



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENALARAN LOGIKA BERBASIS *FRAMEWORK*
TRANSLATION-DECOMPOSITION-SEARCH-RESOLVE PADA
OPEN-WEIGHT SMALL LANGUAGE MODEL DENGAN DATASET
BERBAHASA INDONESIA**

SKRIPSI

**MIKHAEL DEO BARLI
1906350572**

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
DEPOK
JANUARI 2026**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENALARAN LOGIKA BERBASIS *FRAMEWORK*
TRANSLATION-DECOMPOSITION-SEARCH-RESOLVE PADA
OPEN-WEIGHT SMALL LANGUAGE MODEL DENGAN DATASET
BERBAHASA INDONESIA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Komputer

**MIKHAEL DEO BARLI
1906350572**

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
DEPOK
JANUARI 2026**

HALAMAN PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN ARTIFISIAL

Tugas akhir ini disusun dengan bantuan teknologi kecerdasan artifial dengan platform *GeminiAI* untuk membantu dalam pemilihan kata, perbaikan tata bahasa, dan pemahaman terhadap *paper* yang dirujuk, terutama pada bagian landasan teori.

Nama : Mikhael Deo Barli
NPM : 1906350572
Tanggal : 4 Januari 2026

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 : 4 Januari 2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :
Nama : Mikhael Deo Barli
NPM : 1906350572
Program Studi : Sarjana Ilmu Komputer
Judul : Penalaran Logika Berbasis Framework Translation-
Decomposition-Search-Resolve pada Open-Weight Small
Language Model dengan Dataset Berbahasa Indonesia

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

DEWAN PENGUJI

| | | |
|--------------|--|---|
| Pembimbing 1 | : Ari Saptawijaya, S.Kom., M.Sc., Ph.D. | (Nilai telah diberikan melalui SISIDANG pada 15-12-2025, 17:15:25) (Revisi telah disetujui melalui SISIDANG pada 05-01-2026, 10:05:41) |
| Penguji | : Alfian Farizki Wicaksono, S.T., M.Sc., Ph.D. | (Nilai telah diberikan melalui SISIDANG pada 15-12-2025, 11:05:51) (Revisi telah disetujui melalui SISIDANG pada 28-12-2025, 08:05:56) |
| Penguji | : Arlisa Yuliatwati, S.Kom., M.Kom. | (Nilai telah diberikan melalui SISIDANG pada 15-12-2025, 11:38:55) (Revisi telah disetujui melalui SISIDANG pada 02-01-2026, 07:44:07) |

Ditetapkan di : Depok, Jawa Barat
Tanggal : 05 Januari 2026

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, rahmat, dan karunia-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul *PENALARAN LOGIKA BERBASIS FRAMEWORK TRANSLATION-DECOMPOSITION-SEARCH-RESOLVE PADA OPEN-WEIGHT SMALL LANGUAGE MODEL DENGAN DATASET BERBAHASA INDONESIA* ini dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana pada Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia. Oleh karena itu, pada kesempatan ini Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Pak Ari, selaku dosen pembimbing satu yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, diskusi mendalam mengenai *Neuro-Symbolic*, serta motivasi kepada Penulis selama proses penelitian ini.
2. Seluruh Dosen Fakultas Ilmu Komputer yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat bagi Penulis selama masa perkuliahan.
3. Orang tua tercinta, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral, dan material yang tak terhingga.
4. Teman-teman seperjuangan yang telah menjadi teman diskusi dan berbagi cerita selama masa perkuliahan.
5. Pihak pengembang *open-source* (komunitas AI Singapore, Qwen Team, dan GoTo Group) yang telah menyediakan model SEA-LION, Qwen, dan Sahabat-AI secara terbuka, yang memungkinkan penelitian ini terlaksana dengan sumber daya terbatas.
6. Platform *cloud computing* yang menyediakan sumber daya komputasi untuk menggunakan model pembelajaran mesin, yaitu Runpod.
7. Semua referensi dan literatur yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan Skripsi ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman Penulis dalam bidang *Natural Language Processing* (NLP) yang terus berkembang. Oleh karena itu, apabila terdapat kesalahan atau kekurangan dalam laporan ini, Penulis memohon agar kritik dan saran yang membangun

bisa disampaikan langsung melalui *e-mail* `mikhael.deo@ui.ac.id`. Akhir kata, Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang penalaran mesin pada Bahasa Indonesia.

Depok, 4 Januari 2026

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

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

Penalaran Logika Berbasis *Framework Translation-Decomposition-Search-Resolve* pada *Open-Weight Small Language Model* dengan 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 : 4 Januari 2026
Yang menyatakan

(Mikhael Deo Barli)

ABSTRAK

Nama : Mikhael Deo Barli
Program Studi : Ilmu Komputer
Judul : Penalaran Logika Berbasis *Framework Translation-Decomposition-Search-Resolve* pada *Open-Weight Small Language Model* dengan Dataset Berbahasa Indonesia
Pembimbing : Ari Saptawijaya, S.Kom., M.Sc., Ph.D

Kecerdasan buatan (AI) sedang mengalami perubahan yang besar. Industri yang dulunya fokus pada membangun model bahasa yang semakin besar (*Large Language Models* - LLM), kini bergeser ke arah yang lebih efisien dan terjangkau melalui *Small Language Models* (SLM). Model-model dengan parameter di bawah 10 miliar ini membuka peluang besar, yaitu teknologi AI canggih dapat berjalan bahkan di perangkat dengan keterbatasan sumber daya, sesuatu yang sangat penting bagi negara berkembang seperti Indonesia. Namun, pengurangan ukuran ini membawa tantangan: apakah kemampuan penalaran logikanya juga berkurang, khususnya dalam menangani tugas-tugas logika yang kompleks di mana model kecil mudah menghasilkan hasil yang tidak akurat?

Penelitian ini menjawab tantangan tersebut dengan menguji bagaimana pendekatan *Neuro-Symbolic*, sebuah metode *hybrid* yang menggabungkan fleksibilitas model neural dengan ketepatan logika simbolik, dapat meningkatkan kemampuan penalaran SLM pada data berbahasa Indonesia. Penelitian menerapkan sebuah pipeline lengkap: menerjemahkan pertanyaan ke logika formal (*Translation to First Order Logic*), mengubahnya menjadi bentuk normal konjungtif (*Decomposition to Conjunctive Normal Form*), mencari klausa pelengkap (*Search for Complementing Clause*), dan terakhir menggunakan resolusi dengan bukti kontradiksi (*Resolution with Proof By Contradiction*). Eksperimen melibatkan tiga model *open-weight* berukuran kecil (7B-9B parameter, dikuantisasi 4-bit): Qwen2.5-7B (*multilingual foundation model*), SEA-LION-v3-8B (*language-adaptive pre-trained model*), dan SahabatAI-v1-8B (*localized pre-trained model*). Penelitian ini menggunakan dataset logika ProntoQA yang diadaptasi ke Bahasa Indonesia. Penelitian ini membandingkan seberapa baik masing-masing model menangani tugas penalaran dengan dan tanpa *framework Neuro-Symbolic*.

Hasil penelitian mengungkapkan temuan yang menarik: *multilingual foundation model* Qwen2.5, yang sebelumnya unggul dalam penalaran implisit (*Naive Prompting*) dengan akurasi 81.00%, justru mengalami penurunan drastis menjadi 14.00% ketika diminta mematuhi aturan sintaksis ketat dalam *pipeline* simbolik karena mengalami *parsability error*. Di sisi lain, *language-adaptive pre-trained model* SEA-LION v3 menunjukkan performa terbaik dibandingkan dengan dua model lainnya dalam penelitian ini dengan akurasi 81.60% dalam *framework* ini. Ini menunjukkan bahwa keselarasan linguistik *language-adaptive pre-trained model* memainkan peran penting dalam mengatasi

hambatan penerjemahan semantik. Berdasarkan temuan ini, penelitian merekomendasikan bahwa untuk penalaran logika pada LLM dengan sumber daya terbatas, dapat menggunakan SLM *language-adaptive pre-trained model* dan menggunakan *framework Neuro-Symbolic* sebagai solusi yang lebih andal dibandingkan hanya mengandalkan intuisi probabilistik model semata.

Kata kunci:

Open-weight SLM, penalaran logika, ProntoQA bahasa Indonesia, resolusi

ABSTRACT

Name : Mikhael Deo Barli
Study Program : Computer Science
Title : Logical Reasoning with Translation-Decomposition-Search-Resolve Framework on Open-Weight Small Language Model for Indonesian Language Dataset
Counselor : Ari Saptawijaya, S.Kom., M.Sc., Ph.D

Artificial intelligence (AI) is undergoing a major transformation. An industry that once focused on building increasingly large language models (Large Language Models, LLMs) is now shifting toward more efficient and affordable approaches through Small Language Models (SLMs). Models with fewer than 10 billion parameters open up significant opportunities, enabling advanced AI technologies to operate even on devices with limited computational resources, an aspect that is particularly important for developing countries such as Indonesia. However, this reduction in model size introduces a critical challenge: does the ability for logical reasoning also diminish, especially when handling complex logical tasks where smaller models are prone to producing inaccurate results?

This study addresses this challenge by examining how a Neuro-Symbolic approach, a hybrid method that combines the flexibility of neural models with the precision of symbolic logic, can enhance the reasoning capabilities of SLMs on Indonesian-language data. The research implements a complete pipeline consisting of: translating questions into formal logic (Translation to First-Order Logic), converting them into conjunctive normal form (Decomposition to Conjunctive Normal Form), searching for complementing clauses (Search for Complementing Clause), and finally applying resolution using proof by contradiction (Resolution with Proof by Contradiction). The experiments involve three small open-weight models (7B-9B parameters, 4-bit quantized): Qwen2.5-7B (a multilingual foundation model), SEA-LION-v3-8B (a language-adaptive pre-trained model), and SahabatAI-v1-8B (a localized pre-trained model). This study uses the ProntoQA logical reasoning dataset adapted into Indonesian. The research compares how well each model performs on reasoning tasks with and without the Neuro-Symbolic framework.

The experimental results reveal notable findings. The multilingual foundation model Qwen2.5, which previously excelled at implicit reasoning under Naive Prompting with an accuracy of 81.00%, experienced a drastic decline to 14.00% when required to adhere to the strict syntactic rules of the symbolic pipeline due to parsability errors. In contrast, the language-adaptive pre-trained model SEA-LION-v3 achieved the best performance among the three models in this study, reaching an accuracy of 81.60% within the Neuro-Symbolic framework. These results indicate that linguistic alignment in language-adaptive pre-trained models plays a crucial role in overcoming semantic translation barriers. Based on these findings, the study recommends that for logical reasoning in resource-constrained

LLM settings, employing language-adaptive SLMs in combination with a Neuro-Symbolic framework provides a more reliable solution than relying solely on the model's probabilistic intuition.

Key words:

Open-weight SLM, logical reasoning, ProntoQA bahasa Indonesia, resolution

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN ARTIFISIAL | ii |
| HALAMAN ORISINALITAS | iii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| LEMBAR PERSETUJUAN KARYA ILMIAH | vi |
| ABSTRAK | vii |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR KODE PROGRAM | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| | |
| 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 Batasan Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.6 Posisi Penelitian | 5 |
| 1.7 Sistematika Penulisan | 7 |
| | |
| 2. LANDASAN TEORI | 8 |
| 2.1 <i>First-Order Logic</i> (FOL) | 8 |
| 2.1.1 Sintaks: Alfabet dan Aturan Pembentukan | 8 |
| 2.1.2 Semantik: Interpretasi dan Kebenaran | 8 |
| 2.2 Konsekuensi Logis (<i>Entailment</i>) | 9 |
| 2.3 Resolusi dan Unifikasi | 9 |
| 2.3.1 Pembuktian Kontradiksi (<i>Proof by Contradiction</i>) | 9 |
| 2.3.2 Konversi ke <i>Conjunctive Normal Form</i> (CNF) | 10 |
| 2.3.3 Aturan Resolusi dan Unifikasi | 10 |
| 2.4 <i>Language Models</i> (LM) | 11 |
| 2.4.1 Arsitektur Transformer | 11 |
| 2.4.2 <i>Pre-training dan Fine-tuning</i> | 11 |
| 2.4.3 Inferensi dan Kuantisasi | 11 |
| 2.4.4 Definisi dan Karakteristik <i>Small Language Models</i> (SLM) | 12 |
| 2.5 Dataset ProntoQA | 13 |
| 2.5.1 Generasi Data Sintetis | 13 |
| 2.5.2 Mengisolasi Kemampuan Penalaran | 13 |
| | |
| 3. FRAMEWORK TRANSLATION-DECOMPOSITION-SEARCH-RESOLVE | 15 |
| 3.1 Konfigurasi Model | 15 |
| 3.2 Kerangka Kerja Aristotle | 17 |
| 3.2.1 Translasi Logika (<i>Logical Translation</i>) | 18 |
| 3.2.2 Dekomposisi (<i>Decomposer</i>) | 18 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.2.3 | Penyelesai Pencarian (<i>Search Router</i>) | 19 |
| 3.2.4 | Resolusi (<i>Logical Resolver</i>) | 19 |
| 3.3 | Teknik Evaluasi dan Analisis Data | 20 |
| 3.3.1 | Parsing Bertingkat (<i>Multi-stage Parsing</i>) | 20 |
| 3.3.2 | Matriks Keputusan Evaluasi (Truth Table) | 24 |
| 3.4 | Ilustrasi Proses Resolusi | 25 |
| 3.4.1 | Translasi Dataset ke Bahasa Indonesia | 26 |
| 3.4.2 | <i>Translation to FOL</i> | 27 |
| 3.4.3 | <i>Decomposition to CNF</i> | 27 |
| 3.4.4 | <i>Logical Resolution</i> | 27 |
| 4. | EKSPERIMEN, HASIL, DAN ANALISIS | 29 |
| 4.1 | Desain Eksperimen | 29 |
| 4.2 | Instrumen Data dan Adaptasi Linguistik | 30 |
| 4.3 | <i>Prompt Refining</i> | 30 |
| 4.3.1 | <i>Translation to First Order Logic</i> | 31 |
| 4.3.2 | <i>Decomposition to Conjunctive Normal Form</i> | 42 |
| 4.3.3 | <i>Search Resolve</i> | 49 |
| 4.4 | Hasil Eksperimen dan Analisis | 71 |
| 4.4.1 | <i>Naive Prompting</i> | 71 |
| 4.4.2 | Aristotle | 72 |
| 5. | STUDI ABLASI | 74 |
| 5.1 | Eksperimen tanpa tahap / modul <i>Search and Resolve</i> | 74 |
| 5.2 | Eksperimen tanpa tahap / modul <i>Search and Resolve</i> dan <i>Decomposition to CNF</i> | 75 |
| 5.3 | Eksperimen dengan tahap <i>Translation to FOL</i> dan dilanjutkan dengan Prolog | 75 |
| 5.4 | Hasil Studi Ablasi | 76 |
| 6. | PENUTUP | 77 |
| 6.1 | Kesimpulan | 77 |
| 6.2 | Saran | 79 |
| | BIBLIOGRAFI | 81 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1. | Tahapan yang dilakukan dalam generasi dataset ProntoQA (Saparov and He (2023)) | 13 |
| Gambar 3.1. | Kerangka kerja Aristotle untuk inferensi logika menggunakan SLM dan metode <i>neuro-symbolic</i> (Xu et al. (2025)) | 17 |
| Gambar 3.2. | Tahapan yang dilakukan dalam menjalankan <i>framework Aristotle</i> . . | 26 |
| Gambar 5.1. | Kerangka kerja Aristotle tanpa tahapan <i>Search and Resolve</i> | 74 |
| Gambar 5.2. | Kerangka kerja Aristotle hanya dengan tahapan <i>Translation to FOL</i> . | 75 |
| Gambar 5.3. | Kerangka kerja Aristotle hanya dengan tahapan <i>Translation to FOL</i> dan dilanjutkan dengan bantuan prolog | 75 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel 1.1. | Perbandingan Penelitian Terkait Penalaran Logis dengan SLM | 6 |
| Tabel 3.1. | Matriks Keputusan untuk Penentuan Label Jawaban (Kesimpulan) . . . | 25 |
| Tabel 4.1. | Hasil Eksperimen dengan <i>Naive Prompting</i> | 71 |
| Tabel 4.2. | Hasil Eksperimen dengan <i>Aristotle Framework</i> | 72 |
| Tabel 5.1. | Hasil Eksperimen tanpa Tahap Akhir <i>Search & Resolve</i> dan Resolusi dengan <i>CoT Prompting</i> | 74 |
| Tabel 5.2. | Hasil Eksperimen hanya dengan Tahap Pertama <i>Translation to FOL</i> dan Resolusi dengan <i>CoT Prompting</i> | 75 |
| Tabel 5.3. | Hasil Eksperimen hanya dengan Tahap Pertama <i>Translation to FOL</i> dan Resolusi dengan Prolog | 76 |
| Tabel 5.4. | Rata-rata akurasi dari ketiga model | 76 |

DAFTAR KODE PROGRAM

| | | |
|-----------|--|----|
| Kode 3.1. | Konfigurasi parameter deterministik untuk setiap model yang digunakan | 16 |
| Kode 3.2. | Mekanisme injeksi data poin ke dalam template prompt Aristotle | 19 |
| Kode 3.3. | Regex untuk ekstraksi blok Translasi | 20 |
| Kode 3.4. | Regex untuk ekstraksi blok Dekomposisi | 22 |
| Kode 3.5. | Regex untuk memvalidasi langkah Resolusi | 23 |
| Kode 4.1. | <i>Prompt template</i> hasil translasi langsung dari bahasa Inggris | 31 |
| Kode 4.2. | <i>Prompt template</i> setelah dimodifikasi dengan tambahan beberapa aturan dan contoh | 34 |
| Kode 4.3. | <i>Prompt template</i> dengan menggunakan diksi sesuai kamus EBI pada konteks ini | 38 |
| Kode 4.4. | <i>Prompt template</i> hasil translasi langsung dari bahasa Inggris | 43 |
| Kode 4.5. | <i>Prompt template</i> dengan tambahan contoh dan diksi sesuai EBI | 45 |
| Kode 4.6. | <i>Prompt template</i> hasil translasi langsung dari bahasa Inggris | 49 |
| Kode 4.7. | <i>Prompt template</i> dengan penghilangan perintah operator AND dan tambahan contoh | 57 |
| Kode 4.8. | <i>Prompt template</i> dengan tambahan contoh dan mengganti operator NEG dengan $P(x, \text{NilaiKebalikan})$ | 63 |
| Kode 1. | Template prompt untuk mencari jawaban dari SLM untuk tahapan <i>decomposition to CNF</i> tanpa <i>search and resolve</i> | 84 |
| Kode 2. | Template prompt untuk mencari jawaban dari SLM untuk hanya dari tahapan <i>translation to FOL</i> | 87 |
| Kode 3. | <i>Data point</i> dari tahapan <i>translation to FOL</i> | 91 |
| Kode 4. | Hasil konversi dari tahapan <i>translation to FOL</i> | 91 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1. Prompts untuk Ablasi | 84 |
| Lampiran 2. Prolog | 91 |

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan, manfaat, ringkasan metodologi, serta sistematika penulisan laporan ini. Penelitian ini berfokus pada evaluasi kemampuan penalaran logis oleh *Small Language Models* (SLM) yang bersifat *open-weight* ketika bekerja pada dataset berbahasa Indonesia dengan *framework translation-decomposition-search-resolve*.

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 fundamental. Evaluasi yang ketat menunjukkan bahwa model sering kali berfungsi sebagai mesin probabilistik yang menebak pola statistik alih-alih melakukan deduksi deterministik. Fenomena ini dijelaskan oleh Saparov and He (2023) dalam penelitian mereka yang menunjukkan bahwa LLM sering gagal dalam inferensi multi-langkah karena mereka mengambil jalan pintas heuristik daripada mengikuti rantai logika yang valid.

Selama dekade terakhir, perkembangan *Natural Language Processing* (NLP) didorong oleh (*scaling laws*) yang menyatakan bahwa peningkatan jumlah parameter, data, dan komputasi akan secara linear meningkatkan performa model. Era ini melahirkan model-model raksasa atau *Large Language Models* (LLM) dengan ratusan juta parameter, seperti GPT-4 dan Llama-3-405B. Model-model ini menunjukkan kemampuan *emergent* yang luar biasa, namun keberhasilan ini datang dengan biaya infrastruktur komputasi yang masif dan konsumsi energi yang besar Wang et al. (2025).

Dalam konteks negara berkembang seperti Indonesia, ketergantungan pada LLM raksasa menjadi hambatan signifikan. Kebutuhan akan kedaulatan data dan privasi mendorong permintaan untuk menjalankan model secara lokal (*on-premise*) atau di (*edge devices*). Untuk menghadapi tantangan ini, riset pada umumnya mulai beralih fokus pada *Small Language Models* (SLM), yang umumnya memiliki parameter di bawah 10-14 miliar

Subramanian et al. (2025).

Namun, tantangan mendasar tetap membayangi utilitas SLM: kemampuan penalaran logis (*logical reasoning*). Model bahasa pada dasarnya adalah mesin prediksi token probablistik. Kelemahan ini dikenal sebagai masalah "halusinasi", sering kali lebih parah pada model kecil karena keterbatasan memori asosiatif Saparov and He (2023). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan metodologis untuk memperkuat kapabilitas penalaran SLM tanpa memperbesar ukuran modelnya.

Untuk mengatasi kesenjangan antara kemampuan linguistik dan logika ini, berbagai metode prompting dan arsitektur telah dikembangkan. Berikut adalah sedikit tinjauan terhadap evolusi metode penalaran logis pada SLM yang menjadi landasan penelitian ini:

1. *Naive Prompting (Implicit Reasoning)*: Pendekatan paling dasar di mana model diminta langsung menjawab kesimpulan dari premis yang diberikan (misalnya, Zero-shot). Kelemahannya adalah "Curse of Complexity", di mana akurasi model menurun secara eksponensial seiring bertambahnya langkah logika karena model tidak memiliki memori kerja eksternal untuk menyimpan status inferensi perantara (Saparov and He (2023)).
2. *Chain-of-Thought (CoT)*: Diperkenalkan oleh Wei et al. (2022), CoT mendorong model untuk menghasilkan serangkaian langkah penalaran perantara sebelum memberikan jawaban akhir. Metode ini terbukti meningkatkan performa pada tugas aritmatika dan simbolik secara signifikan dengan mengubah pemetaan *Input-Output* menjadi *Input-Reason1-Reason2-Output*. Namun, CoT rentan terhadap propagasi kesalahan, jika satu langkah penalaran salah (halusinasi), seluruh kesimpulan akan salah karena tidak ada mekanisme verifikasi eksternal.
3. *Tree-of-Thoughts (ToT)*: Yao et al. (2023) mengembangkan konsep CoT menjadi struktur pohon, memungkinkan model untuk mengeksplorasi berbagai jalur penalaran, melakukan *lookahead*, dan *backtracking* saat menemui jalan buntu. Meskipun lebih baik, ToT sangat mahal secara komputasi dan masih bergantung pada intuisi probabilistik model itu sendiri untuk mengevaluasi validitas setiap cabang pemikiran.
4. *Neuro-Symbolic Approaches (Logic-LM & SymbCoT)*: Untuk mencapai ketepatan logika yang *strict*, pendekatan *Neuro-Symbolic* mulai diadopsi. Logic-LM oleh Pan et al. (2023) menggunakan LLM hanya sebagai penerjemah masalah ke dalam kode simbo-

lik (seperti Prolog) , yang kemudian diselesaikan oleh *solver* deterministik. Xu et al. (2024) kemudian mengusulkan SymbCoT yang mencoba mengintegrasikan verifikasi simbolik langsung ke dalam rantai pemikiran LLM.

5. Aristotle *Framework*: Penelitian ini berfokus pada *Framework* Aristotle oleh Xu et al. (2025), yang menyempurnakan pendekatan *Neuro-Symbolic* dengan arsitektur *Translation-Decompose-Search-Resolve*. Keunggulan utamanya adalah adanya modul Search Router yang memangkas ruang pencarian premis yang tidak relevan, serta penggunaan dua jalur pembuktian untuk meminimalkan halusinasi.

Meskipun metode-metode di atas menunjukkan hasil positif, sebagian besar penelitian dilakukan pada dataset berbahasa Inggris. Studi terhadap kemampuan penalaran SLM pada bahasa lain, termasuk Bahasa Indonesia, masih terbatas. Perbedaan struktur linguistik (seperti ambiguitas subjek dalam Bahasa Indonesia) dan kualitas tokenisasi dapat memengaruhi performa model setelah adaptasi lintas bahasa. Selain itu, penelitian sebelumnya menggunakan *proprietary* LLM (seperti GPT-4), sehingga perbandingan performa *apple-to-apple* pada model *open-weight* dengan sumber daya terbatas atau SLM belum banyak dikaji.

Dari gap penelitian yang sudah disebutkan, belum ada kajian mendalam mengenai efektivitas *Framework* Aristotle pada dataset berbahasa Indonesia menggunakan open-weight SLM. Penelitian ini menjadi penting untuk mengevaluasi apakah model seperti Sahabat-AI (*localized pre-trained* dengan Bahasa Indonesia) atau SEA-LION (*language-adaptive pre-trained* dengan bahasa di regional ASEAN) ataupun Qwen (*multilingual foundation model*) dapat mengatasi tantangan penalaran logis.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana penalaran logis pada dataset berbahasa Indonesia dilakukan dengan menggunakan *framework translation-decompose-search-resolve*?
2. Bagaimana perbandingan performa *framework translation-decompose-search-resolve* untuk penalaran logis berbahasa Indonesia antar open-weight LLM berparameter rendah atau SLM?
3. Bagaimana perbandingan performa *framework translation-decompose-search-resolve*

dibandingkan naive prompting untuk penalaran logis berbahasa Indonesia pada open-weight LLM berparameter rendah atau SLM?

