("All potential clauses have been used before with this
SOS list.")
102
103             print("Checking cached SOS and complement pairs.")
104             print(f"List of Complements in Cache: {list_of_complement} with
length: {len(list_of_complement)}" )
105             found_new_pair = False
106             if len(list_of_complement) > 0:
107                 for i, complement_clauses in enumerate(list_of_complement):
108                     if complement_clauses:
109                         sos_list = list_of_sos[i]
110                         selected_clause = complement_clauses.pop(0)
111                         found_new_pair = True
112                         break
113             if not found_new_pair:
114                 print("No more sos and complement pairs found in
cache.")
115
116                 final_answer = "cannot find sos with complement"
117                 break
118
119         if not complement_indices:
120             if len(list_of_complement) > 0:
121                 all_empty = True
122                 original_sos = sos_list
123                 original_selected_clause = selected_clause
124                 for i, clauses in enumerate(list_of_complement):

```

```

122         if len(clauses) > 0:
123             new_selected_clause = list_of_compelment[i][0]
124             new_sos_list = list_of_sos[i]
125             if new_sos_list != original_sos or new_selected_clause
!= original_selected_clause:
126                 selected_clause = list_of_compelment[i].pop(0)
127                 sos_list = new_sos_list
128                 all_empty = False
129                 print("Check cache: ", sos_list, "Current
Complement: ", selected_clause)
130                 break
131             if all_empty:
132                 final_answer = "No complement found in both context and
cache."
133                 break
134             else:
135                 final_answer = "No complement found in the context."
136                 break
137
138         if any(
139             normalize_clause_for_compare(step[0]) ==
normalize_clause_for_compare(sos_list) and
140             normalize_clause_for_compare(step[1]) ==
normalize_clause_for_compare(selected_clause)
141         ):
142             for step in reasoning_step:
143                 print("Skipping this search round as it has appeared before.")
144                 found_new_pair = False
145                 for i, complement_clauses in enumerate(list_of_compelment):
146                     if complement_clauses:
147                         new_sos_list = list_of_sos[i]
148                         new_selected_clause = complement_clauses[0]
149                         if new_sos_list != sos_list or new_selected_clause !=
selected_clause:
150                             sos_list = new_sos_list
151                             selected_clause = complement_clauses.pop(0)
152                             found_new_pair = True
153                             break
154
155                 if not found_new_pair:
156                     print("No more sos and complement pairs found in cache.")
157                     final_answer = "No sos and complement found"
158                     break
159             else:
160                 print("SOS: ", sos_list)
161                 print("Selected Clause: ", selected_clause)
162                 print("Search round: ", search_round)
163
164         # If after all selection attempts we still have no selected_clause, abort
gracefully
165         if selected_clause is None:

```

```

165         print("No selected_clause available after checking context and cache.
Aborting example as Unknown.")
166         final_answer = "Unknown"
167         flag = 'false'
168         break
169     prompts_e = self.construct_prompt_e(negated_label, normalized_conjecture,
sos_list, selected_clause, in_context_examples_logic_resolver)
170     print(f"\n\nPrompt to Logic Solver: {prompts_e}\n\n", )
171     responses_e, _ = self.model_api.generate(prompts_e)
172     print(f"\n\nResponse from Logic Solver: {responses_e}\n\n", )
173
174     logic_solver_result = self.post_process_logic_solver(responses_e)
175     new_clause = logic_solver_result['new_clause']
176     sufficiency_label = logic_solver_result['sufficiency_label']
177
178     solve_step = [sos_list, selected_clause, new_clause]
179
180     reasoning_step.append(solve_step)
181     print('Reasoning Steps:')
182     for step in reasoning_step:
183         sos_list, selected_clause, new_clause = step
184         solving_step = f"SOS clause: {sos_list}. Selected Clause:
{selected_clause}. New Clause: {new_clause}"
185         print(solving_step)
186
187     if not new_clause.strip():
188         print("No new clause found. Searching from the cache.")
189         all_empty = "True"
190         for i, clause in enumerate(list_of_compelment):
191             if len(clause) > 0:
192                 selected_clause = list_of_compelment[i].pop(0)
193                 sos_list = list_of_sos[i]
194                 all_empty = "False"
195                 print("Searching from cache: Current SOS: ", sos_list, "Current
Complement: ", selected_clause)
196                 break
197
198         if len(list_of_compelment) > 0 and all_empty == "True":
199             final_answer = "Unknown"
200             flag = 'false'
201         elif len(list_of_compelment) == 0:
202             final_answer = "Unknown"
203             flag = 'false'
204     else:
205         sos_list = new_clause
206         normalized_context_list.append(new_clause)
207         selected_clause = None
208
209     if sufficiency_label == "True":
210         if new_clause and (new_clause.lower() == "kontradiksi" or

```

