

**QUESTION ANSWERING SYSTEM UNTUK TOPIK KRISIS IKLIM  
DENGAN MODEL SENTENCE-BERT**

**SKRIPSI**

**ANNISA MUKHRI**

**181401104**



**PROGRAM STUDI S-1 ILMU KOMPUTER  
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI  
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA**

**MEDAN**

**2024**

**QUESTION ANSWERING SYSTEM UNTUK TOPIK KRISIS IKLIM  
DENGAN MODEL SENTENCE-BERT**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk melengkapi tugas dan memenuhi syarat memperoleh ijazah  
Sarjana Komputer

**ANNISA MUKHRI**

**181401104**



**PROGRAM STUDI S-1 ILMU KOMPUTER  
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI  
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA**

**MEDAN**

**2024**

## PERSETUJUAN

Judul : QUESTION ANSWERING SYSTEM UNTUK  
TOPIK KRISIS IKLIM DENGAN MODEL  
SENTENCE-BERT

Kategori : SKRIPSI

Nama : ANNISA MUKHRI

Nomor Induk Mahasiswa : 181401104

Program Studi : SARJANA (S-1) ILMU KOMPUTER

Fakultas : ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI  
INFORMASI UNIVERSITAS SUMATERA  
UTARA

Telah diuji dan dinyatakan lulus di Medan, 10 Januari 2025

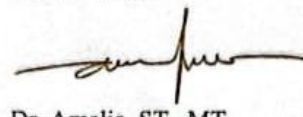
Komisi Pembimbing :

Pembimbing II



Dr. Maya Silvi Lydia B.Sc., M.Sc.  
NIP. 197401272002122001

Pembimbing I



Dr. Amalia, ST., MT.  
NIP. 197812212014042001

Diketahui/Disetujui Oleh  
Ketua Program Studi S-1 Ilmu Komputer



Dr. Amalia, S.T., M.T.  
NIP. 197812212014042001

UNIVERSITAS SUMATERA UTARA

**PERNYATAAN****QUESTION ANSWERING SYSTEM UNTUK TOPIK KRISIS IKLIM  
DENGAN MODEL SENTENCE-BERT****SKRIPSI**

Saya mengakui bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing telah disebutkan sumbernya.

Medan, 24 Desember 2024



Annisa Mukhri

181401104



## PENGHARGAAN

Segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta'ala, atas rahmat dan kuasa- Nya yang telah memperkenankan penulis untuk menyelesaikan skripsi ini sebagai syarat untuk mencapai gelar Sarjana Komputer, pada Program Studi S-1 Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Sumatera Utara.

Penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis selama proses penyelesaian skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Muryanto Amin, S.Sos., M.Si. selaku Rektor Universitas Sumatera Utara.
2. Ibu Dr. Maya Silvi Lydia B.Sc., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Sumatera Utara dan selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
3. Ibu Dr. Amalia, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S-1 Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Sumatera Utara dan selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
4. Seluruh dosen dan pegawai Program Studi S-1 Ilmu Komputer Fasilkom-TI USU yang telah memberikan penulis ilmu selama masa perkuliahan.
5. Kedua orangtua penulis, Ibunda Asripa Rahmiwaty Situmeang dan Almarhum Ayahanda Mukhlis Irsan, yang senantiasa mendoakan dan mendukung penulis.
6. Saudara kandung penulis, Abang Imam, Abang Akbar, dan Adik Irham yang selalu mendoakan dan memotivasi penulis.
7. Teman-teman stambuk 2018 yang telah berteman baik dengan penulis selama perkuliahan.

Medan, 24 Desember 2024

Penulis,



Annisa Mukhri

## ABSTRAK

Dalam mendapatkan informasi di antara banyaknya dokumen dengan beragam topik yang tersimpan di internet, menjadi tantangan bagi pengguna dalam memilih informasi yang tepat dari setiap hasil pencarian. Hal tersebut menjadi salah satu pemicu bagi pengguna untuk terpapar disinformasi pada topik penting seperti krisis iklim, yang mana akan berdampak pada terhambatnya upaya mitigasi perubahan iklim. Pada penelitian ini, penulis membangun sebuah sistem tanya jawab yang dapat menerima teks kalimat pertanyaan dengan semantik serta mengatasi perbedaan struktur kalimat yang memiliki makna sama, sinonim dan variasi kata untuk memberikan jawaban yang relevan dengan menggunakan model *Sentence-BERT*. Pada sistem ini, basis pengetahuan yang digunakan berupa FAQ dari beberapa website seperti *ipcc.ch*, *climate.nasa.gov*, *nature.org*, *imperial.ac.uk*, *natgeokids.com*, *theguardian.com*. Hasil percobaan melakukan *fine-tuning* model *indoSBERT* dengan 6461 data untuk pelatihan, 1384 data validasi, dan 1385 data pengujian, serta dengan *hyperparameters*, yaitu *batch size* 16, *learning rate*  $2e-5$ , *warmup steps* 0.1, dan dengan percobaan *epoch* 3, 5, dan 10 berurutan menghasilkan nilai evaluasi MRR sebesar 0.878, 0.882, dan 0.880. *Epoch* 5 dengan hasil evaluasi terbaik dipilih untuk digunakan pada sistem. Hasil pengujian pada sistem dengan menggunakan 10 kueri adalah bahwa model dapat memahami konteks pertanyaan sehingga dapat memberikan jawaban yang relevan di posisi teratas untuk setiap pertanyaan, dengan nilai evaluasi MRR sebesar 0.9.

**Kata Kunci:** *Question Answering System*, Krisis Iklim, *Sentence-BERT*, *Deep Learning*



## QUESTION ANSWERING SYSTEM FOR CLIMATE CRISIS TOPIC WITH SENTENCE-BERT MODEL

### ABSTRACT

In obtaining information among the many documents with various topics stored on the internet, it is a challenge for users to choose the right information from each search result. This is one of the triggers for users to be exposed to disinformation on important topics such as the climate crisis, which will have an impact on hampering climate change mitigation efforts. In this research, the author builds a question answering system that can receive question sentence text with semantics and overcome differences in sentence structures that have the same meaning, synonyms and word variations to provide relevant answers using the Sentence-BERT model. In this system, the knowledge base used is FAQ from several websites such as [ipcc.ch](http://ipcc.ch), [climate.nasa.gov](http://climate.nasa.gov), [nature.org](http://nature.org), [imperial.ac.uk](http://imperial.ac.uk), [natgeokids.com](http://natgeokids.com), [theguardian.com](http://theguardian.com). The results of experiments fine-tuning the indoSBERT model with 6461 data for training, 1384 validation data, and 1385 test data, as well as with hyperparameters, namely batch size 16, learning rate  $2e-5$ , warmup steps 0.1, and with epoch trials 3, 5, and 10 respectively resulted in MRR evaluation values of 0.878, 0.882, and 0.880. Epoch 5 with the best evaluation results was selected for use in the system. The result of testing the system using 10 queries is that the model can understand the context of the question so that it can provide relevant answers at the top position for each question, with an MRR evaluation value of 0.9.

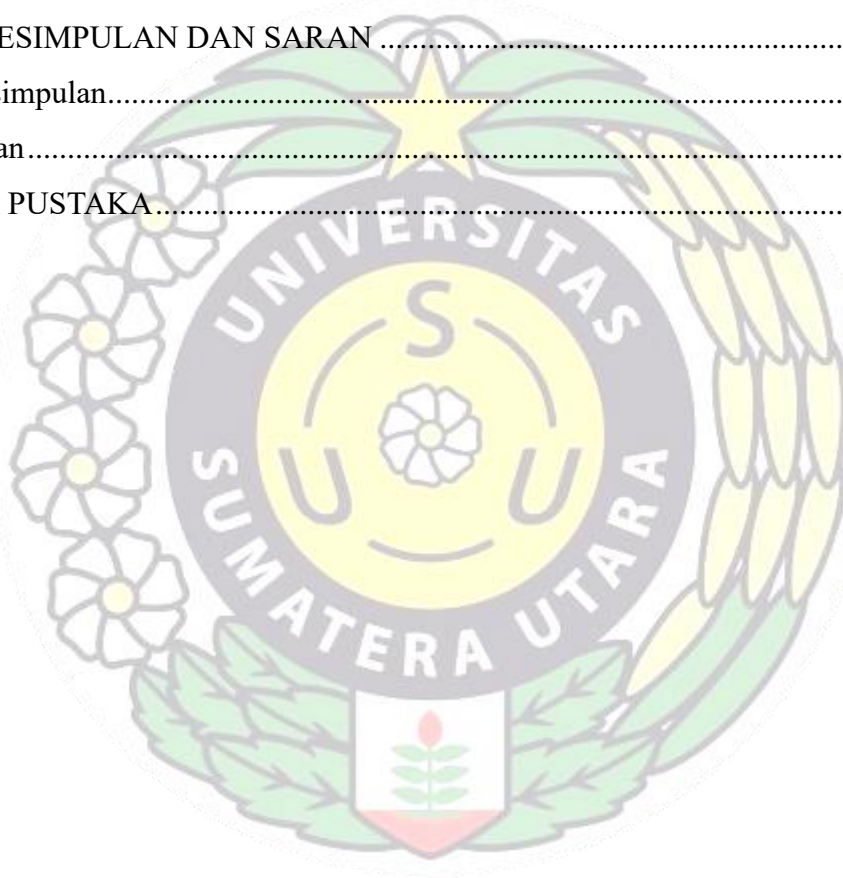
**Keywords:** Question Answering System, Climate Crisis, Sentence-BERT, Deep Learning

## DAFTAR ISI

PERSETUJUAN .....	i
PERNYATAAN.....	ii
PENGHARGAAN .....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Penelitian .....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Metodologi Penelitian .....	4
1.7 Sistematika Penyusunan .....	5
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Krisis Iklim.....	7
2.2 <i>Natural Language Processing</i> .....	8
2.3 <i>Question Answering System</i> .....	8
2.4 <i>Machine Learning</i> .....	9
2.5 <i>Neural Network</i> .....	10
2.6 <i>Deep Learning</i> .....	12
2.7 <i>Sentence-BERT</i> .....	13
2.8 Penelitian yang Relevan .....	15
BAB 3 ANALISIS DAN PERANCANGAN .....	17
3.1 Arsitektur Umum.....	17
3.2 <i>Data Collection</i> .....	18
3.3 <i>Pre-processing</i> Dataset.....	21
3.4 <i>Fine-tuning Sentence-BERT</i> .....	23

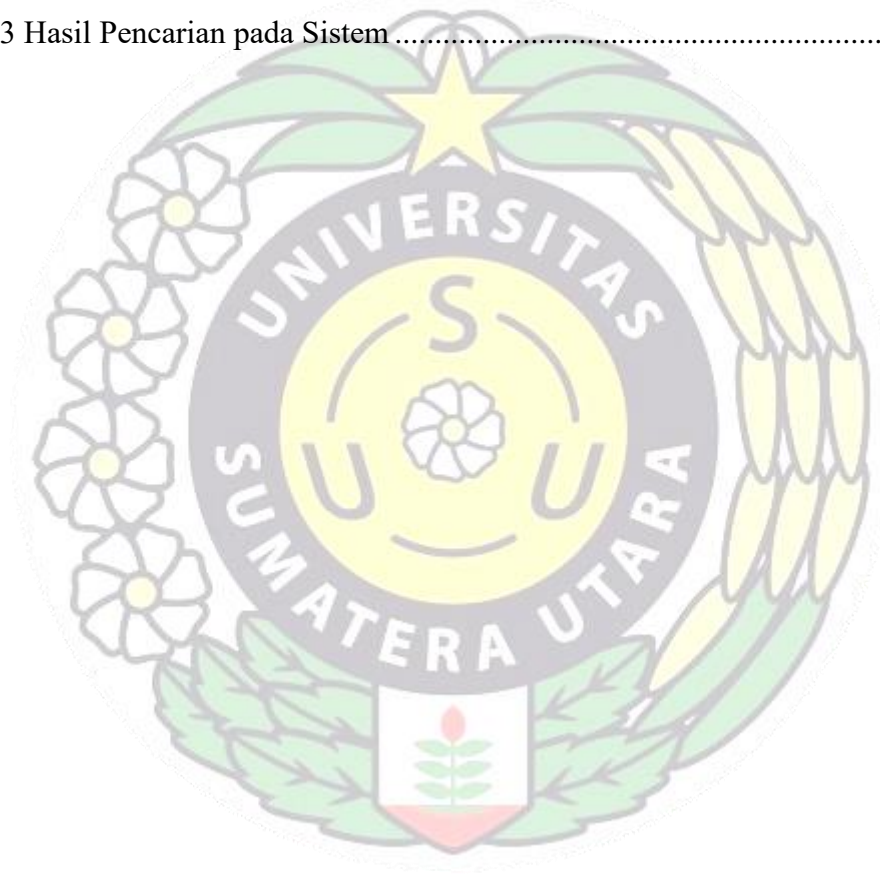


3.5 Evaluasi .....	26
BAB 4 IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN .....	27
4.1 Implementasi Sistem .....	27
4.1.1 Spesifikasi Perangkat Keras .....	27
4.1.2 Spesifikasi Perangkat Lunak .....	27
4.2 Implementasi <i>Data Collection</i> .....	27
4.3 <i>Pre-processing</i> Dataset.....	29
4.4 <i>Fine-tuning Sentence-BERT</i> .....	30
4.5 Evaluasi Sistem .....	34
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hasil Dataset ke-1 .....	19
Tabel 3.2 Hasil Dataset ke-2 .....	20
Tabel 3.3 Dataset ke-1 Setelah Melalui <i>Pre-processing</i> .....	21
Tabel 3.4 Dataset ke-2 Setelah Melalui <i>Pre-processing</i> .....	22
Tabel 4.1 Data <i>Ground Truth</i> .....	34
Tabel 4.2 Hasil Pencarian Menggunakan <i>Base Model</i> .....	36
Tabel 4.3 Hasil Pencarian pada Sistem .....	39



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram <i>Neuron</i> Buatan atau <i>Perceptron</i> (Kamath et al., 2019) .....	10
Gambar 2.2 Ilustrasi <i>Multilayer Perceptron</i> (Kamath, et.al 2019) .....	11
Gambar 2.3 Arsitektur SBERT dengan <i>Classification Objective Function</i> dan <i>Regression Objective Function</i> .....	14
Gambar 3.1 Arsitektur Umum.....	17
Gambar 4.1 Hasil Dataset ke-1 .....	28
Gambar 4.2 Hasil Dataset ke-2 .....	28
Gambar 4.3 Dataset untuk Pelatihan Model .....	29
Gambar 4.4 Dataset Hasil <i>Pre-processing</i> .....	29
Gambar 4.5 Dataset Berupa Objek DatasetDict.....	30
Gambar 4.6 Arsitektur Model ‘denaya/indoSBERT-large’ .....	30
Gambar 4.7 Pendefinisian <i>Loss Function</i> dan <i>Training Arguments</i> .....	31
Gambar 4.8 Pembuatan <i>Evaluator</i> untuk <i>Base Model</i> .....	32
Gambar 4.9 Pembuatan <i>Trainer</i> dengan <i>SentenceTransformerTrainer</i> .....	32
Gambar 4.10 Kurva <i>Training</i> dan <i>Validation Loss</i> .....	33
Gambar 4.11 Kurva <i>Mean Reciprocal Rank</i> (MRR) pada Dataset Pengujian .....	33

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Krisis iklim merupakan istilah yang menggambarkan dampak dari perubahan iklim yang mengancam kehidupan makhluk hidup di Bumi. Berdasarkan laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), perubahan iklim telah meningkatkan frekuensi terjadinya bencana alam akibat cuaca ekstrem. Iklim bumi selalu berubah secara alami, namun perubahan iklim yang berlangsung saat ini terjadi dengan signifikan lebih cepat akibat dari pemanasan global yang disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca yang terkait dengan aktivitas manusia. Lebih dari dua pertiga emisi gas rumah kaca global berasal dari sepuluh negara di dunia, termasuk Indonesia (Ge et al., 2022).