1.3 Tujuan Penelitian

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

Tujuan:

1. Mengimplementasikan penalaran logis pada dataset berbahasa Indonesia dilakukan dengan menggunakan *framework translation-decompose-search-resolve*
2. Mengukur perbandingan performa *framework translation-decompose-search-resolve* untuk penalaran logis berbahasa Indonesia antar open-weight LLM berparameter rendah atau SLM
3. Mengukur perbandingan performa *framework translation-decompose-search-resolve* naive prompting untuk penalaran logis berbahasa Indonesia pada open-weight LLM berparameter rendah atau SLM

1.4 Batasan Penelitian

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.
- **Implementasi:** Source code yang tersedia pada repository Aristotle yang merupakan implementasi *framework translation-decompose-search-resolve* (Xu et al. (2025))

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 SLM pada bahasa Indonesia, sebuah aspek yang masih jarang dikaji. Temuan ini dapat menjadi fondasi bagi penelitian lanjutan dalam

evaluasi model bahasa pada tugas-tugas penalaran logis 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 penalaran 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

Penelitian ini mengisi gap dalam literatur saat ini dengan menerapkan kerangka kerja *Neuro-Symbolic* pada model berparameter rendah (*low-resource*) yang dikuantisasi, khusus untuk Bahasa Indonesia.

| Peneliti (Tahun) | Metode / Framework | Model / Bahasa / Dataset | Keterbatasan (Gap) |
|---------------------|---|--|--|
| Saparov & He (2022) | Naive Prompting & CoT | GPT-3 (175B) Inggris ProntoQA (Eng) | Hanya mengevaluasi model <i>proprietary high-resource</i> |
| Pan et al. (2023) | Logic-LM (Translate-Execute) | GPT-3.5 / GPT-4 Inggris ProofWriter, ProntoQA | Bergantung pada solver eksternal tanpa mekanisme <i>search</i> untuk memangkas premis tidak relevan. |
| Xu et al. (2025) | Aristotle (Translaction-Decompose-Search-Resolve) | Llama-2 / GPT-4 Inggris LogicNLI, ProntoQA, ProofWriter | <i>Framework</i> yang efektif, tetapi belum diuji pada model LLM <i>low-resource</i> dengan dataset berbahasa Indonesia. |
| Koto et al. (2023) | Evaluasi Benchmark | IndoGPT, XGLM Indonesia IndoMMLU, IndoNLI | Fokus pada evaluasi pengetahuan umum, bukan penalaran logika formal yang membutuhkan multi-langkah penyelesaian. |
| Penelitian (2025) | Ini Aristotle (Translaction-Decompose-Search-Resolve) | Qwen2.5, SEA-LION, Sahabat-AI Indonesia ProntoQA-ID | Menguji efektivitas <i>translaction-decompose-search-resolve</i> pada model <i>open-weight</i> kecil dan terkuantisasi. |

Tabel 1.1: Perbandingan Penelitian Terkait Penalaran Logis dengan SLM

Dari tabel Tabel 1.1, terlihat bahwa penelitian-penelitian sebelumnya umumnya menggunakan model proprietary berukuran besar dan fokus pada bahasa Inggris. Penelitian ini menjembatani *gap* tersebut dengan mengadaptasi *framework translation-decompose-search-resolve* pada model *open-weight* berparameter rendah pada dataset berbahasa In-

donesia, sehingga memberikan wawasan baru tentang kemampuan penalaran logis dalam konteks sumber daya terbatas dan bahasa lokal.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan adalah sebagai berikut:

- Bab 1 PENDAHULUAN
Menguraikan motivasi penelitian, kesenjangan dalam literatur saat ini mengenai penalaran SLM bahasa Indonesia, rumusan masalah, dan tujuan spesifik validasi *framework translation-decompose-search-resolve*.
- Bab 2 LANDASAN TEORI
Menjelaskan prinsip-prinsip *First-Order Logic* (FOL) dan aturan inferensi berdasarkan literatur klasik, serta tinjauan mendalam mengenai *Neuro-Symbolic* dan evolusi dari *Naive Prompting* ke *framework translation-decompose-search-resolve*.
- Bab 3 FRAMEWORK *TRANSLATION-DECOMPOSITION-SEARCH-RESOLVE*
Mendeskripsikan desain eksperimen, proses adaptasi dataset ProntoQA ke Bahasa Indonesia, konfigurasi model, dan implementasi teknis *framework translation-decompose-search-resolve*.
- Bab 4 EKSPERIMEN, HASIL, DAN ANALISIS
Menyajikan data hasil akurasi antara Qwen, SEA-LION, dan Sahabat-AI. Bab ini akan menganalisis permasalahan pada tiap tahap *framework* serta membandingkan hasilnya dengan metode Naive Prompting.
- Bab 5 STUDI ABLASI
Menyajikan data hasil eksperimen atau studi ablasi pada model-model yang digunakan serta proses melakukan proses resolusi atau evaluasi per tahap pada *framework*.
- Bab 6 PENUTUP
Merangkum temuan utama mengenai penggunaan model open-weight SLM untuk penalaran logis dan memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya di bidang penalaran logis pada bahasa Indonesia.

BAB 2

LANDASAN TEORI

Bab ini membangun kerangka teoretis yang mendasari analisis kemampuan *Large Language Models* (LLM) dalam melakukan penalaran logika. Pembahasan mencakup prinsip formal dari *First-Order Logic* (FOL), prosedur konversi ke *Conjunctive Normal Form* (CNF), serta algoritma Resolusi yang menjadi mesin utama dalam *framework* Aristotle.

2.1 *First-Order Logic* (FOL)

First-Order Logic (FOL), atau Kalkulus Predikat, adalah logika formal yang memperluas logika proposisi dengan memperkenalkan variabel, fungsi, dan kuantor untuk merepresentasikan objek dan relasi di dunia nyata.

2.1.1 Sintaks: Alfabet dan Aturan Pembentukan

Sintaks FOL dibangun dari komponen-komponen berikut menurut Brachman and Levesque (2004):

- Simbol Logis:
 - Konektif: \neg (Negasi), \wedge (Konjungsi), \vee (Disjungsi), \rightarrow (Implikasi), \leftrightarrow (Bikondisional).
 - Kuantor: \forall (Universal), \exists (Eksistensial).
 - Variabel: x, y, z, \dots
- Simbol Non-Logis:
 - Konstanta: Simbol yang merepresentasikan objek spesifik (misalnya, "Alice", "42").
 - Fungsi ($f(x_1, \dots, x_n)$): Memetakan objek ke objek lain. Contoh: *AyahDari*(Budi).
 - Predikat ($P(x_1, \dots, x_n)$): Fungsi yang memetakan *tuple* objek ke nilai kebenaran (True/False). Contoh: *Ayah*(Budi, True).

2.1.2 Semantik: Interpretasi dan Kebenaran

Kebenaran sebuah kalimat FOL ditentukan oleh sebuah Interpretasi (I) atas Domain (\mathcal{D}) yang tidak kosong. Interpretasi memetakan:

- **Konstanta:** Setiap simbol konstanta c dipetakan ke elemen spesifik di \mathcal{D} .

- **Predikat:** Setiap simbol predikat n -ary dipetakan ke himpunan relasi n -ary di \mathcal{D} (objek-objek mana yang memiliki sifat tersebut).
- **Fungsi:** Setiap simbol fungsi f dipetakan ke operasi konkret pada \mathcal{D} . Misalnya, jika domainnya adalah bilangan bulat, simbol fungsi $plus(x,y)$ dapat diinterpretasikan sebagai operasi penjumlahan $x + y$.

Sebuah formula α dikatakan **Benar** di bawah interpretasi I (ditulis $I \models \alpha$) jika fakta di dunia nyata sesuai dengan struktur kalimat tersebut.

2.2 Konsekuensi Logis (*Entailment*)

Tujuan utama sistem berbasis pengetahuan adalah menarik kesimpulan baru dari informasi yang sudah diketahui. Dalam sistem logika, kumpulan fakta dan aturan yang kita yakini kebenarannya disebut sebagai **Knowledge Base** (KB). Menurut Huth and Ryan (2004), $KB \models \alpha$ jika dan hanya jika untuk **setiap** interpretasi I di mana semua kalimat dalam KB bernilai Benar, maka α juga pasti bernilai Benar. Artinya, tidak mungkin ada situasi di mana premis-premis kita benar tetapi kesimpulannya salah. Namun, memeriksa "setiap interpretasi" secara komputasi adalah mustahil karena jumlahnya bisa tak terbatas. Oleh karena itu, kita menggunakan algoritma inferensi sintaksis (seperti Resolusi) untuk membuktikan validitas tersebut secara otomatis.

2.3 Resolusi dan Unifikasi

Metode inferensi utama yang digunakan dalam modul *resolve* Aristotle adalah **Resolusi** (Brachman and Levesque (2004))

2.3.1 Pembuktian Kontradiksi (*Proof by Contradiction*)

Resolusi bekerja dengan prinsip *Proof by Contradiction*. Untuk membuktikan bahwa $KB \models \alpha$, kita dapat menunjukkan bahwa himpunan $KB \cup \{\neg\alpha\}$ adalah *Unsatisfiable* (tidak ada interpretasi yang memenuhi), maka terbukti secara logis bahwa α haruslah benar. Tanda terjadinya kontradiksi adalah ketika algoritma berhasil menurunkan **Klausula Kosong** (\square atau *False*) (Brachman and Levesque (2004)).

2.3.2 Konversi ke *Conjunctive Normal Form* (CNF)

Agar aturan resolusi dapat diterapkan, formula logika harus diubah ke bentuk standar yang disebut *Conjunctive Normal Form* (CNF). Menurut Fitting (1996) merinci langkah-langkah algoritma konversi ini sebagai berikut:

1. Eliminasi Implikasi: Ubah $A \rightarrow B$ menjadi $\neg A \vee B$.
2. Geser Negasi ke Dalam: Gunakan hukum De Morgan dan aturan $\neg \forall x(P) \equiv \exists x(\neg P)$.
3. Standardisasi Variabel: Ubah nama variabel agar unik untuk setiap kuantor (misal: $\forall x(P(x)) \vee \forall x(Q(x))$ menjadi $\forall x(P(x)) \vee \forall y(Q(y))$).
4. Prenex Normal Form: Pindahkan semua kuantor ke depan formula.
5. Skolemisasi: Menghilangkan kuantor eksistensial (\exists). Variabel y yang terikat oleh \exists diganti dengan Fungsi Skolem ($f(x)$) yang bergantung pada variabel universal sebelumnya. Contoh: $\forall x \exists y(\text{Parent}(x, y))$ menjadi $\forall x(\text{Parent}(x, f(x)))$.
6. Distribusi & CNF: Gunakan aturan distributif untuk mendapatkan bentuk konjungsi dari klausa (AND of ORs).

2.3.3 Aturan Resolusi dan Unifikasi

Aturan resolusi untuk logika predikat adalah:

$$\frac{C_1 \vee L_1, \quad C_2 \vee L_2}{C_1 \vee C_2\theta}$$

Di mana L_1 dan L_2 adalah literal yang saling berlawanan (misal $P(x)$ dan $\neg P(a)$). Agar mereka bisa saling menghilangkan (*cancel out*), argumen di dalamnya harus disamakan terlebih dahulu.

Proses penyamaan argumen ini disebut **Unifikasi**. Unifikasi mencari substitusi θ (disebut *Most General Unifier* / MGU) yang membuat dua atom menjadi identik secara sintaksis. Contoh: Unifikasi $P(x)$ dan $P(\text{Alex})$ menghasilkan $\theta = \{x / \text{Alex}\}$. Tanpa unifikasi, resolusi pada FOL tidak mungkin dilakukan karena variabel pada premis yang berbeda harus diselaraskan.

2.4 *Language Models (LM)*

Bagian ini membahas teknologi dasar yang memungkinkan implementasi *Logical Translator* dalam penelitian ini.

2.4.1 *Arsitektur Transformer*

Large Language Models (LLM) modern seperti Qwen, Llama, dan GPT dibangun di atas arsitektur **Transformer** yang diperkenalkan oleh Vaswani et al. (2017). Inovasi utama arsitektur ini adalah mekanisme *Self-Attention*, yang memungkinkan model untuk memproses hubungan antar kata dalam sebuah kalimat secara paralel tanpa bergantung pada urutan sekuensial seperti pada RNN (*Recurrent Neural Networks*). Hal ini memungkinkan model menangkap ketergantungan jarak jauh (*long-range dependencies*) yang penting untuk memahami konteks logika yang kompleks.

2.4.2 *Pre-training dan Fine-tuning*

LLM dilatih melalui dua tahap utama:

1. ***Pre-training***: Model dilatih pada korpus teks yang sangat besar (triliunan token) dengan tujuan memprediksi kata berikutnya (*next-token prediction*) (Brown et al. (2020)). Pada tahap ini, model mempelajari struktur bahasa, fakta dunia nyata, dan pola penalaran dasar secara implisit.
2. ***Fine-tuning / Instruction Tuning***: Model disesuaikan lebih lanjut dengan dataset instruksi-jawaban agar mampu mengikuti perintah pengguna, seperti "Terjemahkan kalimat ini ke *First Order Logic*" (Ouyang et al. (2022)). Model yang digunakan dalam penelitian ini (Instruct versions) telah melalui tahap ini.

2.4.3 *Inferensi dan Kuantisasi*

Proses penggunaan model yang sudah dilatih untuk menghasilkan teks disebut **Inferensi**.

- ***Decoding Strategies***: Karena LLM memprediksi probabilitas kata berikutnya, cara kita memilih kata tersebut mempengaruhi hasil.
 - *Greedy Decoding*: Memilih token dengan probabilitas tertinggi di setiap langkah ($\text{temperature}=0$). Metode ini deterministik dan sangat cocok untuk tugas logika yang membutuhkan kepastian sintaks.

- *Sampling*: Memilih token secara acak berdasarkan distribusi probabilitas ($\text{temperature} > 0.7$), cocok untuk tugas kreatif namun buruk untuk logika.
- **Kuantisasi (GGUF)**: Menjalankan LLM membutuhkan memori (VRAM) yang besar. Untuk mengatasi ini pada perangkat keras terbatas, digunakan teknik kuantisasi, yaitu mengurangi presisi bobot model dari 16-bit (*half precision*) menjadi 4-bit atau 8-bit bilangan bulat (Dettmers et al. (2022)).

2.4.4 Definisi dan Karakteristik *Small Language Models* (SLM)

Dalam perkembangannya, paradigma model bahasa mulai bergeser dari ”semakin besar semakin baik”, yang artinya semakin besar suatu LLM, maka semakin baik performanya, menjadi ”semakin efisien semakin baik” karena *unfeasible* untuk menjalankan LLM-LLM yang besar tersebut, terutama pada sistem dengan *resource* yang terbatas. *Small Language Models* (SLM) didefinisikan secara longgar dalam literatur sebagai model dengan jumlah parameter berkisar antara beberapa juta hingga batas atas sekitar 7 hingga 10 miliar parameter (Subramanian et al. (2025); Wang et al. (2025)).

Karakteristik utama SLM meliputi:

- **Efisiensi Parameter**: SLM mencapai performa kompetitif dengan jumlah parameter yang jauh lebih sedikit (10-100x lebih kecil dari LLM), memungkinkan inferensi yang lebih cepat dan penggunaan memori yang lebih rendah.
- **Edge Deployability**: Karena ukurannya yang ringan, SLM dapat dijalankan secara lokal pada perangkat konsumen standar, seperti laptop, bahkan ponsel, tanpa memerlukan kluster GPU *data center*. Hal ini memberikan keuntungan dalam privasi data dan kedaulatan informasi (Belcak et al. (2025)).
- **Teknik Kompresi**: Performa tinggi SLM sering kali dicapai melalui teknik *Knowledge Distillation* (belajar dari model guru yang lebih besar) dan pelatihan pada dataset berkualitas sangat tinggi atau *textbook quality*, serta penggunaan teknik (*pruning*) (Wang et al. (2025)).

Model seperti Microsoft Phi-3, Mistral 7B, dan Gemma 2B adalah contoh representatif dari kelas model ini yang menunjukkan kemampuan penalaran yang menarik meskipun berukuran kecil (”Tiny but Mighty”)¹

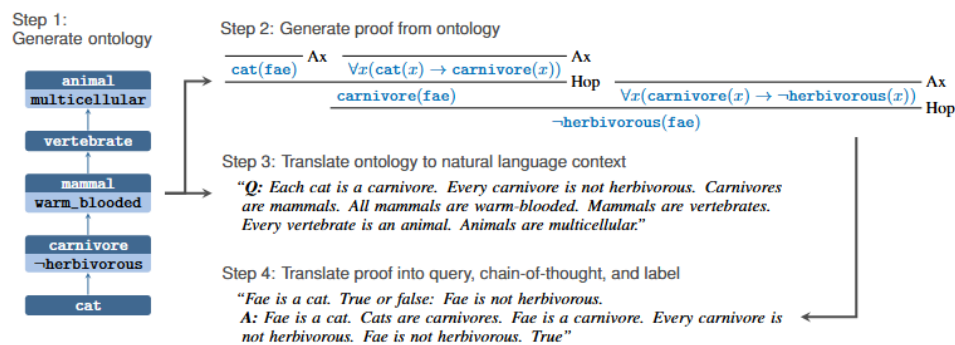
¹<https://news.microsoft.com/source/features/ai/the-phi-3-small-language-models>

2.5 Dataset ProntoQA

Untuk mengukur kemampuan penalaran secara objektif, penelitian ini mengadaptasi dataset ProntoQA yang dikembangkan oleh Saparov and He (2023).

2.5.1 Generasi Data Sintetis

ProntoQA berbeda dari dataset tanya-jawab umum karena sifatnya yang generatif dan sintetis. Data tidak diambil dari internet, melainkan dibangun dari aturan logika formal yang kemudian diterjemahkan ke bahasa alami.



Gambar 2.1: Tahapan yang dilakukan dalam generasi dataset ProntoQA (Saparov and He (2023))

Proses pembuatannya adalah:

1. Sistem membuat graf ontologi fiktif (misal: $Wumpus(\text{Deskripsi: Merah}) \rightarrow Jompus(\text{Deskripsi: Transparan})$, $Jompus(\text{Deskripsi: Transparan}) \rightarrow Tumpus$.)
2. Sistem membuat *proof* dari ontologi tersebut (misal: $Wumpus(\text{Max})$, $\forall x(Wumpus(x) \rightarrow \text{Merah}(x))$, $\forall x(Wumpus(x) \rightarrow Jompus(x))$.)
3. Simbol-simbol logika diganti dengan kata-kata fiktif atau nyata untuk membentuk kalimat bahasa alami (misal: Max adalah wumpus. Setiap wumpus adalah merah. Wumpuses adalah jompus. Jompuses bersifat transparan. Semua jompus adalah Tumpus.)

2.5.2 Mengisolasi Kemampuan Penalaran

Keunggulan utama ProntoQA adalah kemampuannya mengisolasi kemampuan deduksi dari pengetahuan dunia (*world knowledge*). Menggunakan istilah fiktif (seperti "Wumpus"

atau "Tumpus") mencegah model menjawab benar hanya karena hafal fakta (misalnya "Burung bisa terbang"). Model dipaksa untuk melakukan penalaran ("Jika Wumpus adalah Burung, maka Wumpus bisa terbang") berdasarkan aturan yang diberikan di dalam *prompt*, bukan dari memori pelatihannya. Dataset ini juga memungkinkan kontrol terhadap "kedalaman penalaran" (*reasoning hops*), yaitu berapa langkah logika yang diperlukan untuk mencapai kesimpulan (misal: *1-hop*, *3-hop*, hingga *5-hop*).

BAB 3

FRAMEWORK *TRANSLATION-DECOMPOSITION-SEARCH-RESOLVE*

Bab ini menguraikan rancangan operasional yang digunakan untuk menjawab rumusan masalah penelitian. Metodologi ini disusun untuk menguji secara empiris apakah pendekatan dapat mengatasi kelemahan penalaran probabilistik pada *open-weight Small Language Models* (SLM) dalam konteks Bahasa Indonesia.

Pendekatan penelitian ini bersifat kuantitatif-eksperimental. Fokus utamanya adalah mengukur akurasi penalaran logis pada bahasa Indonesia yang diperoleh melalui manipulasi struktur *prompting Neuro-Symbolic* dan dampaknya ketika model dijalankan dengan sumber daya terbatas (melalui kuantisasi).

3.1 Konfigurasi Model

Model yang dipilih mewakili tiga tingkatan spesialisasi bahasa untuk menguji hipotesis bahwa pemahaman dalam bahasa lokal membantu proses dekomposisi logika:

1. **Qwen2.5-7B-Instruct** (*multilingual foundation model* sebagai **Representasi Global**): Model ini dipilih karena performanya yang unggul dalam benchmark logika matematika global, menjadi titik ukur batas atas kemampuan model *open-weight* saat ini.
2. **SEALION-v3-Llama-8B-Instruct** (*language-adaptive pre-trained model* sebagai **Representasi Regional**): Model yang telah melalui *continued pre-training* dengan data bahasa dari negara-negara di Asia Tenggara, diharapkan memiliki pemahaman semantik yang lebih baik terhadap struktur kalimat regional.
3. **SahabatAI-v1-Llama-8B-Instruct** (*localized pre-trained model* sebagai **Representasi Nasional**): Model yang dikhususkan untuk Bahasa Indonesia, juga sudah melalui *continued pre-training*, digunakan untuk melihat apakah spesialisasi bahasa yang mendalam dapat menyelesaikan penalaran lebih baik dalam tugas logika.

Mengingat bahwa adanya batasan sumber daya komputasi, maka eksperimen dijalankan menggunakan kuantisasi pada setiap model yang dijalankan menggunakan *tools open-source*, yaitu *llama.cpp* ¹.

¹<https://github.com/ggml-org/llama.cpp>

Setiap model dijalankan dengan pengaturan konfigurasi / parameter yang sama / konsisten untuk memastikan hasil eksperimen mencerminkan pengaruh variabel bebas, bukan perbedaan konfigurasi teknis. Strategi deterministik diterapkan untuk menghilangkan unsur *randomness* dalam proses inferensi.

```

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

```

Kode 3.1: Konfigurasi parameter deterministik untuk setiap model yang digunakan

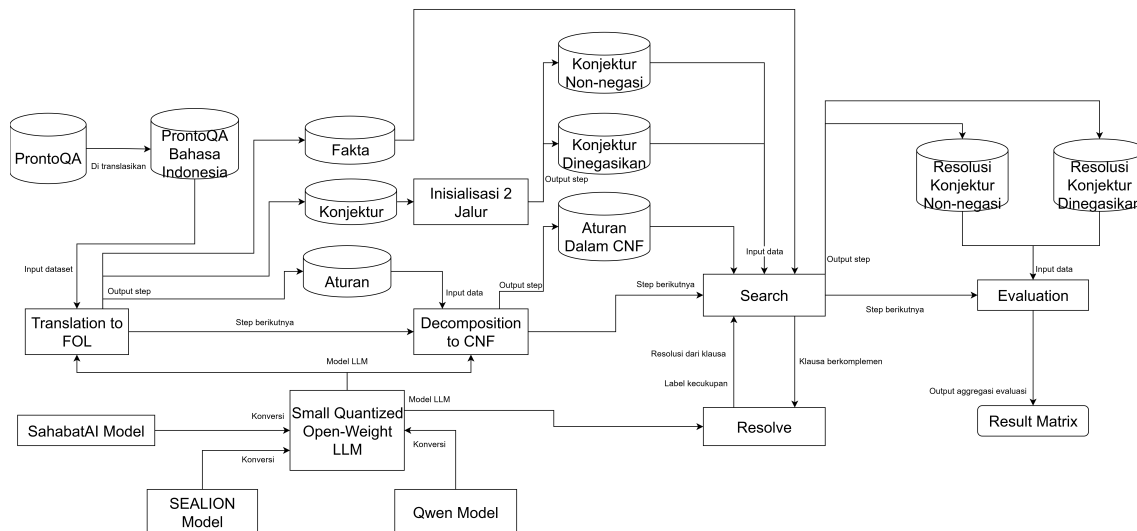
Parameter utama yang dikontrol adalah:

- **Temperature:** Ditetapkan ke 0.0 sehingga model hanya memilih token dengan probabilitas tertinggi tanpa penambahan noise acak (*greedy decoding*). Hal ini memastikan setiap prompt menghasilkan output yang identik.
- **Max Tokens:** Dibatasi sesuai dengan panjang output yang wajar untuk setiap tahap dalam pipeline, mencegah generasi yang berlebihan. Adapun token yang dibutuhkan untuk setiap tahap inferensi dalam *framework* antara lain: proses translasi ke FOL memerlukan output setidaknya 400 token, proses dekomposisi setidaknya memerlukan output 700 token, dan proses pencarian bukti setidaknya memerlukan 1000 token.,

sehingga *max tokens* yang di-set untuk semua proses adalah 2500 untuk mengatasi *overhead* atau halusinasi jika model tidak secara *strict* mengikuti format.

- ***n_ctx***: Ukuran konteks diatur untuk menentukan berapa banyak token sebelumnya yang dapat dipertimbangkan model saat menghasilkan respons. Nilai yang lebih besar memungkinkan model memahami konteks yang lebih panjang, namun meningkatkan penggunaan memori. *n_ctx* di-set ke 0, sehingga ukuran konteks akan sesuai dengan kemampuan model masing-masing.
- ***n_gpu_layers***: Menentukan jumlah layer model yang dijalankan di GPU untuk akselerasi. Nilai yang lebih tinggi mempercepat inferensi tetapi memerlukan VRAM yang lebih besar. Nilai -1 berarti semua komputasi dilakukan di GPU.

3.2 Kerangka Kerja Aristotle



Gambar 3.1: Kerangka kerja Aristotle untuk inferensi logika menggunakan SLM dan metode *neuro-symbolic* (Xu et al. (2025))

Penelitian ini mengimplementasikan *framework Aristotle* (Xu et al. (2025)) yang membagi proses inferensi menjadi empat modul utama atau tahapan utama, sesuai dengan Gambar 3.1, yaitu *Translation to First Order Logic*, *Decomposition into Conjunctive Normal Form*, *Search Router*, dan *Resolver*. Untuk modul / tahapan *Search Router* dan *Resolver* digabung menjadi satu, yaitu menjadi *Search and Resolve* karena mereka saling bersinergi dalam proses resolusi

3.2.1 Translasi Logika (*Logical Translation*)

Ini adalah satu-satunya tahap yang menggunakan "kecerdasan" probabilistik SLM. Tujuannya adalah memetakan kalimat Bahasa Indonesia yang implisit menjadi struktur logika formal.