```

new_clause.lower() == "false"):
211         if negated_label.lower() == "true":
212             final_answer = "True"
213         elif negated_label.lower() == "false":
214             final_answer = "False"
215
216         flag = 'false'
217
218     else:
219         all_empty = "True"
220         for i, clause in enumerate(list_of_complement):
221             if len(clause) > 0:
222                 selected_clause = list_of_complement[i].pop(0)
223                 sos_list = list_of_sos[i]
224                 all_empty = "False"
225                 print("Check Cache: ", sos_list, "Current Complement: ",
selected_clause)
226                 break
227
228             if len(list_of_complement) > 0 and all_empty == "True":
229                 final_answer = "Unknown"
230                 flag = 'false'
231             elif len(list_of_complement) == 0:
232                 final_answer = "Unknown"
233                 flag = 'false'
234
235         search_round += 1
236
237     final_choice = self.final_process(final_answer)
238
239     output = {'id': example['id'],
240              'original_context': example['original_context'],
241              'question': example['question'],
242              'translated_context': example['translated_context'],
243              'normalized_context': example['normalized_context'],
244              'normalized_conjecture': example['normalized_conjecture'],
245              'negated_label': negated_label,
246              'reasoning_step': self.list_to_indexed_string(reasoning_step),
247              'ground_truth': example['ground_truth'],
248              'final_answer': final_answer,
249              'final_choice': final_choice,
250              'search_round': search_round}
251
252     print(output)
253     return output

```

Kode 3.3: Kode untuk memberikan pertanyaan ke LLM

3.5.3 Algoritma Penangkapan Jawaban (*Result Grabbing*)

Sistem menggunakan logika *Regular Expression* (Regex) bertingkat untuk memarsing jawaban model. Logika ini dirancang untuk kasus-kasus dari hasil generasi oleh LLM

1. **Pendeteksian Bentuk Akhir:** Fokus pencarian dibatasi pada bagian respons pertama pada LLM karena menggunakan LLM berbasis instruksi *"*-Instruct"*, sehingga lebih mudah untuk diinstruksikan dan hasilnya tidak jauh dari ekspektasi

2. **Pola Regex Hirarkis:**

- **Naive Prompting:** Mendeteksi blok "Penjelasan" dan blok "Jawaban" pada hasil generasi LLM
- **Aristotle:** Mendeteksi *boundary* antara jawaban dan template dan mengambil blok sesuai dengan regex
 - **Translation to FOL:** Mendeteksi blok "Fakta", "Konjektur", dan "Aturan" sebagai hasil translasi ke FOL Implementasi kode:

```

1 def extract_facts_rules_conjecture(self, content, context_sentence_count=None):
2     # Clean invisible characters
3     content = (content or "").replace('\u200b', '').replace('\uffff', '')
4
5     prompt_marker = re.compile(
6         r'Di bawah ini(?:\s+adalah(?:\s+yang\s+perlu\s+Anda\s+terjemahkan)?):?',
7         re.IGNORECASE
8     )
9     m_prompt = prompt_marker.search(content)
10    search_start_pos = m_prompt.end() if m_prompt else 0
11
12    block_header = re.compile(r'\s*\{0,3\}Bentuk Akhir\s*\{0,3\}', re.IGNORECASE)
13    m_block = block_header.search(content, pos=search_start_pos)
14
15    if m_block:
16        area = content[m_block.end():]
17    else:
18        area = content[search_start_pos:]
19
20    # Define Patterns for possible headers
21    # Include the "End Markers" as a header type.
22    patterns = {
23        "facts": re.compile(r'(?:(Fakta|Facts)\s*[:\-\]\s*', re.IGNORECASE),
24        "rules": re.compile(r'(?:(Aturan|Rules)\s*[:\-\]\s*', re.IGNORECASE),
25        "conj": re.compile(r'(?:(Konjektur|Conjecture)\s*[:\-\]\s*',
26        re.IGNORECASE),
27        "stop": re.compile(r'(?:(\s*\{0,3\}\s*Akhir Blok\s*\{0,3\}###|``|-{3,})',
28        re.IGNORECASE)
29    }

```

