

**SISTEM *CHATBOT* SEBAGAI LAYANAN INFORMASI KESEHATAN
MENTAL PADA REMAJA MENGGUNAKAN METODE *LARGE
LANGUAGE MODEL (LLM)***

PROPOSAL TUGAS AKHIR

Proposal ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Teknik Informatika S-1 pada Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung



DISUSUN OLEH:

INTAN NUR'AINI

NIM 32602000116

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2024**

FINAL PROJECT
CHATBOT SYSTEM AS A MENTAL HEALTH INFORMATION
SERVICE FOR TEENAGERS USING THE METHOD OF LARGE
LANGUAGE MODEL (LLM)

Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1)
at Informatics Engineering Departement of Industrial Technology Faculty
Sultan Agung Islamic University



Arranged By :

INTAN NUR'AINI

NIM 32602000116

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG

2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Sistem *Chatbot* sebagai Layanan Informasi Kesehatan Mental pada Remaja Menggunakan Metode *Large Language Model* (LLM)” ini disusun oleh :

Nama : Intan Nur'aini

NIM : 32602000116

Program Studi : Teknik Informatika

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : *Senin*

Tanggal : *02 September 2024*

Mengesahkan,

Pembimbing I

Andi Riansyah, ST, M.Kom

NIK. 210616053

Pembimbing II

Imam Much Ibnu S, ST., MSc., Ph.D

NIK. 210600017

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Informatika

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Sultan Agung



Moch. Taufik, ST., MIT

NIK. 210604034

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan tugas akhir dengan judul “Sistem *Chatbot* sebagai Layanan Informasi Kesehatan Mental pada Remaja Menggunakan Metode *Large Language Model* (LLM)” ini telah dipertahankan di depan dosen penguji Tugas Akhir pada :

Hari : *Senin*

Tanggal : *2 September 2024*


TIM PENGUJI

Ketua Penguji

Anggota Penguji


Badiah, ST., M.Kom

NIK. 210615044


Asih Widi Harini, S.Si., MT

NIK. 110010398

UNISSULA

جامعة سلطان أبوبنوح الإسلامية

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Intan Nur'aini

NIM : 32602000116

Judul Tugas Akhir : Sistem *Chatbot* sebagai Layanan Informasi Kesehatan Mental pada Remaja Menggunakan Metode *Large Language Model* (LLM)

Dengan bahwa ini saya menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Informatika tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 02 September 2024

Yang Menyatakan,



Intan Nur'aini

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Intan Nur'aini

NIM : 32602000116

Program Studi : Teknik Informatika

Fakultas : Teknologi industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul : Sistem *Chatbot* sebagai Layanan Informasi Kesehatan Mental pada Remaja Menggunakan Metode *Large Language Model* (LLM)

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan agung.

Semarang, 02 September 2024

Yang menyatakan,



Intan Nur'aini

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Sistem *Chatbot* sebagai Layanan Informasi Kesehatan Mental pada Remaja Menggunakan Metode *Large Language Model* (LLM)” ini untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar sarjana (S-1) pada Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Tugas Akhir ini disusun dan dibuat dengan adanya bantuan dari berbagai pihak, materi maupun teknis, oleh karena itu saya selaku penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Rektor UNISSULA Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, S.H., M.H yang mengizinkan penulis menimba ilmu di kampus ini.
2. Dekan Fakultas Teknologi Industri Ibu Dr. Novi Marlyana, S.T., M.T.
3. Dosen pembimbing I penulis Andi Riansyah, ST., M.Kom yang telah meluangkan waktu dan memberi ilmu.
4. Dosen pembimbing II penulis Imam Much Ibnu Subroto, S.T., M.Sc., Ph.D yang memberikan banyak nasehat dan saran.
5. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan baik material maupun non material sehingga sampai pada tahap dapat menyelesaikan laporan ini.
6. Teman-teman kontrakan (Denina, Laila, Meisya, Miryati, Pipit, Warda, Winda) yang sudah menemani dan mengingatkan selama proses perkuliahan sampai akhir penyusunan laporan ini.
7. Anggit Makrub Wiranu, Elma Dwi Setiyorini, Ria Kurnia Maharani yang sudah setia membersamai penulis.
8. Dan kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Dengan rendah hati, penulis menyadari bahwa laporan masih memiliki banyak kekurangan dalam hal kuantitas, kualitas, dan ilmu pengetahuan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun untuk membantu laporan ini menjadi lebih baik di masa depan.