- **Tugas Model:** Menerjemahkan narasi bahasa alami menjadi representasi *First-Order Logic* (FOL) yang terdiri dari Fakta, Aturan Implikasi, dan Konjektur.
- **Mekanisme Eksekusi:** Model diberikan *few-shot prompt* yang berisi contoh pasangan kalimat Indonesia dan format logika target.
- **Format Output:**
 - **Fakta:** $P(\text{Subjek}, \text{NilaiKebenaran})$. Contoh: $Wumpus(\text{Max}, \text{True})$
 - **Aturan:** $P(\text{Subjek}, \text{NilaiKebenaran}) \ggg P(\text{Objek}, \text{NilaiKebenaran})$. Contoh: $Wumpus(\$x, \text{True}) \ggg \text{Manis}(\$x, \text{False})$
 - **Konjektur:** $P(\text{Subjek}, \text{NilaiKebenaran})$. Contoh: $\text{Manis}(\text{Max}, \text{True})$

3.2.2 Dekomposisi (*Decomposer*)

Pada tahap ini, output FOL diproses lebih lanjut untuk memenuhi standar mesin pembukti teorema. Model diinstruksikan untuk melakukan konversi ke Prenex Normal Form (PNF) dan kemudian ke Conjunctive Normal Form (CNF). Proses penting di sini adalah Skolemisasi, yaitu penghapusan kuantor eksistensial ($\exists x$) yang sering menjadi sumber ambiguitas bagi model bahasa. Dalam dataset ProntoQA, tidak perlu dilakukan skolemisasi karena premis-premis dari dataset tersebut tidak memiliki kuantor eksistensial.

- **Tugas Model:** Mengonversi aturan FOL menjadi *Conjunctive Normal Form* (CNF) melalui serangkaian transformasi logis.
- **Mekanisme Eksekusi:**
 - **PNF:** Konversi FOL ke bentuk PNF, di mana semua kuantor diletakkan di awal formula, diikuti oleh matriks bebas kuantor.
 - **Skolemisasi:** Penghapusan kuantor eksistensial ($\exists x$) dengan mengganti variabel eksistensial dengan fungsi Skolem. Dataset ProntoQA tidak memerlukan langkah ini.
 - **CNF:** Transformasi akhir ke CNF, di mana formula diekspresikan dalam bentuk konjungsi (AND) dari disjungsi (OR) literal.

3.2.3 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 proses komputasi yang memerlukan resource terlalu banyak dan yang lama dalam pencarian bukti. Di sini juga dideklarasikan *search_round* yaitu batas maksimum iterasi pencarian bukti.
2. **Logical Resolver:** Menerapkan aturan resolusi secara iteratif hingga ditemukan kontradiksi (untuk pembuktian salah) atau hingga ruang pencarian habis.

3.2.4 Resolusi (*Logical Resolver*)

Ini adalah mesin inferensi deterministik yang menggantikan peran penalaran SLM.

- **Prinsip:** Menggunakan aturan resolusi berbasis pembuktian kontradiksi (*Proof By Contradiction*) untuk menilai kebenaran hipotesis S berdasarkan premis P (2.3.1)
- **Mekanisme Dual-Path:** Sistem mencoba membuktikan kebenaran hipotesis S melalui dua jalur paralel pembuktian kontradiksi:
 1. **Jalur A:** Asumsikan $\neg S$ (Negasi S), jika ditemukan kontradiksi (Klausa Kosong), maka S terbukti **Benar**.
 2. **Jalur B:** Asumsikan S , jika ditemukan kontradiksi, maka $\neg S$ terbukti **Benar**.
- Jika tidak ada kontradiksi yang ditemukan di kedua jalur (misalnya karena informasi tidak lengkap atau translasi putus), sistem mengembalikan **Unknown**.

Mekanisme injeksi instruksi ke dalam *prompt template* untuk setiap tahap diimplementasikan menggunakan kode dalam bahasa pemrograman Python berikut:

```

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: Mekanisme injeksi data poin ke dalam template prompt Aristotle

Potongan kode di atas menunjukkan fungsi *construct_prompt_a* yang bertugas membangun *prompt* dinamis untuk masalah logika, dalam hal ini fungsi tersebut digunakan untuk membangun *prompt* untuk tahap *translation*. Fungsi ini membaca *template* dasar yang memuat instruksi sistem dan contoh *few-shot*, lalu mengganti *placeholder*, seperti `{{PREMISES}}` dan `{{CONJECTURE}}` dengan data dari dataset ProntoQA yang sedang diuji. Pendekatan injeksi string ini memastikan bahwa struktur instruksi tetap konsisten (statis) sementara konten masalah berubah-ubah, meminimalkan risiko model "lupa" terhadap format output yang diminta saat beralih ke soal baru. Untuk setiap tahap dalam *framework* Aristotle, kode serupa diterapkan dengan penyesuaian pada *template* dan *placeholder* yang relevan, misalnya *template* untuk tahap *decomposition* akan berbeda dengan tahap *translation*, tetapi kode fungsi pembangun *prompt* tetap mengikuti pola yang sama.

3.3 Teknik Evaluasi dan Analisis Data

Untuk menjamin objektivitas, evaluasi tidak dilakukan secara manual melainkan menggunakan sistem ekstraksi berbasis pola (*Regular Expression* / Regex).

3.3.1 Parsing Bertingkat (*Multi-stage Parsing*)

Sistem evaluasi dirancang untuk "menangkap" struktur logika dari output teks model. Kegagalan model dalam mematuhi format yang diminta pada tahap apa pun akan langsung dianggap sebagai kesalahan (*failure*), tanpa upaya perbaikan manual. Ini adalah standar ketat yang diterapkan untuk menguji keandalan model sebagai komponen sistem logika.

- **Ekstraksi FOL:** Mengambil Fakta, Aturan, dan Konjektur sesuai bloknya

```

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*', re.IGNORECASE),
26         "stop": re.compile(r'(?:(\{0,3\}\s*Akhir Blok\s*\{0,3\}|###|''|-{3,})',
re.IGNORECASE)
27     }
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 3.3: Regex untuk ekstraksi blok Translasi

Kode di atas menggunakan ekspresi reguler (*Regular Expressions*) untuk mem-*parsing* *output* dari tahap *Logical Translation*. Pola regex dirancang untuk menangkap tiga komponen utama: blok "Fakta", "Konjektur" (seperti Manis(Jeruk)) dan blok "Aturan"

(seperti Jeruk(x) >>> Manis(x)). Jika model menghasilkan teks naratif atau penjelasan di luar format yang ditentukan, regex ini akan mengabaikannya dan hanya mengambil struktur logika yang valid. Jika tidak ada struktur yang cocok, fungsi akan mengembalikan nilai kosong yang menandakan kegagalan translasi (*parsability error*).

- **Ekstraksi CNF:** mengambil hasil akhir dari dekomposisi dari Aturan FOL.

```

1 def post_process_decompose(self, content, rules_count=None):
2
3     content = (content or "").replace('\u200b', '').replace('\ufe0f', '')
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(row):
51         if not row:
52             return []
53         return [ln.strip() for ln in row.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 3.4: Regex untuk ekstraksi blok Dekomposisi

Serupa dengan tahap sebelumnya, kode pada Kode 3.4 bertugas memvalidasi output dari tahap *Decomposer*. Regex ini secara spesifik mencari pola "Aturan dalam CNF". Jika model tidak mengikuti format yang diharapkan, regex ini akan gagal menemukan kecocokan, menandakan kegagalan dekomposisi.

- **Ekstraksi Resolusi:** Mendeteksi klausa baru dan kesimpulan akhir dalam label kecupan.

```

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'\{0,3\}(?:Bentuk Akhir)\{0,3\}\s*'
9         r'(.*)'
10        r'(?=(\{0,3\}(?:Akhir Blok)\{0,3\})|'
11        r'$)' # or end of string
12    )
13
14    final_block_match = re.search(final_block_pattern, search_area, flags=re.DOTALL |
re.IGNORECASE)

```

```

15
16     if not final_block_match:
17         return [], None
18
19     block = final_block_match.group(1)
20
21     block_clean = block.strip()
22     print(f"\n\nCHOSEN BLOCK:\n\n{block_clean}\n")
23     print("END OF CHOSEN BLOCK\n\n")
24
25     clause_pos = re.search(r'Clause\s*Baru', block_clean, flags=re.IGNORECASE)
26     clause_after = block_clean[clause_pos.end():]
27     m_new = re.search(r'\{(.*)\}', clause_after, flags=re.DOTALL)
28
29     if not m_new:
30         raise ValueError(f"'Clause Baru:' with '{...}' not found in expected form.")
31
32     new_clause = m_new.group(1).strip()
33
34     label_pos = re.search(r'Label\s*Cukup', block_clean, flags=re.IGNORECASE)
35     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")
39
40     sufficiency_label = m_label.group(1).strip()
41
42     return {
43         "new_clause": new_clause,
44         "sufficiency_label": sufficiency_label,
45     }

```

Kode 3.5: Regex untuk memvalidasi langkah Resolusi

Kode 3.5 di atas adalah komponen validasi akhir yang bekerja pada output modul *Resolver*. Regex ini bertugas mengekstraksi dua informasi vital dari logika resolusi SLM: (1) *Clause Baru*, yaitu kesimpulan antara yang dihasilkan dari penggabungan dua premis, dan (2) *Label Cukup*, yang menandakan apakah kontradiksi telah ditemukan (*True*) atau belum (*False*). Jika format ini tidak ditemukan, sistem akan menganggap langkah resolusi tersebut gagal atau tidak konklusif.

3.3.2 Matriks Keputusan Evaluasi (Truth Table)

Kinerja akhir model tidak ditentukan secara probabilistik, melainkan melalui tabel kebenaran logika berdasarkan hasil dari *Logical Resolver*. Untuk setiap pertanyaan *S*, sistem

menjalankan dua pembuktian paralel. Tabel 3.1 menunjukkan logika penentuan jawaban akhir.

Tabel 3.1: Matriks Keputusan untuk Penentuan Label Jawaban (Kesimpulan)

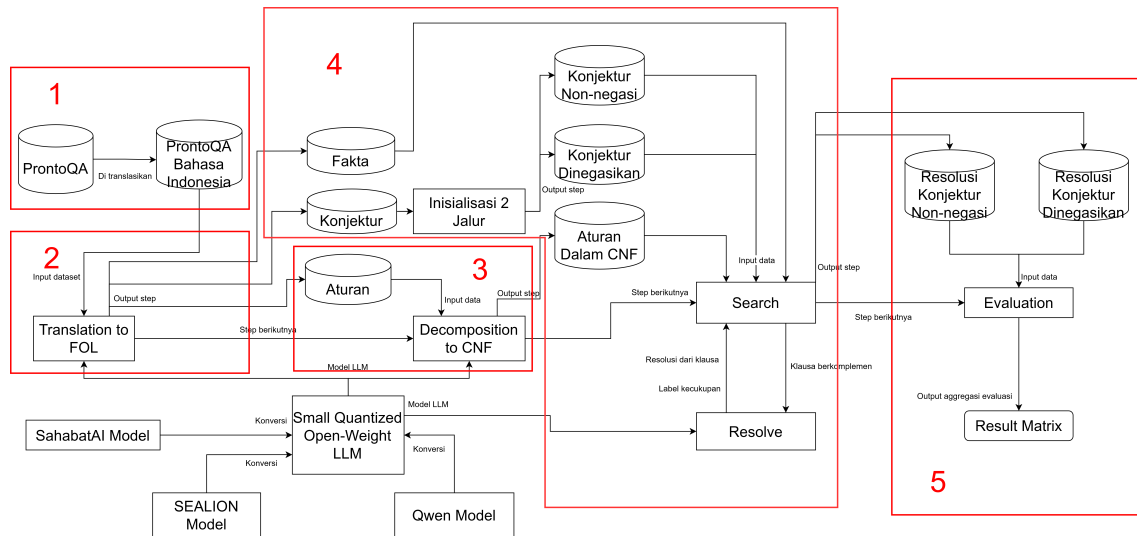
| Kondisi (Skenario) | Jalur A: Buktikan S (Cari Kontradiksi di $\neg S$) | Jalur B: Buktikan $\neg S$ (Cari Kontradiksi di S) | Kesimpulan |
|--------------------|---|---|------------------------------|
| 1 | Berhasil (Ada Kontradiksi) | Gagal | TRUE |
| 2 | Gagal | Berhasil (Ada Kontradiksi) | FALSE |
| 3 | Gagal | Gagal | UNKNOWN |
| 4 | Berhasil | Berhasil | SELF-CONTRADICTIONARY |

Keterangan:

- **Berhasil (Ada Kontradiksi):** Resolver menemukan klausa kosong, yang berarti asumsi awal salah, sehingga kebalikannya pasti benar.
- **TRUE:** Premis mendukung hipotesis S .
- **FALSE:** Premis menyangkal hipotesis S .
- **UNKNOWN:** Informasi pada premis tidak cukup untuk membuktikan atau menyangkal S .
- **SELF-CONTRADICTIONARY:** Premis itu sendiri tidak konsisten (mengandung konflik internal).

3.4 Ilustrasi Proses Resolusi

Untuk memperjelas proses resolusi menggunakan kerangka kerja *framework* Aristotle, berikut adalah ilustrasi langkah demi langkah sebagai contoh dari dataset ProntoQA.



Gambar 3.2: Tahapan yang dilakukan dalam menjalankan *framework Aristotle*

3.4.1 Translasi Dataset ke Bahasa Indonesia

Sebelum dataset ProntoQA dijalankan dalam *framework Aristotle*, dilakukan translasi ke bahasa Indonesia karena dataset tersebut masih dalam bahasa Inggris. Dataset ProntoQA terdiri dari konteks / premis, pertanyaan, jawaban, dan penjelasan untuk mendapatkan jawaban tersebut. Jawaban hanya mempunyai dua nilai, yaitu *True / False*, dan jawaban tidak perlu ditranslasi ke bahasa Indonesia untuk keperluan tahap evaluasi nanti. Prosesnya sebagai berikut:

- **Premis original:** "Wumpuses are sweet. Every Wumpus is jompus. All jompus are fruity. Max is wumpus."
- **Premis hasil translasi:** "Wumpuses adalah manis. Setiap Wumpus adalah jompus. Semua jompus berbuah. Max adalah wumpus."
- **Pertanyaan original:** "Is the following statement true or false? Max is fruity."
- **Pertanyaan hasil translasi:** "Apakah pernyataan berikut benar atau salah? Max berbuah."
- **Penjelasan original:** "Max is wumpus. Every wumpus is jompus. Max is jompus. All jompus are fruity. Max is fruity."
- **Penjelasan hasil translasi:** "Max adalah wumpus. Setiap wumpus adalah jompus. Max adalah jompus. Semua jompus berbuah. Max berbuah."

3.4.2 Translation to FOL

Misalkan diberikan premis berikut dalam Bahasa Indonesia:

- **Premis:** "Wumpuses adalah manis. Setiap Wumpus adalah jompus. Semua jompus berbuah. Max adalah wumpus."
- **Pertanyaan:** "Apakah pernyataan berikut benar atau salah? Max asam."

Model SLM menerima prompt yang berisi premis dan pertanyaan di atas, dan menghasilkan representasi FOL sebagai berikut:

- **Fakta:**
 - $Wumpus(Max, True)$
- **Aturan:**
 - $Wumpus(x, True) \ggg Manis(x, True)$
 - $Wumpus(x, True) \ggg Jompus(x, True)$
 - $Jompus(x, True) \ggg Berbuah(x, True)$
- **Konjektur:**
 - $Berbuah(Max, False)$

3.4.3 Decomposition to CNF

Output aturan FOL dari tahap sebelumnya kemudian diproses untuk konversi ke CNF.

- **Aturan dalam CNF:**
 1. $Wumpus(x, False) \vee Manis(x, True)$
 2. $Wumpus(x, False) \vee Jompus(x, True)$
 3. $Jompus(x, False) \vee Berbuah(x, True)$

3.4.4 Logical Resolution

Terakhir, modul *Logical Resolver* mencoba membuktikan kebenaran konjektur $Berbuah(Max, False)$ melalui dua jalur paralel:

- **Jalur A (Buktikan S):** Asumsikan $Berbuah(Max, True)$
 - Step 1: Dari $Berbuah(Max, True)$ tidak ditemukan klausa yang berkomplemen terhadap premis yang ada.

Dari step tersebut, tidak ditemukan kontradiksi, sehingga Jalur A gagal membuktikan S .

• **Jalur B (Buktikan $\neg S$):** Asumsikan $Berbuah(Max, False)$

- Step 1: Dari $Berbuah(Max, False)$ dan aturan $Jompus(x, False) \vee Berbuah(x, True)$, dapat disimpulkan $Jompus(Max, False)$.
- Step 2: Dari $Jompus(Max, False)$ dan aturan $Wumpus(x, False) \vee Jompus(x, True)$, dapat disimpulkan $Wumpus(Max, False)$.
- Step 3: Dari $Wumpus(Max, False)$ dan fakta $Wumpus(Max, True)$, ditemukan klausa kosong (kontradiksi).

Dari step tersebut, ditemukan kontradiksi, sehingga Jalur B berhasil membuktikan $\neg S$.

Berdasarkan matriks keputusan, karena Jalur A gagal dan Jalur B berhasil, kesimpulan akhir adalah **False**. Dengan demikian, model berhasil menyimpulkan bahwa Max berbuah berdasarkan premis yang diberikan yang bertentangan dengan konjektur awal, yaitu "Apakah Max tidak berbuah?"

BAB 4

EKSPERIMEN, HASIL, DAN ANALISIS

Bab ini memaparkan desain eksperimen, hasil eksperimen empiris yang dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *open-weight* SLM pada tugas penalaran logis berbahasa Indonesia. Analisis dibagi menjadi tiga bagian utama: (1) proses iteratif penyempurnaan *prompt* untuk mengatasi ambiguitas bahasa, (2) hasil evaluasi kuantitatif menggunakan metrik akurasi, dan (3) analisis kualitatif mendalam mengenai penyebab kegagalan dan keberhasilan masing-masing model dalam *framework Aristotle*.

4.1 Desain Eksperimen

Eksperimen dirancang dengan membandingkan performa model dalam dua skenario resolusi:

1. **Skenario Pertama (*Naive Prompting*):** Pada skenario ini, model diuji kemampuan ”intuisi”-nya. Masalah logika diberikan dalam bentuk narasi langsung dengan instruksi standar dan beberapa contoh pengerjaan (*few-shot*). Skenario ini merepresentasikan cara penggunaan SLM pada umumnya, di mana model dipaksa melakukan logika secara implisit.
2. **Skenario Kedua (*Framework Aristotle*):** Skenario ini menerapkan (*pipeline*) yang memaksa model untuk mengeksternalisasi proses berpikirnya ke dalam simbol-simbol logika formal. Sesuai landasan teori, proses ini dipecah menjadi tahapan sekuensial: *Translation* → *Decomposition* → *Search* → *Resolve*.

Struktur variabel penelitian didefinisikan sebagai berikut:

- **Variabel Bebas (*Independent Variables*):**
 - **Model:** Tiga kategori model yang merepresentasikan spektrum pemahaman bahasa: Global (Qwen), Regional (SEALION), dan Nasional (SahabatAI).
 - **Metode *Prompting*:** *Naive* vs *Aristotle Framework*.
- **Variabel Terikat (*Dependent Variables*):**
 - **Akurasi (*Accuracy*):** Ketepatan hasil akhir (*True / False*) yang diverifikasi terhadap *ground truth*.
 - **Kepatuhan Format (*Parsability*):** Kemampuan model menghasilkan sintaks logika

(FOL/CNF) yang valid secara komputasi. Kegagalan menghasilkan format yang benar dianggap sebagai kegagalan penalaran.

- **Variabel Kontrol:**

- Seluruh eksperimen dijalankan secara deterministik dengan parameter yang tetap. Hal ini meniadakan faktor (*randomness*) dalam resolusi inferensi.
- Setiap model terkuantisasi (4-bit GGUF) ¹

4.2 Instrumen Data dan Adaptasi Linguistik

Penelitian ini menggunakan dataset **ProntoQA** (*Prompting with Ontologies for QA*) Saparov and He (2023). Pemilihan dataset ini didasarkan pada kebutuhan untuk menguji kemampuan SLM dalam deduksi sintetis, terlepas dari pengetahuan dunia nyata dari SLM tersebut. ProntoQA menggunakan ontologi fiktif (misalnya: "*Setiap Wumpus adalah Jompus*"), sehingga model tidak dapat menjawab dengan mengandalkan hafalan dalam *pre-training*.

Proses penerjemahan dilakukan secara otomatis dengan *prompting* dan memberikan beberapa contoh dalam proses tranlasinya. Penerjemahan dilakukan dengan *open-weight* SLM yaitu **Gemma-SEA-LION-v3-9B-IT**. Model dipilih karena kemampuan yang baik dalam translasi dari bahasa Inggris ke bahasa Indonesia berdasarkan SEA-HELM *leaderboard* ²

- **Konsistensi Kuantor:** Frasa "Every X is Y" diterjemahkan menjadi "Setiap X adalah Y" atau "Semua X adalah Y" untuk menjaga pola *Universal Quantifier* (\forall).
- **Konsistensi Negasi:** Struktur "X is not Y" dipetakan menjadi "X bukan Y" atau "X tidak Y".
- **Konsistensi Plural:** Subjek seperti "Wumpuses", "Jompuses", dan subjek lainnya, tidak diterjemahkan imbuhan untuk menjaga struktur kalimat.

4.3 Prompt Refining

Sebelum melakukan evaluasi skala penuh, dilakukan serangkaian eksperimen pendahuluan, yaitu *prompt refining* yang memperbaiki *prompt* yang digunakan untuk menstabilkan performa model dalam menjalankan empat modul utama *framework* Aristotle: *Translation, Decomposition, Search, & Resolve*. Mengingat model yang digunakan adalah model

¹<https://github.com/ggml-org/llama.cpp>

²<https://leaderboard.sea-lion.ai/detailed/ID>

berparameter kecil (7B-9B) yang dikuantisasi, model sangat sensitif terhadap struktur instruksi.

4.3.1 *Translation to First Order Logic*

Pada tahap ini dilakukan *prompt* untuk penerjemahan kalimat bahasa natural ke dalam *First Order Logic*. Tantangan utama pada tahap ini adalah memetakan kalimat Bahasa Indonesia yang implisit ke dalam struktur logika yang eksplisit.

Berikut adalah *prompt template* yang digunakan yang merupakan hasil dari translasi langsung dari prompt yang digunakan pada *Aristotle Framework*

```

1 Deskripsi Tugas: Anda diberikan sebuah deskripsi permasalahan dan pertanyaan. Tugasnya
  adalah:
2 1) parsing konteks menjadi aturan logika berdasarkan predikat yang ditentukan
3 2) menulis semua fakta yang disebutkan dalam masalah, dan pastikan mereka diterjemahkan
  dalam bentuk logika juga.
4 3) parsing konjektur menjadi bentuk logika
5 4) silakan berikan output akhir dalam format berikut. Pastikan Anda menerjemahkan dalam
  urutan berikut: fakta, aturan, kemudian konjektur.
6
7 -----
8
9 Berikut adalah contohnya:
10 Konteks:
11 Setiap jompus memiliki sifat eksentris. Setiap jompus adalah wumpus. Setiap wumpus
  memiliki sifat tidak transparan. Wumpuses adalah tumpuses. Tumpuses bersifat nakal.
  Tumpuses adalah vumpuses. Setiap vumpus memiliki sifat dingin. Setiap vumpus adalah
  yumpus. Yumpuses berwarna oranye. Yumpuses adalah Numpuses. Numpuses membosankan.
  Setiap numpus adalah Dumpus. Setiap dumpus memiliki sifat bukan pemalu. Impuses
  memiliki sifat pemalu. Dumpuses adalah rompuses. Setiap rompus tidaklah berwujud cair.
  Rompuses adalah zumpus. Alex adalah tumpus.
12
13 Konjektur:
14 Alex bukan pemalu.
15
16 ###
17 ***Bentuk Akhir***
18
19 Fakta:
20 Alex adalah tumpus ::: Tumpus(Alex, True)
21
22 Aturan:
23 Jompus($x, True) >>> Eksentris($x, True)
24 Jompus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
25 Wumpus($x, True) >>> Transparan($x, False)
26 Wumpus($x, True) >>> Tumpus($x, True)
27 Tumpus($x, True) >>> Nakal($x, True)

```

```

28 Tumpus($x, True) >>> Vumpus($x, True)
29 Vumpus($x, True) >>> Dingin($x, True)
30 Vumpus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
31 Yumpus($x, True) >>> Oranye($x, True)
32 Yumpus($x, True) >>> Numpus($x, True)
33 Numpus($x, True) >>> Membosankan($x, True)
34 Numpus($x, True) >>> Dumpus($x, True)
35 Dumpus($x, True) >>> Pemalu($x, False)
36 Impus($x, True) >>> Pemalu($x, True)
37 Dumpus($x, True) >>> Rompus($x, True)
38 Rompus($x, True) >>> Cair($x, False)
39 Rompus($x, True) >>> Zumpus($x, False)
40
41 Konjektur:
42 Pemalu(Alex, False)
43
44 ***Akhir Blok***
45
46 -----
47
48 Berikut adalah contohnya:
49 Konteks:
50 Jompuses bukan pemalu. Jompuses adalah yumpuses. Setiap yumpus bersifat agresif. Setiap
    yumpus adalah dumpus. Dumpuses bukan terbuat dari kayu. Dumpuses adalah wumpuses.
    Wumpuses berwarna merah. Setiap wumpus adalah impus. Setiap impus tidak tembus
    pandang. Impuses adalah tumpuses. Numpuses asam. Tumpuses tidak asam. Tumpuses adalah
    vumpuses. Vumpuses tidak terbuat tanah. Setiap vumpus adalah zumpus. Zumpuses
    berukuran kecil. Zumpuses adalah rompuses. Max adalah yumpus.
51
52 Konjektur:
53 Max asam.
54
55 ###
56 ***Bentuk Akhir***
57
58 Fakta:
59 Max adalah yumpus ::: Yumpus(Max, True)
60
61 Aturan:
62 Jompus($x, True) >>> Pemalu($x, False)
63 Jompus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
64 Yumpus($x, True) >>> Agresif($x, True)
65 Yumpus($x, True) >>> Dumpus($x, True)
66 Dumpus($x, True) >>> Kayu($x, False)
67 Dumpus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
68 Wumpus($x, True) >>> Merah($x, True)
69 Wumpus($x, True) >>> Impus($x, True)
70 Impus($x, True) >>> TembusPandang($x, False)
71 Impus($x, True) >>> Tumpus($x, True)
72 Numpus($x, True) >>> Asam($x, True)

```

```

73 Tumpus($x, True) >>> Asam($x, False)
74 Tumpus($x, True) >>> Vumpus($x, True)
75 Vumpus($x, True) >>> Tanah($x, False)
76 Vumpus($x, True) >>> Zumpus($x, True)
77 Zumpus($x, True) >>> Kecil($x, True)
78 Zumpus($x, True) >>> Rompus($x, True)
79
80 Konjektur:
81 Asam(Max, True)
82
83 ***Akhir Blok***
84
85 -----
86
87 Di bawah ini adalah yang perlu Anda terjemahkan:
88 Konteks:
89 [[PREMISES]]
90
91 Konjektur:
92 [[CONJECTURE]]

```

Kode 4.1: *Prompt template* hasil translasi langsung dari bahasa Inggris

Namun dari *prompt template* tersebut masih bermasalah karena ada beberapa aturan yang tidak dapat diterjemahkan dengan baik oleh model. Berikut adalah contoh aturan yang tidak dapat diterjemahkan dengan baik oleh model menggunakan *prompt template* 4.1:

- Kesalahan dalam proses *translation to FOL*, khususnya pada subjek dan objek:
 - Premis: "Zumpus adalah transparan. Zumpus mengajar rompus. Rompuses merupakan tanah. Semua rompus adalah Impus."
 - Hasil *translation*: "1. $Zumpus(\$x, True) \ggg Transparan(\$x, True)$ 2. $Zumpus(\$x, True) \ggg Rompuses(\$x, True)$ 3. $Rombus(\$x, True) \ggg Tanah(\$x, True)$ 4. $Rombus(\$x, True) \ggg Impus(\$x, True)$ "
 - Seharusnya: "1. $Zumpus(\$x, True) \ggg Transparan(\$x, True)$ 2. $Zumpus(\$x, True) \ggg Rompus(\$x, True)$ 3. $Rompus(\$x, True) \ggg Tanah(\$x, True)$ 4. $Rompus(\$x, True) \ggg Impus(\$x, True)$ "
 - Penjelasan: Model salah mengartikan subjek pada aturan ke-3 dan ke-4, sehingga ketika melakukan search resolve tidak dapat menemukan resolusi yang tepat karena subjek dan objek yang digunakan tidak sesuai.
- Tidak melakukan *translation* melainkan seakan-akan melakukan resolusi langsung dalam FOL :

- Premis: "Tumpus adalah merah. Setiap tumpus adalah jompus. Jompus adalah besar"
- Hasil *translation*: "1. $Tumpus(\$x, True) \ggg Merah(\$x, True)$ 2. $Tumpus(\$x, True) \ggg Besar(\$x, True)$ "
- Seharusnya: "1. $Tumpus(\$x, True) \ggg Merah(\$x, True)$ 2. $Tumpus(\$x, True) \ggg Jompus(\$x, True)$ 3. $Jompus(\$x, True) \ggg Besar(\$x, True)$ "
- Penjelasan: Model tidak menerjemahkan aturan ke dalam FOL, melainkan melakukan resolusi langsung pada aturan tersebut dengan menghilangkan salah satu aturan yang ada.
- Tidak adanya format keseragaman pada hasil *translasi*:
 - Premis: "Semua Tumpus adalah baik. Setiap tumpus adalah dumpus. Max adalah dumpus. Apakah Max tidak baik?"
 - Hasil *translation*: "Fakta: $Dumpus(\$Max, True)$ Konjektur: $Baik(\$Max, False)$ Aturan: 1. $Tumpus(\$x, True) \rightarrow Baik(\$x, True)$ 2. $Tumpus(\$x, True) \rightarrow Dumpus(\$x, True)$ "
 - Seharusnya: "Fakta: $Dumpus(\$Max, True)$ Aturan: 1. $Tumpus(\$x, True) \ggg Baik(\$x, True)$ 2. $Tumpus(\$x, True) \ggg Dumpus(\$x, True)$ Konjektur: $Baik(\$Max, False)$ "
 - Penjelasan: Model tidak konsisten dalam menempatkan fakta, aturan, dan konjektur pada hasil *translation* dan juga menggunakan simbol yang berbeda untuk implikasi (\rightarrow dan \ggg)

Karena permasalahan tersebut, dilakukan perbaikan pada *prompt template* tersebut untuk meningkatkan kualitas *translation*. Berikut adalah versi kedua dari *prompt template* yang telah dimodifikasi.