Berdasarkan hasil survei yang dilakukan oleh *YouGov-Cambridge Globalism Project* (2019), Indonesia memiliki persentase penyangkal perubahan iklim tertinggi di antara 23 negara. Delapan belas persen responden Indonesia tidak percaya aktivitas manusia menyebabkan perubahan iklim, 6% lainnya percaya bahwa iklim tidak berubah sama sekali, sementara 21% lainnya tidak mengetahui tentang perubahan iklim. Dari survei itu juga menunjukkan bahwa 8% dari responden Indonesia percaya pemanasan global adalah bagian dari teori konspirasi. Salah satu penyebab penyangkalan perubahan iklim adalah adanya misinformasi tentang perubahan iklim yang tersebar di internet melalui media sosial dan blog (Farmer & Cook, 2013; Lewandowsky, 2021). Masyarakat yang tidak mendapatkan informasi yang tepat tentang krisis iklim akan rentan terpapar disinformasi sehingga menjadi penghambat dalam upaya mitigasi perubahan iklim (Lewandowsky, 2021).

Dalam mendapatkan informasi, para pengguna internet memanfaatkan layanan *search engine* yang telah ada, misalnya: Google, Yahoo, Bing, dsb. *Search engine* akan menampilkan daftar dokumen yang relevan dengan permintaan



pengguna sebagai hasil dari proses pencarian. Kemudian pengguna perlu memeriksa daftar dokumen tersebut secara manual untuk menemukan dokumen mana yang berisi informasi yang diperlukan. Namun, semakin banyaknya dokumen dengan beragam topik yang tersimpan di internet, hal ini menjadi tantangan bagi pengguna dalam memilih informasi yang akurat dari setiap hasil pencarian (Sari, 2018). IPCC sebagai sumber informasi yang kredibel terkait perubahan iklim, menyediakan sebuah wadah yang berisi daftar pertanyaan beserta jawaban yang sering diajukan, yaitu *Frequently Asked Questions* (FAQ). Adapun jumlah FAQ yang disediakan cukup banyak dan tidak adanya fitur pencarian FAQ, menjadi kurang efisien dalam mencari informasi yang dibutuhkan pengguna. Oleh karena itu, diperlukannya sebuah sistem yang mampu menerima masukan pengguna berupa kalimat tanya dan menghasilkan jawaban, seperti Sistem Tanya Jawab (*Question Answering System*).

Sistem QA dapat dikategorikan ke dalam metode berbasis *generation* (Xing et al., 2017) yang mensintesis jawaban menggunakan teknik *natural language generation*, dan metode berbasis *retrieval* yang mengambil jawaban terbaik dari daftar kandidat jawaban. Salah satu teknik yang digunakan pada *retrieval-based* yang mengembalikan kandidat pasangan pertanyaan-jawaban adalah dengan menghitung skor kemiripan antara representasi vektor dari pertanyaan masukan dengan kandidat pertanyaan (*query-Question*) atau pertanyaan masukan dengan kandidat jawaban (*query-Answer*), seperti pada penelitian dari (Sakata et al., 2019). Berdasarkan penelitian tersebut, skor kemiripan (q-A) yang menggunakan *embedding* dari BERT dapat menemukan pasangan pertanyaan-jawaban yang benar bahkan dalam kasus dimana terdapat kesenjangan leksikal antara (q-Q) yang menggunakan pendekatan berbasis *keyword* seperti TSUBAKI. Berdasarkan hasil penelitian yang serupa (Navastara et al., 2021), pendekatan BERT yang memperhatikan konteks kata secara semantik menghasilkan nilai evaluasi yang lebih tinggi daripada BM25.

Pada tugas kesamaan tekstual semantik, BERT menggunakan *cross-encoder*, yaitu membutuhkan dua kalimat dilewatkan ke dalam jaringan, yang menyebabkan beban komputasi yang sangat besar apabila terlalu banyak kemungkinan kombinasi pasangan kalimat. Untuk itu, penelitian yang dilakukan oleh (Reimers & Gurevych, 2019) mengembangkan *Sentence-BERT*, sebuah modifikasi dari jaringan BERT



yang menggunakan struktur jaringan *siamese* dan *triplet* untuk mendapatkan *sentence embeddings* atau penyematan kalimat yang bermakna secara semantik. *Sentence-BERT* menggunakan *bi-encoder*; yaitu memproses dua kalimat secara terpisah melalui dua model yang berbagi bobot sehingga metode ini memiliki kecepatan inferensi jauh lebih cepat dibandingkan metode *cross-encoder*, tanpa mengorbankan akurasi secara signifikan (Seo et al., 2022).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis melakukan penelitian yang menggunakan model *Sentence-BERT* dalam membangun *Question Answering System* mengenai krisis iklim.

## 1.2 Rumusan Masalah

Informasi yang tersedia di internet sangat beragam, dan keberadaan misinformasi serta disinformasi dapat menyulitkan pengguna dalam menemukan informasi yang kredibel. Selain itu, pencarian berbasis *keyword* tidak dapat mengatasi perbedaan struktur kalimat yang memiliki makna sama, sinonim dan variasi kata karena tidak dapat memperhatikan konteks kata secara semantik. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukannya suatu sistem tanya jawab yang dapat memahami pertanyaan masukan dari pengguna dan memberikan informasi mengenai krisis iklim dengan tepat dan cepat.

## 1.3 Batasan Penelitian

Diperlukan batasan penelitian agar penelitian tidak membahas ke topik yang di luar lingkup pembahasan dalam penelitian, sebagai berikut:

1. Data tanya-jawab dikumpulkan dengan scraping pada *website ipcc.ch*, mengambil dataset '*climate-change-faqs*' dari *Kaggle* yang sumber datanya dari *climate.nasa.gov*, *nature.org*, *imperial.ac.uk*, *natgeokids.com*, dan *theguardian.com*, dan dataset '*climate-question-answers*' dari *Hugging Face* yang sumber datanya dari daftar artikel wikipedia yang telah dikurasi terkait perubahan iklim dan ekologi.
2. Data tanya-jawab menggunakan bahasa Indonesia.

3. Sistem akan menerima pertanyaan berbasis teks dari pengguna dan memberikan jawaban berdasarkan kumpulan data tanya-jawab terkait krisis iklim.
4. Bahasa pemrograman yang digunakan untuk membangun sistem adalah bahasa pemrograman Python.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan dalam mengembangkan sebuah sistem tanya jawab untuk memberikan informasi terkait dengan krisis iklim kepada pengguna di Indonesia.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat memberikan manfaat, sebagai berikut:

1. Memperoleh sebuah sistem yang mampu memberikan akses mudah serta akurat terkait informasi perubahan iklim agar dapat meningkatkan pemahaman masyarakat tentang krisis iklim serta pengetahuan tentang mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim.
2. Mengetahui kinerja *Sentence-BERT* dalam konteks *question answering system* untuk topik krisis iklim.

#### 1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang diterapkan pada penelitian ini adalah:

1. Studi Pustaka

Pada tahap studi pustaka, pengumpulan rujukan dari berbagai sumber terpercaya. Rujukan yang digunakan berupa jurnal, artikel, buku, dan situs-situs internet yang berkaitan dengan *Natural Language Processing*, *Question Answering System*, *Machine Learning*, *Neural Network*, *Deep Learning*, *Sentence-BERT*

2. Analisis dan Perancangan

Pada tahap analisis dan perancangan, penulis melakukan analisis permasalahan dan perancangan sistem dalam penerapan model *Sentence-BERT*. Proses ini dibutuhkan pada rancangan dalam sebuah diagram alir.

### 3. Implementasi

Pada tahap implementasi merupakan penerapan dari hasil analisis yang telah dilakukan dengan membuat program menggunakan bahasa pemrograman python.

### 4. Pengujian

Pada tahap pengujian sistem, sistem diuji dengan memberi masukan beberapa pertanyaan dan melihat hasil jawaban yang sesuai untuk menjawab pertanyaan yang diberikan. Sistem dievaluasi dan dilakukan perbaikan sampai sistem berfungsi seperti yang diharapkan.

### 5. Dokumentasi

Pada tahap dokumentasi, dilakukan dokumentasi penelitian dan penyusunan laporan hasil dari analisis, implementasi, hingga tahap pengujian dalam bentuk penulisan skripsi.

## 1.7 Sistematika Penyusunan

Sistem yang digunakan dalam penulisan penelitian mempunyai lima bagian utama, yaitu:

### **BAB 1 : Pendahuluan**

Bab ini berawal dari latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan penelitian, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 : Landasan Teori**

Bab ini memaparkan tentang teori-teori pada penelitian, yaitu teori Krisis Iklim, *Natural Language Processing*, *Question Answering System*, *Machine Learning*, *Neural Network*, *Deep Learning*, *Sentence-BERT*.

### **BAB 3 : Analisis dan Perancangan**

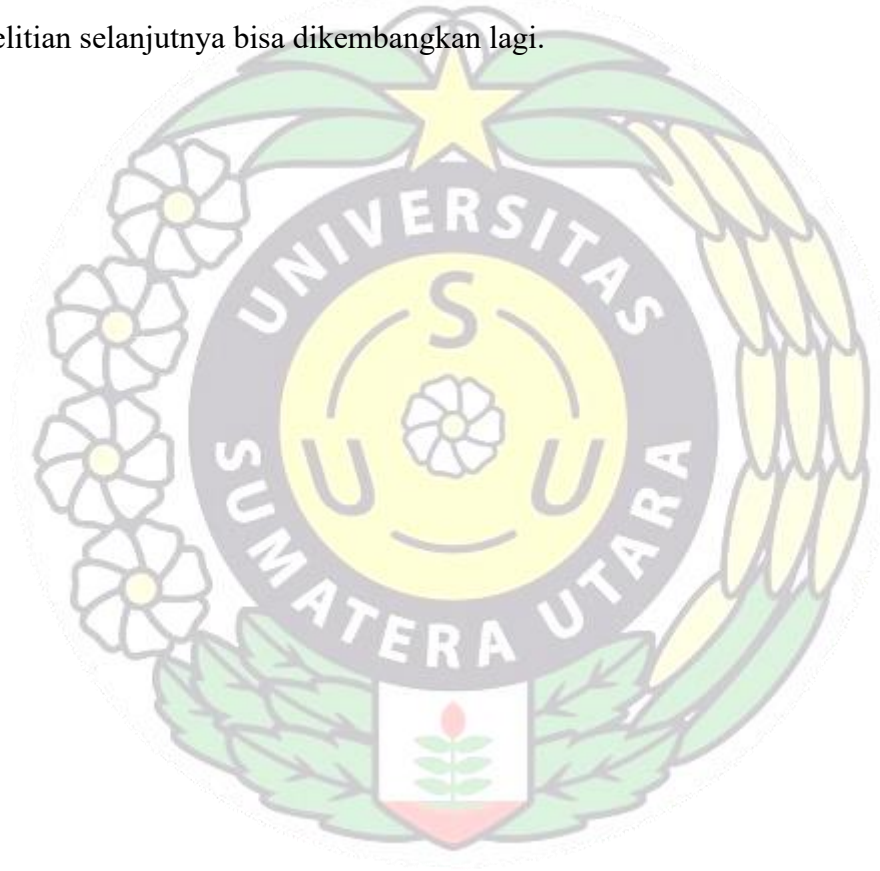
Bab ini berisi tentang analisis dan perancangan *Question Answering System* dengan menggunakan model *Sentence-BERT* untuk menyelesaikan pencarian semantic. Analisis sistem yang meliputi analisis masalah dan analisis kebutuhan dalam arsitektur umum sistem dan perancangan sistem.

#### **BAB 4: Implementasi dan Pengujian**

Bab ini menjabarkan temuan-temuan dari penelitian yang dilakukan dan menggambarkan bagaimana sistem diimplementasikan dengan menggunakan analisis masalah, pengujian skenario dari sistem yang dikembangkan, serta evaluasi hasil pengujian sistem.

#### **BAB 5 : Kesimpulan dan Saran**

Bab ini memuat tentang kesimpulan dari penjelasan hasil proses penelitian beserta saran-saran yang didasarkan pada hasil pengujian sistem dengan harapan pada penelitian selanjutnya bisa dikembangkan lagi.





## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Krisis Iklim

Krisis iklim merupakan istilah yang menggambarkan kondisi pemanasan global dan perubahan iklim beserta dampaknya. Istilah ini digunakan untuk menyampaikan seriusnya ancaman pemanasan global terhadap Bumi dan untuk mendorong upaya yang kuat dalam mengurangi dampak perubahan iklim (Sobczyk, 2019). Iklim bumi selalu berubah secara alami, namun perubahan iklim yang berlangsung saat ini terjadi dengan signifikan lebih cepat akibat dari pemanasan global yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Penyebab utama perubahan iklim yang diakibatkan oleh manusia adalah peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer yang berasal dari berbagai aktivitas, termasuk pembakaran bahan bakar fosil, penggunaan lahan, dan sumber lainnya.

*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), sebuah organisasi pemerintah yang terafiliasi dengan PBB dan WMO, bertugas memberikan penilaian berkala berdasarkan ilmiah tentang perubahan iklim, dampaknya, serta risiko yang mungkin terjadi di masa depan, sambil mempertimbangkan opsi untuk adaptasi dan mitigasi. Organisasi ini terbagi menjadi tiga Kelompok Kerja dan Satuan Tugas. Kelompok Kerja I fokus pada dasar ilmiah perubahan iklim (*The Physical Science Basis of Climate Change*), Kelompok Kerja II memeriksa dampak, adaptasi, dan kerentanan dari perubahan iklim (*Impacts, Adaptation, and Vulnerability*), sedangkan Kelompok Kerja III menitikberatkan pada upaya mitigasi perubahan iklim (*Mitigation of Climate Change*). Berdasarkan laporan IPCC, Bumi diperkirakan akan menghangat hingga 1,5°C pada awal tahun 2030, dibandingkan dengan peningkatan suhu sebesar 1,09°C sejak zaman pra-industri. IPCC telah merumuskan lima skenario pemanasan global yang berbeda, yang bergantung pada tingkat emisi karbon dioksida. Untuk membatasi pemanasan global di bawah 2°C



selama abad ini, penting untuk mencapai emisi karbondioksida nol bersih sekitar tahun 2050 atau setelahnya.

## **2.2 Natural Language Processing**

Pemrosesan Bahasa Alamiah (*Natural Language Processing*) adalah bidang studi yang menggabungkan aspek-aspek linguistik, ilmu komputer, dan kecerdasan buatan untuk menganalisis bagaimana sistem komputer berinteraksi dengan bahasa alamiah manusia (Ferrario & Nägeline, 2020). Bahasa alamiah adalah cara manusia berkomunikasi yang berkembang secara alami dalam masyarakat seiring berjalannya waktu. Berbeda dengan bahasa buatan yang diciptakan dengan tujuan khusus seperti, bahasa pemrograman yang digunakan untuk berinteraksi dengan komputer.

Pada NLP terdapat dua aspek utama, yaitu: Pemahaman Bahasa Alami (*Natural Language Understanding* atau NLU) yang memungkinkan mesin untuk memahami dan menganalisis bahasa alami, serta Generasi Bahasa Alami (*Natural Language Generation* atau NLG) yang menghasilkan teks dengan makna dari representasi internal. NLU memungkinkan ekstraksi konsep, entitas, emosi, dan kata kunci, sehingga mesin dapat memahami pesan dengan lebih dalam. Sebaliknya, NLG mengonversi data internal menjadi teks yang bisa dimengerti dalam bahasa alami

## **2.3 Question Answering System**

Sistem pertanyaan dan jawaban (QA) merupakan suatu disiplin ilmu dalam bidang ilmu komputer yang terkait dengan pengambilan informasi dan pemrosesan bahasa alami (NLP), yang berfokus pada pengembangan sistem yang mampu secara otomatis menjawab pertanyaan yang diajukan dalam bahasa alami oleh manusia. Sistem QA biasanya merujuk pada suatu program komputer yang mampu memperoleh jawaban dengan melakukan kueri terhadap basis data atau pengetahuan yang terstruktur. Lebih umum lagi, Sistem QA memiliki kemampuan untuk mengekstrak jawaban dari kumpulan dokumen dalam bahasa alami yang tidak terstruktur (Mutabazi et al., 2021). Beberapa contoh kumpulan dokumen yang digunakan dalam QAS termasuk laporan berita yang telah dikompilasi, koleksi teks

referensi lokal, dokumen internal perusahaan, bagian dari halaman *World Wide Web* (WWW), dan sejumlah halaman Wikipedia.