Semarang, 21 Agustus 2024

Intan Nur'aini



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Dasar Teori	7
2.2.1. <i>Natural Language Processing (NLP)</i>	7
2.2.2. <i>Chatbot</i>	8
2.2.3. <i>Flowchart</i>	8
2.2.4. <i>Retrieval Augmented Generation (RAG)</i>	10
2.2.5. <i>Split Data in Chunk</i>	14
2.2.6. <i>Embeddings</i>	14
2.2.7. <i>Prompt</i>	15
2.2.8. <i>Large Language Model (LLM)</i>	16
2.2.9. <i>ROUGE</i>	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Metodologi Penelitian	21
3.1.1. Studi Literatur	21
3.1.2. Pengumpulan Data	21
3.1.3. Pemodelan Sistem	23
3.2. Analisis Sistem	24

3.3.	Analisis Kebutuhan	25
3.4.	Perancangan <i>User Interface</i>	26
3.4.1.	Halaman Awal <i>Chatbot</i>	26
3.4.2.	Halaman Percakapan <i>Chatbot</i>	27
BAB IV HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN		29
4.1.	Hasil Penelitian.....	29
4.1.1.	Hasil <i>Ekstraksi PDF</i>	29
4.1.2.	Hasil <i>Split in Chunk</i> Dokumen.....	29
4.1.3.	Hasil <i>Embeddings</i> dan Penyimpanan Vektor.....	32
4.1.4.	Hasil <i>Retrieval</i> dan <i>Generate</i> Jawaban	32
4.1.5.	Hasil Evaluasi.....	33
4.1.6.	Hasil Perancangan User Interface	36
4.2.	Analisis Hasil Penelitian	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		42
5.1.	Kesimpulan.....	42
5.2.	Saran	42
DAFTAR PUSTAKA		



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 jenis jenis <i>flowchart</i>	9
Tabel 4. 1 Contoh hasil <i>split</i> data dari 7 file pdf.....	29
Tabel 4. 2 Sampel pertanyaan	33
Tabel 4. 3 Perbandingann hasil jawaban referensi dan system bot.....	33
Tabel 4. 4 Hasil evaluasi kinerja model	36



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Arsitektur RAG	11
Gambar 2. 2 Implementasi RAG dalam <i>chatbot</i>	13
Gambar 2. 3 alur proses pelatihan LLM	17
Gambar 2. 4 Implementasi LLM dalam sistem <i>chatbot</i>	18
Gambar 3. 1 <i>flowchart</i> pengumpulan data ke dalam vektorbase	22
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> pemodelan sistem <i>chatbot</i>	23
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> sistem <i>chatbot</i>	24
Gambar 3. 4 Rancangan halaman awal <i>chatbot</i>	27
Gambar 3. 5 Rancangan halaman percakapan <i>chatbot</i>	28
Gambar 4. 1 Hasil ekstraksi atau load data pdf	29
Gambar 4. 2 Hasil embeddings teks yang telah displit	32
Gambar 4. 3 Hasil retrieval dan generate jawaban	32
Gambar 4. 4 Tampilan awal <i>chatbot</i>	36
Gambar 4. 5 Halaman percakapan percobaan definisi	37
Gambar 4. 6 Halaman percakapan percobaan sapaan	38
Gambar 4. 7 Halaman percakapan percobaan di luar konteks	38
Gambar 4. 8 Halaman percobaan pertanyaan analisis	39
Gambar 4. 9 Hasil percobaan pertanyaan analisis diri	40

ABSTRAK

Dalam era digital saat ini, akses informasi yang cepat dan efisien menjadi kebutuhan penting, terutama bagi remaja dalam mendapatkan layanan kesehatan mental. Namun, metode manual yang digunakan oleh PIK R untuk menyediakan informasi kesehatan mental masih memakan waktu dan tenaga yang signifikan. Oleh karena itu, dengan menggunakan model Large Language Model (LLM), penelitian ini mencoba menyelesaikan masalah ini dengan membuat sistem *chatbot* berbasis AI. Metode penelitian yang digunakan mencakup analisis dataset yang terdiri dari artikel tentang kesehatan mental remaja dan pembuatan *chatbot* yang dapat digunakan untuk memberikan informasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *chatbot* dapat membantu remaja dengan informasi kesehatan mental yang akurat dan efektif sepanjang hari. Hasil evaluasi sistem dengan menggunakan metode Rouge Score menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi yang akurat berdasarkan dataset yang diberikan. Dimana rata-rata hasil evaluasi ROUGE 1 (P) 87,8%, (R) 83%, (Fm) 84% ROUGE 2 (P) 82,8%, (R) 76,8%, (Fm) 78,2% dan ROUGE L (P) 88%, (R) 82,6%, (Fm) 83,4%.