```

28
29 def extract_section(target_key):
30     start_match = patterns[target_key].search(area)
31     if not start_match:
32         return ""
33
34     content_start_idx = start_match.end()
35
36     # Find the next header
37     next_indices = []
38     for key, pat in patterns.items():
39         m = pat.search(area, pos=content_start_idx)
40         if m:
41             next_indices.append(m.start())
42
43     # If found upcoming headers, stop at the nearest one (min index).
44     # If no headers found, go to end of string.
45     if next_indices:
46         cutoff_idx = min(next_indices)
47         raw_text = area[content_start_idx:cutoff_idx]
48     else:
49         raw_text = area[content_start_idx:]
50
51     return raw_text.strip()
52
53 facts = extract_section("facts")
54 rules = extract_section("rules")
55 conjecture = extract_section("conj")
56
57 return facts, rules, conjecture

```

Kode 3.4: Kode untuk mem-parse hasil dari LLM untuk translasi ke FOL

– **Decomposition:** Mendeteksi blok "Aturan dalam CNF" dan "Skolemisasi" jika ada Implementasi kode:

```

1 def post_process_decompose(self, content, rules_count=None):
2
3     content = (content or "").replace('\u200b', '').replace('\uffeff', '')
4
5     marker_pattern = r'Di bawah ini adalah yang perlu Anda konversikan
menggunakan normalisasi.'
6     marker_match = re.search(marker_pattern, content, flags=re.IGNORECASE)
7
8     block_header = re.compile(r'\{0,3}Bentuk Akhir\{0,3}', re.IGNORECASE)
9     m_block = block_header.search(content, pos=marker_match.end())
10
11     area = content[m_block.end():]
12
13     cnf_label_re = re.compile(
14         r'(?:(Aturan dalam CNF|Aturan CNF|Aturan|Rules)\s*[:\-\]?\s*',

```

```

15         flags=re.IGNORECASE
16     )
17     skolem_label_re = re.compile(
18         r'(? :Aturan dalam Skolem|Skolemisasi|Skolem|Bentuk Akhir Setelah
Skolemisasi|Skolemization)\s*[:\~]?s*',
19         flags=re.IGNORECASE
20     )
21
22     # Construct the pattern string explicitly to avoid parentheses nesting
errors.
23     boundary_pattern = (
24         r'(?:'                                     # Start outer
group
25         r'\r?\n\s*'                                 # Newline +
whitespace
26         r'(?:'                                     # Start inner
grouping for headers
27         r'(? :Aturan dalam CNF|Aturan CNF|Aturan \((CNF\)|Aturan|Rules)|'
# CNF headers
28         r'(? :Skolemisasi|Skolem|Bentuk Akhir)|'       # Skolem
headers
29         r'(? :*\{0,3\}\s*Akhir Blok\s*\{0,3\}|Final Form|###)' # End
markers
30         r')'                                           # End inner
grouping
31         r')'                                           # End outer
group
32         r'|$'                                         # OR End of
String
33     )
34
35     boundary_re = re.compile(boundary_pattern, flags=re.IGNORECASE)
36
37     def extract_after_label(label_re):
38         """Finds label, returns text until next boundary."""
39         lab_match = label_re.search(area)
40         if not lab_match:
41             return None
42         start = lab_match.end()
43         bound = boundary_re.search(area, pos=start)
44         end = bound.start() if bound else len(area)
45         return area[start:end].strip()
46
47     cnf_raw = extract_after_label(cnf_label_re)
48     skolem_raw = extract_after_label(skolem_label_re)
49
50     def to_lines(raw):
51         if not raw:
52             return []
53         return [ln.strip() for ln in raw.splitlines() if ln.strip()]

```