Perkembangan terbaru dalam bidang NLP dan *deep learning* memungkinkan sistem QA untuk menggunakan pendekatan berbasis generasi atau pencarian informasi (Chen & Zulkernine, 2021). Sistem QA berbasis generasi secara otomatis menghasilkan jawaban baru untuk pertanyaan yang diberikan dengan mengacu pada korpora yang diberikan. Sebaliknya, sistem QA berbasis pencarian informasi berusaha menemukan posisi jawaban yang paling relevan dalam berbagai dokumen dari teks korpora yang diberikan melalui pendekatan pembelajaran dalam mendalam.

## 2.4 Machine Learning

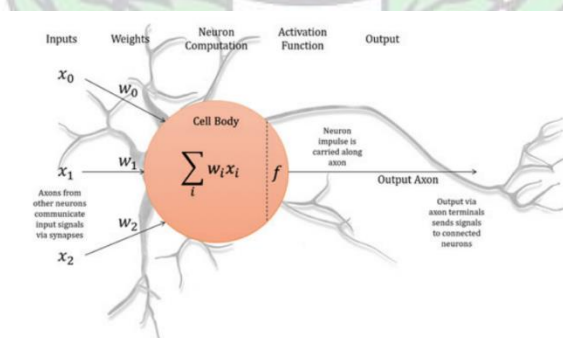
*Machine Learning* atau pembelajaran mesin merupakan suatu bidang penelitian yang berfokus pada ekstraksi pengetahuan dari data. Bidang ini menggabungkan statistik, kecerdasan buatan, dan ilmu komputer untuk mengembangkan metode dan proses yang memungkinkan komputer melakukan tugas tanpa perintah langsung (Müller & Guido, 2016). Berbeda dengan pemrograman tradisional yang terbatas pada aturan 'if' dan 'else' untuk memproses data, *machine Learning* menggunakan model-model yang dapat mengidentifikasi pola dari banyak data serta dapat menyesuaikan diri dengan data baru.

*Machine Learning* terbagi menjadi empat kategori berdasarkan jenis data dan model pembelajarannya, yaitu: *supervised learning*, *unsupervised learning*, *semi-supervised learning*, dan *reinforcement learning* (Rebala et al., 2019). *Supervised learning* adalah pendekatan pembelajaran mesin di mana mesin dilatih pada kumpulan data berlabel untuk membuat prediksi. Dalam *Supervised learning*, algoritma pembelajaran diberikan satu kumpulan poin data bersama dengan jawaban yang benar. Algoritma tersebut mempelajari karakteristik utama dalam setiap titik data untuk menentukan jawabannya. Hal ini memungkinkan algoritma untuk memprediksi hasil atau jawaban yang benar ketika diberikan titik data baru berdasarkan karakteristik yang dipelajari. *Supervised learning* sebagian besar terbagi dalam dua kategori, yaitu: klasifikasi dan regresi. *Unsupervised learning*, di sisi lain, adalah pendekatan pembelajaran mesin di mana algoritma digunakan untuk

mengidentifikasi pola dalam data yang tidak berlabel. *Unsupervised learning* tidak memiliki output berlabel, dan algoritme dibiarkan untuk menemukan struktur dalam data input dengan sendirinya. Dalam pendekatan *Semi-supervised learning*, mesin diberikan set data yang besar, dengan hanya beberapa titik data yang diberi label. Algoritma kemudian menggunakan teknik *clustering* dari *unsupervised learning* untuk mengidentifikasi kelompok dalam kumpulan data dan menggunakan titik data berlabel untuk memberikan label pada titik data lain dalam kluster atau kelompok yang sama. *Reinforcement learning* memungkinkan mesin untuk merasakan lingkungan eksternal dan memilih tindakan berdasarkan keadaannya sendiri dan lingkungan eksternal, dengan tujuan memaksimalkan tujuan tertentu yang telah ditentukan sebelumnya.

## 2.5 Neural Network

*Neural Network* merupakan sebuah metode *Machine Learning* yang didasarkan dari mekanisme kerja sistem saraf manusia. *Neural Network* terdiri dari satu hingga banyak neuron buatan, yang terhubung satu sama lain (Neapolitan & Jiang, 2018). Keluaran dari satu neuron adalah masukan untuk neuron lainnya. *Neural Network* yang paling sederhana adalah *perceptron*, sebuah model komputasi sederhana, yang terinspirasi dari sebuah neuron, yang menghubungkan beberapa input (sinyal ke *dendrites*), menggabungkan dan mengakumulasi input (seperti yang terjadi di dalam *cell body*), dan menghasilkan sinyal output yang menyerupai *axon*.



**Gambar 2.1** Diagram *Neuron* Buatan atau *Perceptron* (Kamath et al., 2019)

Bentuk dasar dari algoritma perceptron untuk klasifikasi biner adalah:

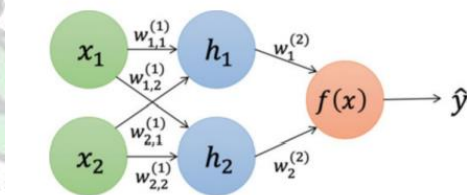
$$y(x_1, \dots, x_n) = f(w_1x_1 + \dots + w_nx_n + w_0) \quad (1)$$

Setiap  $x_i$  ditimbang secara individu dengan bobot yang telah dipelajari  $w_i$  untuk memetakan masukan  $x \in \mathbb{R}^n$  ke suatu nilai keluaran  $y$ , serta istilah bias  $b = w_0$  yang terikat pada input konstan  $x_0 = 1$  sebagai bobot yang menghilangkan batasan bahwa *hyperplane* pemisah harus melewati titik asal, di mana  $f(x)$  didefinisikan sebagai fungsi langkah yang ditunjukkan di persamaan berikut:

$$f(v) = \begin{cases} 0 & \text{jika } v < 0.5 \\ 1 & \text{jika } v \geq 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

Fungsi *step* ini menerima masukan berupa angka real dan menghasilkan nilai biner 0 atau 1, menunjukkan klasifikasi positif atau negatif jika melewati ambang batas 0.5.

*Multilayer perceptron* (MLP) menghubungkan beberapa *neuron* ke dalam sebuah jaringan. Menerapkan fungsi non-linier yang dikenal sebagai fungsi aktivasi memungkinkan output menjadi kombinasi non-linier dan berbobot dari inputnya, sehingga menghasilkan fitur non-linier yang digunakan oleh lapisan berikutnya. Secara umum, MLP adalah jaringan saraf *feed-forward*, karena ada satu arah untuk aliran data melalui jaringan (tidak ada koneksi berulang). Sebuah MLP harus memiliki *input layer* dan *output layer* serta setidaknya satu *hidden layer*. Selain itu, lapisan-lapisan tersebut juga *fully-connected*, yang berarti bahwa *output* dari setiap lapisan terhubung ke setiap *neuron* dari lapisan berikutnya.



**Gambar 2.2** Ilustrasi *Multilayer Perceptron* (Kamath, et.al 2019)

Pada gambar 2.2, *multilayer perceptron* dengan *input layer*, satu *hidden layer* yang berisi dua *neuron*, dan *output layer*. *Hidden layer*,  $h$ , adalah hasil dari  $h = g(W^{(1)} x)$ , di mana  $g(x)$  adalah fungsi aktivasi. Keluaran dari jaringan  $\hat{y} = f(W^{(2)} h)$ , di mana  $f(x)$  adalah fungsi keluaran, seperti fungsi *step* atau fungsi *sigmoid*. *Hidden layer* menyediakan dua *output*,  $h_1$  dan  $h_2$ , yang mungkin merupakan kombinasi non-linear dari nilai input  $x_1$  dan  $x_2$ . *Output layer*



menimbang masukannya dari lapisan tersembunyi, yang sekarang menjadi pemetaan non-linear potensial, dan membuat prediksinya.

Melatih *Neural Network* melibatkan beberapa langkah yang penting, yaitu:

1. *Forward propagation*, menghitung hasil atau output dari jaringan untuk suatu contoh data dari dataset.
2. *Error computation*, menghitung kesalahan prediksi antara prediksi jaringan dan target.
3. *Backpropagation*, menghitung gradien dalam urutan terbalik terhadap masukan dan bobot.
4. *Parameter update*, menggunakan penurunan gradien stokastik untuk memperbarui bobot jaringan guna mengurangi kesalahan pada contoh tersebut.

## 2.6 Deep Learning

*Deep Learning* adalah cabang dari *Machine Learning* yang merupakan bagian dari Kecerdasan Buatan. *Deep Learning* menggunakan arsitektur jaringan saraf komputasi yang memiliki lebih banyak *hidden layer*, yang memungkinkan model untuk belajar dari kumpulan data yang besar dengan berbagai tingkat abstraksi (Tariq, 2022). Kata “mendalam” mengacu pada pembelajaran mesin yang melibatkan jaringan saraf buatan dengan banyak lapisan representasi. Jumlah lapisan yang digunakan untuk memodelkan data menentukan kedalaman model. Pembelajaran mendalam saat ini biasanya memerlukan pembelajaran dengan banyak lapisan representasi dari data pelatihan secara otomatis. Karena jaringan pembelajaran mendalam biasanya memiliki lebih banyak lapisan dan parameter, jaringan ini berpotensi mewakili masukan yang lebih kompleks. Selain itu, deep learning dapat dilatih menggunakan supervised learning dan unsupervised learning.

Beberapa arsitektur deep learning yang populer, yaitu; *Convolutional Neural Networks* (CNNs) dan *Recurrent Neural Networks* (RNNs). CNNs sangat baik dalam mengekstrak pola lokal dalam data, seperti frasa-indikatif atau idiom, tanpa memperhatikan urutan kata. Di sisi lain, RNNs dirancang khusus untuk data berurutan, seperti kalimat. Mereka adalah komponen jaringan yang menerima rangkaian item sebagai masukan dan menghasilkan representasi yang merangkum



rangkaian tersebut. Pentingnya RNNs terletak pada kemampuannya untuk menggabungkan informasi sekuensial, yang sangat bermanfaat dalam tugas seperti pemodelan bahasa dan terjemahan mesin.

## 2.7 Sentence-BERT

BERT (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*) merupakan model bahasa *state-of-the-art* untuk pemrosesan bahasa alami berdasarkan komponen *encoder* dalam arsitektur Transformer. Transformer adalah arsitektur model *deep learning* yang menggunakan mekanisme *attention* untuk memperhitungkan hubungan antara setiap elemen data, sehingga dapat menghasilkan representasi yang lebih baik. Mekanisme *attention* pada BERT memungkinkan untuk memprioritaskan kata-kata mana yang harus memiliki dampak terbesar pada *embedding* tertentu dengan mempertimbangkan kata-kata yang memiliki hubungan erat dengan konteks. Pada tugas klasifikasi kalimat dan regresi pasangan kalimat, BERT menggunakan *cross-encoder*: dua kalimat diteruskan ke jaringan transformer dan nilai target diprediksi. Namun, pengaturan ini tidak cocok untuk berbagai tugas regresi pasangan karena terlalu banyak kemungkinan kombinasi. Menemukan pasangan dengan kemiripan tertinggi dalam koleksi  $n = 10.000$  kalimat membutuhkan BERT  $n - (n - 1)/2 = 49.995.000$  perhitungan inferensi. Pada GPU V100 modern, hal ini membutuhkan waktu sekitar 65 jam.

BERT menghasilkan representasi vektor untuk setiap token, namun hal ini memiliki keterbatasan dalam mengatasi pengelompokan dan pencarian semantik karena yang dibutuhkan adalah sebuah vektor yang mewakili keseluruhan kalimat. Pendekatan yang paling umum digunakan untuk mengatasi keterbatasan tersebut adalah dengan merata-ratakan lapisan keluaran BERT (dikenal sebagai *embedding* BERT) atau dengan menggunakan keluaran token pertama (token [CLS]). Namun, pendekatan umum ini menghasilkan *embedding* kalimat yang cukup buruk, dan keakuratannya lebih buruk daripada rata-rata *embedding* GloVe. Solusi atas kurangnya model yang akurat dengan latensi yang wajar ini dirancang oleh Nils Reimers dan Iryna Gurevych pada tahun 2019 dengan diperkenalkannya *Sentence-BERT*.

*Sentence-BERT* (SBERT), sebuah modifikasi dari jaringan BERT yang menggunakan jaringan siamese dan triplet yang dapat memperoleh *sentence embeddings* yang bermakna secara semantik. Jaringan siamese adalah jaringan khusus yang terbentuk dari dua atau lebih subjaringan atau model yang identik, di mana biasanya kedua model tersebut berbagi parameter/bobot yang sama. SBERT menghilangkan *final classification head* pada BERT dengan menambahkan operasi *pooling* pada keluaran BERT / RoBERTa untuk mendapatkan *embedding* kalimat dengan ukuran tetap. Ada tiga metode pooling yang berbeda dilakukan dalam penelitian SBERT, yaitu: *mean*, *max*, dan [CLS] - *pooling*. Pendekatan *mean-pooling* memiliki kinerja terbaik untuk dataset NLI dan STSB.

Ada beberapa pendekatan yang berbeda untuk melatih model SBERT, di mana struktur jaringan tergantung pada ketersediaan data dan tujuannya:

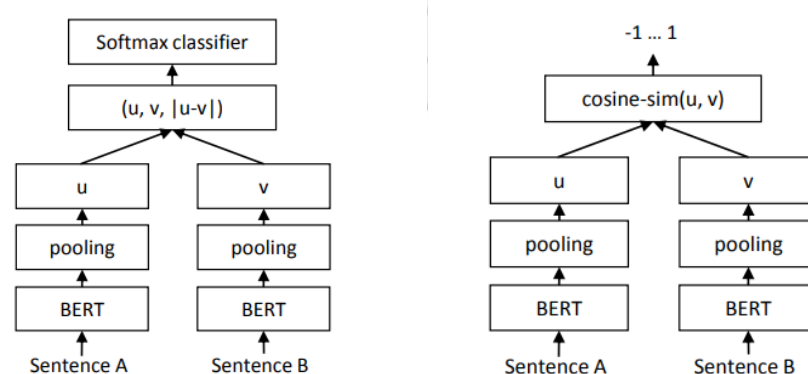
1. *Classification Objective Function*, mengkombinasikan *sentence embeddings*  $u$  dan  $v$  dengan selisih *element-wise*  $|u - v|$  dan mengalikannya dengan bobot yang dapat dilatih  $W_t \in \mathbb{R}^{3n \times k}$ :

$$o = \text{softmax}(W_t(u, v, |u - v|)) \quad (3)$$

di mana  $n$  adalah dimensi dari *sentence embeddings* dan  $k$  jumlah label.

Pengoptimalan menggunakan *cross-entropy loss*.

2. *Regression Objective Function*, berdasarkan *cosine similarity* antara dua *sentence embeddings*  $u$  dan  $v$  dihitung dan menggunakan *mean squared error loss* sebagai fungsi objektif.



**Gambar 2.3** Arsitektur SBERT dengan *Classification Objective Function* dan *Regression Objective Function*

3. *Triplet Objective Function*, diberikan sebuah kalimat referensi (titik penggaris)  $a$ , kalimat positif (yang memiliki label yang sama dengan titik penggaris)  $p$ , dan kalimat negatif (yang memiliki label yang sama dengan titik penggaris)  $n$ , *triplet loss* menyetel jaringan sedemikian rupa sehingga jarak antara  $a$  dan  $p$  lebih kecil daripada jarak antara  $a$  dan  $n$ . Secara matematis, kita meminimalkan fungsi kerugian berikut:

$$\max(||s_a - s_p|| - ||s_a - s_n|| + \epsilon, 0) \quad (4)$$

Dengan  $s_x$  adalah sentence embedding untuk  $a/n/p$ ,  $|| - ||$  metrik jarak dan margin  $\epsilon$ . Margin  $\epsilon$  memastikan bahwa  $s_p$  setidaknya  $\epsilon$  lebih dekat ke  $s_a$  daripada  $s_n$ . Euclidean distance digunakan sebagai metrik, dan menetapkan  $\epsilon = 1$  (Reimers & Gurevych, 2019).