Keyword: Sistem *chatbot*, Kesehatan mental, Remaja, LLM, Layanan Informasi

ABSTRACT

In today's digital era, quick and efficient access to information has become an important necessity, especially for teenagers in obtaining mental health services. However, the manual methods used by PIK R to provide mental health information still require significant time and effort. Therefore, by using a Large Language Model (LLM), this research attempts to address this issue by creating an AI-based chatbot system. The research methods employed include analyzing a dataset consisting of articles on adolescent mental health and developing a chatbot that can be used to provide information. The research findings indicate that the chatbot can assist teenagers with accurate and effective mental health information throughout the day. The results of the system evaluation using the Rouge Score method indicate that the system is capable of providing accurate information based on the given dataset. Where the average evaluation results are ROUGE 1 (P) 87.8%, (R) 83%, (Fm) 84%, ROUGE 2 (P) 82.8%, (R) 76.8%, (Fm) 78.2%, and ROUGE L (P) 88%, (R) 82.6%, (Fm) 83.4%.

Keywords: Chatbot system, Mental health, Adolescents, LLM, Information Services

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Remaja adalah kondisi di mana seseorang berada pada masa peralihan dari masa kanak-kanak menuju masa dewasa. Orang-orang berumur 12 hingga 18 tahun dianggap remaja jika mereka bertindak seperti orang dewasa. Sebaliknya, beberapa orang masih menjadi anak-anak. Hal inilah yang pada akhirnya menyebabkan konflik, yang pada gilirannya menyebabkan beberapa perilaku aneh yang jika tidak dikontrol dapat menyebabkan kenakalan remaja (Rulmuzu, 2021).

Salah satu wadah yang berkembang dalam program Generasi Berencana (GenRe) adalah PIK R (Pusat Informasi dan Konseling Remaja), yang bertanggung jawab untuk memberikan informasi dan konseling kepada remaja untuk membantu mereka memperoleh kontrol diri dan menghindari beberapa masalah perkembangan yang mereka hadapi (Faishol & Budiyo, 2020). Demikian dengan keberadaan PIK R dalam desa ataupun instansi mulai dari tingkat menengah keatas sampai perguruan tinggi, dimana segala bentuk informasi dan pelayanannya masih dilakukan secara manual.

Penggunaan teknologi komunikasi saat ini sudah semakin berkembang, hal ini turut memengaruhi bagaimana remaja bisa mendapatkan informasi secara cepat. Dalam era digital saat ini *Chatbot* menjadi salah satu dari beberapa media yang penting untuk bisa berkomunikasi serta mendapatkan informasi dengan mudah dan cepat. *Chatbot* mampu beroperasi selama 24 jam setiap hari untuk memberikan pelayanan kepada penggunanya. *Chatbot* merupakan sebuah program komputer yang dirancang agar dapat berkomunikasi dengan manusia baik itu melalui teks ataupun suara, *Chatbot* mampu memberikan *respon* yang cepat terhadap apa yang disampaikan pengguna tanpa mengenal waktu (Harisi & Hiwono, 2024).

Chatbot menggunakan teknologi *Natural Language Processing* (NLP) sehingga memiliki fungsi untuk memahami dan menangkap maksud dari percakapan yang dilakukannya. Teknologi NLP mampu mengambil makna dari kalimat yang telah dikirimkan pengguna dengan cara memahami dan mengolahnya menjadi perintah, sehingga dengan teknologi NLP ini *Chatbot* mampu memberikan kalimat atau jawaban yang bisa dipahami pengguna seperti berdiskusi atau berkomunikasi dengan manusia pada umumnya (Sindy Nova dkk., 2024). *Chatbot*

Sistem *Chatbot* sebagai Layanan Informasi Kesehatan Mental pada Remaja Menggunakan Metode LLM ini, peneliti kembangkan dengan tujuan memberikan layanan informasi mengenai kesehatan mental kepada setiap remaja yang membutuhkan dengan memanfaatkan perkembangan teknologi saat ini. Seperti yang ditulis oleh (Urfa Khairatun Hisan & Miftahul Amri, 2022) dalam studinya, *Chatbot* dianggap sebagai alternatif untuk mengurangi tekanan mental yang disebabkan oleh pandemi COVID-19. *Chatbot* telah dianggap mampu mengatasi penyakit mental atau penyakit jauh sebelum pandemi. Selama pandemi COVID-19, keterlibatan dan keberhasilan *Chatbot* dalam penanganan kesehatan mental di kalangan mahasiswa menunjukkan bahwa penggunaan intervensi digital untuk penanganan kesehatan mental melalui *chatbot* bermanfaat.