```

54
55     cnf_lines = to_lines(cnf_raw)
56     skolem_lines = to_lines(skolem_raw) if skolem_raw else None
57
58     print(f"CNF Raw: {cnf_lines}")
59     print(f"Skolem Raw: {skolem_lines}")
60
61     return cnf_lines, skolem_lines

```

Kode 3.5: Kode untuk mem-parse hasil dari LLM untuk translasi ke FOL

– Search Resolve: Mendeteksi blok "Clause Baru" dan "Label Cukup" Implementasi kode:

```

1 def post_process_logic_solver(self, response_d):
2     content = response_d
3     marker_pattern = r'(.*)Dibawah ini tugas yang perlu Anda lakukan(.*)'
4     marker_match = re.search(marker_pattern, content, flags=re.IGNORECASE)
5     search_area = content[marker_match.end():] if marker_match else content
6
7     final_block_pattern = (
8         r'\s*\{0,3\}(?:Bentuk Akhir)\s*\{0,3\}\s*'
9         r'(.*)'
10        r'(?=\s*\{0,3\}(?:Akhir Blok)\s*\{0,3\})|'
11        r'$)' # or end of string
12    )
13
14    final_block_match = re.search(final_block_pattern, search_area,
15                                  flags=re.DOTALL | re.IGNORECASE)
16
17    if not final_block_match:
18        return [], None
19
20    block = final_block_match.group(1)
21
22    block_clean = block.strip()
23    print(f"\n\nCHOSEN BLOCK:\n\n{block_clean}\n\n")
24    print("END OF CHOSEN BLOCK\n\n")
25
26    clause_pos = re.search(r'Clause\s*Baru', block_clean, flags=re.IGNORECASE)
27    clause_after = block_clean[clause_pos.end():]
28    m_new = re.search(r'\{(.*)\}', clause_after, flags=re.DOTALL)
29
30    if not m_new:
31        raise ValueError(f"'Clause Baru:' with '{...}' not found in expected form.")
32
33    new_clause = m_new.group(1).strip()
34
35    label_pos = re.search(r'Label\s*Cukup', block_clean, flags=re.IGNORECASE)
36    label_after = block_clean[label_pos.end():]

```