## 2.8 Penelitian yang Relevan

Berikut ini beberapa penelitian yang berkaitan dengan *Question Answering System* untuk Topik Krisis Iklim dengan model *Sentence-BERT*:

1. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Sakata et al., 2019) yaitu mengenai *FAQ retrieval system* yang mempertimbangkan kesamaan antara permintaan pengguna dan pertanyaan yang dihitung oleh model *unsepervised*, serta relevansi antara permintaan dan jawaban yang dihitung oleh model BERT. Metode yang diusulkan dengan menggabungkan karakteristik dua model tersebut menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan metode baseline seperti TSUBAKI dan Bi-LSTM pada dataset *localgovFAQ* maupun *StackExchange*.
2. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Navastara et al., 2021), peneliti menggunakan metode BERT dan Best Matching (BM25) pada sistem tanya jawab dwibahasa berdasarkan dokumen pertanyaan yang sering diajukan (FAQ) dan referensi eksternal. Berdasarkan hasil eksperimen, parameter heterogen dan skenario metode, *query-Question* diikuti oleh *query-Answer*, mencapai skor evaluasi tertinggi dengan skor MAP 0,986 menggunakan BERT & BM25 dan 0,988 menggunakan BM25 & BERT.
3. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Mahmud-Uz-Zaman et al., 2021), membahas efektivitas model BERT dalam menjawab pertanyaan faktual dan

terbuka di domain museum. Hasilnya menunjukkan bahwa kinerja keseluruhan sistem pada pertanyaan faktual jauh lebih baik dibandingkan dengan pertanyaan terbuka. Sekitar 70% pertanyaan faktual dijawab dengan benar, dibandingkan dengan hanya 36% pertanyaan terbuka.

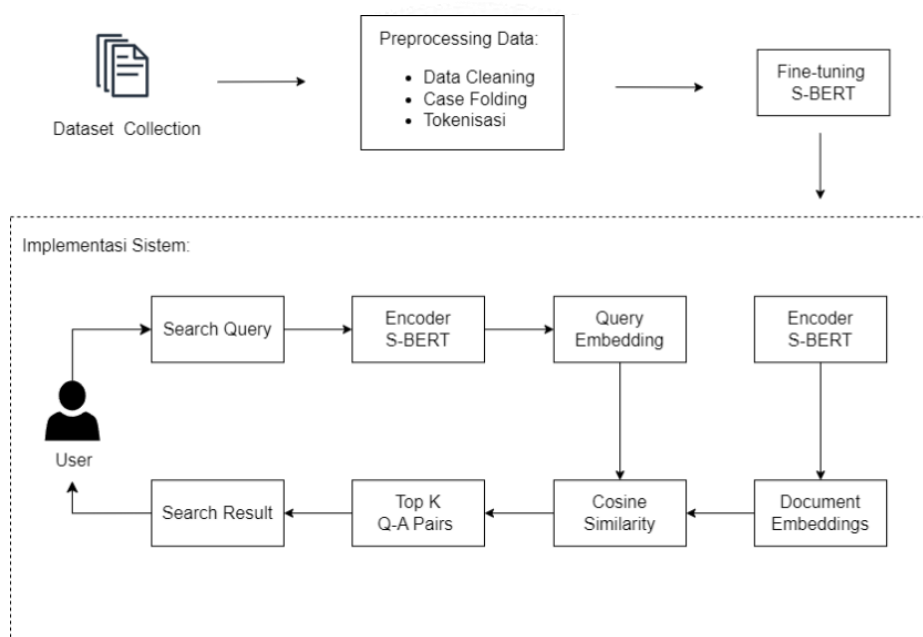
4. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Esteva et al., 2021), mengenai sistem pengambilan informasi yang dirancang untuk mengakses literatur COVID-19 yang terus bertambah. Penelitian ini menggabungkan model *deep learning* (Siamese-BERT) dan model *keyword-base* (BM25, TF IDF) untuk mengambil dan memberi skor pada dokumen. Peneliti melatih sistem menggunakan COVID-19 Open Research Dataset dan mengevaluasi kinerjanya menggunakan data dari kompetisi TREC-COVID berdasarkan beberapa metrik kunci, dengan hasil yang kuat di berbagai metrik dan putaran kompetisi.
5. Penelitian relevan lainnya yaitu sebuah penelitian dari (Seo et al., 2022), mengusulkan sistem yang mengatasi kekurangan sistem pengambilan informasi FAQ pendekatan tradisional berbasis aturan dan statistik, serta mengurangi biaya pembuatan data untuk sistem yang berbasis *deep learning*. Dengan menggunakan representasi kontekstual dan menggabungkan teknik *dense-to-question* dan *sparse-to-answer*, serta menyesuaikan skala dan rasio bobot melalui fungsi *arctangent* dan *Q-blending*, menunjukkan kinerja yang lebih *robust* bahkan dalam pengukuran akurasi pada hasil jawaban yang diambil (*top-1 accuracy*).



## BAB 3

### ANALISIS DAN PERANCANGAN

#### 3.1 Arsitektur Umum



**Gambar 3.1** Arsitektur Umum

Pengumpulan data yang berkaitan dengan krisis iklim dalam bentuk FAQ dengan melakukan scraping pada *website ipcc.ch*, mengambil dataset ‘*climate-change-faqs*’ dari *Kaggle*, dan dataset ‘*climate-question-answers*’ dari *Hugging Face*. Hasil pengumpulan data disimpan menjadi sebuah korpus yang berisi kumpulan pertanyaan beserta jawabannya. Sebelum melakukan *fine-tuning*, pemrosesan awal data dilakukan untuk mempersiapkan dataset dengan baik agar mendapatkan performa model *Sentence-BERT* yang semakin bagus dan sesuai dengan tugas pencarian semantik. Kemudian, setiap pasangan pertanyaan-jawaban adalah sebuah dokumen dan pertanyaan yang diberikan *user* adalah sebuah kueri, akan direpresentasikan ke dalam *embedding* menggunakan model *Sentence-BERT*. *Cosine similarity* akan mengukur kemiripan antara *query embedding* dengan



*document embedding*. Semakin kecil nilai kosinus sudut antara kedua *vector embedding* tersebut, maka semakin besar nilai *cosine similarity*. Hasil pencarian yang akan ditampilkan kepada user adalah sejumlah ‘K’ pasangan pertanyaan-jawaban yang memiliki nilai *cosine similarity* tertinggi.

### 3.2 Data Collection

Pada tahap *data collection*, data dikumpulkan untuk digunakan sebagai basis pengetahuan pada sistem. Dataset tersebut akan digunakan untuk menjawab pertanyaan dari pengguna. Data informasi krisis iklim yang diambil terdiri dari data *question* sebagai pertanyaan, data *answer* sebagai jawaban, dan data *url* sebagai alamat sumber. Data yang telah dikumpulkan berasal dari beberapa sumber, yaitu:

1. *Scraping* pada *website Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*  
 Pada website ini peneliti mengambil data pertanyaan dan jawaban dari FAQ pada laporan penilaian yang ke-5 atau *Fifth Assessment Report (AR5)* yang dirilis pada periode 2013-2014 dan *Sixth Assessment Report (AR6)* yang dirilis pada periode 2021-2023. Laporan penilaian tersebut merupakan laporan komprehensif yang dirilis secara berkala oleh IPCC untuk mengevaluasi pengetahuan terkait perubahan iklim. Masing-masing *AR5* dan *AR6* berdasarkan pada Kelompok Kerja dan Satuan Tugas yang terbagi menjadi tiga, yaitu Kelompok Kerja I atau *Working Group I (WGI)* fokus pada dasar ilmiah perubahan iklim, *WGII* memeriksa dampak, adaptasi, dan kerentanan dari perubahan iklim, sedangkan *WGIII* berfokus pada upaya mitigasi perubahan iklim. Jumlah FAQ yang dikumpulkan pada *AR5* dan *AR6* berurutan adalah sebanyak 55 dan 197.
2. Dataset ‘*climate-change-faqs*’ dari *Kaggle*  
 Pada dataset, data pertanyaan dan jawaban bersumber dari FAQ pada website IPCC (*WGI* dan *WGII* pada *AR5*), *climate.nasa.gov*, *nature.org*, *imperial.ac.uk*, *natgeokids.com*, *theguardian.com*. Jumlah FAQ pada dataset tersebut adalah sebanyak 188.
3. Dataset ‘*climate-question-answers*’ dari *Hugging Face*  
 Pada dataset, data pertanyaan dan jawaban bersumber dari daftar artikel wikipedia yang telah dikurasi terkait perubahan iklim dan ekologi. Jumlah FAQ pada dataset tersebut adalah sebanyak 8790.

Data yang berasal dari FAQ pada masing-masing website memiliki sumber *url*, sedangkan data dari hugging face tidak memiliki sumber *url*. Oleh karena itu, penulis memiliki dua dataset, yaitu dataset ke-1 seperti pada tabel 3.1 dan dataset ke-2 seperti pada tabel 3.2.

**Tabel 3.1** Hasil Dataset ke-1

<i>question</i>	<i>answer</i>	<i>url</i>
Apa yang Dapat Diajarkan Iklim Masa Lalu kepada Kita tentang Masa Depan?	Di masa lalu, Bumi telah mengalami periode berkepanjangan dengan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca yang menyebabkan suhu global dan permukaan laut naik. Mempelajari periode hangat di masa lalu ini memberi tahu kita tentang potensi konsekuensi jangka panjang dari peningkatan gas rumah kaca di atmosfer. ... kondisi iklim hangat di masa lalu memberikan pengingat yang jelas bahwa penyesuaian jangka panjang terhadap konsentrasi karbon dioksida atmosfer saat ini baru saja dimulai. Penyesuaian itu akan terus berlanjut selama beberapa abad hingga ribuan tahun mendatang.	<a href="https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-1#1-1">https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-1#1-1</a>
Apa perbedaan antara perubahan iklim dan pemanasan global?	"Pemanasan global" mengacu pada pemanasan jangka panjang di planet ini. "Perubahan iklim" mencakup pemanasan global, tetapi mengacu pada perubahan yang lebih luas yang terjadi di planet kita, termasuk naiknya permukaan air laut; menyusutnya gletser pegunungan; percepatan pencairan es di Greenland, Antartika, dan Arktik; dan pergeseran waktu mekarnya bunga/tanaman.	<a href="https://climate.nasa.gov/faq/">https://climate.nasa.gov/faq/</a>
Apa ancaman utama	Ancaman utama perubahan iklim, yang berasal dari meningkatnya suhu atmosfer Bumi termasuk naiknya permukaan air laut,	<a href="https://www.nature.org/en-us/what-we-do">https://www.nature.org/en-us/what-we-do</a>

perubahan iklim?	runtuhnya ekosistem dan cuaca yang lebih sering dan parah ... Suhu yang lebih tinggi mempengaruhi lamanya musim dan di beberapa tempat, sudah melewati tingkat yang aman bagi ekosistem dan manusia. Semua dampak ini, dan banyak lainnya akan menjadi lebih parah jika kita tidak bertindak untuk menghentikan emisi gas rumah kaca	/climate-change-frequently-asked-questions/#crisis
------------------	--	--

Pada tabel 3.1 hanya menampilkan 3 contoh data dari keseluruhan dataset ke-1. Untuk melihat dataset lengkap dapat mengakses tautan berikut: [bit.ly/am-qas-dataset1](https://bit.ly/am-qas-dataset1). Jumlah data yang dikumpulkan pada dataset ke-1 adalah sebanyak 440.

**Tabel 3.2** Hasil Dataset ke-2

<i>question</i>	<i>answer</i>
Apa dampak iklim dari emisi metana dari rantai pasokan minyak dan gas alam?	Emisi metana dari rantai pasokan minyak dan gas alam signifikan dan berkontribusi terhadap perubahan iklim dengan memerangkap panas di atmosfer.
Apa saja reaksi dari para kritikus tentang film dokumenter 'Perubahan Iklim – Fakta'?	Kritikus umumnya memuji dokumenter tersebut karena menyoroti bahaya jika tidak mengambil tindakan yang cukup terhadap perubahan iklim. The Guardian menyebutnya sebagai 'seruan yang membangkitkan semangat untuk bertindak', sementara The Telegraph menggambarkan judulnya sebagai 'kuat' dan memuji penggunaan Attenborough sebagai presenter, dengan menyatakan bahwa 'di saat perdebatan publik tampaknya semakin histeris, ada baiknya disajikan dengan sesuatu yang dapat Anda percaya. Dan kita semua percaya pada Attenborough.'

Apa ciri-ciri perilaku konsumen hijau?	Perilaku konsumen hijau mencakup pilihan pembelian, penggunaan produk dan pascapenggunaannya, pengelolaan rumah tangga, perilaku kolektif, dan aktivisme konsumen, yang mencerminkan motivasi terkait lingkungan. Perilaku ini juga mencakup pembelian dan penggunaan produk dengan dampak lingkungan yang lebih rendah, seperti produk yang dapat terurai secara hayati, kemasan yang didaur ulang atau dikurangi, dan penggunaan energi yang rendah.
--	--

Pada tabel 3.2 hanya menampilkan 3 contoh data dari keseluruhan dataset ke-2. Untuk melihat dataset lengkap dapat mengakses tautan berikut: [bit.ly/am-qas-dataset2](http://bit.ly/am-qas-dataset2). Jumlah data yang dikumpulkan pada dataset ke-2 adalah sebanyak 8790.

Sebelum dilakukan *pre-processing*, dataset ke-1 dan dataset ke-2 digabung dan disesuaikan dengan format dataset ke-2 yang yaitu dengan menghilangkan kolom url, sehingga hanya terdapat kolom *question* dan *answer*. Dataset gabungan ini yang akan digunakan pada pelatihan model, sehingga total datanya sebanyak 9230. Adapun pada *Question Answering System* yang dikembangkan menggunakan data yang hanya berasal dari dataset ke-1 karena sumber data pada dataset tersebut berasal dari IPCC dan Kaggle yang memiliki *url* sumber data.

### 3.3 Pre-processing Dataset

Pada tahap *pre-processing*, data yang telah dikumpulkan akan melalui proses penghapusan karakter dan tanda baca yang tidak diperlukan, seperti tanda kutip tanda tanya (?), titik (.), dan simbol lainnya. Setelah itu, dilakukan pembersihan terhadap *stop words*, yaitu kata-kata yang tidak memberikan banyak makna dalam sebuah kalimat dan dapat dihilangkan tanpa mengubah makna kalimat, seperti kata “yang”, “dan”, “atau”, dan sebagainya.

**Tabel 3.3** Dataset ke-1 Setelah Melalui *Pre-processing*

<i>question</i>	<i>answer</i>
diajarkan iklim	bumi mengalami periode berkepanjangan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca menyebabkan suhu global



	<p>permukaan laut mempelajari periode hangat potensi konsekuensi jangka peningkatan gas rumah kaca atmosfer kondisi iklim hangat pemicu penyesuaian jangka konsentrasi karbon dioksida atmosfer penyesuaian berlanjut abad ribuan</p>
perbedaan perubahan iklim pemanasan global	<p>pemanasan global mengacu pemanasan jangka planet perubahan iklim mencakup pemanasan global mengacu perubahan luas planet naiknya permukaan air laut menyusutnya gletser pegunungan percepatan pencairan es greenland antartika arktik pergeseran mekarnya bunga tanaman</p>
ancaman utama perubahan iklim	<p>ancaman utama perubahan iklim berasal meningkatnya suhu atmosfer bumi naiknya permukaan air laut runtuhnya ekosistem cuaca parah meningkatnya suhu emisi gas rumah kaca disebabkan manusia mempengaruhi sistem planet suhu mempengaruhi musim melewati tingkat aman ekosistem manusia dampak parah bertindak menghentikan emisi gas rumah kaca</p>

**Tabel 3.4** Dataset ke-2 Setelah Melalui *Pre-processing*

<i>question</i>	<i>answer</i>
dampak iklim emisi metana rantai pasokan minyak gas alam	emisi metana rantai pasokan minyak gas alam signifikan berkontribusi perubahan iklim memerangkap panas atmosfer
reaksi kritikus film dokumenter perubahan iklim fakta	kritikus memuji dokumenter menyoroti bahaya mengambil tindakan perubahan iklim the guardian menyebutnya seruan membangkitkan semangat bertindak the telegraph menggambarkan judulnya kuat memuji penggunaan attenborough presenter perdebatan

	publik histeris baiknya disajikan percaya percaya attenborough
ciriciri perilaku konsumen hijau	perilaku konsumen hijau mencakup pilihan pembelian penggunaan produk pascapenggunaannya pengelolaan rumah tangga perilaku kolektif aktivisme konsumen mencerminkan motivasi terkait lingkungan perilaku mencakup pembelian penggunaan produk dampak lingkungan rendah produk terurai hayati kemasan didaur ulang dikurangi penggunaan energi rendah