Oleh karena itu penulis mengharapkan dengan dikembangkannya sistem ini dapat menciptakan sistem *Chatbot* yang akan memudahkan pengguna terutama kalangan remaja untuk mendapatkan layanan informasi kesehatan mental.

1.2. Perumusan Masalah

Dirumuskan permasalahan selama penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana *Chatbot* sebagai Layanan Informasi Kesehatan Mental pada Remaja dengan menggunakan metode LLM mampu berkomunikasi dengan pengguna.
2. Bagaimana performa dari sistem *Chatbot* yang menggunakan metode LLM dengan dataset sebagai jawaban yang mengacu pada artikel terkait.

1.3. Pembatasan Masalah

Dalam penelitian penulis menetapkan poin poin sebagai batasan masalah. Adapun batasan masalah dalam penelitian sebagai berikut:

1. Pertanyaan dan jawaban yang ditampilkan berdasarkan Bahasa Indonesia yang sesuai dengan panduan Kamus Besar Bahasa Indonesia.
2. Topik dialog dibatasi hanya seputar layanan informasi kesehatan yaitu meliputi informasi gangguan mental (emosional & depresi) pada remaja.
3. *Chatbot* tidak dapat melayani *inputan* dalam bentuk karakter ataupun perhitungan matematis.

1.4. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah Sistem *Chatbot* Layanan Informasi Kesehatan Mental pada Remaja, dimana pacuan dari sistem ini berasal dari jurnal, e-book maupun artikel terkait. Sistem ini ditujukan untuk memberikan informasi kesehatan pada remaja terutama untuk informasi mengenai gangguan mental.

1.5. Manfaat

Manfaat dalam penyusunan sistem tugas akhir ini antara lain meningkatkan aksesibilitas informasi kesehatan mental bagi remaja, sebagai alat edukasi dan penyuluhan mengenai kesehatan mental terkait gangguan mental (emosional dan depresi), menjadi landasan untuk pengembangan lebih lanjut dalam bidang AI dan kesehatan mental seperti integrasi dengan platform kesehatan yang lebih besar.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penyusunan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Diuraikan mengenai akar atau ide masalah sehingga dapat terbentuk judul penelitian. Selain itu, juga terdapat beberapa uraian mengenai rumusan masalah, Batasan permasalahan, tujuan, serta manfaat yang akan dicapai penulis selama penelitian ini berlangsung dan berhasil.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

BAB II menguraikan mengenai beberapa penelitian di masa lampau yang relevan dengan penelitian penulis saat ini, serta menguraikan semua dasar teori yang melandasi dari dijalankannya penelitian ini.

BAB III : METODE PENELITIAN

Dalam BAB III, penulis menguraikan analisisnya terkait kerangka kerja serta model yang digunakan dalam pembangunan Sistem *Chatbot* sebagai Layanan Informasi Kesehatan Mental pada Remaja Menggunakan Metode *Large Language Model* (LLM).

BAB IV : HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

Diuraikan hasil dari perancangan sistem yang telah dibuat, hasil analisis pengujian dari sistem yang dibuat seperti performa dan kesesuaian dengan manfaat dan tujuan di awal.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Dijelaskan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yaitu mengenai *Chatbot* sebagai Layanan Informasi Kesehatan Mental pada Remaja Menggunakan Metode *Large Language Model* (LLM).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Terjadinya kesenjangan antara jumlah professional kesehatan mental yang terlatih dengan banyaknya penduduk di Indonesia, serta menimbang bahwa ada sekitar 200 juta penduduk Indonesia merupakan pengguna internet. (Listiyandini, 2023) Mengatakan bahwa ada suatu solusi mengenai hal tersebut yang bisa menawarkan keterjangkauan, fleksibilitas, dan anonimitas yaitu layanan kesehatan mental digital yang berbasis internet. Dari sekian banyak bentuk perawatan kesehatan mental digital, *Chatbot* merupakan salah satu solusi layanan yang bisa berdiri sendiri atau sifatnya tambahan atas psikoterapi tradisional.