```

1 Deskripsi Tugas: Anda diberikan konteks dan konjektur. Tugasnya adalah:
2 1) parsing konteks menjadi aturan logika berdasarkan predikat yang ditentukan
3 2) jika konteks berbentuk plural, maka konteks tersebut juga harus diterjemahkan ke
   bentuk tunggal
4 3) menulis fakta yang disebutkan dalam masalah, dan pastikan mereka diterjemahkan dalam
   bentuk logika juga.
5 4) parsing konjektur ke dalam bentuk logika
6 5) jangan mencoba menyelesaikan konjektur atau permasalahan, cukup melakukan perintah
   parsing yang dibutuhkan
7 6) berikan penanda ***Bentuk Akhir*** sebagai awalan dan ***Akhir Blok*** sebagai
   akhiran output dari tugas Anda.
8 7) silakan berikan output akhir dalam format berikut. Pastikan Anda menerjemahkan dalam
   urutan berikut: fakta, aturan, kemudian konjektur.
9
10 -----

```

```

11
12 Berikut adalah contohnya:
13 Konteks:
14 Setiap jompus memiliki sifat eksentris. Setiap jompus adalah wumpus. Setiap wumpus
    memiliki sifat tidak transparan. Wumpuses adalah tumpuses. Tumpuses itu nakal.
    Tumpuses adalah vumpuses. Setiap vumpus memiliki sifat dingin. Setiap vumpus adalah
    yumpus. Yumpuses berwarna oranye. Yumpuses adalah Numpuses. Numpuses memiliki sifat
    membosankan. Setiap numpus adalah Dumpus. Setiap dumpus memiliki sifat bukan pemalu.
    Impuses memiliki sifat pemalu. Dumpuses adalah rompuses. Setiap rompus tidaklah
    berwujud cair. Rompuses adalah zumpus. Alex adalah tumpus.
15
16 Konjektur:
17 Alex bukan pemalu.
18
19 ###
20 ***Bentuk Akhir***
21
22 Fakta:
23 Alex adalah tumpus :: Tumpus(Alex, True)
24
25 Aturan:
26 Jompus($x, True) >>> Eksentris($x, True)
27 Jompus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
28 Wumpus($x, True) >>> Transparan($x, False)
29 Wumpus($x, True) >>> Tumpus($x, True)
30 Tumpus($x, True) >>> Nakal($x, True)
31 Tumpus($x, True) >>> Vumpus($x, True)
32 Vumpus($x, True) >>> Dingin($x, True)
33 Vumpus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
34 Yumpus($x, True) >>> Oranye($x, True)
35 Yumpus($x, True) >>> Numpus($x, True)
36 Numpus($x, True) >>> Membosankan($x, True)
37 Numpus($x, True) >>> Dumpus($x, True)
38 Dumpus($x, True) >>> Pemalu($x, False)
39 Impus($x, True) >>> Pemalu($x, True)
40 Dumpus($x, True) >>> Rompus($x, True)
41 Rompus($x, True) >>> Cair($x, False)
42 Rompus($x, True) >>> Zumpus($x, False)
43
44 Konjektur:
45 Pemalu(Alex, False)
46
47 ***Akhir Blok***
48
49 -----
50
51 Berikut adalah contohnya:
52 Konteks:
53 Jompuses bukan pemalu. Jompuses adalah yumpuses. Setiap yumpus bersifat agresif. Setiap
    yumpus adalah dumpus. Dumpuses bukan terbuat dari kayu. Dumpuses adalah wumpuses.

```

Wumpuses berwarna merah. Setiap wumpus adalah impus. Setiap impus merupakan benda tidak tembus pandang. Impuses adalah tumpuses. Numpuses asam. Tumpuses objek berasa tidak asam. Tumpuses adalah vumpuses. Vumpuses tidak terbuat tanah. Setiap vumpus adalah zumpus. Zumpuses berukuran kecil. Zumpuses adalah rompuses. Max adalah yumpus.

54

55 Konjektur:

56 Max asam.

57

58 ###

59 ***Bentuk Akhir***

60

61 Fakta:

62 Max adalah yumpus ::: Yumpus(Max, True)

63

64 Aturan:

65 Jompus(\$x, True) >>> Pemalu(\$x, False)

66 Jompus(\$x, True) >>> Yumpus(\$x, True)

67 Yumpus(\$x, True) >>> Agresif(\$x, True)

68 Yumpus(\$x, True) >>> Dumpus(\$x, True)

69 Dumpus(\$x, True) >>> Kayu(\$x, False)

70 Dumpus(\$x, True) >>> Wumpus(\$x, True)

71 Wumpus(\$x, True) >>> Merah(\$x, True)

72 Wumpus(\$x, True) >>> Impus(\$x, True)

73 Impus(\$x, True) >>> TembusPandang(\$x, False)

74 Impus(\$x, True) >>> Tumpus(\$x, True)

75 Numpus(\$x, True) >>> Asam(\$x, True)

76 Tumpus(\$x, True) >>> Asam(\$x, False)

77 Tumpus(\$x, True) >>> Vumpus(\$x, True)

78 Vumpus(\$x, True) >>> Tanah(\$x, False)

79 Vumpus(\$x, True) >>> Zumpus(\$x, True)

80 Zumpus(\$x, True) >>> Kecil(\$x, True)

81 Zumpus(\$x, True) >>> Rompus(\$x, True)

82

83 Konjektur:

84 Asam(Max, True)

85

86 ***Akhir Blok***

87

88 -----

89

90 Berikut adalah contohnya:

91 Konteks:

92 Zumpuses tidak terang. Zumpuses adalah yumpuses. Setiap numpus bersifat garang.

Numpuses adalah dumpus. Dumpuses tidak cerah. Dumpuses adalah wumpuses. Wumpuses marah. Setiap wumpus adalah impus. Setiap impus itu bersifat feisty. Impuses adalah tumpuses. Setiap yumpus berbuah. Tumpuses merupakan objek dengan suhu yang bukan moderat. Tumpuses adalah vumpuses. Vumpuses tidak bahagia. Setiap vumpus adalah Jompus. Jompuses tidak baik hati. Jompuses adalah merah. Timothy adalah yumpus.

93

94 Konjektur:

```

95 Timothy adalah tidak tembus pandang.
96
97 ###
98 ***Bentuk Akhir***
99
100 Fakta:
101 Timothy adalah yumpus ::: Yumpus(Timothy, True)
102
103 Aturan:
104 Zumpus($x, True) >>> Terang($x, False)
105 Zumpus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
106 Numpus($x, True) >>> Garang($x, True)
107 Numpus($x, True) >>> Dumpus($x, True)
108 Dumpus($x, True) >>> Cerah($x, False)
109 Dumpus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
110 Wumpus($x, True) >>> Marah($x, True)
111 Wumpus($x, True) >>> Impus($x, True)
112 Impus($x, True) >>> Feisty($x, True)
113 Impus($x, True) >>> Tumpus($x, True)
114 Yumpus($x, True) >>> Berbuah($x, True)
115 Tumpus($x, True) >>> Moderat($x, False)
116 Tumpus($x, True) >>> Vumpus($x, True)
117 Vumpus($x, True) >>> Bahagia($x, False)
118 Vumpus($x, True) >>> Jompus($x, True)
119 Jompus($x, True) >>> BaikHati($x, False)
120 Jompus($x, True) >>> Merah($x, True)
121
122 Konjektur:
123 TembusPandang(Timothy, False)
124
125 ***Akhir Blok***
126
127 -----
128
129 Di bawah ini adalah yang perlu Anda terjemahkan:
130 Konteks:
131 [[PREMISES]]
132
133 Konjektur:
134 [[CONJECTURE]]

```

Kode 4.2: *Prompt template* setelah dimodifikasi dengan tambahan beberapa aturan dan contoh

Walaupun sudah diperbaiki, masih ada beberapa kesalahan yang terjadi pada hasil *translation*, seperti berikut:

- Tidak melakukan *translation to FOL* melainkan menyelesaikan langsung dalam bentuk FOL:

- Premis: ”Tumpus adalah merah. Setiap tumpus adalah jompus. Jompus adalah besar”
- Hasil *translation*: ”2. $Tumpus(\$x, True) \ggg Merah(\$x, True)$ 3. $Tumpus(\$x, True) \ggg Besar(\$x, True)$ ”
- Seharusnya: ”2. $Wumpus(\$x, True) \ggg Merah(\$x, True)$ 3. $Wumpus(\$x, True) \ggg Rompus(\$x, True)$ 4. $Rompus(\$x, True) \ggg Besar(\$x, True)$ ”
- Penjelasan: Model tidak menerjemahkan aturan ke dalam FOL, melainkan langsung menyelesaikan aturan tersebut dengan menghilangkan salah satu aturan yang ada.

Sudah ada perbaikan dalam tahap *translation to FOL* dengan penambahan contoh dan deskripsi tugas yang lebih rinci, seperti model mengikuti format dengan benar dan mengurangi kesalahan dalam *translation* subjek dan objek, akan tetapi masih ada kesalahan seperti melakukan silogisme langsung pada tahap *translation*. Hal ini dikarenakan model berparameter rendah tidak memiliki *knowledge* yang cukup dalam mengartikan *term* ambigu yang ada pada aturan logika, yaitu dalam hal ini adalah *term parsing* yang jika diartikan dalam bahasa Indonesia berarti penguraian menurut KBBI, yang padahal arti yang dimaksud dalam konteks ini adalah pemisahan subjek dan objek pada aturan logika.

Oleh karena itu, dilakukan perbaikan lebih lanjut pada *prompt template* tersebut. Berikut adalah versi ketiga dari *prompt template* yang telah diperbaiki.

```

1 Deskripsi Tugas: Anda diberikan sebuah konteks dari suatu permasalahan berserta
  pertanyaan dalam konjektur. Tugas Anda adalah:
2 1) Menerjemahkan konteks ke dalam aturan logika berdasarkan predikat dan objek yang
  diberikan
3 2) Menulis fakta yang disebutkan dalam masalah
4 3) Terjemahkan fakta yang ditemukan ke dalam bentuk logika
5 3) Terjemahkan konjektur yang diberikan ke dalam bentuk logika juga
6 4) Silahkan berikan output akhir dalam format berikut. Pastikan Anda menerjemahkan
  dalam urutan berikut: fakta, aturan, kemudian konjektur.
7
8 -----
9
10 Berikut adalah contohnya:
11 Konteks:
12 Setiap jompus memiliki sifat tidak eksentris. Sam adalah Jompus.
13
14 Konjektur:
15 Sam bersifat eksentris.
16
17 ###
18 ***Bentuk Akhir***
19
20 Fakta:

```



```

21 Sam adalah jompus ::: Jompus(Sam, True)
22
23 Aturan:
24 Jompus($x, True) >>> Eksentris($x, False)
25
26 Konjektur:
27 Eksentris(Sam, True)
28
29 ***Akhir Blok***
30 ###
31
32 -----
33
34 Berikut adalah contohnya:
35 Konteks:
36 Wumpuses adalah besar. Wumpuses adalah yumpuses. Setiap yumpus tidak berwarna oranye.
    Alex adalah wumpus.
37
38 Konjektur:
39 Alex oranye
40
41 ###
42 ***Bentuk Akhir***
43
44 Fakta:
45 Alex adalah Wumpus ::: Wumpus(Alex, True)
46
47 Aturan:
48 Wumpus($x, True) >>> Besar($x, True)
49 Wumpus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
50 Yumpus($x, True) >>> Oranye($x, False)
51
52 Konjektur:
53 Oranye(Alex, True)
54
55 ***Akhir Blok***
56 ###
57
58 -----
59
60 Berikut adalah contohnya:
61 Konteks:
62 Tumpuses adalah tidak baik. Setiap tumpus adalah jompus. Jompus tidak membosankan.
    Jompuses adalah impus. Impus tidak besar. Impus adalah zumpus. Setiap zumpus adalah
    bahagia. Zumpus adalah wumpus. Setiap dumpus tidak bercahaya. Setiap wumpus adalah
    yumpus. Fae bukan zumpus.
63
64 Konjektur:
65 Fae tidak tembus pandang.
66

```

```

67 ###
68 ***Bentuk Akhir***
69
70 Fakta:
71 Fae bukan zumpus :: Zumpus(Fae, False)
72
73 Aturan:
74 Tumpus($x, True) >>> Baik($x, False)
75 Tumpus($x, True) >>> Jompus($x, True)
76 Jompus($x, True) >>> Membosankan($x, False)
77 Jompus($x, True) >>> Impus($x, True)
78 Impus($x, True) >>> Besar($x, False)
79 Impus($x, True) >>> Zumpus($x, True)
80 Zumpus($x, True) >>> Bahagia($x, True)
81 Zumpus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
82 Dumpus($x, True) >>> Bercahaya($x, False)
83 Wumpus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
84
85 Konjektur:
86 TembusPandang(Fae, False)
87
88 ***Akhir Blok***
89 ###
90
91 -----
92
93 Berikut adalah contohnya:
94 Konteks:
95 Setiap impus bukanlah panas. Setiap impus adalah wumpus. Wumpuses adalah temperamen.
    Wumpus adalah numpus. Zumpus adalah tidak bersifat agresif. Numpuses adalah bukan suku
    yang temperate. Setiap numpus adalah dumpus. Dumpuses adalah baik. Setiap dumpus
    adalah rompus. Setiap rompus bukan benda yang tidak tembus cahaya. Setiap rompus
    adalah vumpuses. Vumpuses bukanlah yang mudah dikelola. Vumpuses adalah jompus.
    Jompuses bukanlah pedas. Jompus adalah wumpus. Rex adalah vumpus.
96
97 Konjektur:
98 Rex tembus cahaya.
99
100 ###
101 ***Bentuk Akhir***
102
103 Fakta:
104 Rex adalah vumpus :: Vumpus(Rex, True)
105
106 Aturan:
107 Impus($x, True) >>> Panas($x, False)
108 Impus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
109 Wumpus($x, True) >>> Temperamen($x, True)
110 Wumpus($x, True) >>> Numpus($x, True)
111 Zumpus($x, True) >>> Agresif($x, False)

```

```

112 Numpus($x, True) >>> Temperate($x, False)
113 Numpus($x, True) >>> Dumpus($x, True)
114 Dumpus($x, True) >>> Baik($x, True)
115 Dumpus($x, True) >>> Rompus($x, True)
116 Rompus($x, True) >>> TembusCahaya($x, True)
117 Rompus($x, True) >>> Vumpus($x, True)
118 Vumpus($x, True) >>> MudahDikelola($x, False)
119 Vumpus($x, True) >>> Jompus($x, True)
120 Jompus($x, True) >>> Pedas($x, False)
121 Jompus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
122
123 Konjektur:
124 TembusCahaya(Rex, True)
125
126 ***Akhir Blok***
127 ###
128
129 -----
130
131 Berikut adalah contohnya:
132 Konteks:
133 Jompuses bukan pemalu. Jompuses adalah yumpuses. Setiap yumpus bersifat agresif. Setiap
    yumpus adalah dumpus. Dumpuses bukan terbuat dari kayu. Dumpuses adalah wumpuses.
    Wumpuses berwarna merah. Setiap wumpus adalah impus. Setiap impus tidak tembus
    pandang. Impuses adalah tumpuses. Numpuses asam. Tumpuses tidak asam. Tumpuses adalah
    vumpuses. Vumpuses tidak terbuat tanah. Setiap vumpus adalah zumpus. Zumpuses
    berukuran kecil. Zumpuses adalah rompuses. Max adalah yumpus.
134
135 Konjektur:
136 Max asam.
137
138 ###
139 ***Bentuk Akhir***
140
141 Fakta:
142 Max adalah yumpus ::: Yumpus(Max, True)
143
144 Aturan:
145 Jompus($x, True) >>> Pemalu($x, False)
146 Jompus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
147 Yumpus($x, True) >>> Agresif($x, True)
148 Yumpus($x, True) >>> Dumpus($x, True)
149 Dumpus($x, True) >>> Kayu($x, False)
150 Dumpus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
151 Wumpus($x, True) >>> Merah($x, True)
152 Wumpus($x, True) >>> Impus($x, True)
153 Impus($x, True) >>> TembusPandang($x, False)
154 Impus($x, True) >>> Tumpus($x, True)
155 Numpus($x, True) >>> Asam($x, True)
156 Tumpus($x, True) >>> Asam($x, False)

```

```

157 Tumpus($x, True) >>> Vumpus($x, True)
158 Vumpus($x, True) >>> Tanah($x, False)
159 Vumpus($x, True) >>> Zumpus($x, True)
160 Zumpus($x, True) >>> Kecil($x, True)
161 Zumpus($x, True) >>> Rompus($x, True)
162
163 Konjektur:
164 Asam(Max, True)
165
166 ***Akhir Blok***
167 ###
168
169 -----
170
171 Di bawah ini adalah yang perlu Anda terjemahkan:
172 Konteks:
173 [[PREMISES]]
174
175 Konjektur:
176 [[CONJECTURE]]
177
178 ###
179 ***Bentuk Akhir***

```

Kode 4.3: *Prompt template* dengan penggunaan diksi sesuai kamus EBI pada konteks ini

Term parsing diubah menjadi menerjemahkan aturan logika dengan memisahkan subjek dan objek pada setiap aturan, sehingga model lebih memahami tugas yang diberikan. Format seperti ”***Bentuk Akhir***” langsung dimasukkan ke dalam contoh pada *prompt template* dan juga contoh yang diberikan bervariasi dalam istilah yang digunakan dan banyaknya kalimat dalam premis agar model dapat lebih memahami tugas yang diberikan.

Dari hasil evaluasi, *prompt template* versi ketiga ini sudah cukup baik, dalam artian bahwa model dapat mengikuti format dengan benar dan mengurangi kesalahan dalam *translation* subjek dan objek. Oleh karena itu, *prompt template* versi ketiga ini digunakan dalam eksperimen pada penelitian ini.

4.3.2 *Decomposition to Conjunctive Normal Form*

Pada tahap ini dilakukan prompt untuk penerjemahan aturan setelah proses *First Order Logic* ke dalam bentuk *Conjunctive Normal Form* dalam proses *decomposition*.

Berikut adalah *prompt template* yang digunakan yang merupakan hasil dari translasi

langsung dari *prompt* yang digunakan pada *Aristotle Framework*

```

1 Tugas deskripsi:
2 Diberikan premis dan konjektur dalam bentuk first-order logic form (FOL), silahkan
   memecah pernyataan FOL menggunakan normalisasi dan skolemisasi.
3 ---
4 Aturan:
5
6 Normalisasi: Ubah setiap premis dan konjektur ke Prenex Normal Form (PNF) dan kemudian
   ke Conjunctive Normal Form (CNF).
7 - Dalam konversi CNF, negasi nilai boolean langsung daripada menambahkan simbol   di
   depan. Contohnya, ubah "Jompus($x, True) >>> Pemalu($x, False)" menjadi "- \(\forall x
   \left(Jompus(x, False) \lor Pemalu(x, False)\right)\)", bukan "- \(\forall x
   \left(\neg Jompus(x, True) \lor Pemalu(x, False)\right)\)".
8
9 Skolemisasi: Hilangkan kuantor eksistensial dengan menggunakan fungsi atau konstanta
   Skolem.
10
11 **Catatan Penting:** Prompt ini dirancang hanya untuk memandu model bahasa dalam proses
   dekomposisi. Jangan mencoba menyelesaikan konjektur, dan pastikan konjektur tetap
   seperti yang dinyatakan tanpa negasi.
12 ---
13 Contoh di bawah ini:
14 Konteks:
15
16 Aturan:
17 1. Jompus($x, True) >>> Pemalu($x, False)
18 2. Jompus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
19 3. Yumpus($x, True) >>> Agresif($x, True)
20 4. Yumpus($x, True) >>> Dumpus($x, True)
21 5. Dumpus($x, True) >>> Kayu($x, False)
22 6. Dumpus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
23 7. Wumpus($x, True) >>> Merah($x, True)
24 8. Wumpus($x, True) >>> Impus($x, True)
25 9. Impus($x, True) >>> TembusPandang($x, x, True)
26 10. Impus($x, True) >>> Tumpus($x, True)
27 11. Numpus($x, True) >>> Asam($x, True)
28 12. Tumpus($x, True) >>> Asam($x, False)
29 13. Tumpus($x, True) >>> Vumpus($x, True)
30 14. Vumpus($x, True) >>> Tanah($x, True)
31 15. Vumpus($x, True) >>> Zumpus($x, True)
32 16. Zumpus($x, True) >>> Kecil($x, True)
33 17. Zumpus($x, True) >>> Rompus($x, True)
34
35 Konjektur:
36 Sour(Max, True)
37
38 Pemecahan:
39
40 ***Bentuk Akhir***
41

```

```

42 Aturan dalam CNF:
43 1. -  $\forall x (Jompus(x, False) \vee Pemalu(x, False))$ 
44 2. -  $\forall x (Jompus(x, False) \vee Yumpus(x, True))$ 
45 3. -  $\forall x (Yumpus(x, False) \vee Agresif(x, True))$ 
46 4. -  $\forall x (Yumpus(x, False) \vee Dumpus(x, True))$ 
47 5. -  $\forall x (Dumpus(x, False) \vee Kayu(x, False))$ 
48 6. -  $\forall x (Dumpus(x, False) \vee Wumpus(x, True))$ 
49 7. -  $\forall x (Wumpus(x, False) \vee Merah(x, True))$ 
50 8. -  $\forall x (Wumpus(x, False) \vee Impus(x, True))$ 
51 9. -  $\forall x (Impus(x, False) \vee TembusPandang(x, True))$ 
52 10. -  $\forall x (Impus(x, False) \vee Tumpus(x, True))$ 
53 11. -  $\forall x (Numpus(x, False) \vee Asam(x, True))$ 
54 12. -  $\forall x (Tumpus(x, False) \vee Asam(x, False))$ 
55 13. -  $\forall x (Tumpus(x, False) \vee Vumpus(x, True))$ 
56 14. -  $\forall x (Vumpus(x, False) \vee Tanah(x, True))$ 
57 15. -  $\forall x (Vumpus(x, False) \vee Zumpus(x, True))$ 
58 16. -  $\forall x (Zumpus(x, False) \vee Kecil(x, True))$ 
59 17. -  $\forall x (Zumpus(x, False) \vee Rompus(x, True))$ 
60
61 Konjektur:
62 Asam(Max, True)
63
64 ***Akhir Blok***
65 ---
66
67 Di bawah ini adalah yang perlu Anda pecahkan menggunakan normalisasi dan skolemisasi.
68 Silahkan akhiri dekomposisi dalam "Bentuk Akhir" dan pastikan Anda mencakup setiap
   klausa dalam bentuk akhir Anda, walaupun klausa tersebut tidak perlu dipecah lagi.
69 Silahkan patuhi instruksi dengan ketat dan jangan melakukan apa yang tidak
   diinstruksikan (misalnya, jangan negasi konjektur dan fakta).
70 Perhatikan bahwa Anda perlu menegasi suatu istilah hanya ketika mengubah sebuah
   implikasi ke CNF. Jika klausa atau istilah tidak mengandung implikasi (misalnya, Fakta
   atau Konjektur), jangan di-negasikan.
71
72 [[PREMISES]]

```

Kode 4.4: *Prompt template* hasil translasi langsung dari bahasa Inggris

Ada beberapa masalah yang ditemukan pada hasil *decomposition* menggunakan *prompt template* tersebut, seperti berikut:

- **Skolemisasi:** Pada ProntoQA tidak perlu menggunakan skolemisasi karena tidak ada kuantor eksistensial yang perlu dihilangkan agar tidak membingungkan model.
- **Halusinasi pada Fakta dan Konjektur:** Model sering kali menambahkan fakta atau konjektur yang tidak ada pada premis, sehingga hasil dari proses *decomposition* menjadi tidak sesuai:

- Input: "Aturan: 1. $Tumpus(\$x, True) \ggg Baik(\$x, True)$ 2. $Tumpus(\$x, True) \ggg Dumpus(\$x, True)$ "
- Hasil *decomposition*: "Fakta: $Dumpus(\$Max, True)$ Konjektur: $Baik(\$Max, False)$ Aturan dalam CNF: 1. $\neg \forall x (Tumpus(\$x, False) \vee Baik(\$x, True))$ 2. $\neg \forall x (Tumpus(\$x, False) \vee Dumpus(\$x, True))$ "
- Seharusnya: "Aturan dalam CNF: 1. $\neg \forall x (Tumpus(\$x, False) \vee Baik(\$x, True))$ 2. $\neg \forall x (Tumpus(\$x, False) \vee Dumpus(\$x, True))$ "
- Penjelasan: Model menambahkan fakta dan konjektur yang tidak ada pada premis, sehingga hasil dari proses *decomposition* menjadi tidak sesuai.

Berikut adalah versi kedua dari *prompt template* yang telah diperbaiki. Versi kedua ini mirip seperti *prompt template* versi ketiga pada tahap 4.3, yaitu dengan menambahkan contoh yang lebih bervariasi dan deskripsi tugas yang lebih rinci karena keberhasilan model dalam memahami tugas pada tahap *translation* dapat diaplikasikan juga pada tahap *decomposition*.