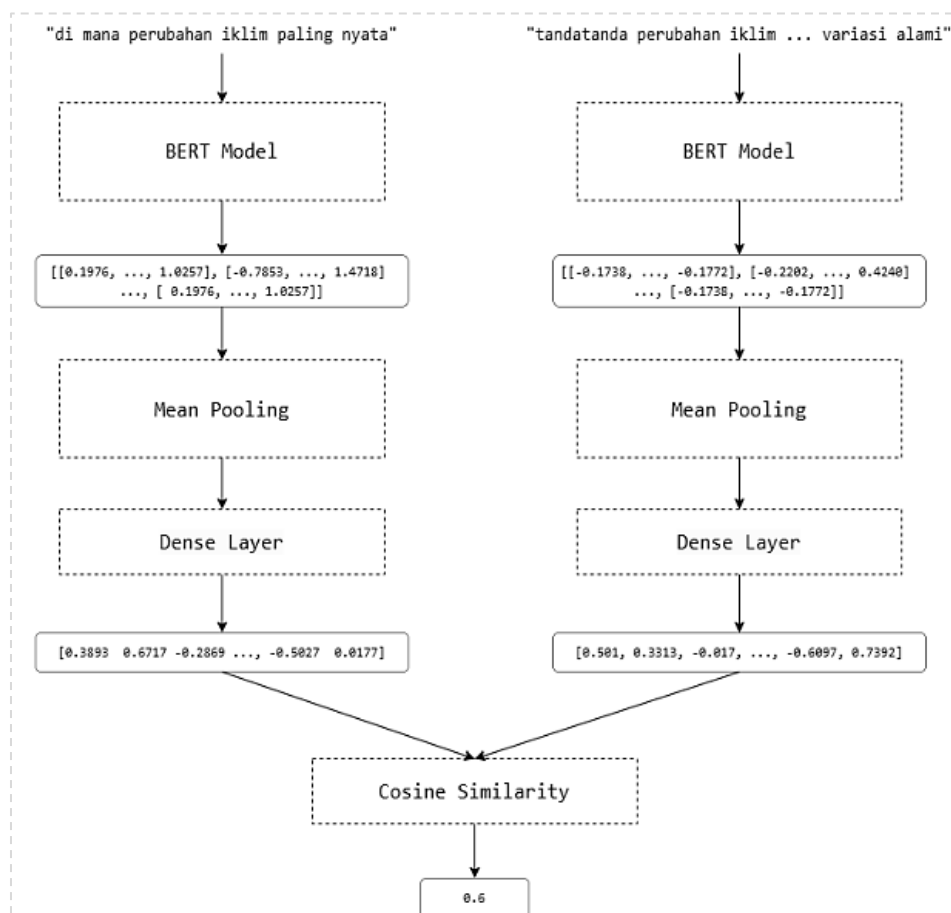
### 3.4 Fine-tuning Sentence-BERT

Dalam penelitian ini, penulis memanfaatkan *library sentence-transformers* serta model pre-trained '*indoSBERT-large*'. Model ini merupakan modifikasi dari model IndoBERT yang dilatih menggunakan menggunakan skema jaringan *Siamese-BERT* dengan dataset *Semantic Textual Similarity* atau STS (2012-2016) yang telah diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia. Struktur pada model ini terdiri dari:

1. *Transformer layer*, yaitu bagian pertama model sebagai encoder berbasis arsitektur BERT untuk menghasilkan *embedding* setiap token dari teks input. Model ini mendukung panjang maksimum *sequence* input hingga 256 token.
2. *Pooling layer*, yaitu untuk menggabungkan *embedding* token menjadi satu *embedding* tetap yang merepresentasikan keseluruhan teks. Dimensi *embedding* dari setiap token adalah 1024, sesuai dengan ukuran keluaran dari *encoder* BERT yang digunakan. Model ini menggunakan *mean-pooling* untuk menghitung rata-rata dari semua *embedding* token dalam setiap dimensi. Operasi ini mengubah *token-level embeddings* berbentuk  $256 \times 1024$  menjadi *sentence-level embeddings* berbentuk  $1 \times 1024$ .
3. *Dense layer*, yaitu untuk mengubah dimensi dari hasil *pooling* yang berukuran 1024 menjadi dimensi yang lebih rendah, dalam hal ini menjadi berukuran 256. *Layer* ini menerapkan *bias*, yang akan ditambahkan ke dalam hasil perhitungan sebelum fungsi aktivasi diterapkan. Fungsi aktivasi Tanh digunakan untuk normalisasi hasil keluaran ke dalam rentang nilai yang bervariasi antara -1 dan 1.

Dalam tahap pelatihan, model *Sentence-BERT* dilatih melalui penyesuaian nilai *hyperparameters*. Kebanyakan *hyperparameters* saat *fine-tuning Sentence-BERT* tidak berbeda dengan yang digunakan pada pelatihan pada model *Sentence-BERT* pada umumnya. yaitu:

1. Batch size: 16
2. Learning rate (Adam):  $2e-5$
3. Warmup Steps: 0.1



**Gambar 3.4.** Arsitektur Model *Sentence-BERT*

Sebelum melakukan pelatihan, dataset terbagi menjadi tiga kategori: dataset untuk pelatihan, validasi, dan pengujian. Format untuk dataset pada penelitian ini adalah pasangan (*question*, *answer*) yang tidak memiliki anotasi label. Oleh karena itu, *loss function* yang sesuai untuk dataset dengan format tersebut adalah MultipleNegativesRankingLoss (MNRL). MNRL bertujuan untuk meminimalkan jarak antara *sentence embeddings* yang mirip sambil memaksimalkan jarak antara

*sentence embeddings* yang berbeda . Hal ini dilakukan dengan melatih model dengan fungsi objektif berikut:

$$\mathcal{J}(x, y, \theta) = -\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \log P_{approx}(y_i | x_i) = -\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K [S(x_i, y_i) - \sum_{j=1}^K \log e^{S(x_i, y_j)}] \quad (1)$$

di mana setiap  $(x_i, y_i)$  adalah pasangan positif dari data pelatihan dan setiap  $(x_i, y_j)$  untuk  $i \neq j$  adalah pasangan negatif. Untuk setiap pertanyaan  $x_i$ , memiliki 1 jawaban positif  $y_i$  dan  $n - 1$  jawaban negatif  $y_j$ . MNRL kemudian meminimalkan log-log negatif untuk skor yang dinormalisasi dengan softmax. Di sini,  $K$  merepresentasikan jumlah pasangan kalimat positif dalam satu *batch* pelatihan. Langkah-langkah perhitungan menggunakan MNR loss, yaitu:

1. Misalnya terdapat *similarity scores* pasangan pertanyaan  $x_i$  dengan kandidat jawaban  $y_1, y_2, y_3$ :

$$S(x, y) = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.8 & 0.4 \\ 0.5 & 0.6 & 0.95 \end{bmatrix}$$

2. Menghitung eksponensial untuk setiap *similarity scores* pasangan pertanyaan-jawaban dihitung:

$$e^{S(x, y)} = \begin{bmatrix} e^{0.9} & e^{0.3} & e^{0.1} \\ e^{0.2} & e^{0.8} & e^{0.4} \\ e^{0.5} & e^{0.6} & e^{0.95} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.459 & 1.350 & 1.105 \\ 1.221 & 2.225 & 1.492 \\ 1.649 & 1.822 & 2.585 \end{bmatrix}$$

3. Menghitung *Softmax denominator* untuk pertanyaan  $x_i = \sum_{j=1}^K \log e^{S(x_i, y_j)}$  :

$$x_1 = \sum_{j=1}^K \log e^{S(x_1, y_j)} = 2.459 + 1.350 + 1.105 = 4.914$$

$$x_2 = \sum_{j=1}^K \log e^{S(x_2, y_j)} = 1.221 + 2.225 + 1.492 = 4.938$$

$$x_3 = \sum_{j=1}^K \log e^{S(x_3, y_j)} = 1.649 + 1.822 + 2.585 = 6.056$$

4. Untuk setiap  $x_i$ , pasangan positif adalah  $y_i$  (diagonal elemen). Log *softmax* dihitung sebagai:

$$\log P_{approx}(y_1 | x_1) = 0.9 - \log(4.914) = -0.692$$

$$\log P_{approx}(y_2 | x_2) = 0.8 - \log(4.938) = -0.797$$



$$\log P_{approx}(y_i | x_i) = 0.95 - \log(6.056) = -0.851$$

5. MNRL Loss adalah rata-rata negatif dari log-likelihood

$$\mathcal{J}(x, y, \theta) = -\frac{1}{3} [-0.692 + (-0.797) + (-0.851)] = 0.780$$

### 3.5 Evaluasi

Tahapan evaluasi ditujukan untuk mengukur performa model dalam memberikan hasil jawaban yang relevan untuk setiap pertanyaan. Untuk itu digunakan metrik *Mean Reciprocal Rank* (MRR). MRR adalah rata-rata dari *Reciprocal Ranks* (RR) dari hasil jawaban relevan pertama untuk sekumpulan kueri. RR untuk sebuah kueri adalah kebalikan dari posisi peringkat hasil pertama yang relevan. Jika hasil relevan pertama muncul di posisi k, maka peringkat resiprokalnya adalah  $1/k$ . Rumus perhitungan untuk mendapatkan MRR ditunjukkan pada persamaan 2:

$$MRR = \frac{1}{|Q|} \sum_{i=1}^{|Q|} \frac{1}{rank_i} \quad (2)$$

Nilai MRR berada dalam rentang 0 hingga 1, di mana “1” menunjukkan bahwa jawaban pertama yang relevan selalu berada di urutan teratas. MRR berfokus pada peringkat hasil relevan pertama yang dikembalikan oleh sistem. Hal ini sangat penting karena pengguna sering kali mengandalkan beberapa hasil pertama saat mencari informasi. Dengan fokus pada posisi hasil pertama yang relevan, MRR memberikan indikator yang jelas mengenai kemampuan sistem dalam mengutamakan informasi yang paling berguna.

## BAB 4

### IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

#### 4.1 Implementasi Sistem

##### 4.1.1 Spesifikasi Perangkat Keras

Spesifikasi perangkat keras yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Processor Intel(R) Core(TM) i5-8265U CPU @ 1.60GHz, 1800 Mhz
2. RAM 8 GB
3. Kapasitas SSD 256 GB

##### 4.1.2 Spesifikasi Perangkat Lunak

Spesifikasi perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Sistem operasi windows 11 64 bit
2. Google Colaboratory (Python 3.0)
3. Library: NLTK, *beautifulsoup*, *pandas*, *sentence-transformers*, *datasets*, *deep\_translator*
4. Anaconda Python 3.0
5. Jupyter Notebook

#### 4.2 Implementasi *Data Collection*

Kumpulan data pasangan pertanyaan dan jawaban. yang berhasil dikumpulkan adalah sebanyak 440 untuk dataset ke-1 dan 8790 untuk dataset ke-2. Hasil pengumpulan data yang bersumber dari website berbahasa Inggris diterjemahkan ke bahasa Indonesia menggunakan *GoogleTranslator* yang disediakan oleh *library deep\_translator*. Kemudian, hasil terjemahan masing-masing dataset ke-1 (Gambar 4.1) dan dataset ke-2 (Gambar 4.2) disimpan dalam bentuk *.csv*.



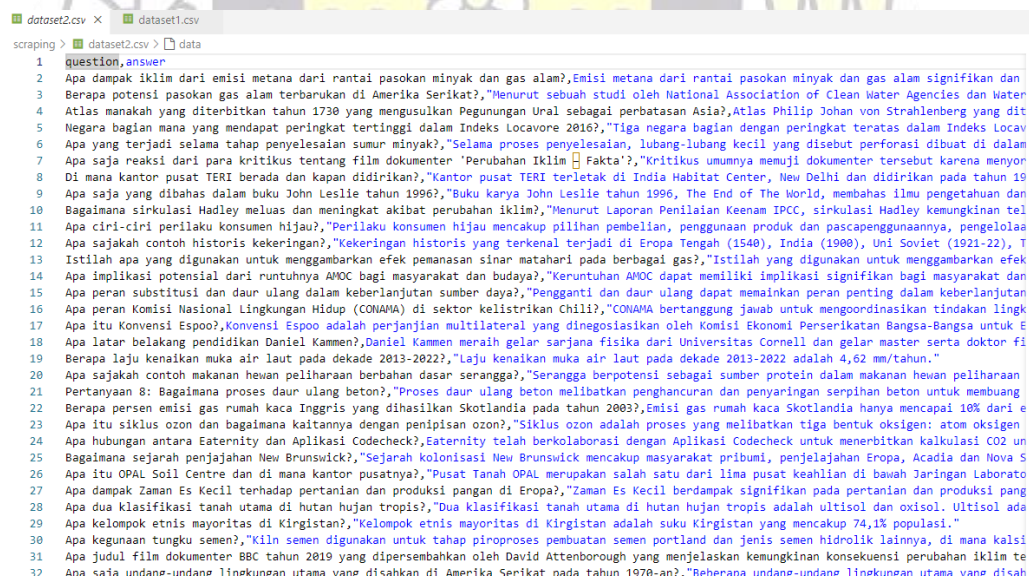
```

1 question,answer,url
2 Apakah Kita Memahami Perubahan Iklim Lebih Baik Sekarang Dibandingkan Saat IPCC Dimulai?,"Ya, jauh lebih baik. Laporan IPCC pertama, yang dirilis
3 Di Mana Perubahan Iklim Paling Nyata?,"Tanda-tanda perubahan iklim tidak dapat dipungkiri lagi dalam skala global dan semakin tampak jelas dalam
4 Apa yang Dapat Diajarkan Iklim Masa Lalu kepada Kita tentang Masa Depan?,"Di masa lalu, Bumi telah mengalami periode berkepanjangan dengan pening
5 Suhu Bumi Pernah Berubah Sebelumnya. Bagaimana Pemanasan Global Saat Ini Berbeda?,"Meskipun iklim dapat dicirikan oleh banyak variabel, suhu meru
6 Apa Bukti Perubahan Iklim?,"Kita telah lama mengamati perubahan iklim kita. Sejak ilmuwan pertama melakukan pengamatan meteorologi pada abad ke-1
7 Bagaimana Kita Tahu Manusia Bertanggung Jawab atas Perubahan Iklim?,"Iklim dipengaruhi oleh berbagai faktor. Ada dua faktor utama yang menyebabka
8 Apa itu Variabilitas Alami dan Bagaimana Pengaruhnya terhadap Perubahan Iklim Terkini?,"Catatan paleoklimat (pengukuran iklim tidak langsung yang
9 Apakah Model Iklim Membantu?,"Model iklim merupakan perangkat penting untuk memahami perubahan iklim di masa lalu, sekarang, dan masa depan. Model
10 Bagaimana Iklim Akan Berubah Selama Dua Puluh Tahun Ke Depan?,"Dua puluh tahun adalah waktu yang lama menurut standar manusia tetapi waktu yang s
11 Seberapa Cepat Kita Akan Melihat Dampak Pengurangan Emisi Karbon Dioksida?,"Mengurangi emisi karbon dioksida (CO2) gas rumah kaca terpenting ya
12 "Pada Tingkat Pemanasan Global Tertentu, Bagaimana Pola Spasial Perubahan Iklim?,"Intensitas perubahan iklim akan bergantung pada tingkat peman
13 Apakah Penyerapan Karbon Secara Alami dari Atmosfer Melemah?,"Selama beberapa dekade, sekitar setengah dari karbon dioksida (CO2) yang dipancarkan
14 Bisakah Perubahan Iklim Diatasi dengan Menghilangkan Karbon Dioksida dari Atmosfer?,"Penghapusan karbon dioksida (CO2) yang disengaja dari atmosf
15 Bisakah Perubahan Karbon?,"Ada beberapa jenis anggaran karbon. Paling sering, istilah ini merujuk pada jumlah bersih total karbon dioksida (CO2) y
16 Apa itu Pemaksa Iklim Jangka Pendek dan Bagaimana Pengaruhnya terhadap Iklim?,"Pemaksa iklim jangka pendek (SLCF) adalah senyawa seperti metana d
17 Apa Hubungan Antara Membatasi Perubahan Iklim dan Meningkatkan Kualitas Udara?,"Perubahan iklim dan kualitas udara saling terkait erat. Banyak ak
18 "Berapa Anggaran Energi Bumi, dan Apa yang Diceritakannya tentang Perubahan Iklim?,"Planet kita menerima sejumlah besar energi setiap hari dalam
19 Apa Peran Awan dalam Iklim yang Memanas?,"Awan menutupi sekitar dua pertiga permukaan Bumi. Awan terdiri dari tetesan kecil dan/atau kristal es,
20 Apa itu Sensitivitas Iklim Keseimbangan dan Bagaimana Kaitannya dengan Pemanasan di Masa Depan?,"Sensitivitas iklim ekuilibrium (ECS) didefinisik
21 Bagaimana Perubahan Penggunaan Lahan Mengubah Siklus Air?,"Cara manusia menggunakan dan mengubah tutupan lahan, misalnya dengan mengubah lahan me
22 Akanakah Banjir Menjadi Lebih Parah atau Lebih Sering Terjadi Akibat Perubahan Iklim?,"Iklim yang lebih hangat meningkatkan jumlah dan intensitas
23 "Apa Penyebab Kekeringan, dan Akanakah Perubahan Iklim Memperburuknya?,"Kekeringan biasanya dimulai sebagai defisit presipitasi, tetapi kemudian
24 Bisakah Pencairan Lapisan Es Greenland dan Antartika yang Berkelanjutan Dihentikan? Berapa Lama Waktu yang Diperlukan untuk Mencairkannya Kembali
25 Seberapa Tinggi Kenaikan Muka Air Laut dalam Beberapa Dekade Mendatang?,"Di seluruh dunia, permukaan laut meningkat, dan laju peningkatannya sema
26 Akanakah Arus Teluk Tutup?,"Arus Teluk adalah arus terbesat di Samudra Atlantik Utara. Arus ini mengangkut sekitar 30 miliar kilogram air per deti
27 Bagaimana Kita Dapat Menyediakan Informasi Iklim yang Berguna bagi Para Pemangku Kepentingan Regional?,"Pengembangan, penyampaian, dan penggunaan
28 Mengapa Kota Menjadi Titik Panas Pemanasan Global?,"Saat ini, kota-kota dihuni oleh 55% populasi dunia. Jumlah ini terus bertambah, dan setiap ta
29 Bagaimana Perbandingan Perubahan Iklim Ekstrem dengan Perubahan Iklim Rata-rata?,"Perubahan iklim yang disebabkan manusia mengubah frekuensi dan
30 Akanakah Terjadi Kondisi Ekstrem yang Belum Pernah Terjadi Sebelumnya Sebagai Akibat Perubahan Iklim yang Disebabkan Manusia?,"Perubahan iklim tel
31 Apakah Perubahan Iklim Menyebabkan Peristiwa Ekstrem Baru-baru Ini di Negara Sava?,"Meskipun sulit untuk mengidentifikasi penyebab pasti dari sua