Chatbot merupakan salah satu program komputer yang memiliki fungsi untuk memperagakan percakapan seperti manusia dengan *query* bisa berupa teks, suara, ataupun gambar. *Chatbot* menggunakan teknologi NLP (*Natural Language Processing*) dimana NLP memiliki fungsi untuk dapat memahami sebuah kalimat atau percakapan yang dikirimkan oleh pengguna sehingga teknologi ini membuat *Chatbot* mampu mengirimkan jawaban yang mudah dipahami layaknya percakapan dengan manusia (Sindy Nova dkk., 2024).

Hingga saat ini, *Large Language Model* (LLM) adalah salah satu model kecerdasan buatan *generatif* yang paling populer. LLM adalah model jaringan syaraf yang didasarkan pada data teks yang sangat besar dan dimaksudkan untuk menghasilkan output yang mirip dengan manusia tetapi tidak terbatas pada puisi, prosa, atau bahkan kode program (Rizqie dkk., 2023). Memperoleh gelar *Master of Laws* (LLM) dengan teknik pembelajaran mendalam, terutama *transformer*, yang digunakan dalam pemrosesan dan pembuatan teks. Setelah mempelajari model ini, LLM dapat memprediksi kata mana yang akan muncul dalam sebuah kalimat berdasarkan kata sebelumnya. Proses pelatihan ini menggunakan data pelatihan dari berbagai sumber untuk mempelajari tata bahasa, sintaksis, dan semantik Bahasa (Aprilia dkk., 2024). GPT (*Generative Pre-trained Transformer*), LLM yang digunakan untuk kecerdasan buatan, dibuat oleh OpenAI, laboratorium penelitian

kecerdasan buatan yang memiliki kemampuan untuk menerjemahkan pertanyaan, membuat teks jawaban, dan menjawab pertanyaan (Raya dkk., 2023).

Pada penelitian (Indahsari dkk., 2021) tingkat pemahaman masyarakat di kota Cirebon terkait kesehatan mental masih sangat rendah, hal ini memunculkan anggapan, *stigma negative*, mitos, dan mispersepsi. Untuk menangani masalah ini, peneliti membuat *chatbot* yang digunakan sebagai media edukasi di *platform* LINE. *Chatbot* ini akan memberi tahu orang tentang kesehatan mental dan jadwal konseling baik secara *online* maupun secara *offline*. Studi ini menggunakan algoritma Jaro-Winkler untuk pemrosesan string dan pencocokan kata antara *input* pengguna dan *keyword*. Hasil survei pengujian pengguna *Chatbot* Kesehatan mental yang ditujukan dan dilakukan kepada 21 *responden* menunjukkan bahwa implementasi dan pengujian LINE *Chatbot* Kesehatan mental yang mudah diakses dan menarik dapat mencapai tujuan untuk mensosialisasikan dan memberikan informasi tentang konseling.

Pada penelitian (Rachmat & Kesuma, 2024) berhasil mengembangkan sebuah aplikasi *Chatbot* yang menggunakan model LLM Gemini Pro dari Google, dimana aplikasi berjalan seperti apa yang diharapkan sesuai dengan fungsinya serta karakteristik dari aplikasi *Chatbot* yang merupakan kecerdasan buatan berteknologi NLP. Untuk menggunakan metode LLM Gemini ini, peneliti membutuhkan akses ke dalam *Application Programming Interface* (API) Key Gemini.

Penelitian ini berfokus pada penerapan *Chatbot Question Answering* berbasis langchain dan LLM dalam Telegram. Peneliti menyebarkan kuesioner kepada tujuh mahasiswa prodi Ilmu Al-Qur'an dan Tafsir di UIN SUSKA Riau, yang menghasilkan 10 sampel pertanyaan, dan mendapatkan *persentase* 84,29%. Kerangka kerja yang menerapkan metode LLM OpenAI, yang memiliki API dan model bahasa, juga digunakan untuk membantu sistem pertanyaan jawaban. (Sutiyo dkk., 2024).