```

1 Deskripsi Tugas:
2 Anda diberikan konteks berupa aturan dalam formula first-order logic (FOL).
3 Tugas Anda adalah melakukan konversi aturan-aturan tersebut menggunakan ketentuan
  normalisasi berikut ini.
4 Silahkan berikan output akhir dalam format sesuai dengan contoh berikut.
5
6 ---
7 Ketentuan normalisasi:
8 1. Konversikan setiap aturan ke Conjunctive Normal Form (CNF).
9 2. Dalam mengkonversikan ke CNF, negasikan nilai boolean secara langsung, alih-alih
  menambahkan simbol  $\neg$  di depan predikat.
10 Contohnya, konversi dari " $Jompus(\$x, True) \ggg Pemalu(\$x, False)$ " adalah
    " $\neg (Jompus(x, False) \vee Pemalu(x, False))$ ", dan bukan " $\neg (Jompus(x, True) \vee Pemalu(x, False))$ ".
11 ---
12
13 Contoh di bawah ini:
14 Konteks:
15
16 Aturan:
17 1.  $Jompus(\$x, True) \ggg Eksentris(\$x, False)$ 
18
19 Hasil konversi:
20 ###
21 ***Bentuk Akhir***
22
23 Aturan dalam CNF:
24 1.  $\neg (Jompus(x, False) \vee Eksentris(x, False))$ 

```

```

25
26 ***Akhir Blok***
27 ###
28 ---
29
30 Contoh di bawah ini:
31 Konteks:
32
33 Aturan:
34 1. Wumpus($x, True) >>> Besar($x, True)
35 2. Wumpus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
36 3. Yumpus($x, True) >>> Oranye($x, false)
37
38 Hasil konversi:
39 ###
40 ***Bentuk Akhir***
41
42 Aturan dalam CNF:
43 1. - \left(Wumpus(x, False) \lor Besar(x, True)\right)
44 2. - \left(Wumpus(x, False) \lor Yumpus(x, True)\right)
45 3. - \left(Yumpus(x, False) \lor Oranye(x, False)\right)
46
47 ***Akhir Blok***
48 ###
49 ---
50
51 Contoh di bawah ini:
52 Konteks:
53
54 Aturan:
55 1. Tumpus($x, True) >>> Baik($x, False)
56 2. Tumpus($x, True) >>> Jompus($x, True)
57 3. Jompus($x, True) >>> Membosankan($x, False)
58 4. Jompus($x, True) >>> Impus($x, True)
59 5. Impus($x, True) >>> Besar($x, False)
60 6. Impus($x, True) >>> Zumpus($x, True)
61 7. Zumpus($x, True) >>> Bahagia($x, True)
62 8. Zumpus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
63 9. Dumpus($x, True) >>> Bercahaya($x, False)
64 10. Wumpus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
65
66 Hasil konversi:
67
68 ***Bentuk Akhir***
69 ###
70 Aturan dalam CNF:
71 1. - \left(Tumpus(x, False) \lor Baik(x, False)\right)
72 2. - \left(Tumpus(x, False) \lor Jompus(x, True)\right)
73 3. - \left(Jompus(x, False) \lor Membosankan(x, False)\right)
74 4. - \left(Jompus(x, False) \lor Impus(x, True)\right)

```



```

75 5. - \left( Impus(x, False) \lor Besar(x, False) \right)
76 6. - \left( Impus(x, False) \lor Zumpus(x, True) \right)
77 7. - \left( Zumpus(x, False) \lor Bahagia(x, True) \right)
78 8. - \left( Zumpus(x, False) \lor Wumpus(x, True) \right)
79 9. - \left( Dumpus(x, False) \lor Bercahaya(x, False) \right)
80 10. - \left( Wumpus(x, False) \lor Yumpus(x, True) \right)
81
82 ***Akhir Blok***
83 ###
84 ---
85
86 Contoh di bawah ini:
87 Konteks:
88
89 Aturan:
90 1. Impus($x, True) >>> Panas($x, False)
91 2. Impus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
92 3. Wumpus($x, True) >>> Temperamen($x, True)
93 4. Wumpus($x, True) >>> Numpus($x, True)
94 5. Zumpus($x, True) >>> Agresif($x, False)
95 6. Numpus($x, True) >>> Temperate($x, False)
96 7. Numpus($x, True) >>> Dumpus($x, True)
97 8. Dumpus($x, True) >>> Baik($x, True)
98 9. Dumpus($x, True) >>> Rompus($x, True)
99 10. Rompus($x, True) >>> TembusCahaya($x, True)
100 11. Rompus($x, True) >>> Vumpus($x, True)
101 12. Vumpus($x, True) >>> MudahDikelola($x, False)
102 13. Vumpus($x, True) >>> Jompus($x, True)
103 14. Jompus($x, True) >>> Pedas($x, False)
104 15. Jompus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
105
106 Hasil konversi:
107 ###
108 ***Bentuk Akhir***
109
110 Aturan dalam CNF:
111 1. - \left( Impus(x, False) \lor Panas(x, False) \right)
112 2. - \left( Impus(x, False) \lor Wumpus(x, True) \right)
113 3. - \left( Wumpus(x, False) \lor Temperamen(x, True) \right)
114 4. - \left( Wumpus(x, False) \lor Numpus(x, True) \right)
115 5. - \left( Zumpus(x, False) \lor Agresif(x, False) \right)
116 6. - \left( Numpus(x, False) \lor Temperate(x, False) \right)
117 7. - \left( Numpus(x, False) \lor Dumpus(x, True) \right)
118 8. - \left( Dumpus(x, False) \lor Baik(x, True) \right)
119 9. - \left( Dumpus(x, False) \lor Rompus(x, True) \right)
120 10. - \left( Rompus(x, False) \lor TembusCahaya(x, True) \right)
121 11. - \left( Rompus(x, False) \lor Vumpus(x, True) \right)
122 12. - \left( Vumpus(x, False) \lor MudahDikelola(x, False) \right)
123 13. - \left( Vumpus(x, False) \lor Jompus(x, True) \right)
124 14. - \left( Jompus(x, False) \lor Pedas(x, False) \right)

```

```

125 15. - \left(Jompus(x, False) \lor Wumpus(x, True)\right)
126
127 ***Akhir Blok***
128 ###
129 ---
130
131 Contoh di bawah ini:
132 Konteks:
133
134 Aturan:
135 1. Jompus($x, True) >>> Pemalu($x, False)
136 2. Jompus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
137 3. Yumpus($x, True) >>> Agresif($x, True)
138 4. Yumpus($x, True) >>> Dumpus($x, True)
139 5. Dumpus($x, True) >>> Kayu($x, False)
140 6. Dumpus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
141 7. Wumpus($x, True) >>> Merah($x, True)
142 8. Wumpus($x, True) >>> Impus($x, True)
143 9. Impus($x, True) >>> TembusPandang($x, x, True)
144 10. Impus($x, True) >>> Tumpus($x, True)
145 11. Numpus($x, True) >>> Asam($x, True)
146 12. Tumpus($x, True) >>> Asam($x, False)
147 13. Tumpus($x, True) >>> Vumpus($x, True)
148 14. Vumpus($x, True) >>> Tanah($x, True)
149 15. Vumpus($x, True) >>> Zumpus($x, True)
150 16. Zumpus($x, True) >>> Kecil($x, True)
151 17. Zumpus($x, True) >>> Rompus($x, True)
152
153 Hasil konversi:
154 ###
155 ***Bentuk Akhir***
156
157 Aturan dalam CNF:
158 1. - \left(Jompus(x, False) \lor Pemalu(x, False)\right)
159 2. - \left(Jompus(x, False) \lor Yumpus(x, True)\right)
160 3. - \left(Yumpus(x, False) \lor Agresif(x, True)\right)
161 4. - \left(Yumpus(x, False) \lor Dumpus(x, True)\right)
162 5. - \left(Dumpus(x, False) \lor Kayu(x, False)\right)
163 6. - \left(Dumpus(x, False) \lor Wumpus(x, True)\right)
164 7. - \left(Wumpus(x, False) \lor Merah(x, True)\right)
165 8. - \left(Wumpus(x, False) \lor Impus(x, True)\right)
166 9. - \left(Impus(x, False) \lor TembusPandang(x, True)\right)
167 10. - \left(Impus(x, False) \lor Tumpus(x, True)\right)
168 11. - \left(Numpus(x, False) \lor Asam(x, True)\right)
169 12. - \left(Tumpus(x, False) \lor Asam(x, False)\right)
170 13. - \left(Tumpus(x, False) \lor Vumpus(x, True)\right)
171 14. - \left(Vumpus(x, False) \lor Tanah(x, True)\right)
172 15. - \left(Vumpus(x, False) \lor Zumpus(x, True)\right)
173 16. - \left(Zumpus(x, False) \lor Kecil(x, True)\right)
174 17. - \left(Zumpus(x, False) \lor Rompus(x, True)\right)

```

```

175
176 ***Akhir Blok***
177 ###
178 ---
179
180 Di bawah ini adalah yang perlu Anda konversikan menggunakan normalisasi.
181
182 Konteks:
183
184 Aturan:
185 [[PREMISES]]
186
187 Hasil konversi:

```

Kode 4.5: *Prompt template* dengan tambahan contoh dan diksi sesuai EBI

Prompt template versi kedua ini sudah memperbaiki masalah yang ada pada versi pertama dengan penambahan contoh yang lebih bervariasi dan penghilangan skolemisasi, serta fakta dan konjektur pada deskripsi tugas karena tidak diperlukan dan hanya membingungkan model. Dari hasil evaluasi, *prompt template* versi kedua ini sudah cukup baik untuk digunakan dalam eksperimen pada penelitian ini.

4.3.3 Search Resolve

Pada tahap ini dilakukan *prompt* untuk mencari resolusi dari aturan setelah proses *decomposition*.

Berikut adalah *prompt template* yang digunakan yang merupakan hasil dari translasi langsung dari *prompt* yang digunakan pada *Aristotle Framework*

```

1 ---
2
3 Tugas: Diberikan dua klausa, tugas Anda adalah:
4
5 1. **Cek Istilah yang saling Melengkapi / Bertentangan:**
6   - Tentukan apakah suatu istilah dalam klausa 1 bertentangan dengan istilah dalam
   klausa 2.
7
8 **Istilah Pelengkap/Bertentangan:** Dua istilah bertentangan jika mereka mempunyai
   predikat dan argumen yang sama tetapi berbeda dalam polaritas (salah satu dinegasi)
   atau nilai boolean (True vs. False).
9
10 **Contoh:**
11 1. \ ( P(x, False) \ ) bertentangan dengan:
12   - \ ( \neg P(x, False) \ ) (polaritas berlawanan, nilai boolean sama).
13   - \ ( P(x, True) \ ) (polaritas sama, nilai boolean berlawanan).

```

```

14
15 2.  $\neg P(x, \text{False})$  bertentangan dengan:
16   -  $\neg P(x, \text{True})$  (polaritas sama, nilai boolean berlawanan).
17   -  $P(x, \text{False})$  (polaritas berlawanan, nilai boolean sama).
18
19 **Jika istilah bertentangan ditemukan:** Selesaikan klausa menggunakan aturan di bawah
   ini.
20
21 2. **Penyelesaian Klausa:**
22
23 ### **Aturan Penyelesaian:**
24 **Operator OR (  $\vee$  ):**
25 - Istilah Pelengkap/Bertentangan Ditemukan:  $(A \vee B), \neg(A \vee C) \rightarrow (B \vee C)$ 
26
27 **Operator AND (  $\wedge$  ):**
28 - Istilah Pelengkap/Bertentangan Ditemukan dengan Sisa Istilah:  $(A \wedge B), \neg(B \vee C) \rightarrow (A \wedge C)$ 
29 - Istilah Pelengkap/Bertentangan Ditemukan dengan Sisa Istilah:  $\neg B \wedge C \vee D, (B \rightarrow \text{False}) \wedge C \vee D \rightarrow \text{False} \vee D \rightarrow \text{D}$ 
30 - Istilah Pelengkap/Bertentangan Ditemukan yang Mengarah pada Kontradiksi:  $(A \wedge B), \neg B \rightarrow \text{False} \wedge A \rightarrow \text{Kontradiksi}$  (Anda hanya
   dapat menyimpulkan kontradiksi ketika semua istilah dalam kedua klausa terhubung oleh
   operator  $\wedge$ ).
31
32 3. **Pemeriksaan Cukup Setelah Inferensi:**
33 - **Jika kontradiksi ditemukan:**
34   - Simpulkan dengan "Label Cukup: [True]" dan "Klausa Baru: {Kontradiksi}".
35 - Jika tidak ditemukan kontradiksi:
36   - Simpulkan dengan "Label Cukup: [False]".
37
38 Hasil keluaran: Simpulkan label cukup dan klausa baru dalam format:
39
40 ***Bentuk Akhir***
41 Klausa Baru: {new_clause}
42 Label Cukup: [True/False]
43 ***Akhir Blok***
44
45 ---
46
47 Contoh:
48
49 Klausa 1: Tanah(Stella, True)
50 Klausa 2: Numpus(x, False)  $\vee$  Tanah(x, False)
51
52 Mari kita uraikan proses penyelesaian untuk klausa yang diberikan:
53
54 ### **Langkah 1: Cek Istilah Pelengkap/Bertentangan**
55

```

```

56 **Klausa yang Diberikan:**
57 - **Klausa 1:**  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True}) \wedge)$ 
58 - **Klausa 2:**  $\neg (\text{Numpus}(x, \text{False}) \vee \text{Tanah}(x, \text{False}) \wedge)$ 
59
60 **Identifikasi Potensial Istilah Pelengkap:**
61 -  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True}) \wedge)$  dari Klausa 1 berpotensi bertentangan dengan  $\neg (\text{Tanah}(x,$ 
    False)  $\wedge)$  dalam Klausa 2. Instansiasi dari  $\neg (x \wedge)$  ke  $\neg (\text{Stella} \wedge)$  diperlukan untuk
    memeriksa kontradiksi.
62
63 **Instansiasikan Klausa 2 dengan  $\neg (x = \text{Stella} \wedge)$ :**
64 - Klausa 2 Asli:  $\neg (\text{Numpus}(x, \text{False}) \vee \text{Tanah}(x, \text{False}) \wedge)$ 
65 - Klausa 2 yang Diinstansiasikan:  $\neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \vee \text{Tanah}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge)$ 
66
67 **Identifikasi Istilah Pelengkap Setelah Instansiasi:**
68 -  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True}) \wedge)$  dalam Klausa 1 adalah pelengkap dari  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella},$ 
    False)  $\wedge)$  dalam Klausa 2 yang diinstansiasikan (predikat sama, argumen sama, nilai
    boolean berlawanan).
69
70 ### **Langkah 2: Selesaikan Klausa**
71
72 - **Proses Penyelesaian:**
73 - **Aturan yang digunakan:** **Operator OR (  $\vee$  ) - Istilah Pelengkap/Bertentangan
    Ditemukan** karena istilah pelengkap/bertentangan dalam kedua klausa 1 dan klausa 2
    yang diinstansiasikan terhubung oleh "OR" dengan istilah lain.
74      $\neg [$ 
75      $(A \vee B), \neg, (\neg A \vee C) \rightarrow (B \vee C)$ 
76      $\neg]$ 
77 - **Substitusikan istilah:**
78      $\neg [$ 
79      $(\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True})), \neg, (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \vee \text{Tanah}(\text{Stella}, \text{False})) \rightarrow$ 
     $\neg]$ 
80      $\neg]$ 
81 - **Klausa Hasil:**  $\neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge)$ 
82
83 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Cukup**
84
85 - **Cek Kontradiksi:**
86 - Klausa hasil  $\neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge)$  tidak menghasilkan kontradiksi. Penyidikan
    lebih lanjut diperlukan untuk menentukan kesimpulan akhir, jadi label cukup harus
    False.
87
88 ***Bentuk Akhir***
89 **Klausa Baru:**  $\{ \neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge) \}$ 
90 **Label Cukup:** [False]
91 ***Akhir Blok***
92
93 ---
94
95 Contoh:
96

```

```

97 Klausula 1: Vumpus(Wren, True)
98 Klausula 2: Vumpus(Wren, False)
99
100 Langkah 1: Cek Istilah Pelengkap/Bertentangan
101
102 **Klausula yang Diberikan:**
103 - **Klausula 1:**  $\neg$  ( Vumpus(Wren, True) )
104 - **Klausula 2:**  $\neg$  ( Vumpus(Wren, False) )
105
106 **Identifikasi Istilah Pelengkap/Bertentangan:**
107 -  $\neg$  ( Vumpus(Wren, True) ) dalam Klausula 1 secara langsung bertentangan dengan  $\neg$ 
    Vumpus(Wren, False) dalam Klausula 2 (predikat dan argumen sama, tetapi nilai boolean
    berlawanan).
108
109 ### **Langkah 2: Selesaikan Klausula**
110
111 - **Proses Penyelesaian:**
112 - **Aturan Digunakan:** **Kontradiksi Ditemukan** karena kedua istilah bertentangan
    dan tidak ada istilah lain yang hadir.
113 -  $\neg$  ( Vumpus(Wren, True) ) bertentangan dengan  $\neg$  ( Vumpus(Wren, False) ),
    menyebabkan kontradiksi langsung.
114
115 - **Klausula Hasil:** Kontradiksi.
116
117 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Cukup**
118
119 - **Cek Kontradiksi:**
120 - Penyelesaian menghasilkan kontradiksi, sehingga cukup tercapai.
121
122 ***Bentuk Akhir***
123 **Klausula Baru:** {Kontradiksi}
124 **Label Cukup:** [True]
125 ***Akhir Blok***
126
127 ---
128
129 Contoh:
130
131 Klausula 1: Kecil(Alex, False)
132 Klausula 2:  $\neg$ ( $\forall x$   $\neg$ (Vumpus(x, False)  $\vee$  Numpus(x, True)))
133
134 Langkah 1: Cek Istilah Pelengkap/Bertentangan
135
136 **Klausula yang Diberikan:**
137 - **Klausula 1:**  $\neg$  ( Kecil(Alex, False) )
138 - **Klausula 2:**  $\neg$  (  $\forall x$   $\neg$ (Vumpus(x, False)  $\vee$  Numpus(x, True)))
139
140 **Identifikasi Potensial Istilah Pelengkap:**
141 - Tidak ada kecocokan predikat antara  $\neg$  ( Kecil(Alex, False) ) dalam Klausula 1 dan
    istilah dalam Klausula 2. Klausula 2 melibatkan predikat  $\neg$  ( Vumpus ) dan  $\neg$  ( Numpus ),

```

```

    sedangkan Klausa 1 melibatkan \(\ Kecil \). Oleh karena itu, tidak ada istilah
    pelengkap atau bertentangan yang ditemukan.
142
143 ### **Langkah 2: Selesaikan Klausa**
144
145 - **Proses Penyelesaian:**
146   - **Tidak Ada Istilah Pelengkap atau Bertentangan Ditemukan:** Tidak ada istilah
    dalam Klausa 1 yang bertentangan atau melengkapi istilah dalam Klausa 2 karena
    predikat yang berbeda. Ini menghasilkan tidak ada perubahan melalui penyelesaian
    karena tidak ada dasar untuk menggabungkan atau memodifikasi klausa.
147
148 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Cukup**
149
150 - **Cek Kontradiksi:**
151   - Karena tidak ada istilah yang pelengkap atau bertentangan dan tidak ada
    penyelesaian yang dapat diterapkan, tidak ada kontradiksi. Penyidikan lebih lanjut
    diperlukan untuk mengevaluasi nilai kebenaran klausa, jadi label cukup harus False.
152
153 ***Bentuk Akhir***
154 **Label Cukup:** [False]
155 ***Akhir Blok***
156
157 ---
158
159 Silakan simpulkan informasi tersebut dengan format berikut:
160
161 ***Bentuk Akhir***
162 Klausa Baru: {placeholder_for_new_clause}
163 Label Cukup: [placeholder_for_sufficiency_label]
164 ***Bentuk Akhir***
165
166 ---
167
168 **Dibawah ini tugas yang perlu Anda lakukan:**
169
170 Klausa 1:
171 [[SOS]]
172 Klausa 2:
173 [[SELECTED-CLAUSE]]

```

Kode 4.6: *Prompt template* hasil translasi langsung dari bahasa Inggris

Dari hasil evaluasi ditemukan pola kesalahan yang sering terjadi, seperti berikut:

- Model tidak mengenali istilah pelengkap/bertentangan:

– **Input:**

Klausa 1:

Jompus(Max, True)

Klausa 2:

$$\forall x (Jompus(x, False) \vee Membosankan(x, True))$$

– **Output:**

****Dibawah ini tugas yang perlu Anda lakukan:****

Klausa 1:

$$Jompus(Max, True)$$

Klausa 2:

$$\forall x (Jompus(x, False) \vee Membosankan(x, True))$$

****Langkah 1: Cek Istilah Pelengkap/Bertentangan****

****Klausa yang Diberikan:****

- ****Klausa 1:**** $Jompus(Max, True)$

- ****Klausa 2:**** $\forall x (Jompus(x, False) \vee Membosankan(x, True))$

****Identifikasi Potensial Istilah Pelengkap:****

- Tidak ada kecocokan predikat antara $Jompus(Max, True)$ dalam Klausa 1 dan istilah dalam Klausa 2. Klausa 2 melibatkan predikat $Jompus$ dan $Membosankan$, sedangkan Klausa 1 melibatkan $Jompus$. Oleh karena itu, tidak ada istilah pelengkap atau bertentangan yang ditemukan.

**Langkah 2: Selesaikan Klausa**

- ****Proses Penyelesaian:****

- ****Tidak Ada Istilah Pelengkap atau Bertentangan Ditemukan:**** Tidak ada istilah dalam Klausa 1 yang bertentangan atau melengkapi istilah dalam Klausa 2 karena predikat yang berbeda. Ini menghasilkan tidak ada perubahan melalui penyelesaian karena tidak ada dasar untuk menggabungkan atau memodifikasi klausa.

**Langkah 3: Pemeriksaan Cukup**

- **Cek Kontradiksi:**

- Karena tidak ada istilah yang pelengkap atau bertentangan dan tidak ada penyelesaian yang dapat diterapkan, tidak ada kontradiksi. Penyidikan lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi nilai kebenaran klausa, jadi label cukup harus False.

Bentuk Akhir

Label Cukup: [False]

Akhir Blok

- **Penjelasan:** Model gagal menemukan resolusi karena tidak mengenali bahwa $Jompus(Max, True)$ dan $Jompus(x, False)$ adalah istilah yang bertentangan ketika x disubstitusi dengan Max .
- Model menggunakan \wedge (AND) dan penambahan *term* atau klausa yang tidak ada pada input:

- **Input:**

Klausa 1:

$Zumpus(Wren, False) \vee Transparan(Wren, True)$

Klausa 2:

8. $Jompus(x, False) \vee Zumpus(x, True)$

- **Output:**

Dibawah ini tugas yang perlu Anda lakukan:

Klausa 1:

$Zumpus(Wren, False) \vee Transparan(Wren, True)$

Klausa 2:

8. $Jompus(x, False) \vee Zumpus(x, True) \wedge Jompus(x, False) \vee Transparan(x, True)$

Langkah 1: Cek Istilah Pelengkap/Bertentangan

Klausa yang Diberikan:

- **Klausa 1:** $Zumpus(Wren, False) \vee Transparan(Wren, True)$

- **Klausa 2:** $Jompus(x, False) \vee Zumpus(x, True) \wedge Jompus(x, False) \vee$

$Transparan(x, True)$

****Identifikasi Potensial Istilah Pelengkap:****

- $Zumpus(Wren, False)$ dalam Klausa 1 berpotensi bertentangan dengan $Zumpus(x, True)$ dalam Klausa 2. Instansiasikan x ke $Wren$ untuk memeriksa kontradiksi.

****Instansiasikan Klausa 2 dengan $x = Wren$:**

- Klausa 2 Asli: $Jompus(x, False) \vee Zumpus(x, True) \wedge Jompus(x, False) \vee Transparan(x, True)$
- Klausa 2 yang Diinstansiasikan: $Jompus(Wren, False) \vee Zumpus(Wren, True) \wedge Jompus(Wren, False) \vee Transparan(Wren, True)$

****Identifikasi Istilah Pelengkap Setelah Instansiasi:****

- $Zumpus(Wren, False)$ dalam Klausa 1 adalah pelengkap dari $Zumpus(Wren, True)$ dalam Klausa 2 yang diinstansiasikan (predikat sama, argumen sama, nilai boolean berlawanan).

**Langkah 2: Selesaikan Klausa**

- ****Proses Penyelesaian:****
- ****Aturan yang digunakan:**** ****Operator AND () - Istilah Pelengkap/Bertentangan Ditemukan dengan Sisa Istilah**** karena istilah pelengkap/bertentangan dalam kedua klausa 1 dan klausa 2 yang diinstansiasikan terhubung oleh "AND" dengan istilah lain.

$$A \wedge B, \neg B \vee C \Rightarrow A \wedge C$$

- ****Substitusikan istilah:****

$$\begin{aligned}
& Zumpus(Wren, False) \vee Transparan(Wren, True), Jompus(Wren, False) \\
& \vee Zumpus(Wren, True) \wedge Jompus(Wren, False) \vee Transparan(Wren, True) \\
& \Rightarrow Transparan(Wren, True) \vee Jompus(Wren, False)
\end{aligned}$$

- **Klausula Hasil:** $Transparan(Wren, True) \vee Jompus(Wren, False)$

Langkah 3: Pemeriksaan Cukup

- **Cek Kontradiksi:**

- Klausula hasil $Transparan(Wren, True) \vee Jompus(Wren, False)$ tidak menghasilkan kontradiksi. Penyidikan lebih lanjut diperlukan untuk menentukan kesimpulan akhir, jadi label cukup harus False.

Bentuk Akhir

Klausula Baru: $Transparan(Wren, True) \vee Jompus(Wren, False)$

Label Cukup: [False]

Akhir Blok

– **Penjelasan:**

Model salah menggunakan operator \wedge pada Klausula 2, padahal seharusnya menggunakan \vee . Hal ini menyebabkan proses resolusi menjadi salah karena klausula yang digunakan tidak sesuai dengan input yang diberikan.

Oleh karena itu, dilakukan perbaikan pada *prompt template* tersebut dengan menghilangkan deskripsi tugas seperti penghilangan operator \wedge (AND) pada aturan penyelesaian karena operator tersebut tidak diperlukan dalam proses resolusi pada dataset ProntoQA, serta penambahan sebuah contoh resolusi yang saling berkomplemen untuk membantu model dalam mengenali istilah pelengkap/bertentangan. Berikut adalah versi kedua dari *prompt template* yang telah dimodifikasi.

1 ---

2