```

Gambar 4.1 Hasil Dataset ke-1

Pada sistem yang dibangun, hanya dataset ke-1 yang digunakan sebagai basis pengetahuan karena pada dataset tersebut memiliki *url* sumber data, yaitu url pada website seperti *ipcc.ch*, *climate.nasa.gov*, *nature.org*, *imperial.ac.uk*, *natgeokids.com*, dan *theguardian.com*.



```

1 question,answer,url
2 Apa dampak iklim dari emisi metana dari rantai pasokan minyak dan gas alam?,"Emisi metana dari rantai pasokan minyak dan gas alam signifikan dan
3 Berapa potensi pasokan gas alam terbaru di Amerika Serikat?,"Menurut sebuah studi oleh National Association of Clean Water Agencies dan Water
4 Atlas manakah yang diterbitkan tahun 1730 yang mengusulkan Pegunungan Ural sebagai perbatasan Asia?,"Atlas Philip Johan von Strahlenberg yang dit
5 Negara bagian mana yang mendapat peringkat tertinggi dalam Indeks Locavore 2016?,"Tiga negara bagian dengan peringkat teratas dalam Indeks Locav
6 Apa yang terjadi selama tahap penyelesaian sumur minyak?,"Selama proses penyelesaian, lubang-lubang kecil yang disebut perforasi dibuat di dalam
7 Apa saja reaksi dari para kritikus tentang film dokumenter 'Perubahan Iklim Fakta'?,"Kritikus umumnya menyuji dokumenter tersebut karena menyor
8 Di mana kantor pusat TERI berada dan kapan didirikan?,"Kantor pusat TERI terletak di India Habitat Center, New Delhi dan didirikan pada tahun 19
9 Apa saja yang dibahas dalam buku John Leslie tahun 1996?,"Buku karya John Leslie tahun 1996, The End of The World, membahas ilmu pengetahuan dan
10 Bagaimana sirkulasi Hadley meluas dan meningkat akibat perubahan iklim?,"Menurut Laporan Penilaian Keenam IPCC, sirkulasi Hadley kemungkinan tel
11 Apa ciri-ciri perilaku konsumen hijau?,"Perilaku konsumen hijau mencakup pilihan pembelian, penggunaan produk dan pascapenggunaannya, pengelolaa
12 Apa sajakah contoh historis kekeringan?,"Kekeringan historis yang terkenal terjadi di Eropa Tengah (1540), India (1900), Uni Soviet (1921-22), T
13 Istilah apa yang digunakan untuk menggambarkan efek pemanasan sinar matahari pada berbagai gas?,"Istilah yang digunakan untuk menggambarkan efek
14 Apa implikasi potensial dari runtuhnya AMOC bagi masyarakat dan budaya?,"Keruntuhan AMOC dapat memiliki implikasi signifikan bagi masyarakat dan
15 Apa peran substitusi dan daur ulang dalam keberlanjutan sumber daya?,"Pengganti dan daur ulang dapat memainkan peran penting dalam keberlanjutan
16 Apa peran Komisi Nasional Lingkungan Hidup (CONAMA) di sektor kelistrikan Chili?,"CONAMA bertanggung jawab untuk mengoordinasikan tindakan lingk
17 Apa itu Konvensi Espoo?,"Konvensi Espoo adalah perjanjian multilateral yang dinegosiasikan oleh Komisi Ekonomi Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk E
18 Apa latar belakang pendidikan Daniel Kammen?,"Daniel Kammen meraih gelar sarjana fisika dari Universitas Cornell dan gelar master serta doktor fi
19 Berapa laju kenaikan muka air laut pada dekade 2013-2022?,"Laju kenaikan muka air laut pada dekade 2013-2022 adalah 4,62 mm/tahun."
20 Apa sajakah contoh makanan hewan peliharaan berbahan dasar serangga?,"Serangga berpotensi sebagai sumber protein dalam makanan hewan peliharaan
21 Pertanyaan 8: Bagaimana proses daur ulang beton?,"Proses daur ulang beton melibatkan penghancuran dan penyaringan serpihan beton untuk membuang
22 Berapa persen emisi gas rumah kaca Inggris yang dihasilkan Skotlandia pada tahun 2003?,"Emisi gas rumah kaca Skotlandia hanya mencapai 10% dari e
23 Apa itu siklus ozon dan bagaimana kaitannya dengan penipisan ozon?,"Siklus ozon adalah proses yang melibatkan tiga bentuk oksigen: atom oksigen
24 Apa hubungan antara Eternity dan Aplikasi Codecheck?,"Eternity telah berkolaborasi dengan Aplikasi Codecheck untuk memberikan kalkulasi CO2 un
25 Bagaimana sejarah penjajahan New Brunswick?,"Sejarah kolonisasi New Brunswick mencakup masyarakat pribumi, penjelajahan Eropa, Acadia dan Nova S
26 Apa itu OPAL Soil Centre dan di mana kantor pusatnya?,"Pusat Tanah OPAL merupakan salah satu dari lima pusat keahlian di bawah Jaringan Laborato
27 Apa dampak Zaman Es Kecil terhadap pertanian dan produksi pangan di Eropa?,"Zaman Es Kecil berdampak signifikan pada pertanian dan produksi pang
28 Apa dua klasifikasi tanah utama di hutan hujan tropis?,"Dua klasifikasi tanah utama di hutan hujan tropis adalah ultisol dan oxisol. Ultisol ada
29 Apa kelompok etnis mayoritas di Kirgistan?,"Kelompok etnis mayoritas di Kirgistan adalah suku Kirgistan yang mencakup 74,1% populasi."
30 Apa kegunaan tungku semen?,"Kiln semen digunakan untuk tahap piroproses pembuatan semen portland dan jenis semen hidrolik lainnya, di mana kalsi
31 Apa judul film dokumenter BBC tahun 2019 yang dipersempikan oleh David Attenborough yang menjelaskan kemungkinan konsekuensi perubahan iklim te
32 Apa tiga undang-undang lingkungan utama yang disahkan di Amerika Serikat pada tahun 1970-an?,"Beberapa undang-undang lingkungan utama yang disah

```

Gambar 4.2 Hasil Dataset ke-2

Dataset ke-2 digunakan untuk menambah data pelatihan pada model agar model belajar lebih banyak pola dari data sehingga dapat meningkatkan performa model.

Pada pelatihan model, penulis menggunakan gabungan dari dataset ke-1 dan dataset ke-2 dengan menyesuaikan dengan format pada dataset ke-2 yaitu dengan menghilangkan kolom url. Hasilnya seperti pada gambar 4.3., dengan total data pasangan tanya-jawab sebanyak 9230.

	question	answer
0	Apakah Kita Memahami Perubahan Iklim Lebih Bai...	Ya, jauh lebih baik. Laporan IPCC pertama, yan...
1	Di Mana Perubahan Iklim Paling Nyata?	Tanda-tanda perubahan iklim tidak dapat dipung...
2	Apa yang Dapat Diajarkan Iklim Masa Lalu kepad...	Di masa lalu, Bumi telah mengalami periode ber...
3	Suhu Bumi Pernah Berubah Sebelumnya. Bagaimana...	Meskipun iklim dapat dicirikan oleh banyak var...
4	Apa Bukti Perubahan Iklim?	Kita telah lama mengamati perubahan iklim kita...
...	...	...
9225	Apa nama konsep yang melihat perubahan iklim s...	Mengurangi jarak psikologis tidak secara andal...
9226	Apa saja masalah operasional yang dihadapi saa...	Beberapa masalah operasional yang dilaporkan t...
9227	Apa tujuan dari standar Rainforest Alliance?	Standar Rainforest Alliance bertujuan untuk me...
9228	Apa saja kebutuhan makanan hewan herbivora dal...	Kebutuhan makanan hewan herbivora dalam petern...
9229	Tindakan apa yang telah diterapkan pemerintah ...	Pemerintah Washington D.C. telah menerapkan be...

9230 rows x 2 columns

**Gambar 4.3** Dataset untuk Pelatihan Model

### 4.3 Pre-processing Dataset

Tahap *pre-processing* dilakukan untuk *data cleaning*, *case folding*, dan *stopwords removal*. Berikut adalah hasil penerapan *pre-processing* untuk dataset.

	question	answer
0	memahami perubahan iklim dibandingkan ipcc	ya laporan ipcc dirilis 1990 menyimpulkan peru...
1	perubahan iklim nyata	tandatanda perubahan iklim dipungkiri skala gl...
2	diajarkan iklim	bumi mengalami periode berkepanjangan peningka...
3	suhu bumi berubah pemanasan global berbeda	iklim dicirikan variabel suhu indikator utama ...
4	bukti perubahan iklim	mengamati perubahan iklim ilmuwan pengamatan m...
...	...	...
9225	nama konsep perubahan iklim mengakibatkan aksi...	mengurangi jarak psikologis andal meningkatkan...
9226	operasional dihadapi minyak sayur bahan bakar ...	operasional dilaporkan terkait penggunaan miny...
9227	tujuan standar rainforest alliance	standar rainforest alliance bertujuan melestar...
9228	kebutuhan makanan hewan herbivora peternakan	kebutuhan makanan hewan herbivora peternakan d...
9229	tindakan diterapkan pemerintah washington dc m...	pemerintah washington dc menerapkan langkah me...

9230 rows x 2 columns

**Gambar 4.4** Dataset Hasil *Pre-processing*



#### 4.4 Fine-tuning Sentence-BERT

Setelah melakukan *pre-processing*, dataset dibagi menjadi 6461 data untuk pelatihan, 1384 data untuk validasi selama proses pelatihan, dan 1385 data untuk pengujian. Gambar 4.5 adalah hasil *split* dataset dan diubah ke dalam objek *DatasetDict* menggunakan *library* *datasets*. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan format dataset yang diharapkan saat melatih model *Sentence-BERT*.

```
DatasetDict({
  train: Dataset({
    features: ['question', 'answer'],
    num_rows: 6461
  })
  val: Dataset({
    features: ['question', 'answer'],
    num_rows: 1384
  })
  test: Dataset({
    features: ['question', 'answer'],
    num_rows: 1385
  })
})
```

**Gambar 4.5** Dataset Berupa Objek **DatasetDict**

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan model ‘denaya/indoSBERT-large’, yang merupakan model *Sentence-BERT* untuk bahasa Indonesia, dikembangkan oleh Denaya dan tersedia di *Hugging Face*.

```
[ ] # 1. Load a model to finetune with
    model = SentenceTransformer('denaya/indoSBERT-large')

[ ] Show hidden output

[ ] model

SentenceTransformer(
  (0): Transformer({'max_seq_length': 256, 'do_lower_case': False}) with Transformer model: BertModel
  (1): Pooling({'word_embedding_dimension': 1024, 'pooling_mode_cls_token': False,
'pooling_mode_mean_tokens': True, 'pooling_mode_max_tokens': False, 'pooling_mode_mean_sqrt_len_tokens':
False, 'pooling_mode_weightedmean_tokens': False, 'pooling_mode_lasttoken': False, 'include_prompt':
True})
  (2): Dense({'in_features': 1024, 'out_features': 256, 'bias': True, 'activation_function':
'torch.nn.modules.activation.Tanh'})
)
```

**Gambar 4.6** Arsitektur Model ‘denaya/indoSBERT-large’

Data pengujian akan digunakan untuk menilai kinerja model terbaik yang didapat dari proses pembelajaran dan validasi. *Batch samplers* yang digunakan

adalah *NoDuplicatesBatchSampler*, yaitu untuk memastikan tidak ada sampel yang terduplikasi dalam satu batch. Ini direkomendasikan untuk *loss* yang menggunakan negatif dalam batch, seperti *MultipleNegativesRankingLoss*.

Penulis menggunakan kelas *SentenceTransformersTrainingArguments* untuk menentukan *hyperparameters* yang akan mempengaruhi kinerja pelatihan model. Dalam melakukan *fine-tuning*, penulis menggunakan *hyperparameters* sebagai berikut:

1. Batch size: 16
2. Learning rate: 2e-5
3. Warmup Steps: 0.1



```
[ ] # 2. Load a dataset to finetune on
train_dataset = dataset["train"]
eval_dataset = dataset["val"]
test_dataset = dataset["test"]

# 3. Define a loss function
loss = MultipleNegativesRankingLoss(model)

# 4. Specify training arguments
args = SentenceTransformerTrainingArguments(
    # Required parameter:
    output_dir="models/denaya-indoSBERT-large_e5b16",
    # training parameters:
    num_train_epochs=5,
    per_device_train_batch_size=16,
    per_device_eval_batch_size=16,
    learning_rate=2e-5,
    warmup_ratio=0.1,
    # MultipleNegativesRankingLoss benefits from no duplicate samples in a batch
    batch_sampler=BatchSamplers.NO_DUPLICATES,
    fp16=True, # Set to False if you get an error that your GPU can't run on FP16
    bf16=False, # Set to True if you have a GPU that supports BF16
    # tracking/debugging parameters:
    eval_strategy="steps",
    eval_steps=100,
    save_strategy="steps",
    save_steps=100,
    save_total_limit=2,
    logging_steps=100,
    run_name="indoSBERT-large_e5b16", # Will be used in W&B if `wandb` is installed
)
```

**Gambar 4.7** Pendefinisian *Loss Function* dan *Training Arguments*

Dalam memberikan metrik yang lebih konkret sebelum, selama, atau setelah pelatihan model, penulis menggunakan *InformationRetrievalEvaluator* yang berfungsi untuk mengukur kinerja model dengan membandingkan pertanyaan terhadap jawaban yang relevan. Pertama, *corpus* dibuat dari daftar jawaban dalam dataset validasi. Selanjutnya, *queries* berisi daftar pertanyaan dari dataset yang sama.