Dari beberapa uraian penelitian yang sudah dipaparkan, dapat ditarik kesimpulan bahwa Teknik *Natural Language Processing* (NLP) dengan metode *Large Language Model* (LLM) yaitu GPT (*Generative Pre-trained Transformer*), dan arsitektur yang didasarkan pada *transformer neural network*, serta algoritma

dengan Teknik pembelajaran mesin seperti *pre-training* dan *fine-tuning* cocok untuk di implementasikan dalam suatu sistem *Chatbot*. Hal ini dikarena dengan metode LLM seperti GPT memiliki kemampuan bahasa yang luas karena sudah dilatih dengan data teks yang besar dan mampu menggenerasi teks yang alami atau menyerupai manusia. Harapan saya sebagai peneliti dapat menghasilkan sebuah sistem *Chatbot* yang dapat mempermudah kalangan remaja terutama dalam mendapatkan layanan informasi kesehatan mental.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. *Natural Language Processing* (NLP)

NLP merupakan cabang penting dari kecerdasan buatan yang fokusnya untuk memungkinkan komputer dalam memahami dan memproses bahasa manusia. NLP mempelajari interaksi antara manusia dan komputer dengan bahasa alami. Sejarahnya dimulai pada tahun 1950 an, awal penelitian NLP menggunakan metode berbasis aturan untuk membangun sistem NLP, seperti analisis kata atau kalimat, tanya jawab (QA), serta terjemahan mesin (MT) (Zhou dkk., 2020).

NLP dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu, Generasi Bahasa Alami yang dapat mengembangkan tugas agar dapat memahami dan menghasilkan teks serta Pemahaman Bahasa Alami. Tujuan dari NLP mencakup, analisis, interpretasi, serta manipulasi data Bahasa alami untuk tujuan yang dimaksudkan dengan menggunakan berbagai algoritma alat dan metode. Pemrosesan Bahasa Alami dapat diterapkan ke dalam berbagai bidang seperti Terjemahan Mesin, Deteksi Spam Email, Ekstraksi Informasi, Peringkasan, Menjawab Pertanyaan, dll. Dalam bidang sistem Penjawab Pertanyaan, NLP akan memberikan *respons* waktu nyata yang banyak digunakan dalam layanan-layanan pelanggan. Dataset yang digunakan untuk sistem dialog/sistem penjawab pertanyaan antara lain meliputi Stanford Question Answering Dataset (SQuAD) yang merupakan kumpulan data pemahaman bacaan yang terdiri dari pertanyaan-pertanyaan yang diajukan oleh crowdworker pada kumpulan artikel Wikipedia. Pertanyaan Alami, yang merupakan korpus berskala besar yang disajikan oleh Google dan digunakan untuk melatih dan menilai sistem penjawab pertanyaan domain terbuka. Kemudian

Question Answering in Context (QuAC), yang merupakan kumpulan data yang digunakan untuk mendeskripsikan, memahami, serta berpartisipasi dalam percakapan pencarian informasi (Khurana dkk., 2023).

Dalam perkembangan dunia teknologi, NLP menjadi pilihan penelitian yang mendalam dan berkembang sangat pesat. Kemampuan NLP yang dapat mengolah dan memahami teks ke dalam Bahasa manusia menjadi sangat efektif untuk penerapan ke dalam beberapa aplikasi terutama *chatbot*. NLP merupakan ilmu memiliki beberapa cakupan teknik dan metode untuk mengolah teks ke dalam Bahasa manusia. Walaupun tersedia banyak sekali framework dan alat NLP secara open source, penting untuk dapat memahami perhitungan manual dan prinsip-prinsip dasar metode secara mendalam. Dengan memanfaatkan NLP, developer bisa menyusun dan mengatur pengetahuan untuk melakukan tugas-tugas seperti peringkasan dokumen/teks (Harumy dkk., 2024).

2.2.2. Chatbot





Memperoleh informasi secara cepat di era yang sekarang ini adalah suatu hal yang tidak kalah penting. Kemajuan teknologi dalam kecerdasan buatan (AI) membawa kita mengenal suatu AI yaitu *Chatbot*. (Skjuve dkk., 2021) mengatakan bahwa *Chatbot* adalah suatu agen perangkat lunak yang menyediakan akses layanan dan informasi melalui interaksi dalam bahasa sehari-hari yang mudah dimengerti pengguna melalui teks maupun suara. Bahkan 18 peserta yang sudah diwawancarai semuanya pernah menjalin persahabatan dengan *Chatbot* sosial bernama Replika, ini yang dinamakan *Human Chatbot Relationships (HCR)*. Selain memiliki kesamaan dengan perkembangan hubungan antar manusia (teori penetrasi sosial), HCR juga memiliki ciri khas nya sendiri, hal ini termasuk eksplorasi afektif yang cepat, dasar kepercayaan pengguna yang praktis dan afektif, dan penerimaan pengguna terhadap asimetri dalam timbal balik.