```

3 Tugas: Diberikan dua klausa, tugas Anda adalah:
4
5 1. Cek Istilah yang saling Melengkapi / Bertentangan:
6   - Tentukan apakah suatu istilah dalam klausa 1 bertentangan dengan istilah dalam
     klausa 2.
7
8 Istilah Pelengkap/Bertentangan: Dua istilah bertentangan jika mereka mempunyai
   predikat dan argumen yang sama tetapi berbeda dalam polaritas (salah satu dinegasi)
   atau nilai boolean didalamnya (True vs. False).
9
10 Contoh:
11 1.  $\neg(P(x, \text{False}) \wedge \text{bertentangan dengan:})$ 
12   -  $\neg(\neg P(x, \text{False}) \wedge (\text{polaritas berlawanan, nilai boolean sama}).$ 
13   -  $\neg(P(x, \text{True}) \wedge (\text{polaritas sama, nilai boolean berlawanan}).$ 
14
15 2.  $\neg(\neg P(x, \text{False}) \wedge \text{bertentangan dengan:})$ 
16   -  $\neg(\neg P(x, \text{True}) \wedge (\text{polaritas sama, nilai boolean berlawanan}).$ 
17   -  $\neg(P(x, \text{False}) \wedge (\text{polaritas berlawanan, nilai boolean sama}).$ 
18
19 Jika istilah bertentangan ditemukan: Selesaikan klausa tersebut menggunakan aturan
   di bawah ini.
20
21 2. Penyelesaian Klausa:
22
23 Aturan Penyelesaian:
24 Operator OR ( ) atau ( $\vee$ ):
25 - Istilah Pelengkap/Bertentangan Ditemukan:  $\neg(A \vee B), \neg, (\neg A \vee C)$ 
      $\rightarrow (B \vee C)$ 
26
27 3. Pemeriksaan Cukup Setelah Inferensi:
28 - Jika kontradiksi ditemukan:
29   - Simpulkan dengan "Label Cukup: [True]" dan "Klausa Baru: {Kontradiksi}".
30 - Jika tidak ditemukan kontradiksi:
31   - Simpulkan dengan "Label Cukup: [False]".
32
33 Hasil keluaran: Simpulkan label cukup dan klausa baru dalam format:
34
35 Bentuk Akhir
36 Klausa Baru: {new_clause}
37 Label Cukup: [True/False]
38 Akhir Blok
39
40 ---
41
42 Contoh:
43
44 Klausa 1: Tanah(Stella, True)
45 Klausa 2: Numpus(x, False)  $\vee$  Tanah(x, False)
46
47 Mari kita uraikan proses penyelesaian untuk klausa yang diberikan:

```

```

48
49 ### **Langkah 1: Cek Istilah Pelengkap/Bertentangan**
50
51 **Klausula yang Diberikan:**
52 - **Klausula 1:**  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True}) \wedge)$ 
53 - **Klausula 2:**  $\neg (\text{Numpus}(x, \text{False}) \vee \text{Tanah}(x, \text{False}) \wedge)$ 
54
55 **Identifikasi Potensial Istilah Pelengkap:**
56 -  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True}) \wedge)$  dari Klausula 1 berpotensi bertentangan dengan  $\neg (\text{Tanah}(x,$ 
    False)  $\wedge)$  dalam Klausula 2. Instansiasi dari  $\neg (x \wedge)$  ke  $\neg (\text{Stella} \wedge)$  diperlukan untuk
    memeriksa kontradiksi.
57
58 **Instansiasikan Klausula 2 dengan  $\neg (x = \text{Stella} \wedge)$ :\neg (\text{Numpus}(x, \text{False}) \vee \text{Tanah}(x, \text{False}) \wedge)
60 - Klausula 2 yang Diinstansiasikan:  $\neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \vee \text{Tanah}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge)$ 
61
62 **Identifikasi Istilah Pelengkap Setelah Instansiasi:**
63 -  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True}) \wedge)$  dalam Klausula 1 adalah pelengkap dari  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella},$ 
    False)  $\wedge)$  dalam Klausula 2 yang diinstansiasikan (predikat sama, argumen sama, nilai
    boolean berlawanan).
64
65 ### **Langkah 2: Selesaikan Klausula**
66
67 - **Proses Penyelesaian:**
68 - **Aturan yang digunakan:** **Operator OR (  $\vee$  ) - Istilah Pelengkap/Bertentangan
    Ditemukan** karena istilah pelengkap/bertentangan dalam kedua klausula 1 dan klausula 2
    yang diinstansiasikan terhubung oleh "OR" dengan istilah lain.
69  $\neg [$ 
70  $(A \vee B), \neg, (\neg A \vee C) \rightarrow (B \vee C)$ 
71  $\neg]$ 
72 - **Substitusikan istilah:**
73  $\neg [$ 
74  $(\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True})), \neg, (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{False}) \vee \text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False})) \rightarrow$ 
     $\neg]$ 
75  $\neg]$ 
76 - **Klausula Hasil:**  $\neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge)$ 
77
78 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Cukup**
79
80 - **Cek Kontradiksi:**
81 - Klausula hasil  $\neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge)$  tidak menghasilkan kontradiksi. Penyidikan
    lebih lanjut diperlukan untuk menentukan kesimpulan akhir, jadi label cukup harus
    False.
82
83 ***Bentuk Akhir***
84 Klausula Baru:  $\{ \neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge) \}$ 
85 Label Cukup: [False]
86 ***Akhir Blok***
87
88 ---

```

```

89
90 Contoh:
91
92 Klausula 1: Vumpus(Wren, True)
93 Klausula 2: Vumpus(Wren, False)
94
95 Mari kita uraikan proses penyelesaian untuk klausula yang diberikan:
96
97 ### **Langkah 1: Cek Istilah Pelengkap/Bertentangan**
98
99 **Klausula yang Diberikan:**
100 - **Klausula 1:** \ ( Vumpus(Wren, True) \)
101 - **Klausula 2:** \ ( Vumpus(Wren, False) \)
102
103 **Identifikasi Istilah Pelengkap/Bertentangan:**
104 - \ ( Vumpus(Wren, True) \) dalam Klausula 1 secara langsung bertentangan dengan \ (
    Vumpus(Wren, False) \) dalam Klausula 2 (predikat dan argumen sama, tetapi nilai boolean
    berlawanan).
105
106 ### **Langkah 2: Selesaikan Klausula**
107
108 - **Proses Penyelesaian:**
109 - **Aturan Digunakan:** **Kontradiksi Ditemukan** karena kedua istilah bertentangan
    dan tidak ada istilah lain yang hadir.
110 - \ ( Vumpus(Wren, True) \) bertentangan dengan \ ( Vumpus(Wren, False) \),
    menyebabkan kontradiksi langsung.
111
112 - **Klausula Hasil:** Kontradiksi.
113
114 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Cukup**
115
116 - **Cek Kontradiksi:**
117 - Penyelesaian menghasilkan kontradiksi, sehingga cukup tercapai.
118
119 ***Bentuk Akhir***
120 Klausula Baru: {Kontradiksi}
121 Label Cukup: [True]
122 ***Akhir Blok***
123
124 ---
125
126 Contoh:
127
128 Klausula 1: \ ( Vumpus(Wren, True) \)
129 Klausula 2: Vumpus(Wren, False)
130
131 Mari kita uraikan proses penyelesaian untuk klausula yang diberikan:
132
133 ### **Langkah 1: Cek Istilah Pelengkap/Bertentangan**
134

```

```

135 **Klausula yang Diberikan:**
136 - **Klausula 1:** \(\text{Vumpus}(\text{Wren}, \text{True})\)
137 - **Klausula 2:** \(\text{Vumpus}(\text{Wren}, \text{False})\)
138
139 **Identifikasi Istilah Pelengkap/Bertentangan:**
140 - \(\text{Vumpus}(\text{Wren}, \text{True})\) dalam Klausula 1 secara langsung bertentangan dengan \(\text{Vumpus}(\text{Wren}, \text{False})\) dalam Klausula 2 (predikat dan argumen sama, tetapi nilai boolean berlawanan).
141
142 ### **Langkah 2: Selesaikan Klausula**
143
144 - **Proses Penyelesaian:**
145 - **Aturan Digunakan:** **Kontradiksi Ditemukan** karena kedua istilah bertentangan dan tidak ada istilah lain yang hadir.
146 - \(\text{Vumpus}(\text{Wren}, \text{True})\) bertentangan dengan \(\text{Vumpus}(\text{Wren}, \text{False})\), menyebabkan kontradiksi langsung.
147
148 - **Klausula Hasil:** Kontradiksi.
149
150 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Cukup**
151
152 - **Cek Kontradiksi:**
153 - Penyelesaian menghasilkan kontradiksi, sehingga cukup tercapai.
154
155 ***Bentuk Akhir***
156 Klausula Baru: {Kontradiksi}
157 Label Cukup: [True]
158 ***Akhir Blok***
159
160 ---
161
162 Contoh:
163
164 Klausula 1: \(\text{Kecil}(\text{Alex}, \text{False})\)
165 Klausula 2: \(\left(\text{Vumpus}(x, \text{False}) \vee \text{Numpus}(x, \text{True})\right)\)
166
167 Mari kita uraikan proses penyelesaian untuk klausula yang diberikan:
168
169 ### **Langkah 1: Cek Istilah Pelengkap/Bertentangan**
170
171 **Klausula yang Diberikan:**
172 - **Klausula 1:** \(\text{Kecil}(\text{Alex}, \text{False})\)
173 - **Klausula 2:** \(\left(\text{Vumpus}(x, \text{False}) \vee \text{Numpus}(x, \text{True})\right)\)
174
175 **Identifikasi Potensial Istilah Pelengkap:**
176 - Tidak ada kecocokan predikat antara \(\text{Kecil}(\text{Alex}, \text{False})\) dalam Klausula 1 dan istilah dalam Klausula 2. Klausula 2 melibatkan predikat \(\text{Vumpus}\) dan \(\text{Numpus}\), sedangkan Klausula 1 melibatkan \(\text{Kecil}\). Oleh karena itu, tidak ada istilah pelengkap atau bertentangan yang ditemukan.
177

```

```

178 ### **Langkah 2: Selesaikan Klausa**
179
180 - **Proses Penyelesaian:**
181   - **Tidak Ada Istilah Pelengkap atau Bertentangan Ditemukan:** Tidak ada istilah
      dalam Klausa 1 yang bertentangan atau melengkapi istilah dalam Klausa 2 karena
      predikat yang berbeda. Ini menghasilkan tidak ada perubahan melalui penyelesaian
      karena tidak ada dasar untuk menggabungkan atau memodifikasi klausa.
182
183 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Cukup**
184
185 - **Cek Kontradiksi:**
186   - Karena tidak ada istilah yang pelengkap atau bertentangan dan tidak ada
      penyelesaian yang dapat diterapkan, tidak ada kontradiksi. Penyidikan lebih lanjut
      diperlukan untuk mengevaluasi nilai kebenaran klausa, jadi label cukup harus False.
187
188 ***Bentuk Akhir***
189 Label Cukup: [False]
190 ***Akhir Blok***
191
192 ---
193
194 Silakan simpulkan informasi tersebut dengan format berikut. Ubah placeholder sesuai
      dengan kesimpulan:
195
196 ***Bentuk Akhir***
197 Klausa Baru: {placeholder_for_new_clause}
198 Label Cukup: [placeholder_for_sufficiency_label]
199 ***Akhir Blok***
200
201 ---
202
203 **Dibawah ini tugas yang perlu Anda lakukan:**
204
205 Klausa 1:
206 [[SOS]]
207 Klausa 2:
208 [[SELECTED-CLAUSE]]
209
210 Mari kita uraikan proses penyelesaian untuk klausa yang diberikan:

```

Kode 4.7: *Prompt template* dengan penghilangan perintah operator AND dan tambahan contoh

Hasil dari *prompt template* versi kedua ini sudah memperbaiki beberapa masalah yang ada pada versi pertama, seperti model dapat mengenali istilah pelengkap/bertentangan dengan baik dan tidak menggunakan operator \wedge (AND) yang tidak perlu digunakan.

Deskripsi tugas yang menjelaskan tentang penggunaan \neg dihilangkan agar tidak membingungkan model. Berikut adalah versi ketiga dari *prompt template* yang telah diperbaiki.


```

1 ---
2
3 Tugas: Diberikan dua clause, tugas Anda adalah:
4
5 1. Cek literal dalam clause yang saling komplemen:
6     - Tentukan apakah suatu literal dalam clause 1 merupakan komplemen dengan literal
        dalam clause 2.
7
8 Literal yang saling komplemen: Dua literal saling komplemen jika mereka mempunyai
    predikat dan argumen yang sama tetapi berbeda nilai boolean di dalamnya (True vs.
    False).
9
10 Contoh:
11 1.  $\neg(P(x, \text{False}))$  saling komplemen dengan  $P(x, \text{True})$ .
12
13 2.  $P(x, \text{True})$  saling komplemen dengan  $\neg(P(x, \text{False}))$ .
14
15 Jika literal yang saling komplemen ditemukan: terapkan resolusi menggunakan aturan
    di bawah ini.
16
17 2. Resolusi:
18
19 Aturan Resolusi:
20 - Literal yang saling komplemen ditemukan:  $\neg(P(x, \text{True}) \vee B), \neg(P(x, \text{False}) \vee C) \rightarrow (B \vee C)$  atau  $\neg(P(x, \text{False}) \vee B), \neg(P(x, \text{True}) \vee C) \rightarrow (B \vee C)$ 
21
22 3. Pemeriksaan Setelah Resolusi:
23 - Jika kontradiksi ditemukan:
24     - Simpulkan dengan "Label Cukup: [True]" dan "Clause Baru: {Kontradiksi}".
25 - Jika tidak ditemukan kontradiksi:
26     - Simpulkan dengan "Label Cukup: [False]".
27
28 Hasil keluaran: Simpulkan label cukup dan clause baru dalam format:
29
30 Bentuk Akhir
31 Clause Baru: {new_clause}
32 Label Cukup: [True/False]
33 Akhir Blok
34
35 ---
36
37 Contoh:
38
39 Clause 1: Tanah(Stella, True)
40 Clause 2: Numpus(x, False)  $\vee$  Tanah(x, False)
41
42 Mari kita lakukan proses resolusi untuk kedua clause yang diberikan:
43
44 Langkah 1: Cek Literal yang Saling Komplemen

```

```

45
46 **Clause yang Diberikan:**
47 - **Clause 1:**  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True}) \wedge)$ 
48 - **Clause 2:**  $\neg (\text{Numpus}(x, \text{False}) \vee \text{Tanah}(x, \text{False}) \wedge)$ 
49
50 **Identifikasi Literal yang Saling Komplemen :**
51 -  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True}) \wedge)$  pada Clause 1 berpotensi saling komplemen dengan  $\neg (\text{Tanah}(x, \text{False}) \wedge)$  pada Clause 2. Instansiasi dari  $\neg (x \wedge)$  ke  $\neg (\text{Stella} \wedge)$  diperlukan untuk memastikan bahwa kedua literal saling komplemen.
52
53 **Instansiasikan Clause 2 dengan  $\neg (x = \text{Stella} \wedge)$ :**
54 - Clause 2 Asli:  $\neg (\text{Numpus}(x, \text{False}) \vee \text{Tanah}(x, \text{False}) \wedge)$ 
55 - Clause 2 setelah Diinstansiasi:  $\neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \vee \text{Tanah}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge)$ 
56
57 **Identifikasi Literal yang Saling Komplemen Setelah Instansiasi:**
58 -  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True}) \wedge)$  dalam Clause 1 adalah komplemen dari  $\neg (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge)$  dalam Clause 2 setelah diinstansiasi (predikat sama, argumen sama, nilai boolean berlawanan).
59
60 ### **Langkah 2: Terapkan Resolusi pada Kedua Clause**
61
62 - **Proses Resolusi:**
63 - **Aturan Resolusi:** terdapat literal yang saling komplemen ditemukan pada Clause 1 dan Clause 2 setelah diinstansiasi yang terhubung oleh "OR" dengan literal lainnya, maka formula resolusi di bawah ini dapat dilakukan.
64   
$$\neg [$$

65   
$$\neg (P(x, \text{True}) \vee B), \neg, (P(x, \text{False}) \vee C) \rightarrow (B \vee C) \wedge]$$

66   
$$\neg]$$

67 - **Instansiasi Literal:** Instansiasikan literal dari Clause 1 dan Clause 2 kedalam formula yang sudah diberikan
68   
$$\neg [$$

69   
$$(\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{True})), \neg, (\text{Tanah}(\text{Stella}, \text{False}) \vee \text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False})) \rightarrow \text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge]$$

70   
$$\neg]$$

71 - **Clause Hasil:**  $\neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge)$ 
72
73 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Setelah Resolusi**
74
75 - **Cek Kontradiksi:**
76 - Clause hasil  $\neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge)$  tidak menghasilkan kontradiksi. Proses resolusi lebih lanjut diperlukan untuk menentukan kesimpulan akhir, sehingga Label Cukup bernilai False.
77
78 ***Bentuk Akhir***
79 Clause Baru:  $\{ \neg (\text{Numpus}(\text{Stella}, \text{False}) \wedge) \}$ 
80 Label Cukup: [False]
81 ***Akhir Blok***
82
83 ---
84

```

```

85 Contoh:
86
87 Clause 1: Vumpus(Wren, True)
88 Clause 2: Vumpus(Wren, False)
89
90 Mari kita uraikan proses resolusi untuk clause yang diberikan:
91
92 ### **Langkah 1: Cek Literal yang Saling Komplemen**
93
94 **Clause yang Diberikan:**
95 - **Clause 1:** \ ( Vumpus(Wren, True) \ )
96 - **Clause 2:** \ ( Vumpus(Wren, False) \ )
97
98 **Identifikasi Literal yang Saling Komplemen :**
99 - \ ( Vumpus(Wren, True) \ ) dalam Clause 1 adalah komplemen dengan \ ( Vumpus(Wren,
      False) \ ) dalam Clause 2 (predikat dan argumen sama, tetapi nilai boolean berlawanan).
100
101 ### **Langkah 2: Terapkan Resolusi pada Kedua Clause**
102
103 - **Proses Resolusi:**
104   - **Aturan Digunakan:** **Kontradiksi Ditemukan** karena kedua istilah saling
      komplemen dan tidak ada istilah lain yang hadir.
105     - \ ( Vumpus(Wren, True) \ ) saling komplemen dengan \ ( Vumpus(Wren, False) \ ),
      menyebabkan kontradiksi langsung.
106
107   - **Clause Hasil:** Kontradiksi.
108
109 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Setelah Resolusi**
110
111 - **Cek Kontradiksi:**
112   - Resolusi menghasilkan kontradiksi, sehingga cukup tercapai.
113
114 ***Bentuk Akhir***
115 Clause Baru: {Kontradiksi}
116 Label Cukup: [True]
117 ***Akhir Blok***
118
119 ---
120
121 Contoh:
122
123 Clause 1: \ ( Jompus(Alex, False) \lor TembusPandang(x, True) \ )
124 Clause 2: \ ( Dumpus(x, False) \lor Jompus(x, True) \ )
125
126 Mari kita uraikan proses resolusi untuk clause yang diberikan:
127
128 ### **Langkah 1: Cek Literal yang Saling Komplemen**
129
130 **Clause yang Diberikan:**
131 - **Clause 1:** \ ( Jompus(Alex, False) \lor TembusPandang(x, True) \ )

```

```

132 - **Clause 2:**  $\neg$  ( Dumpus(x, False)  $\vee$  Jompus(x, True)  $\neg$  )
133
134 ### **Langkah 1: Cek Literal yang Saling Komplemen**
135 -  $\neg$  ( Jompus(Alex, False)  $\neg$  ) pada Clause 1 berpotensi saling komplemen dengan  $\neg$  (
      Jompus(x, True)  $\neg$  ) pada Clause 2. Instansiasi dari  $\neg$  ( x  $\neg$  ) ke  $\neg$  ( Alex  $\neg$  ) diperlukan
      untuk memastikan bahwa kedua literal saling komplemen.
136
137 **Instansiasikan Clause 2 dengan  $\neg$  ( x = Alex  $\neg$  ):**
138 - Clause 2 Asli:  $\neg$  ( Dumpus(x, False)  $\vee$  Jompus(x, True)  $\neg$  )
139 - Clause 2 setelah Diinstansiasi:  $\neg$  ( Dumpus(Alex, False)  $\vee$  Jompus(Alex, True)  $\neg$  )
140
141 **Identifikasi Literal yang Saling Komplemen Setelah Instansiasi:**
142 -  $\neg$  ( Jompus(Alex, False)  $\neg$  ) dalam Clause 1 adalah komplemen dari  $\neg$  ( Jompus(Alex, True)
       $\neg$  ) dalam Clause 2 setelah diinstansiasi (predikat sama, argumen sama, nilai boolean
      berlawanan).
143
144 ### **Langkah 2: Terapkan Resolusi pada Kedua Clause**
145
146 - **Proses Resolusi:**
147 - **Aturan Resolusi:** terdapat literal yang saling komplemen ditemukan pada Clause 1
      dan Clause 2 setelah diinstansiasi yang terhubung oleh "OR" dengan literal lainnya,
      maka formula resolusi di bawah ini dapat dilakukan.
148    $\neg$  [
149      $\neg$  ( (P(x, False)  $\vee$  B),  $\neg$ , (P(x, True)  $\vee$  C)  $\rightarrow$  (B  $\vee$  C)  $\neg$  )
150   ]
151 - **Instansiasi Literal:** Instansiasikan literal dari Clause 1 dan Clause 2 kedalam
      formula yang sudah diberikan
152    $\neg$  [
153     (Jompus(Alex, False)  $\vee$  TembusPandang(x, True)),  $\neg$ , (Jompus(Alex, True)  $\vee$ 
      Dumpus(Alex, False))  $\rightarrow$  (TembusPandang(x, True)  $\vee$ 
      Dumpus(Alex, False))
154   ]
155 - **Clause Hasil:**  $\neg$  ( TembusPandang(x, True)  $\vee$  Dumpus(Alex, False)  $\neg$  )
156
157 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Setelah Resolusi**
158
159 - **Cek Kontradiksi:**
160 - Clause hasil  $\neg$  ( TembusPandang(Alex, True)  $\vee$  Dumpus(Alex, False)  $\neg$  ) tidak
      menghasilkan kontradiksi. Proses resolusi lebih lanjut diperlukan untuk menentukan
      kesimpulan akhir, sehingga Label Cukup bernilai False.
161
162 ***Bentuk Akhir***
163 Clause Baru:  $\neg$  ( TembusPandang(Alex, True)  $\vee$  Dumpus(Alex, False)  $\neg$  )
164 Label Cukup: [False]
165 ***Akhir Blok***
166
167 ---
168
169 Contoh:
170

```

```

171 Clause 1: Kecil(Alex, False)
172 Clause 2: \((Vumpus(x, False) \lor Numpus(x, True))\
173
174 Mari kita uraikan proses resolusi untuk clause yang diberikan:
175
176 ### **Langkah 1: Cek Literal yang Saling Komplemen**
177
178 **Clause yang Diberikan:**
179 - **Clause 1:** \(( Kecil(Alex, False) \)
180 - **Clause 2:** \(( Vumpus(x, False) \lor Numpus(x, True) \)
181
182 **Identifikasi Literal yang Saling Komplemen : **
183 - Tidak ada istilah yang sama diantara 2 clause tersebut, sehingga tidak ada istilah
    yang saling komplemen ditemukan (predikat berbeda)
184
185 ### **Langkah 2: Terapkan Resolusi pada Kedua Clause**
186
187 - **Proses Resolusi:**
188 - **Tidak Ada Istilah Saling Komplemen Ditemukan:** Tidak ada istilah dalam Clause 1
    yang saling komplemen dengan istilah dalam Clause 2 karena predikat yang berbeda.
    Resolusi tidak dapat dilakukan karena tidak ada dasar untuk menggabungkan antara 2
    istilah yang berbeda
189
190 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Setelah Resolusi**
191
192 - **Cek Kontradiksi:**
193 - Tidak ada istilah yang saling komplemen dan tidak ada resolusi yang dapat
    diterapkan, maka tidak ada kontradiksi. Proses resolusi lebih lanjut diperlukan untuk
    mengevaluasi nilai kebenaran clause, jadi label cukup harus False dan tidak perlu
    menambahkan nilai clause baru.
194
195 ***Bentuk Akhir***
196 Label Cukup: [False]
197 ***Akhir Blok***
198
199 ---
200
201 Contoh:
202
203 Clause 1:
204 \(( Impus(Wren, False) \)
205 Clause 2:
206 (Tumpus(x, False) \lor Impus(x, True))
207
208 Mari kita uraikan proses resolusi untuk clause yang diberikan:
209
210 ### **Langkah 1: Cek Literal yang Saling Komplemen**
211 **Clause yang Diberikan:**
212 - **Clause 1:** \(( Impus(Wren, False) \)
213 - **Clause 2:** \(( Tumpus(x, False) \lor Impus(x, True) \)

```