```

36     m_label = re.search(r'\[(.*?)\]', label_after, flags=re.DOTALL)
37     if not m_label:
38         raise ValueError(f"'Label Cukup' with ' [...] ' not found in expected form
[True|False].")
39
40     sufficiency_label = m_label.group(1).strip()
41
42     return {
43         "new_clause": new_clause,
44         "sufficiency_label": sufficiency_label,
45     }

```

Kode 3.6: Kode untuk mem-parse hasil dari LLM untuk translasi ke FOL

3.5.4 Metrik Evaluasi

Akurasi dihitung berdasarkan perbandingan antara hasil parsing regex dengan kunci jawaban (*Ground Truth*) dari dataset. Jika model menghasilkan jawaban yang tidak dapat diparsing (misalnya, meracau atau tidak memberikan kesimpulan), maka dianggap sebagai jawaban dengan status "tidak diketahui" / *unknown*. Hal ini memperketat standar evaluasi, karena kemampuan mengikuti instruksi (*instruction following*) dianggap sebagai prasyarat dari penalaran yang valid.

BAB 4

HASIL EKSPERIMEN DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan tentang eksperimen dan hasil eksperimen dari penelitian

4.1 Naive Prompting

Tabel 4.1: Hasil Eksperimen dengan Naive Prompting

	Qwen2.5 7B-Instruct	SEA-LION v3-Llama-8B	SahabatAI v1-Llama-8B
Naive Prompting			
After Answer	61.40%	51.40%	56.20%
Before Answer	67.80%	81.00%	76.80%

4.2 Aristotle

Tabel 4.2: Hasil Eksperimen dengan Aristotle Framework

	Qwen2.5 7B-Instruct	SEA-LION v3-Llama-8B	SahabatAI v1-Llama-8B
Aristotle	NA%	NA%	61.20%

BAB 5

PENUTUP

Pada bab ini, Penulis akan memaparkan kesimpulan penelitian dan saran untuk penelitian berikutnya.

5.1 Kesimpulan

Berikut ini adalah kesimpulan terkait pekerjaan yang dilakukan dalam penelitian ini:

1. Poin pertama

Penjelasan poin pertama.

2. Poin kedua

Penjelasan poin kedua.

Tulis kalimat penutup di sini.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, berikut ini adalah saran untuk pengembangan penelitian berikutnya:

1. Saran 1.

2. Saran 2.

DAFTAR REFERENSI

- Gerganov, G. (2023). llama.cpp. <https://github.com/ggml-org/llama.cpp>. Accessed: November 29, 2025.
- Saparov, A. and He, H. (2023). Language models are greedy reasoners: A systematic formal analysis of chain-of-thought.
- Xu, J., Fei, H., Luo, M., Liu, Q., Pan, L., Wang, W. Y., Nakov, P., Lee, M., and Hsu, W. (2025). Aristotle: Mastering logical reasoning with A logic-complete decompose-search-resolve framework. In *Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*.

LAMPIRAN

Lampiran 1: CHANGELOG

@todo

Silakan hapus lampiran ini ketika Anda mulai menggunakan *template*.

Template versi terbaru bisa didapatkan di <https://gitlab.com/ichlaffterlalu/latex-skripsi-ui-2017>. Daftar perubahan pada *template* hingga versi ini:

- versi 1.0.3 (3 Desember 2010):
 - *Template* Skripsi/Tesis sesuai ketentuan *formatting* tahun 2008.
 - Bisa diakses di <https://github.com/edom/uistyle>.
- versi 2.0.0 (29 Januari 2020):
 - *Template* Skripsi/Tesis sesuai ketentuan *formatting* tahun 2017.
 - Menggunakan BibTeX untuk sitasi, dengan format *default* sitasi IEEE.
 - *Template* kini bisa ditambahkan kode sumber dengan *code highlighting* untuk bahasa pemrograman populer seperti Java atau Python.
- versi 2.0.1 (8 Mei 2020):
 - Menambahkan dan menyesuaikan tutorial dari versi 1.0.3, beserta cara kontribusi ke *template*.
- versi 2.0.2 (14 September 2020):
 - Versi ini merupakan hasil *feedback* dari peserta skripsi di lab *Reliable Software Engineering* (RSE) Fasilkom UI, semester genap 2019/2020.
 - BibTeX kini menggunakan format sitasi APA secara *default*.
 - Penambahan tutorial untuk `longtable`, agar tabel bisa lebih dari 1 halaman dan header muncul di setiap halaman.
 - Menambahkan tutorial terkait penggunaan BibTeX dan konfigurasi *header/footer* untuk pencetakan bolak-balik.
 - Label "Universitas Indonesia" kini berhasil muncul di halaman pertama tiap bab dan di bagian abstrak - daftar kode program.
 - *Hyphenation* kini menggunakan `babel Bahasa Indonesia`. Aktivasi dilakukan di `hype-indonesia.tex`.