2.2.3. Flowchart

Flowchart merupakan sebuah diagram alir yang digunakan untuk menjelaskan algoritma atau langkah-langkah secara urut dalam sebuah sistem. *Flowchart* dibangun dengan beberapa tujuan seperti untuk mengelola alur kerja, merancang proyek baru, mendokumentasikan setiap proses, memodelkan proses

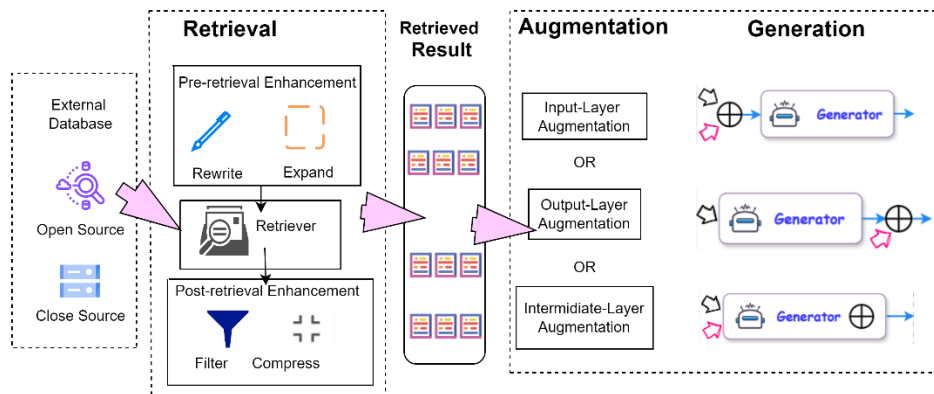
bisnis, menguraikan atau menjelaskan algoritma, serta mengaudit proses. Dalam perancangan sebuah *flowchart* tidak bisa dilakukan secara sembarangan, ada beberapa ketentuan yang harus diperhatikan, ada 3 kategori dalam simbol-simbol *flowchart* diantaranya yaitu simbol arus (*Flow Direction Symbol*), simbol proses (*Processing Symbol*), dan simbol I/O (*Input-Output*). Pada tabel 2.1 menunjukkan uraian penjelasan beberapa *flowchart* (Rosaly & Prasetyo, 2020).

Tabel 2. 1 jenis jenis *flowchart*

Simbol	Nama	Fungsi
	<i>Connection Line</i>	Menghubungkan antara simbol satu dan yang lainnya (arus suatu proses)
	Terminal	Memulai atau mengakhiri program
	<i>Decision</i>	Memilih proses yang akan dilakukan berdasarkan kondisi tertentu
	<i>Processing</i>	Pengolahan yang akan dilakukan dalam komputer
	<i>Predefined Process</i>	Melakukan pengolahan dimana di dalamnya masih ada beberapa tahap atau proses
	<i>Input/Output</i>	Menyatakan <i>input</i> dan <i>output</i>

2.2.4. *Retrieval Augmented Generation (RAG)*

RAG merupakan suatu teknik yang bisa diandalkan untuk meningkatkan kemampuan *Large Language Models* (LLM) dimana akan dikaitkan dengan suatu konteks atau pengetahuan tertentu. Dalam memahami mekanisme dibalik *Retrieval Augmented Generation* (RAG), penting untuk mengetahui elemen-elemen fundamental yang meliputi *retrieval models* dan *generative models*. Elemen-elemen inilah yang melatarbelakangi kemampuan RAG yang sangat mengesankan dalam pengumpulan, pengintegrasian, serta menghasilkan teks yang kaya akan informasi. *Retrieval models* memiliki fungsi untuk menjaga informasi dalam kerangka RAG, dimana yang bertugas untuk menjelajahi kumpulan data yang luas untuk menemukan sejumlah informasi yang relevan untuk pembuatan teks. Model ini menggunakan algoritma untuk menilai dan memilih data yang paling relevan, sehingga dapat mengintegrasikan pengetahuan *eksternal* dalam pembuatan teks. Diantara metode yang paling umum untuk menerapkan *retrieval models* adalah dengan penyematan *vector* dan pencarian *vector*. Setelah mendapatkan informasi dengan tepat dan relevan maka *generative models* akan menjadi sorotan. Dimana model ini bertindak sebagai penulis imajinatif, merangkai data dan diambil menjadi teks yang koheren dan sesuai konteks. Model ini sering dibangun berdasarkan *Large Language Models* (LLMs), dimana *generative models* ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan teks yang tidak hanya secara tata bahasa akurat melainkan dapat bermakna secara semantik dan selaras dengan permintaan atau *prompt* di awal (Singh & Kumar, 2024). Gambar 2.1 di bawah menunjukkan arsitektur dari RAG (Fan dkk., 2024).