```

214
215 **Identifikasi Literal yang Saling Komplemen:**
216 -  $\neg(\text{Impus}(\text{Wren}, \text{False}) \wedge)$  dalam Clause 1 berpotensi saling komplemen dengan  $\neg(\text{Impus}(\text{x}, \text{True}) \wedge)$  dalam Clause 2. Instansiasi dari  $\neg(\text{x} \wedge)$  ke  $\neg(\text{Wren} \wedge)$  diperlukan
    untuk memastikan bahwa kedua literal saling komplemen.
217
218 **Instansiasikan Clause 2 dengan  $\neg(\text{x} = \text{Wren} \wedge)$ :**
219 - Clause 2 Asli:  $\neg(\text{Tumpus}(\text{x}, \text{False}) \vee \text{Impus}(\text{x}, \text{True}) \wedge)$ 
220 - Clause 2 setelah Diinstansiasi:  $\neg(\text{Tumpus}(\text{Wren}, \text{False}) \vee \text{Impus}(\text{Wren}, \text{True}) \wedge)$ 
221
222 **Identifikasi Literal yang Saling Komplemen Setelah Instansiasi:**
223 -  $\neg(\text{Impus}(\text{Wren}, \text{False}) \wedge)$  dalam Clause 1 adalah komplemen dari  $\neg(\text{Impus}(\text{Wren}, \text{True}) \wedge)$ 
    dalam Clause 2 setelah diinstansiasi (predikat sama, argumen sama, nilai boolean
    berlawanan).
224
225 ### **Langkah 2: Terapkan Resolusi pada Kedua Clause**
226 - **Proses Resolusi:**
227 - **Aturan Resolusi:** terdapat literal yang saling komplemen ditemukan pada Clause 1
    dan Clause 2 setelah diinstansiasi yang terhubung oleh "OR" dengan literal lainnya,
    maka formula resolusi di bawah ini dapat dilakukan.
228      $\neg[$ 
229      $\neg(\text{P}(\text{x}, \text{False}) \vee \text{B}), \neg, (\text{P}(\text{x}, \text{True}) \vee \text{C}) \rightarrow (\text{B} \vee \text{C}) \wedge$ 
230      $\neg]$ 
231 - **Instansiasi Literal:** Instansiasikan literal dari Clause 1 dan Clause 2 kedalam
    formula yang sudah diberikan
232      $\neg[$ 
233      $(\text{Impus}(\text{Wren}, \text{False})), \neg, (\text{Impus}(\text{Wren}, \text{True}) \vee \text{Tumpus}(\text{Wren}, \text{False})) \rightarrow$ 
     $\neg]$ 
234      $\rightarrow (\text{Tumpus}(\text{Wren}, \text{False}))$ 
235 - **Clause Hasil:**  $\neg(\text{Tumpus}(\text{Wren}, \text{False}) \wedge)$ 
236
237 ### **Langkah 3: Pemeriksaan Setelah Resolusi**
238 - **Cek Kontradiksi:**
239 - Clause hasil  $\neg(\text{Tumpus}(\text{Wren}, \text{False}) \wedge)$  tidak menghasilkan kontradiksi. Proses
    resolusi lebih lanjut diperlukan untuk menentukan kesimpulan akhir, sehingga Label
    Cukup bernilai False.
240
241 ***Bentuk Akhir***
242 Clause Baru:  $\{\neg(\text{Tumpus}(\text{Wren}, \text{False}) \wedge)\}$ 
243 Label Cukup: [False]
244 ***Akhir Blok***
245
246 ---
247
248 Silakan simpulkan informasi tersebut dengan format berikut. Ubah placeholder sesuai
    dengan kesimpulan:
249
250 ***Bentuk Akhir***
251 Clause Baru: {placeholder_for_new_clause}
252 Label Cukup: [placeholder_for_sufficiency_label]

```

```

253 ***Akhir Blok***
254
255 ---
256
257 **Dibawah ini tugas yang perlu Anda lakukan:**
258
259 Clause 1:
260 [[SOS]]
261 Clause 2:
262 [[SELECTED-CLAUSE]]
263
264 Mari kita uraikan proses resolusi untuk clause yang diberikan:

```

Kode 4.8: *Prompt template* dengan tambahan contoh dan mengganti operator NEG dengan $P(x, \text{NilaiKebalikan})$

Walaupun sudah diperbaiki, masih terdapat beberapa aturan yang tidak dapat diterjemahkan dengan baik oleh model karena model seperti Qwen2.5 7B-Instruct-GGUF yang digunakan memiliki keterbatasan dalam memahami logika yang kompleks atau secara inheren tidak mempunyai *knowledge* dalam melakukan proses resolusi logika. Contoh dari kesalahan tersebut:

- **Input:**

Clause 1:

$Zumpus(Fae, False)$

Clause 2:

$Zumpus(Fae, True)$

- **Output:**

****Dibawah ini tugas yang perlu Anda lakukan:****

Clause 1:

$Zumpus(Fae, False)$

Clause 2:

$Zumpus(Fae, True)$

Mari kita uraikan proses resolusi untuk clause yang diberikan:

****Langkah 1: Cek Literal yang Saling Komplemen****

****Clause yang Diberikan:****

- ****Clause 1:**** $Zumpus(Fae, False)$
- ****Clause 2:**** $Zumpus(Fae, True)$

****Identifikasi Literal yang Saling Komplemen:****

- $Zumpus(Fae, False)$ dalam Clause 1 berpotensi saling komplemen dengan $Zumpus(Fae, True)$ dalam Clause 2 (predikat dan argumen sama, tetapi nilai boolean berlawanan).

**Langkah 2: Terapkan Resolusi pada Kedua Clause**

- ****Proses Resolusi:****
- ****Aturan Resolusi:**** terdapat literal yang saling komplemen ditemukan pada Clause 1 dan Clause 2 yang terhubung oleh "OR" dengan literal lainnya, maka formula resolusi di bawah ini dapat dilakukan.

$$P(x, False) \vee B, P(x, True) \vee C \Rightarrow B \vee C$$

- ****Instansiasi Literal:**** Instansiasikan literal dari Clause 1 dan Clause 2 kedalam formula yang sudah diberikan

$$Zumpus(Fae, False), Zumpus(Fae, True) \Rightarrow B \vee C$$

- ****Clause Hasil:**** $B \vee C$

**Langkah 3: Pemeriksaan Setelah Resolusi**

- ****Cek Kontradiksi:****
- Clause hasil $B \vee C$ tidak menghasilkan kontradiksi. Proses resolusi lebih lanjut diperlukan untuk menentukan kesimpulan akhir, sehingga Label Cukup bernilai False.

*****Bentuk Akhir*****

Clause Baru: $B \vee C$

Label Cukup: [False]

Akhir Blok

- **Penjelasan:** Model gagal menemukan resolusi karena tidak mengenali bahwa *Zumpus(Fae,False)* dan *Zumpus(Fae,True)* adalah istilah yang saling komplemen, tetapi terlalu fokus pada format penulisan output sehingga mengabaikan proses resolusi yang sebenarnya.

Namun, *prompt template* 4.8 dianggap sudah cukup baik untuk digunakan dalam eksperimen.

4.4 Hasil Eksperimen dan Analisis

Bagian ini merupakan hasil akhir dari eksperimen yang telah dilakukan pada penelitian ini. Hasil akhir ini berupa tabel yang menunjukkan persentase keberhasilan dari masing-masing model dalam menjawab pertanyaan berdasarkan dua metode yang digunakan, yaitu *Naive Prompting* dan *Aristotle Framework*. *Prompt* yang digunakan pada eksperimen ini telah melalui proses *Prompt Refining* yang dijelaskan pada bagian sebelumnya, yaitu versi final dari masing-masing *prompt*.

4.4.1 Naive Prompting

Pada skenario ini, model diminta menjawab langsung "Benar" atau "Salah" berdasarkan premis. Eksperimen dilakukan dengan dua variasi: meminta jawaban dulu baru penjelasan (*After Answer*) dan sebaliknya (*Before Answer*) yang menyerupai teknik *Chain-of-Thought*.

Tabel 4.1: Hasil Eksperimen dengan *Naive Prompting*

| | Qwen2.5 7B-Instruct-GGUF | SEALION v3- Llama-8B-GGUF | SahabatAI v1- Llama-8B-GGUF |
|------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| <i>Naive Prompting</i> | | | |
| After Answer | 51.40% | 56.20% | 61.40% |
| Before Answer | 81.00% | 76.80% | 67.80% |

Analisis:

1. **Keunggulan Qwen pada CoT:** Qwen2.5 menunjukkan lonjakan performa tertinggi (81%) ketika menggunakan metode *Before Answer*. Ini konsisten dengan literatur yang menyatakan bahwa model yang dilatih pada korpus kode/matematika besar (seperti

Qwen) memiliki kemampuan *Chain-of-Thought* yang kuat (Wei et al. (2022)).

2. **Kekuatan Semantik Sahabat-AI:** Pada mode *After Answer* (yang lebih mengandalkan intuisi bahasa langsung), Sahabat-AI unggul (61.4%). Ini mengindikasikan bahwa model ini memiliki pemahaman Bahasa Indonesia yang lebih natural, sehingga intuisi ”tebakan”-nya lebih akurat dibandingkan model global.

4.4.2 Aristotle

Tabel berikut menunjukkan hasil ketika penalaran dipindahkan dari ”otak” model ke *pipeline* simbolik.

Tabel 4.2: Hasil Eksperimen dengan *Aristotle Framework*

| | Qwen2.5 7B-Instruct-GGUF | SEALION v3-Llama-8B-GGUF | SahabatAI v1-Llama-8B-GGUF |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Aristotle | 14.00% | 81.60% | 61.20% |

Analisis: Ada beberapa temuan menarik dalam eksperimen ini:

- **Anomali Qwen (14.00%):** Meskipun unggul di *Naive Prompting*, Qwen gagal total dalam *framework* ini. Analisis pada *log* hasil resolusi menunjukkan kegagalan ini bukan pada logika, melainkan pada **kepatuhan format sintaks** (*parsability*). Qwen sering menghasilkan output yang terlalu mengikuti format pada tahap *search & resolve* tanpa mengandalkan kemampuan penalaran logikanya, sehingga jawaban pada tahap tersebut menjadi tidak valid.
- **Dominasi SEA-LION (81.60%):** SEA-LION v3 menunjukkan performa terbaik. Ini membuktikan hipotesis bahwa model regional yang dilatih dengan instruksi spesifik bahasa lokal (dan mungkin data *multilingual alignment* yang lebih baik) mampu menjadi ”Penerjemah Logika” yang lebih patuh pada tahapan-tahapan *framework* Aristotle pada dataset berbahasa Indonesia.
- **Stabilitas Sahabat-AI:** Sahabat-AI menunjukkan performa yang seimbang. Meskipun tidak setinggi SEA-LION, akurasi (61.20%) sebanding dengan performa *Naive*-nya, menunjukkan konsistensi pemahaman.

Temuan paling signifikan dalam penelitian ini adalah bahwa **SEA-LION v3 (8B)**, sebuah *language-adaptive pre-trained model* yang merepresentasikan model regional, mam-

pu mengalahkan *multilingual foundation model State-of-The-Art* (Qwen2.5 7B), yang merepresentasikan model global, dalam tugas yang terstruktur / sintaksis ini. Hal ini menunjukkan bahwa untuk aplikasi yang memerlukan integrasi dengan sistem simbolik (seperti database atau mesin logika) dalam Bahasa Indonesia, model yang melalui proses *Continued Pre-Training* (CPT) pada data regional jauh lebih andal. Model yang cenderung "terlalu kreatif" atau "terlalu cerewet" atau "terlalu patuh pada format", yang justru menjadi masalah jika diimplementasikan dalam sebuah pipeline simbolik.

Hasil eksperimen ini mengonfirmasi kelemahan utama sistem *framework translation-decomposition-search-resolve*, yaitu *error propagation*, jika terjadi kesalahan dalam salah satu tahap, maka tahap selanjutnya pasti salah juga. Dalam metode *Naive*, kesalahan model terdistribusi secara probabilistik. Namun dalam metode Aristotle, kesalahan pada tahap-tahap awal akan menjadi katastrofik untuk tahap-tahap selanjutnya. Lalu juga ada beberapa poin penting:

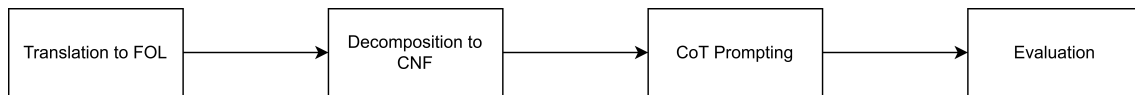
- Jika Model gagal dalam tahap *translation*, seperti "Setiap Wumpus adalah Jompus" menjadi $\forall x(Wumpus(x) \rightarrow Jompus(x))$ dengan sintaks yang tepat 100%, maka modul *search* tidak akan memiliki input yang valid, dan *data point* tersebut pasti salah.
- Kegagalan Qwen (14.00%) adalah bukti nyata bahwa **kecerdasan penalaran** (*Reasoning IQ*) berbeda dengan **kepatuhan instruksi format** (*Instruction Following*) pada bahasa spesifik. dalam hal ini bahasa Indonesia, yaitu model Qwen terlalu patuh terhadap format, sehingga tidak dapat *me-resolve* logika dengan benar.

BAB 5

STUDI ABLASI

Bab ini menyajikan studi ablasi terhadap kerangka kerja Aristotle untuk menilai pengaruh masing-masing modul / tahap terhadap akurasi resolusi jawaban pada dataset ProntoQA. Studi ini bertujuan menjawab: (1) sejauh mana penggantian modul resolusi oleh *Chain-of-Thought* (CoT) memengaruhi performa model SLM, (2) seberapa efektif *translation* premis ke FOL bila dilanjutkan oleh resolver simbolik (Prolog), dan (3) batasan pendekatan simbolik pada dataset yang lebih kompleks.

5.1 Eksperimen tanpa tahap / modul *Search and Resolve*



Gambar 5.1: Kerangka kerja Aristotle tanpa tahapan *Search and Resolve*

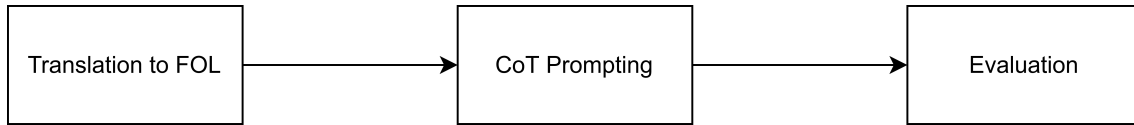
Eksperimen ini dilakukan untuk melihat perbandingan performa *framework Aristotle* dengan tahap akhir dan tanpa tahap akhir *Search and Resolve*, khususnya pada model Qwen yang diduga mengalami penurunan akurasi pada tahap akhir. Eksperimen ini dilakukan dengan menggantikan modul *Search and Resolve* dengan *Chain-of-Thought* (CoT) *prompting* untuk mengevaluasi *output* dari tahap sebelumnya.

Tabel 5.1: Hasil Eksperimen tanpa Tahap Akhir *Search & Resolve* dan Resolusi dengan *CoT Prompting*

| | Qwen2.5 7B- Instruct-GGUF | SEA-LION v3- Llama-8B-GGUF | SahabatAI v1- Llama-8B-GGUF |
|------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| FOL and CNF only | 56.80% | 62.60% | 56.20% |

Pada eksperimen ini seluruh proses resolusi akhir (yang semula dilakukan oleh modul *Search and Resolve*) digantikan oleh resolusi berbasis prompting CoT. Hasil menunjukkan penurunan akurasi yang cukup signifikan untuk ketiga model, terutama pada Qwen2.5 yang memperoleh 56.80%. Hal tersebut membuktikan bahwa model Qwen2.5 mengalami *parsability error* pada tahap *Search and Resolve*.

5.2 Eksperimen tanpa tahap / modul *Search and Resolve* dan *Decomposition to CNF*



Gambar 5.2: Kerangka kerja Aristotle hanya dengan tahapan *Translation to FOL*

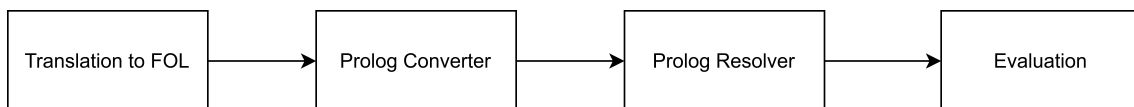
Eksperimen ini dilakukan untuk melihat perbandingan performa *framework Aristotle* dengan tahap akhir dan hanya dengan tahap *Translation to FOL*. Eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan modul *Translation to FOL* lalu dievaluasi *output* dari tahap tersebut dengan *Chain-of-Thought (CoT) prompting*

Tabel 5.2: Hasil Eksperimen hanya dengan Tahap Pertama *Translation to FOL* dan Resolusi dengan *CoT Prompting*

| | Qwen2.5 7B-Instruct-GGUF | SEA-LION v3-Llama-8B-GGUF | SahabatAI v1-Llama-8B-GGUF |
|----------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| FOL only | 77.40% | 84.60% | 58.60% |

Dengan hanya melakukan *Translation to FOL* lalu mengevaluasi hasil terjemahan menggunakan CoT, ketiga model menunjukkan peningkatan dibandingkan eksperimen yang melibatkan CNF. SEA-LION dan Qwen memperlihatkan performa yang jauh lebih baik (84.60% dan 77.40% masing-masing), sementara SahabatAI tetap lebih rendah (58.60%).

5.3 Eksperimen dengan tahap *Translation to FOL* dan dilanjutkan dengan Prolog



Gambar 5.3: Kerangka kerja Aristotle hanya dengan tahapan *Translation to FOL* dan dilanjutkan dengan bantuan prolog

Eksperimen ini bertujuan membandingkan kinerja *framework Aristotle* dengan pendekatan yang hanya melakukan *Translation to FOL*, dimana keluaran translasi tersebut kemudian diresolusikan menggunakan Prolog. Perlu dicatat bahwa Prolog tidak dapat langsung meresolusikan premis berbahasa alami dan pemrosesan yang hanya bergantung pada parsing berbasis regex tidaklah memadai karena premis-premis tersebut memiliki ragam bentuk kalimat.

Tabel 5.3: Hasil Eksperimen hanya dengan Tahap Pertama *Translation to FOL* dan Resolusi dengan Prolog

| | Qwen2.5 7B- Instruct-GGUF | SEA-LION v3- Llama-8B-GGUF | SahabatAI v1- Llama-8B-GGUF |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
| FOL with Prolog | 82.20% | 93.80% | 73.20% |

Kombinasi translasi ke FOL diikuti oleh resolver Prolog menghasilkan akurasi tertinggi secara keseluruhan, terutama untuk SEA-LION (93.80%) dan Qwen (82.20%). Ini menunjukkan bahwa ketika translasi ke FOL cukup akurat, resolver simbolik (Prolog) memberikan resolusi inferensi yang lebih deterministik dan stabil dibandingkan resolusi berbasis SLM via CoT.

5.4 Hasil Studi Ablasi

Bagian ini merangkum temuan utama dari ketiga konfigurasi eksperimen (FOL+CNF+CoT, FOL+CoT, dan FOL+Prolog). Tujuannya adalah menarik pelajaran praktis bagi desain sistem penalaran berbasis bahasa natural dan melihat *trade-off* antara fleksibilitas SLM dan keandalan resolver simbolik.

Tabel 5.4: Rata-rata akurasi dari ketiga model

| | Framework Aristotle | FOL and CNF only | FOL only | FOL with Prolog |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------------|
| Rata-rata Akurasi | 52.27% | 58.60% | 73.53% | 83.07% |

Dari ketiga hasil ablasi eksperimen tersebut, dapat disimpulkan bahwa dengan mentranslasikan premis-premis yang ada dari bahasa natural ke bahasa simbolik dalam bentuk FOL dan dilanjutkan dengan *Prolog resolver* mempunyai akurasi yang lebih tinggi untuk dataset ProntoQA ketimbang menggunakan SLM untuk melakukan resolusi, baik pada tahapan *Translation to FOL*, maupun pada tahapan *Decomposition into CNF*, akan tetapi hal ini akan sulit dilakukan pada dataset yang lebih kompleks dari ProntoQA, seperti dataset ProofWriter (Tafjord et al. (2021)) dan dataset LogicNLI (Tian et al. (2021)) karena dataset ProntoQA hanya membutuhkan jawaban *True* atau *False* saja dan premis-premis tersebut tidak memerlukan tahapan yang kompleks.

BAB 6

PENUTUP

Bab ini merangkum temuan-temuan utama yang diperoleh dari rangkaian eksperimen validasi kerangka kerja *Neuro-Symbolic Aristotle* pada dataset logika berbahasa Indonesia. Kesimpulan disusun untuk menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan pada Bab 1, diikuti dengan saran strategis untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi pada model *open-weight* dengan parameter rendah (7B-9B) yang dikuantisasi pada dataset berbahasa Indonesia, penelitian ini menghasilkan tiga kesimpulan utama yang menjawab pertanyaan penelitian / rumusan masalah pada 1.2 sesuai dengan urutannya:

1. **Mekanisme Penalaran Logis pada Bahasa Indonesia:** Penalaran logis pada konteks Bahasa Indonesia dalam penelitian ini dilakukan melalui pembuatan sumber daya data melalui adaptasi dari sumber data original dan eksekusi arsitektur *Neuro-Symbolic*. Proses ini diawali dengan adaptasi dataset, di mana dataset sintetis ProntoQA diterjemahkan ke dalam Bahasa Indonesia dengan mempertahankan struktur ontologi logika formal (fakta aturan, dan konjektur) namun menyesuaikan representasi linguistiknya. Selanjutnya, mekanisme penalaran logis dijalankan melalui empat tahapan sekuensial dalam *framework Aristotle*:
 - (a) **Logical Translation**, di mana SLM melakukan *translation* narasi alamiah Indonesia ke dalam sintaks *First-Order Logic* (FOL)
 - (b) **Decomposition**, yang mengonversi aturan dalam format FOL menjadi *Conjunctive Normal Form* (CNF)
 - (c) **Search Router**, yang memilah klausa berkomplemen untuk disiapkan pada tahap resolusi
 - (d) **Logical Resolver**, yang melakukan deduksi deterministik menggunakan prinsip resolusi untuk menghasilkan jawaban yang valid secara simbolik dan mengembalikan ke *Search Router* untuk mencari klausa baru
2. **Perbandingan Performa Antar Model Open-Weight:**

Terdapat perbedaan hasil yang signifikan antara model *multilingual foundation model*

dan model *language-adaptive pre-trained model*, serta *localized pre-trained model* dalam tugas resolusi dalam *framework Aristotle*:

- **SEA-LION v3 (*language-adaptive pre-trained model*)** mencatat performa terbaik dengan akurasi **81.60%**. Model ini menunjukkan keseimbangan terbaik antara pemahaman instruksi dalam Bahasa Indonesia dan kepatuhan terhadap format logika formal.
- **Sahabat-AI v1 (*localized pre-trained model*)** menunjukkan performa yang stabil (**61.20%**), mengungguli model *multilingual foundation model* dalam memahami nuansa semantik lokal, meskipun masih di bawah SEA-LION dalam konsistensi sintaks kompleks.
- **Qwen2.5 (*multilingual foundation model*)**, meskipun dikenal unggul dalam *code generation*, mengalami kegagalan katastrofik (**14.00%**) pada metode ini. Kegagalan ini disebabkan oleh ketidakmampuan model untuk menjawab sesuai penalaran logis ketika dipaksa mengikuti format ketat, menandakan bahwa kapabilitas *instruction following* tidak selalu berbanding lurus dengan kemampuan penalaran logis dalam konteks bahasa tertentu.

3. Efektivitas Aristotle vs Naive Prompting:

Penerapan *framework Aristotle* terbukti **meningkatkan reliabilitas** jika model memiliki kapabilitas *instruction following* yang kuat dalam bahasa target.

- Pada model **SEA-LION**, penggunaan *framework Aristotle* meningkatkan akurasi dari 76.80% (*Naive(CoT)*) menjadi **81.60%**. Ini membuktikan bahwa *framework Aristotle* dapat memanfaatkan kemampuan model untuk menghasilkan logika yang lebih tepat ketika diarahkan dengan benar.
- Sebaliknya, pada model **Qwen2.5**, performa justru turun drastis dari 81.00% (*Naive(CoT)*) menjadi 14.00% yang padahal jika kita telusuri pada 5.2 hasil tersebut tidak jauh berbeda, bahkan dengan prolog pada 5.3 hasil tersebut lebih meningkat dibanding *Naive(CoT)*. Hal ini menunjukkan bahwa model yang tidak dapat mematuhi atau terlalu patuh pada format *prompt template* tidak akan menghasilkan penalaran logis yang baik, berbeda dengan *Naive Prompting* yang lebih toleran terhadap kesalahan parsial.
- *Framework Aristotle* memiliki sifat *brittle*, kesalahan kecil pada satu tahap akan merusak keseluruhan hasil atau *error propagation*. Hal ini bisa dilihat pada penurunan performa Sahabat-AI dari 62.40% (*Naive(CoT)*) menjadi 61.20% ketika menggu-

nakan *framework Aristotle* karena kesalahan pada tahap awal (seperti *translation*) menyebabkan kegagalan pada tahap selanjutnya.

4. **Ablation Study:** Dari hasil analisis pada studi ablasi, dapat disimpulkan bahwa untuk dataset ProntoQA, dengan menggunakan modul *Translation to FOL* dari *framework Aristotle* dan dilanjutkan dengan bantuan Prolog menghasilkan akurasi yang paling baik, ketimbang *Naive Prompting* saja.
 - Pada studi ablasi eksperimen resolusi dengan modul / tahap *Translation to FOL* dan *Decomposition to CNF* saja, rata-rata akurasi model untuk kasus ini, yaitu 58.60%, lebih baik dari rata-rata akurasi model jika dilakukan secara penuh dengan tahap akhir *Search & Resolve*, yaitu 52.27%, karena model Qwen tidak terkena *parsability error*.
 - Eksperimen dengan menggunakan modul / tahap *Translation to FOL* dan dilanjutkan dengan *Prolog Converter & Resolver* menghasilkan rata-rata akurasi terbaik dari model-model yang digunakan, yaitu 83.07%, dibandingkan *Translation to FOL* lalu resolusi, yaitu 73.53%, juga lebih baik jika dibandingkan dengan akurasi dari *framework* secara keseluruhan untuk dataset ProntoQA, yaitu 52.27%.

6.2 Saran

Berdasarkan temuan dan keterbatasan penelitian ini, disarankan beberapa langkah pengembangan untuk penelitian selanjutnya:

1. **Penerapan Grammar-Constrained Decoding:** Untuk mengatasi masalah *parsability*, seperti yang dialami Qwen, penelitian lebih lanjut sebaiknya mengintegrasikan penegakan tata bahasa (seperti format GBNF¹) saat inferensi. Ini akan memaksa model, bahkan yang terkuantisasi, untuk menghasilkan output yang 100% valid secara sintaks, seperti mengikuti format FOL, sehingga evaluasi dapat berfokus murni pada logika semantik.
2. **Fine-Tuning Khusus (Instruction Tuning):** Alih-alih hanya mengandalkan *Prompt Engineering* (*few-shot*), disarankan untuk melakukan *Fine-Tuning* ringan, seperti LoRA (Hu et al. (2022)), pada model Sahabat-AI atau SEA-LION menggunakan dataset pasangan (Teks Indonesia ke bentuk FOL). Hal ini akan meningkatkan konsistensi model dalam menangani struktur kalimat kompleks Bahasa Indonesia.

¹<https://github.com/ggml-org/llama.cpp/blob/master/grammars/README.md>

3. **Peningkatan Kompleksitas Dataset:** Penelitian ini hanya terbatas pada dataset ProntoQA (logika deduktif sintetik). Pengujian selanjutnya perlu memperluas cakupan ke dataset, seperti menggunakan dataset yang dipakai pada penelitian Aristotle originalnya, yaitu ProofWriter (Tafjord et al. (2021)) dan LogicNLI (Tian et al. (2021)).
4. **Penggunaan Metode Lain:** Penelitian ini hanya membandingkan dua metode *reasoning* dalam menangani penalaran logika, yaitu *Naive Prompting* dan *Framework Aristotle*. Untuk penelitian kedepannya bisa menggunakan atau penambahan metode *reasoning*, seperti *Aggregative Reasoning*, seperti *Tree-of-Thought* Yao et al. (2023) atau pun Symbolic Reasoning selain *framework Aristotle* ini.

BIBLIOGRAFI

- Belcak, P., Heinrich, G., Diao, S., Fu, Y., Dong, X., Muralidharan, S., Lin, Y. C., and Molchanov, P. (2025). Small language models are the future of agentic ai.
- Brachman, R. and Levesque, H. (2004). *Knowledge Representation and Reasoning*. The Morgan Kaufmann Series in Artificial Intelligence. Elsevier Science.
- Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D., Wu, J., Winter, C., Hesse, C., Chen, M., Sigler, E., Litwin, M., Gray, S., Chess, B., Clark, J., Berner, C., McCandlish, S., Radford, A., Sutskever, I., and Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. In Larochelle, H., Ranzato, M., Hadsell, R., Balcan, M., and Lin, H., editors, *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 33, pages 1877–1901. Curran Associates, Inc.
- Dettmers, T., Lewis, M., Belkada, Y., and Zettlemoyer, L. (2022). Llm.int8(): 8-bit matrix multiplication for transformers at scale. In *Proceedings of the 36th International Conference on Neural Information Processing Systems*, NIPS '22, Red Hook, NY, USA. Curran Associates Inc.
- Fitting, M. (1996). *First-Order Logic and Automated Theorem Proving*. Springer, 2nd edition.
- Hu, E. J., yelong shen, Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., Wang, L., and Chen, W. (2022). LoRA: Low-rank adaptation of large language models. In *International Conference on Learning Representations*.
- Huth, M. R. A. and Ryan, M. D. (2004). *Logic in Computer Science: Modelling and Reasoning about Systems*. Cambridge University Press, 2nd edition.
- Ouyang, L., Wu, J., Jiang, X., Almeida, D., Wainwright, C., Mishkin, P., Zhang, C., Agarwal, S., Slama, K., Ray, A., Schulman, J., Hilton, J., Kelton, F., Miller, L., Simens, M., Askell, A., Welinder, P., Christiano, P. F., Leike, J., and Lowe, R. (2022). Training language models to follow instructions with human feedback. In Koyejo, S., Mohamed, S., Agarwal, A., Belgrave, D., Cho, K., and Oh, A., editors, *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 35, pages 27730–27744. Curran Associates, Inc.
- Pan, L., Albalak, A., Wang, X., and Wang, W. (2023). Logic-LM: Empowering large la-

- language models with symbolic solvers for faithful logical reasoning. In Bouamor, H., Pino, J., and Bali, K., editors, *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2023*, pages 3806–3824, Singapore. Association for Computational Linguistics.
- Saparov, A. and He, H. (2023). Language models are greedy reasoners: A systematic formal analysis of chain-of-thought. In *The Eleventh International Conference on Learning Representations*.
- Subramanian, S., Elango, V., and Gungor, M. (2025). Small language models (slms) can still pack a punch: A survey.
- Taffjord, O., Dalvi, B., and Clark, P. (2021). ProofWriter: Generating implications, proofs, and abductive statements over natural language. In Zong, C., Xia, F., Li, W., and Navigli, R., editors, *Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL-IJCNLP 2021*, pages 3621–3634, Online. Association for Computational Linguistics.
- Tian, J., Li, Y., Chen, W., Xiao, L., He, H., and Jin, Y. (2021). Diagnosing the first-order logical reasoning ability through LogicNLI. In Moens, M.-F., Huang, X., Specia, L., and Yih, S. W.-t., editors, *Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, pages 3738–3747, Online and Punta Cana, Dominican Republic. Association for Computational Linguistics.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L. u., and Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In Guyon, I., Luxburg, U. V., Bengio, S., Wallach, H., Fergus, R., Vishwanathan, S., and Garnett, R., editors, *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 30. Curran Associates, Inc.
- Wang, F., Zhang, Z., Zhang, X., Wu, Z., Mo, T., Lu, Q., Wang, W., Li, R., Xu, J., Tang, X., He, Q., Ma, Y., Huang, M., and Wang, S. (2025). A comprehensive survey of small language models in the era of large language models: Techniques, enhancements, applications, collaboration with llms, and trustworthiness. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, 16(6).
- Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Chi, E. H., Xia, F., Le, Q., and Zhou, D. (2022). Chain of thought prompting elicits reasoning in large language models. *ArXiv*, abs/2201.11903.
- 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*.
- Xu, J., Fei, H., Pan, L., Liu, Q., Lee, M.-L., and Hsu, W. (2024). Faithful logical reasoning via symbolic chain-of-thought. In Ku, L.-W., Martins, A., and Srikumar, V., editors, *Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*, pages 13326–13365, Bangkok, Thailand. Association for Computational Linguistics.
- Yao, S., Yu, D., Zhao, J., Shafran, I., Griffiths, T. L., Cao, Y., and Narasimhan, K. (2023). Tree of thoughts: deliberate problem solving with large language models. In *Proceedings of the 37th International Conference on Neural Information Processing Systems*, NIPS '23, Red Hook, NY, USA. Curran Associates Inc.

LAMPIRAN

Lampiran 1: *List of Prompts*

Prompts yang digunakan mirip dengan *naive prompting explanation before answer* yang merupakan implementasi dari *Chain-of-Thought*

Prompt untuk mendapatkan jawaban untuk ablati 5.1:

```

1 Deskripsi Tugas: Anda diberikan fakta, aturan, dan konjektur. Tugas Anda adalah mencari
  apakah konjektur tersebut dapat diselesaikan dari fakta dan aturan yang ada dengan
  memilih salah satu nilai kebenaran True atau False berdasarkan fakta dan aturan yang
  diberikan dengan memberikan penjelasan langkah-langkah yang Anda gunakan untuk
  mencapai nilai kebenaran/jawaban tersebut.
2
3 -----
4
5 Contoh:
6
7 Fakta:
8 Alex adalah impus ::: Impus(Alex, True)
9
10 Aturan dalam CNF:
11 1. - \left(Impus(x, False) \lor Besar(x, True)\right)
12
13 Konjektur:
14 Besar(Alex, True)
15
16 ###
17 **Penjelasan**:
18 Alex adalah impus ::: Impus(Alex, True)
19 1. - \left(Impus(Alex, False) \lor Besar(x, True)\right)
20 Besar(Alex, True)
21
22 Besar(Alex, True) tidak berkontradiksi dengan Besar(Alex, True)
23
24 **Jawaban**: True
25 ###
26
27 -----
28
29 Contoh:
30
31 Fakta:
32 Alex adalah rompus ::: Rompus(Alex, True)
33
34 Aturan dalam CNF:
35 1. - \left(Rompus(x, True) \lor MudahDikelola(x, True)\right)
36
37 Konjektur:
38 MudahDikelola(Alex, False)

```

```

39
40 ###
41 **Penjelasan**:
42 Alex adalah rompus ::: Rompus(Alex, True)
43 1. - \left(Rompus(Alex, True) \lor MudahDikelola(x, True)\right)
44 MudahDikelola(Alex, True)
45
46 MudahDikelola(Alex, True) berkontradiksi dengan MudahDikelola(Alex, False)
47
48 **Jawaban**: False
49 ###
50
51 -----
52
53 Contoh:
54
55 Fakta:
56 Dino adalah Dumpus ::: Dumpus(Dino, True)
57
58 Aturan dalam CNF:
59 1. - \left(Dumpus(x, True) \lor TembusPandang(x, False)\right)
60
61 Konjektur:
62 TembusPandang(Dino, False)
63
64 ###
65 **Penjelasan**:
66 Dino adalah rompus ::: Dumpus(Dino, True)
67 1. - \left(Dumpus(Alex, True) \lor TembusPandang(x, False)\right)
68 TembusPandang(Dino, False)
69
70 TembusPandang(Dino, False) tidak berkontradiksi dengan TembusPandang(Dino, False)
71
72 **Jawaban**: True
73 ###
74
75 -----
76
77 Contoh:
78
79 Fakta:
80 Fae adalah wumpus ::: Wumpus(Fae, True)
81
82 Aturan dalam CNF:
83 1. - \left(Wumpus(x, True) \lor Besar(x, True)\right)
84 2. - \left(Wumpus(x, True) \lor Yumpus(x, True)\right)
85 3. - \left(Yumpus(x, True) \lor Oranye(x, True)\right)
86
87 konjektur:
88 Oranye(Fae, True)

```

```

89
90 ###
91 **Penjelasan**:
92 Fae adalah wumpus ::: Wumpus(Fae, True)
93 2. - \left(Wumpus(Fae, True) \lor Yumpus(x, True)\right)
94 Yumpus(Fae, True)
95 3. - \left(Yumpus(Fae, True) \lor Oranye(x, True)\right)
96 Oranye(Fae, True)
97
98 Oranye(Fae, True) tidak berkontradiksi dengan Oranye(Fae, True)
99
100 **Jawaban**: True
101 ###
102
103 -----
104
105 Contoh:
106
107 Fakta:
108 Max adalah yumpus ::: Yumpus(Max, True)
109
110 Aturan dalam CNF:
111 1. - \left(Jompus(x, True) \lor Pemalu(x, False)\right)
112 2. - \left(Jompus(x, True) \lor Yumpus(x, True)\right)
113 3. - \left(Yumpus(x, True) \lor Agresif(x, True)\right)
114 4. - \left(Yumpus(x, True) \lor Dumpus(x, True)\right)
115 5. - \left(Dumpus(x, True) \lor Kayu(x, False)\right)
116 6. - \left(Dumpus(x, True) \lor Wumpus(x, True)\right)
117 7. - \left(Wumpus(x, True) \lor Merah(x, True)\right)
118 8. - \left(Wumpus(x, True) \lor Impus(x, True)\right)
119 9. - \left(Impus(x, True) \lor TembusPandang(x, False)\right)
120 10. - \left(Impus(x, True) \lor Tumpus(x, True)\right)
121 11. - \left(Numpus(x, True) \lor Asam(x, True)\right)
122 12. - \left(Tumpus(x, True) \lor Asam(x, False)\right)
123 13. - \left(Tumpus(x, True) \lor Vumpus(x, True)\right)
124 14. - \left(Vumpus(x, True) \lor Tanah(x, False)\right)
125 15. - \left(Vumpus(x, True) \lor Zumpus(x, True)\right)
126 16. - \left(Zumpus(x, True) \lor Kecil(x, True)\right)
127 17. - \left(Zumpus(x, True) \lor Rompus(x, True)\right)
128
129 Konjektur:
130 Asam(Max, True)
131
132 ###
133 **Penjelasan**:
134 Max adalah yumpus ::: Yumpus(Max, True)
135 4. - \left(Yumpus(Max, True) \lor Dumpus(x, True)\right)
136 Dumpus(Max, True)
137 6. - \left(Dumpus(Max, True) \lor Wumpus(x, True)\right)
138 Wumpus(Max, True)

```

```

139 8. - \left(Wumpus(Max, True) \lor Impus(x, True)\right)
140 Impus(Max, True)
141 10. - \left(Impus(Max, True) \lor Tumpus(x, True)\right)
142 Tumpus(Max, True)
143 12. - \left(Tumpus(Max, True) \lor Asam(x, False)\right)
144 Asam(Max, False)
145
146 Asam(Max, False) berkontradiksi dengan Konjektur: Asam(Max, True)
147
148 **Jawaban**: False
149 ###
150
151 -----
152
153 Di bawah ini yang perlu Anda cari nilai kebenarannya:
154
155 Fakta:
156 [[FACTS]]
157
158 Aturan dalam CNF:
159 [[RULES]]
160
161 Konjektur:
162 [[CONJECTURE]]
163
164 ###
165 **Penjelasan**:

```

Kode 1: Template prompt untuk mencari jawaban dari SLM untuk tahapan *decomposition to CNF* tanpa *search and resolve*

Prompt untuk mendapatkan jawaban untuk ablati 5.2:

```

1 Deskripsi Tugas: Anda diberikan fakta, aturan, dan konjektur. Tugas Anda adalah mencari
2 apakah konjektur tersebut dapat diselesaikan dari fakta dan aturan yang ada dengan
3 memilih salah satu nilai kebenaran True atau False berdasarkan fakta dan aturan yang
4 diberikan dengan memberikan penjelasan langkah-langkah yang Anda gunakan untuk
5 mencapai nilai kebenaran/jawaban tersebut.
6
7 Contoh:
8
9 Fakta:
10 Alex adalah impus ::: Impus(Alex, True)
11
12 Aturan:
13 Impus($x, True) >>> Besar($x, True)
14
15 Konjektur:

```

```

14 Besar (Alex, True)
15
16 ###
17 **Penjelasan**:
18 Alex adalah impus ::: Impus (Alex, True)
19 Impus (Alex, True) >>> Besar ($x, True)
20 Besar (Alex, True)
21
22 Besar (Alex, True) tidak berkontradiksi dengan Besar (Alex, True)
23
24 **Jawaban**: True
25 ###
26
27 -----
28
29 Contoh:
30
31 Fakta:
32 Alex adalah rompus ::: Rompus (Alex, True)
33
34 Aturan:
35 Rompus ($x, True) >>> MudahDikelola ($x, True)
36
37 Konjektur:
38 MudahDikelola (Alex, False)
39
40 ###
41 **Penjelasan**:
42 Alex adalah rompus ::: Rompus (Alex, True)
43 Rompus (Alex, True) >>> MudahDikelola ($x, True)
44 MudahDikelola (Alex, True)
45
46 MudahDikelola (Alex, True) berkontradiksi dengan MudahDikelola (Alex, False)
47
48 **Jawaban**: False
49 ###
50
51 -----
52
53 Contoh:
54
55 Fakta:
56 Dino adalah Dumpus ::: Dumpus (Dino, True)
57
58 Aturan:
59 Dumpus ($x, True) >>> TembusPandang ($x, False)
60
61 Konjektur:
62 TembusPandang (Dino, False)
63

```

```

64 ###
65 **Penjelasan**:
66 Dino adalah rompus :: Dumpus(Dino, True)
67 Dumpus(Dino, True) >>> TembusPandang($x, False)
68 TembusPandang(Dino, False)
69
70 TembusPandang(Dino, False) tidak berkontradiksi dengan TembusPandang(Dino, False)
71
72 **Jawaban**: True
73 ###
74
75 -----
76
77 Contoh:
78
79 Fakta:
80 Fae adalah wumpus :: Wumpus(Fae, True)
81
82 Aturan:
83 Wumpus($x, True) >>> Besar($x, True)
84 Wumpus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
85 Yumpus($x, True) >>> Oranye($x, True)
86
87 konjektur:
88 Oranye(Fae, True)
89
90 ###
91 **Penjelasan**:
92 Fae adalah wumpus :: Wumpus(Fae, True)
93 Wumpus(Fae, True) >>> Yumpus($x, True)
94 Yumpus(Fae, True)
95 Yumpus(Fae, True) >>> Oranye($x, True)
96 Oranye(Fae, True)
97
98 Oranye(Fae, True) tidak berkontradiksi dengan Oranye(Fae, True)
99
100 **Jawaban**: True
101 ###
102
103 -----
104
105 Contoh:
106
107 Fakta:
108 Max adalah yumpus :: Yumpus(Max, True)
109
110 Aturan:
111 Jompus($x, True) >>> Pemalu($x, False)
112 Jompus($x, True) >>> Yumpus($x, True)
113 Yumpus($x, True) >>> Agresif($x, True)

```



```

114 Yumpus($x, True) >>> Dumpus($x, True)
115 Dumpus($x, True) >>> Kayu($x, False)
116 Dumpus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
117 Wumpus($x, True) >>> Merah($x, True)
118 Wumpus($x, True) >>> Impus($x, True)
119 Impus($x, True) >>> TembusPandang($x, False)
120 Impus($x, True) >>> Tumpus($x, True)
121 Numpus($x, True) >>> Asam($x, True)
122 Tumpus($x, True) >>> Asam($x, False)
123 Tumpus($x, True) >>> Vumpus($x, True)
124 Vumpus($x, True) >>> Tanah($x, False)
125 Vumpus($x, True) >>> Zumpus($x, True)
126 Zumpus($x, True) >>> Kecil($x, True)
127 Zumpus($x, True) >>> Rompus($x, True)
128
129 Konjektur:
130 Asam(Max, True)
131
132 ###
133 **Penjelasan**:
134 Max adalah yumpus :: Yumpus(Max, True)
135 Yumpus(Max, True) >>> Dumpus($x, True)
136 Dumpus(Max, True)
137 Dumpus($x, True) >>> Wumpus($x, True)
138 Wumpus(Max, True)
139 Wumpus($x, True) >>> Impus($x, True)
140 Impus(Max, True)
141 Impus($x, True) >>> Tumpus($x, True)
142 Tumpus(Max, True)
143 Tumpus($x, True) >>> Asam($x, False)
144 Asam(Max, False)
145
146 Asam(Max, False) berkontradiksi dengan Konjektur: Asam(Max, True)
147
148 **Jawaban**: False
149 ###
150
151 -----
152
153 Di bawah ini yang perlu Anda cari nilai kebenarannya:
154
155 Fakta:
156 [[FACTS]]
157
158 Aturan:
159 [[RULES]]
160
161 Konjektur:
162 [[CONJECTURE]]
163

```

```

164 ###
165 **Penjelasan**:

```

Kode 2: Template prompt untuk mencari jawaban dari SLM untuk hanya dari tahapan *translation to FOL*

Lampiran 2: Contoh hasil konversi ke Prolog

Berikut adalah salah satu hasil konversi dari FOL ke bentuk yang bisa di-*resolve* oleh Prolog: *Data point* dengan bentuk FOL:

```

1 {"id": "ProntoQA_1", "original_context": "Jompuses tidak pemalu. Jompuses adalah
  yumpuses. Setiap yumpus agresif. Setiap yumpus adalah dumpus. Dumpuses tidak kayu.
  Dumpuses adalah wumpuses. Wumpuses merah. Setiap wumpus adalah impus. Setiap impus
  tidak tembus pandang. Impuses adalah tumpuses. Numpuses asam. Tumpuses tidak asam.
  Tumpuses adalah vumpuses. Vumpuses tanah. Setiap vumpus adalah zumpus. Zumpuses kecil.
  Zumpuses adalah rompus. Max adalah yumpus.", "question": "Max asam.", "and_or":
  ["Jompus($x, True) >>> Pemalu($x, False)", "Jompus($x, True) >>> Yumpus($x, True)",
  "Yumpus($x, True) >>> Agresif($x, True)", "Yumpus($x, True) >>> Dumpus($x, True)",
  "Dumpus($x, True) >>> Kayu($x, False)", "Dumpus($x, True) >>> Wumpus($x, True)",
  "Wumpus($x, True) >>> Merah($x, True)", "Wumpus($x, True) >>> Impus($x, True)",
  "Impus($x, True) >>> TembusPandang($x, False)", "Impus($x, True) >>> Tumpus($x,
  True)", "Numpus($x, True) >>> Asam($x, True)", "Tumpus($x, True) >>> Asam($x, False)",
  "Tumpus($x, True) >>> Vumpus($x, True)", "Vumpus($x, True) >>> Tanah($x, True)",
  "Vumpus($x, True) >>> Zumpus($x, True)", "Zumpus($x, True) >>> Kecil($x, True)",
  "Zumpus($x, True) >>> Rompus($x, True)"], "either_or": [], "biconditional": [],
  "translated_context": {"Translated_Facts": "Max adalah yumpus ::: Yumpus(Max, True)",
  "Translated_Rules": "Jompus($x, True) >>> Pemalu($x, False)\nJompus($x, True) >>>
  Yumpus($x, True)\nYumpus($x, True) >>> Agresif($x, True)\nYumpus($x, True) >>>
  Dumpus($x, True)\nDumpus($x, True) >>> Kayu($x, False)\nDumpus($x, True) >>>
  Wumpus($x, True)\nWumpus($x, True) >>> Merah($x, True)\nWumpus($x, True) >>> Impus($x,
  True)\nImpus($x, True) >>> TembusPandang($x, False)\nImpus($x, True) >>> Tumpus($x,
  True)\nNumpus($x, True) >>> Asam($x, True)\nTumpus($x, True) >>> Asam($x,
  False)\nTumpus($x, True) >>> Vumpus($x, True)\nVumpus($x, True) >>> Tanah($x,
  True)\nVumpus($x, True) >>> Zumpus($x, True)\nZumpus($x, True) >>> Kecil($x,
  True)\nZumpus($x, True) >>> Rompus($x, True)", "Translated_Conjecture": "Asam(Max,
  True)"}, "ground_truth": "B"}

```

Kode 3: *Data point* dari tahapan *translation to FOL*

Prolog Form hasil konversi:

```

1 :- use_module(library(tabling)).
2 :- style_check(-discontiguous).
3 :- style_check(-singleton).
4
5 :- dynamic agresif/1, neg_agresif/1, asam/1, neg_asam/1, dumpus/1, neg_dumpus/1,
  impus/1, neg_impus/1, jompus/1, neg_jompus/1, kayu/1, neg_kayu/1, kecil/1,

```

```

    neg_kecil/1, merah/1, neg_merah/1, numpus/1, neg_numpus/1, pemalu/1, neg_pemalu/1,
    rompus/1, neg_rompus/1, tanah/1, neg_tanah/1, tembuspandang/1, neg_tembuspandang/1,
    tumpus/1, neg_tumpus/1, vumpus/1, neg_vumpus/1, wumpus/1, neg_wumpus/1, yumpus/1,
    neg_yumpus/1, zumpus/1, neg_zumpus/1.
6 :- table agresif/1, neg_agresif/1, asam/1, neg_asam/1, dumpus/1, neg_dumpus/1, impus/1,
    neg_impus/1, jompus/1, neg_jompus/1, kayu/1, neg_kayu/1, kecil/1, neg_kecil/1,
    merah/1, neg_merah/1, numpus/1, neg_numpus/1, pemalu/1, neg_pemalu/1, rompus/1,
    neg_rompus/1, tanah/1, neg_tanah/1, tembuspandang/1, neg_tembuspandang/1, tumpus/1,
    neg_tumpus/1, vumpus/1, neg_vumpus/1, wumpus/1, neg_wumpus/1, yumpus/1, neg_yumpus/1,
    zumpus/1, neg_zumpus/1.
7
8 yumpus(max).
9
10 neg_pemalu(X) :- jompus(X).
11 yumpus(X) :- jompus(X).
12 agresif(X) :- yumpus(X).
13 dumpus(X) :- yumpus(X).
14 neg_kayu(X) :- dumpus(X).
15 wumpus(X) :- dumpus(X).
16 merah(X) :- wumpus(X).
17 impus(X) :- wumpus(X).
18 neg_tembuspandang(X) :- impus(X).
19 tumpus(X) :- impus(X).
20 asam(X) :- numpus(X).
21 neg_asam(X) :- tumpus(X).
22 vumpus(X) :- tumpus(X).
23 tanah(X) :- vumpus(X).
24 zumpus(X) :- vumpus(X).
25 kecil(X) :- zumpus(X).
26 rompus(X) :- zumpus(X).
27
28
29 :- initialization(main).
30
31 main :-
32     % catch/3 ensures that even a runtime error won't hang the script
33     catch((
34         ( once(asam(max)) -> PT=true ; PT=false ),
35         ( once(neg_asam(max)) -> PF=true ; PF=false ),
36         ( PT==true, PF==true -> Conflict=true ; Conflict=false ),
37         format(' PROLOG_RESULT|~w|~w|~w~n', [PT, PF, Conflict])
38     ), _Error, (
39         % If an error happens, we still report false and exit
40         format(' PROLOG_RESULT|false|false|false~n')
41     )),
42     halt.

```

Kode 4: Hasil konversi dari tahapan *translation to FOL*