 - Minor adjustment untuk konsistensi *license* dari *template*.
- versi 2.0.3 (15 September 2020):

- Menambahkan kemampuan orientasi *landscape* beserta tutorialnya.
- `\captionsource` telah diperbaiki agar bisa dipakai untuk `longtable`.
- Daftar lampiran kini telah tersedia, lampiran sudah tidak masuk daftar isi lagi.
- Nomor halaman pada lampiran dilanjutkan dari halaman terakhir konten (daftar referensi).
- Kini sudah bisa menambahkan daftar isi baru untuk jenis objek tertentu (custom), seperti: "Daftar Aturan Transformasi". Sudah termasuk mekanisme *captioning* dan tutorialnya.
- Perbaiki minor pada tutorial.
- versi 2.1.0 (8 September 2021):
 - Versi ini merupakan hasil *feedback* dari peserta skripsi dan tesis di lab *Reliable Software Engineering* (RSE) Fasilkom UI, semester genap 2020/2021.
 - Minor edit: "Lembar Pengesahan", dsb. di daftar isi menjadi all caps.
 - Experimental multi-language support (Chinese, Japanese, Korean).
 - *Support* untuk justifikasi dan word-wrapping pada tabel.
 - Penggunaan suffix "(sambungan)" untuk tabel lintas halaman. Tambahan support suffix untuk `\captionsource`.
- versi 2.1.1 (7 Februari 2022):
 - Update struktur mengikuti fork template versi 1.0.3 di <https://github.com/rkkautsar/edom/ui-thesis-template>.
 - *Support* untuk simbol matematis `amsfonts`.
 - Kontribusi komunitas terkait improvement GitLab CI, atribusi, dan format sitasi APA bahasa Indonesia.
 - Perbaiki tutorial berdasarkan perubahan terbaru pada versi 2.1.0 dan 2.1.1.
- versi 2.1.2 (13 Agustus 2022):
 - Modifikasi penamaan beberapa berkas.
 - Perbaiki beberapa halaman depan (halaman persetujuan, halaman orisinalitas, dsb.).
 - *Support* untuk lembar pengesahan yang berbeda dengan format standar, seperti Laporan Kerja Praktik dan Disertasi.
 - Kontribusi komunitas terkait kesesuaian dengan format Tugas Akhir UI, kelengkapan dokumen, perbaiki format sitasi, dan *quality-of-life*.
 - Perbaiki tutorial.
- versi 2.1.3 (22 Februari 2023):

- Dukungan untuk format Tugas Akhir Kelompok di Fasilkom UI.
- Dukungan untuk format laporan Kampus Merdeka Mandiri di Fasilkom UI.
- Minor *bugfix*: Perbaikan kapitalisasi variabel.
- Quality-of-Life: Pengaturan kembali `config/settings.tex`.
- Tutorial untuk beberapa *use case*.
- versi 2.2.0 (28 Agustus 2024):
 - Perbaikan format agar sesuai dengan format Tugas Akhir terbaru. Hal ini mencakup halaman judul, halaman pernyataan orisinalitas, header/footer, dan lampiran.
- versi 2.2.1 (16 Desember 2024):
 - *Bugfix*: isu *header* dan *footer* untuk halaman bolak-balik.
 - *Bugfix*: isu *auto-wrapping* pada kode yang tidak bisa berjalan sejak v2.2.0.
 - *Bugfix*: isu penomoran objek kustom yang tidak sesuai konvensi `[bab].[objek]`.
 - *Bugfix*: penomoran bab di Daftar Isi yang belum sesuai konvensi Tugas Akhir UI.
 - *Bugfix*: hal-hal lain pada *formatting* sesuai dengan permintaan dari Perpustakaan Fasilkom UI.
 - Perbaikan *formatting* untuk *landscape* dengan *library* `pdfscape`.
 - Perbaikan cara memasukkan sebuah persamaan ke dalam daftar persamaan.
 - Perbaikan penggunaan "saya" menjadi "kami" untuk dokumen-dokumen awal pada Tugas Akhir Kelompok.
 - Fitur baru: *Support* untuk *code highlighting* pada berbagai bahasa pemrograman yang tidak di-*support* secara *default* oleh *library listings*.
 - Fitur baru: *Support* untuk *glossary* (daftar istilah).
 - Perbaikan *major* pada tutorial, termasuk menampilkan contoh kode ke dalam PDF tutorial, dan pengaturan ulang subbab.

Lampiran 2: Judul Lampiran 2

Lampiran hadir untuk menampung hal-hal yang dapat menunjang pemahaman terkait tugas akhir, namun akan mengganggu *flow* bacaan sekiranya dimasukkan ke dalam bacaan. Lampiran bisa saja berisi data-data tambahan, analisis tambahan, penjelasan istilah, tahapan-tahapan antara yang bukan menjadi fokus utama, atau pranala menuju halaman luar yang penting.

Subbab dari Lampiran 2**@todo**

Isi subbab ini sesuai keperluan Anda. Anda bisa membuat lebih dari satu judul lampiran, dan tentunya lebih dari satu subbab.