Variabel *relevant\_docs* digunakan untuk memetakan setiap pertanyaan ke jawaban relevan, yang dalam hal ini memiliki indeks yang sama. Evaluasi dilakukan berdasarkan *eval\_strategy* dan *eval\_steps* yang ditentukan dalam *training arguments*.

```
[ ] # 5. Create an evaluator & evaluate the base model
corpus = {str(idx): answer for idx, answer in enumerate(dataset["val"]["answer"])}
queries = {str(idx): question for idx, question in enumerate(dataset["val"]["question"])}
relevant_docs = {str(idx): {str(idx)} for idx in range(len(dataset["val"]["question"]))}

dev_evaluator = InformationRetrievalEvaluator(
    queries=queries,
    corpus=corpus,
    relevant_docs=relevant_docs,
    name="indoSBERT-large-eval",
)
```

**Gambar 4.8** Pembuatan *Evaluator* untuk *Base Model*

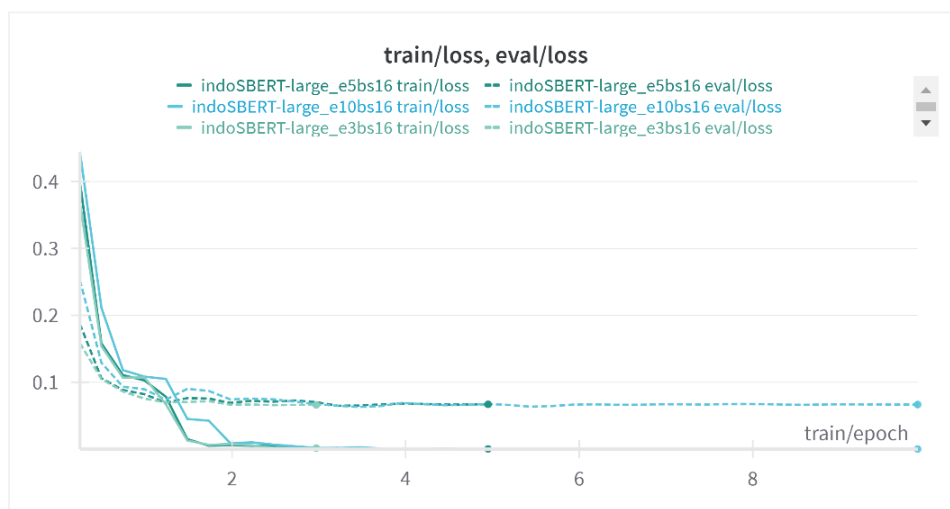
Objek *trainer* dibuat menggunakan kelas *SentenceTransformerTrainer* dengan parameter yang berisi variabel yang telah ditentukan sebelumnya. Setelah semua parameter dikonfigurasi, pelatihan model dimulai dengan memanggil *trainer.train()*, yang akan menjalankan proses pelatihan model.

```
[ ] # 6. Create a trainer & train
trainer = SentenceTransformerTrainer(
    model=model,
    args=args,
    train_dataset=train_dataset,
    eval_dataset=eval_dataset,
    loss=loss,
    evaluator=dev_evaluator,
)
trainer.train()
```

**Gambar 4.9** Pembuatan *Trainer* dengan *SentenceTransformerTrainer*

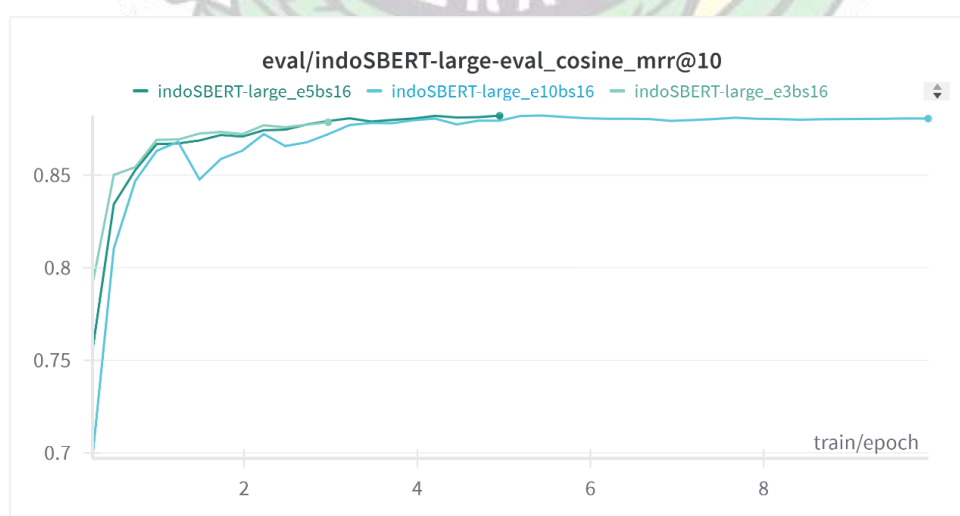
Untuk menentukan *epoch* yang digunakan pada sistem, penulis melakukan percobaan pada epoch 3, 5, dan 10. Pada semua *epoch*, *train/loss* mengalami penurunan yang signifikan pada awal pelatihan, yang menandakan bahwa model dengan cepat menyesuaikan parameter untuk meminimalkan *loss*. Setelah *epoch* ke-2, nilai *train/loss* relatif stabil di semua *epoch*. Hal ini menandakan bahwa model mendekati konvergensi. *Eval/loss* pada semua *epoch* mengikuti pola *train/loss*,

meskipun terdapat fluktuasi kecil. Model pada *epoch* 10 terlihat lebih unggul dalam stabilitas *loss* di akhir pelatihan karena memiliki waktu pelatihan lebih lama



**Gambar 4.10** Kurva *Training* dan *Validation Loss*

Pada 1-2 *epoch* pertama, nilai MRR mengalami peningkatan yang signifikan sehingga menunjukkan bahwa model berhasil belajar representasi yang lebih efektif untuk pengambilan data. Pada *epoch* 5, model memiliki nilai MRR terbaik yaitu 0,882 dibandingkan dengan *epoch* 3 bernilai 0.878 dan *epoch* 10 bernilai 0.880. Selanjutnya untuk pengembangan sistem, penulis menggunakan model yang dilatih dengan *epoch* 5.



**Gambar 4.11** Kurva *Mean Reciprocal Rank (MRR)* pada Dataset Pengujian



#### 4.5 Evaluasi Sistem

Dilakukan uji coba dengan 10 kueri pada sistem yang basis pengetahuannya dari dataset ke-1. Untuk mendapatkan jawaban yang relevan, setiap kueri akan di-*encode* dan menghasilkan nilai *embedding* yang kemudian akan dicocokkan dengan pertanyaan pada dataset ke-1 yang sebelumnya sudah di-*encode* dan *embedding*-nya disimpan dalam format *pickle*. Sistem diatur untuk menghasilkan hasil pencarian sebanyak lima teratas. Kemudian, untuk mengetahui posisi jawaban yang benar dari sistem adalah dengan berdasarkan pada data *ground truth*.

**Tabel 4.1** Data *Ground Truth*

No	Kueri	Pertanyaan	Jawaban
1.	apa yang bisa kita pelajari dari iklim di masa lalu	Apa yang Dapat Diajarkan Iklim Masa Lalu kepada Kita tentang Masa Depan?	Di masa lalu, Bumi telah mengalami periode berkepanjangan dengan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca ...
2.	kapan dampak aktivitas manusia terhadap iklim mulai terlihat secara nyata pada tingkat lokal	Kapan Pengaruh Manusia terhadap Iklim Menjadi Jelas dalam Skala Lokal?	Pemanasan yang disebabkan oleh manusia sudah mulai terlihat jelas di daratan di beberapa wilayah tropis, terutama selama musim panas...
3.	apakah model iklim semakin berkembang	Apakah Model Iklim Membaik?	Model iklim merupakan perangkat penting untuk memahami perubahan iklim di masa lalu, sekarang, dan masa depan...
4.	apa yang perlu diketahui manusia dalam adaptasi terhadap dampak bahaya iklim	Bagaimana manusia beradaptasi terhadap dampak perubahan iklim dan apa saja batasan adaptasi yang diketahui?	Jika kita ingin mengatasi bahaya iklim dan mengurangi risiko bagi manusia dan ekosistem yang berasal dari perubahan iklim...
5.	kenapa kota-kota yang berada di sekitar tepi laut yang paling beresiko terkena dampak perubahan iklim	Mengapa kota-kota pesisir dan pemukiman di tepi laut sangat berisiko akibat perubahan	Kota dan pemukiman pesisir (C&S) di tepi laut menghadapi risiko yang jauh lebih besar daripada C&S pedalaman...

		iklim, dan kota mana yang paling berisiko?	
6.	apakah ada pengaruh terhadap rotasi planet apabila es di daerah kutub di bumi mencair	Jika semua es di Bumi mencair dan mengalir ke lautan, apa yang akan terjadi pada rotasi planet?	Mencairnya es daratan, seperti gletser pegunungan dan lapisan es Greenland dan Antartika, akan mengubah rotasi Bumi hanya jika air lelehan mengalir ke lautan...
7.	apa kontribusi yang bisa saya lakukan dalam menghentikan perubahan iklim	Apa yang dapat saya lakukan untuk menghentikan perubahan iklim?	Anda dapat menjadi bagian dari solusi perubahan iklim. Pertama, hitung jejak karbon Anda dan ambil tindakan yang dapat Anda lakukan untuk menurunkannya...
8.	bagaimana peluang dan tantangan dalam mitigasi berbeda di setiap wilayah?	Bagaimana peluang dan hambatan untuk mitigasi berbeda berdasarkan wilayah?	Peluang dan hambatan untuk mitigasi sangat berbeda di setiap wilayah. Rata-rata, wilayah dengan peluang terbesar untuk menghindari jalur pembangunan yang lebih intensif karbon dan melompat ke pembangunan rendah karbon adalah wilayah dengan keterikatan yang rendah, dalam hal sistem energi, urbanisasi, dan pola transportasi...
9.	cara mengetahui sehangat dan sedingin apa cuaca di jaman dulu	Bagaimana kita tahu seberapa hangat atau dinginnya cuaca di masa lalu?	Para ilmuwan saat ini mengukur suhu permukaan Bumi menggunakan termometer di stasiun cuaca dan di kapal dan pelampung di seluruh dunia...
10.	apa yang terjadi pada kehidupan anak-anak di masa depan apabila tidak ada aksi cepat dalam	Bagaimana perubahan iklim akan mempengaruhi kehidupan anak-anak saat ini di masa	Dampak perubahan iklim semakin terasa di semua wilayah di dunia dengan meningkatnya tantangan untuk ketersediaan air,

	mengurangi gas emisi rumah kaca	mendatang, jika tidak ada tindakan segera yang diambil?	produksi pangan, dan mata pencaharian jutaan orang...
--	---------------------------------	---	---

Penomoran pada setiap kalimat pertanyaan pada kolom Hasil Pencarian Sistem digunakan pada tabel 4.2 dan 4.3 untuk menunjukkan urutan hasil pencarian yang ditampilkan pada sistem. Rank menjelaskan posisi dari hasil pencarian yang sesuai dengan data *ground truth*. Untuk hasil pencarian yang tidak sesuai dengan data *ground truth* maka rank diberi nilai 0.

**Tabel 4.2** Hasil Pencarian Menggunakan *Base Model*

No	Kueri	Hasil Pencarian Sistem	Rank
1.	apa yang bisa kita pelajari dari iklim di masa lalu	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bagaimana kita mengetahui tingkat gas rumah kaca dan suhu di masa lalu?</li> <li>2. Apa yang Dapat Diajarkan Iklim Masa Lalu kepada Kita tentang Masa Depan?</li> <li>3. Bagaimana pengetahuan dan praktik Masyarakat Adat dapat membantu kita memahami dampak iklim kontemporer dan menginformasikan adaptasi di Australia dan Selandia Baru?</li> <li>4. Seberapa banyak yang dapat kita katakan tentang seperti apa masyarakat di masa mendatang, untuk dapat merencanakan dampak perubahan iklim?</li> <li>5. Bagaimana Australia dan Selandia Baru dapat beradaptasi dengan perubahan iklim?</li> </ol>	2
2.	kapan dampak aktivitas manusia terhadap iklim mulai terlihat secara nyata pada tingkat lokal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengapa sulit untuk memastikan peran perubahan iklim dalam dampak yang diamati pada manusia dan ekosistem?</li> <li>2. Apa perbedaan antara cuaca dan iklim?</li> <li>3. Kapan Pengaruh Manusia terhadap Iklim Menjadi Jelas dalam Skala Lokal?</li> <li>4. Bagaimana perubahan iklim berkontribusi terhadap peristiwa ekstrem baru-baru ini di Amerika Utara dan dampaknya?</li> <li>5. Apa saja wawasan baru tentang dampak iklim, kerentanan dan adaptasi dari IPCC?</li> </ol>	3

3.	apakah model iklim semakin berkembang	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apakah sudah terlambat untuk mencegah perubahan iklim?</li> <li>2. Apa saja risiko iklim utama yang dihadapi oleh kota-kota, pemukiman, dan populasi rentan saat ini, dan bagaimana risiko-risiko ini akan berubah di dunia yang suhunya meningkat 2°C pada pertengahan abad (2050)?</li> <li>3. Apakah ini perubahan iklim, pemanasan global, atau krisis iklim global?</li> <li>4. Akankah perubahan iklim mengakibatkan migrasi paksa dan perpindahan tidak sukarela berskala besar?</li> <li>5. Bagaimana Perubahan Iklim Mempengaruhi Karakteristik Regional Bahaya Iklim?</li> </ol>	0
4.	apa yang perlu diketahui manusia dalam adaptasi terhadap dampak bahaya iklim	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apa itu adaptasi perubahan iklim?</li> <li>2. Apa saja pilihan adaptasi saat ini dan yang muncul di seluruh Asia?</li> <li>3. Prinsip apa yang dapat diterapkan masyarakat untuk beradaptasi secara berkelanjutan terhadap dampak perubahan iklim terhadap ketahanan air mereka?</li> <li>4. Bagaimana manusia beradaptasi terhadap dampak perubahan iklim dan apa saja batasan adaptasi yang diketahui?</li> <li>5. Mengapa sulit untuk memastikan peran perubahan iklim dalam dampak yang diamati pada manusia dan ekosistem?</li> </ol>	4
5.	kenapa kota-kota yang berada di sekitar tepi laut yang paling beresiko terkena dampak perubahan iklim	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengapa kota-kota pesisir dan pemukiman di tepi laut sangat berisiko akibat perubahan iklim, dan kota mana yang paling berisiko?</li> <li>2. Apa saja risiko iklim utama yang dihadapi oleh kota-kota, pemukiman, dan populasi rentan saat ini, dan bagaimana risiko-risiko ini akan berubah di dunia yang suhunya meningkat 2°C pada pertengahan abad (2050)?</li> <li>3. Mengapa Perubahan Muka Air Laut Lokal Berbeda dengan Rata-rata Global?</li> <li>4. Tindakan apa yang dapat diambil oleh kota dan pemukiman pesisir untuk mengurangi risiko perubahan iklim?</li> </ol>	1



		5. Akankah perubahan iklim mengakibatkan migrasi paksa dan perpindahan tidak sukarela berskala besar?	
6.	apakah ada pengaruh terhadap rotasi planet apabila es di daerah kutub di bumi mencair	1. Apa perbedaan antara perubahan iklim dan pemanasan global? 2. Bagaimana keadaan gletser pegunungan Bumi di tengah dunia yang semakin memanas? 3. Apakah lapisan es di daratan Greenland dan Antartika terus kehilangan massa (es)? 4. Jika semua es di Bumi mencair dan mengalir ke lautan, apa yang akan terjadi pada rotasi planet? 5. Seberapa Tidak Biasakah Laju Perubahan Permukaan Laut Saat Ini?	4
7.	apa kontribusi yang bisa saya lakukan dalam menghentikan perubahan iklim	1. Apa yang dilakukan TNC terhadap perubahan iklim? 2. Mengapa penting untuk menilai tindakan mitigasi dari perspektif sistemik, daripada hanya melihat potensinya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK)? 3. Apakah tidak ada harapan untuk menghentikan perubahan iklim? 4. Bagaimana kita dapat mengurangi risiko perubahan iklim bagi manusia dengan melindungi dan mengelola alam dengan lebih baik? 5. Strategi apa yang dapat meningkatkan ketahanan iklim manusia dan alam?	0
8.	bagaimana peluang dan tantangan dalam mitigasi berbeda di setiap wilayah?	1. Komunitas mana yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim? 2. Apakah dampak perubahan iklim di masa mendatang hanya bersifat negatif? Mungkinkah ada dampak positif juga? 3. Bagaimana masyarakat Arktik beradaptasi terhadap perubahan lingkungan di masa lalu dan akankah pengalaman ini membantu mereka merespons sekarang dan di masa mendatang? 4. Apa saja pilihan adaptasi saat ini dan yang muncul di seluruh Asia? 5. Apa sajakah strategi efektif untuk beradaptasi dengan perubahan iklim yang telah diterapkan di Amerika Utara, dan adakah batasan pada	0

		kemampuan kita untuk beradaptasi dengan sukses terhadap perubahan di masa depan?	
9.	cara mengetahui sehangat dan sedingin apa cuaca di jaman dulu	1. Apakah Bumi terus menghangat sejak 1998? 2. Jika Anda Tidak Dapat Memprediksi Cuaca Bulan Depan, Bagaimana Anda Dapat Memprediksi Iklim untuk Dekade Mendatang? 3. Bisakah Anda menjelaskan efek pulau panas perkotaan? 4. Apa perbedaan antara cuaca dan iklim? 5. Suhu Bumi Pernah Berubah Sebelumnya. Bagaimana Pemanasan Global Saat Ini Berbeda?	0
10.	apa yang terjadi pada kehidupan anak-anak di masa depan apabila tidak ada aksi cepat dalam mengurangi gas emisi rumah kaca	1. Bagaimana perubahan iklim akan mempengaruhi kehidupan anak-anak saat ini di masa mendatang, jika tidak ada tindakan segera yang diambil? 2. Apakah kita memiliki kewajiban etis untuk menghentikan perubahan iklim? 3. Apa Hubungan Antara Membatasi Perubahan Iklim dan Meningkatkan Kualitas Udara? 4. Apakah sudah terlambat untuk mencegah perubahan iklim? 5. Berapa banyak waktu yang kita miliki untuk menghentikan perubahan iklim?	1

Berdasarkan hasil pencarian yang menggunakan *base model*, model belum sepenuhnya memahami konsep spesifik dalam kueri dan masih memberikan hasil pencarian yang lebih umum terkait perubahan iklim. Seperti pada kueri ke-3, model gagal memahami aspek yang lebih spesifik yaitu pada konteks 'model iklim'. Selain itu pada kueri ke-7 pada kalimat 'kontribusi yang bisa saya lakukan', model tidak memahami bahwa ini mengacu pada aksi individu, bukan hanya mitigasi secara umum.

**Tabel 4.3** Hasil Pencarian pada Sistem

No	Kueri	Hasil pencarian	Rank
1.	apa yang bisa kita pelajari dari iklim di masa lalu	1. Apa yang Dapat Diajarkan Iklim Masa Lalu kepada Kita tentang Masa Depan? 2. Bagaimana perubahan iklim akan memengaruhi planet ini?	1

		3. Suhu bumi selalu berubah. Apa yang berbeda sekarang? 4. Jadi, apa itu perubahan iklim? 5. Apakah sudah terlambat untuk mencegah perubahan iklim?	
2.	kapan dampak aktivitas manusia terhadap iklim mulai terlihat secara nyata pada tingkat lokal	1. Kapan Pengaruh Manusia terhadap Iklim Menjadi Jelas dalam Skala Lokal? 2. Apakah sudah terlambat untuk mencegah perubahan iklim? 3. Kapan kita menemukan perubahan iklim buatan manusia? 4. Akankah Terjadi Kondisi Ekstrem yang Belum Pernah Terjadi Sebelumnya Sebagai Akibat Perubahan Iklim yang Disebabkan Manusia? 5. Di Mana Perubahan Iklim Paling Nyata?	1
3.	apakah model iklim semakin berkembang	1. Mengapa Begitu Banyak Model dan Skenario yang Digunakan untuk Memproyeksikan Perubahan Iklim? 2. Apakah Model Iklim Membaik? 3. Apakah Model Iklim Semakin Baik, dan Bagaimana Kita Mengetahuinya? 4. Bisakah kita mengandalkan model komputer untuk memprediksi perubahan iklim di masa depan? 5. Suhu Bumi Pernah Berubah Sebelumnya. Bagaimana Pemanasan Global Saat Ini Berbeda?	2
4.	apa yang perlu diketahui manusia dalam adaptasi terhadap dampak bahaya iklim	1. Apa itu adaptasi perubahan iklim? 2. Bagaimana manusia beradaptasi terhadap dampak perubahan iklim dan apa saja batasan adaptasi yang diketahui? 3. Prinsip apa yang dapat diterapkan masyarakat untuk beradaptasi secara berkelanjutan terhadap dampak perubahan iklim terhadap ketahanan air mereka? 4. Bagaimana adaptasi saat ini dan respons masa depan terhadap perubahan iklim memengaruhi kemiskinan dan ketidaksetaraan? 5. Bagaimana masyarakat memandang perubahan transformatif?	2
5.	kenapa kota-kota yang berada di	1. Mengapa kota-kota pesisir dan pemukiman di tepi laut sangat berisiko akibat perubahan iklim, dan kota mana yang paling berisiko?	1

	sekitar tepi laut yang paling beresiko terkena dampak perubahan iklim	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Apa saja risiko iklim utama yang dihadapi oleh kota-kota, pemukiman, dan populasi rentan saat ini, dan bagaimana risiko-risiko ini akan berubah di dunia yang suhunya meningkat 2°C pada pertengahan abad (2050)?</li> <li>3. Mengapa dan bagaimana kota, pemukiman, dan berbagai jenis infrastruktur sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim?</li> <li>4. Mengingat tantangan iklim dan pembangunan yang luas dan saling terkait yang dihadapi kota-kota dan permukiman pesisir, bagaimana jalur pembangunan yang lebih tangguh terhadap iklim dapat diwujudkan?</li> <li>5. Mengapa Kota Menjadi Titik Panas Pemanasan Global?</li> </ol>	
6.	apakah ada pengaruh terhadap rotasi planet apabila es di daerah kutub di bumi mencair	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jika semua es di Bumi mencair dan mengalir ke lautan, apa yang akan terjadi pada rotasi planet?</li> <li>2. Apakah lapisan es di daratan Greenland dan Antartika terus kehilangan massa (es)?</li> <li>3. Apakah Antartika semakin hangat dan bertambah es?</li> <li>4. Bagaimana Es Laut Berubah di Kutub Utara dan Antartika?</li> <li>5. Bagaimana keadaan gletser pegunungan Bumi di tengah dunia yang semakin memanas?</li> </ol>	1
7.	apa kontribusi yang bisa saya lakukan dalam menghentikan perubahan iklim	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apa yang dapat saya lakukan untuk menghentikan perubahan iklim?</li> <li>2. Apa yang dilakukan TNC terhadap perubahan iklim?</li> <li>3. Mengapa penting untuk menilai tindakan mitigasi dari perspektif sistemik, daripada hanya melihat potensinya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK)?</li> <li>4. Bagaimana tindakan mitigasi di AFOLU akan mempengaruhi emisi GRK dalam skala waktu yang berbeda?</li> <li>5. Strategi apa yang dapat meningkatkan ketahanan iklim manusia dan alam?</li> </ol>	1
8.	bagaimana peluang dan tantangan dalam	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bagaimana peluang dan hambatan untuk mitigasi berbeda berdasarkan wilayah?</li> <li>2. Mengapa tingkat regional penting untuk menganalisis dan mencapai tujuan mitigasi?</li> </ol>	1



	mitigasi berbeda di setiap wilayah?	3. Apa saja hambatan dalam mengurangi emisi di AFOLU dan bagaimana cara mengatasinya? 4. Apa saja risiko utama terkait perubahan iklim? 5. Bagaimana adaptasi, mitigasi, dan pembangunan berkelanjutan saling terhubung?	
9.	cara mengetahui sehangat dan seingin apa cuaca di jaman dulu	1. Bagaimana kita tahu seberapa hangat atau dinginnya cuaca di masa lalu? 2. Apakah Bumi terus menghangat sejak 1998? 3. Apa sebenarnya iklim itu? 4. Suhu Bumi Pernah Berubah Sebelumnya. Bagaimana Pemanasan Global Saat Ini Berbeda? 5. Seberapa hangatkah suhu bumi nanti?	1
10.	apa yang terjadi pada kehidupan anak-anak di masa depan apabila tidak ada aksi cepat dalam mengurangi gas emisi rumah kaca	1. Bagaimana perubahan iklim akan mempengaruhi kehidupan anak-anak saat ini di masa mendatang, jika tidak ada tindakan segera yang diambil? 2. Apakah kita memiliki kewajiban etis untuk menghentikan perubahan iklim? 3. Apakah sudah terlambat untuk mencegah perubahan iklim? 4. Berapa banyak waktu yang kita miliki untuk menghentikan perubahan iklim? 5. Faktor-faktor apa yang relevan dalam mempertimbangkan tanggung jawab atas tindakan masa depan yang akan mengurangi perubahan iklim?	1

Berdasarkan hasil pencarian sistem yang menggunakan *fine-tuned model*, delapan dari 10 kueri diuji memberikan hasil pencarian yang tepat pada posisi pertama. Sedangkan dua kueri lainnya, yaitu pada kueri ke-3 dan ke-4 memberikan hasil pencarian yang tepat pada posisi kedua. Adapun pada hasil pencarian yang pertama pada dua kueri tersebut masih relevan dengan kueri karena model dapat menangkap konteks ‘model iklim’ dan ‘adaptasi perubahan iklim’.

Setelah mendapatkan posisi jawaban dari hasil pencarian, akan dihitung nilai MRR antara sistem sebelum dan sesudah dilakukan *fine-tuning* untuk melihat apakah sistem lebih baik atau tidak. MRR dihitung dengan rata-rata *Reciprocal Rank* untuk semua pertanyaan:

- MRR pada model sebelum *fine-tuning*:

$$MRR = \frac{0.5 + 0.3 + 0 + 0.25 + 1 + 0.25 + 0 + 0 + 0 + 1}{10} = 0.33$$

- MRR pada sistem yang menggunakan model yang telah di-*fine-tuning*:

$$MRR = \frac{1 + 1 + 0.5 + 0.5 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1}{10} = 0.9$$

Sistem yang telah dibangun dengan menggunakan model *fine-tuned* indoSBERT dengan *hyperparameters*, yaitu *batch size* 16, *learning rate* 2e-5, *warmup steps* 0.1, dan *epoch* 5, menghasilkan model yang dapat memahami konteks pertanyaan dengan baik sehingga dapat memberikan jawaban yang relevan untuk setiap pertanyaan dengan cepat di posisi teratas, yaitu dengan nilai rata-rata *Reciprocal Rank* sebesar 0.9.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dari implementasi model *Sentence*-BERT dalam memberikan jawaban, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil *fine-tuning* pada model 'indoSBERT' dengan *batch size* 16, *learning rate*  $2e-5$ , *warmup steps* 0.1, dan dengan percobaan *epoch* 3, 5, dan 10 berurutan menghasilkan nilai evaluasi MRR sebesar 0.878, 0.882, dan 0.880. *Epoch* 5 yang menghasilkan nilai MRR terbaik 0.882 dipilih untuk digunakan pada sistem.
2. Dari pengujian sistem dengan 10 kueri, diperoleh bahwa *fine-tuning Sentence*-BERT dengan dataset yang spesifik menghasilkan jawaban yang sesuai dengan pertanyaan, di mana nilai evaluasi MRR pada sistem sebesar 0.9 daripada sebelum dilakukan *fine-tuning* sebesar 0.3.

#### 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang bisa dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Mengembangkan sistem dengan klasifikasi domain yang lebih spesifik, sehingga pencarian dapat lebih terarah berdasarkan kategori seperti kesehatan, kebijakan, lingkungan, atau ekonomi. Hal ini membantu sistem dalam memberikan jawaban yang lebih relevan sesuai dengan konteks pertanyaan pengguna.
2. Menambahkan metode lanjutan seperti *re-rank* atau *reader* untuk memberikan hasil untuk memberikan hasil jawaban yang lebih optimal dengan mempertimbangkan relevansi jawaban terhadap pertanyaan yang diajukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Y., & Zulkernine, F. (2021). BIRD-QA: A BERT-based Information Retrieval Approach to Domain Specific Question Answering. *Proceedings - 2021 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2021*, 3503–3510. <https://doi.org/10.1109/BigData52589.2021.9671523>
- Esteva, A., Kale, A., Paulus, R., Hashimoto, K., Yin, W., Radev, D., & Socher, R. (2021). COVID-19 information retrieval with deep-learning based semantic search, question answering, and abstractive summarization. *Npj Digital Medicine*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/s41746-021-00437-0>
- Farmer, G. T., & Cook, J. (2013). Understanding Climate Change Denial. In *Climate Change Science: A Modern Synthesis* (pp. 445–466). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-5757-8\\_23](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5757-8_23)
- Ferrario, A., & Nägelin, M. (2020). *The Art of Natural Language Processing: Classical, Modern and Contemporary Approaches to Text Document Classification Prepared for: Fachgruppe "Data Science" Swiss Association of Actuaries SAV*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3547887>
- Ge, M., Friedrich, J., & Vigna, L. (2022). Ge, M., Friedrich, J., and Vigna, L. (2022). 4 Charts Explain Greenhouse Gas Emissions by Countries and Sectors. *World Research Institute.pdf*. World Research Institute. <https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors>
- Kamath, U., Liu, J., & Whitaker, J. (2019). Deep learning for NLP and speech recognition. In *Deep Learning for NLP and Speech Recognition*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-14596-5>
- Lewandowsky, S. (2021). Climate Change Disinformation and How to Combat It. *Annu. Rev. Public Health*, 42, 1–21. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth>
- Mahmud-Uz-Zaman, M., Schaffer, S., & Scheffler, T. (2021). *Factoid and Open-Ended Question Answering with BERT in the Museum Domain*. <https://rajpurkar.github.io/SQuAD-explorer/>
- Müller, A. C., & Guido, S. (2016). *Introduction to Machine Learning with Python A GUIDE FOR DATA SCIENTISTS Introduction to Machine Learning with Python*.
- Mutabazi, E., Ni, J., Tang, G., & Cao, W. (2021). A review on medical textual question answering systems based on deep learning approaches. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 12). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app11125456>
- Navastara, D. A., Ihdiannaja, & Arifin, A. Z. (2021). Bilingual Question Answering System Using Bidirectional Encoder Representations from Transformers and Best Matching Method. *Proceedings of 2021 13th International Conference on Information and Communication Technology and System, ICTS 2021*, 360–364. <https://doi.org/10.1109/ICTS52701.2021.9608905>



- Neapolitan, R. E., & Jiang, X. (n.d.). *Contemporary Artificial Intelligence, Second Edition : With an Introduction to Machine Learning*.
- Rebala, G., Ravi, A., & Churiwala, S. (2019). *An Introduction to Machine Learning*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15729-6>
- Reimers, N., & Gurevych, I. (2019). *Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks*. <http://arxiv.org/abs/1908.10084>
- Sakata, W., Shibata, T., Tanaka, R., & Kurohashi, S. (2019a). *FAQ Retrieval using Query-Question Similarity and BERT-Based Query-Answer Relevance*. <https://doi.org/10.1145/nnnnnnn>
- Sakata, W., Shibata, T., Tanaka, R., & Kurohashi, S. (2019b). *FAQ Retrieval using Query-Question Similarity and BERT-Based Query-Answer Relevance*. <http://arxiv.org/abs/1905.02851>
- Sari, W. (2018). Literasi Digital pada Masalah Pencarian Informasi Dengan Google. *Jurnal Penelitian Pers Dan Komunikasi Pembangunan*, 22(2), 135–147. <https://doi.org/10.46426/jp2kp.v22i2.96>
- Seo, J., Lee, T., Moon, H., Park, C., Eo, S., Aiyanyo, I. D., Park, K., So, A., Ahn, S., & Park, J. (2022). Dense-to-Question and Sparse-to-Answer: Hybrid Retriever System for Industrial Frequently Asked Questions. *Mathematics*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/math10081335>
- Sobczyk, N. (2019, July 10). How climate change got labeled a “crisis.” *E & E News (Energy & Environmental News)*.
- Tariq, M. A. (2022). *Synthesis Lectures on Mechanical Engineering*. <http://store.morganclaypool.com>
- Xing, C., Wu, W., Wu, Y., Zhou, M., Huang, Y., & Ma, W.-Y. (2017). *Hierarchical Recurrent Attention Network for Response Generation*. <http://arxiv.org/abs/1701.07149>