Gambar 2. 1 Arsitektur RAG

Berdasarkan Gambar 2.1, arsitektur RAG terdiri dari tiga komponen utama yang meliputi:

1. *Retriever*

Komponen *retrieval* bertanggung jawab terhadap pengambilan bagian atau dokumen yang relevan dari sumber pengetahuan yang diberikan kueri. Sumber pengetahuan eksternal yang dapat berupa *open source* maupun *close source* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Komponen kuncinya adalah *retriever*, yang berfungsi sebagai keseluruhan untuk mengukur relevansi antara kueri dan dokumen dalam database untuk pengambilan informasi yang efektif. *Pre-retrieval enhancement* dan *post-retrieval enhancement* merupakan salah satu teknik utama yang terlibat dalam pengambilan RAG tradisional yang berbasis LLM. Berfungsi untuk memastikan kualitas pengambilan yaitu dengan meningkatkan keakuratan dan relevansi hasil yang diambil, berbagai strategi sebelum dan sesudah pengambilan telah diusulkan untuk lebih meningkatkan masukan dan keluaran dari pengambilan.

2. *Augmentation*

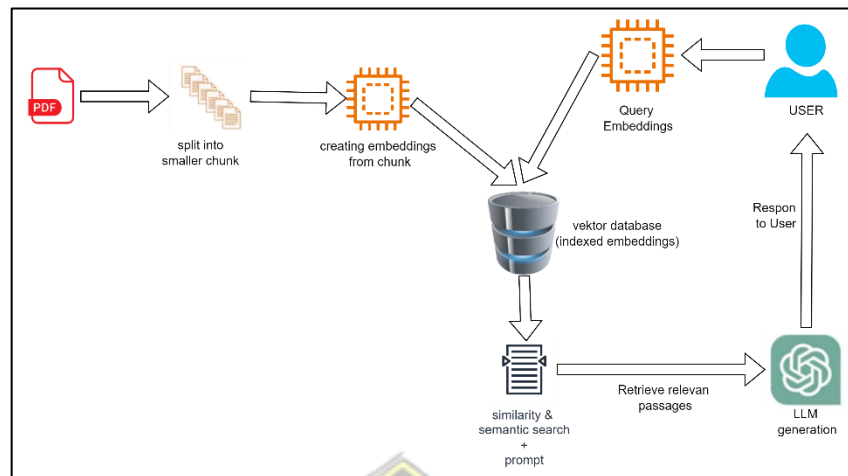
Komponen *augmentation* bertugas untuk memahami bagian-bagian yang diambil untuk mengeksak informasi yang berguna. *Augmentation* memiliki tiga desain utama yang masing-masing dilakukan pada lapisan *input*, *output*, dan *intermediate* seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1. *Input-layer augmentation* merupakan cara umum untuk mengintegrasikan informasi atau dokumen yang diambil dengan cara menggabungkannya dengan *input*/kueri asli

dan bersama-sama meneruskannya ke generator. *Output-layer augmentation* merupakan cara umum untuk menggabungkan pengambilan dan pembuatan hasil. Dibandingkan dengan dua pendekatan *non-parametrik* sebelumnya, augmentation yang lebih menarik adalah merancang modul *semi-parametrik* untuk mengintegrasikan hasil yang diambil melalui lapisan internal modul pembangkitan yang disebut dengan *intermediate-layer augmentation*. *Augmentation* tersebut mungkin menambah kompleksitas tambahan dan menjanjikan untuk meningkatkan kemampuan model pembangkitan dengan pelatihan yang efektif. Namun, *intermediate-layer augmentation* memerlukan akses yang tinggi ke model pembangkitan, yang tidak layak untuk Sebagian besar LLM yang dapat diakses melalui API inferensi.

3. *Generation*

Komponen *generation* merupakan model bahasa yang telah dilatih sebelumnya dan bertanggungjawab untuk menghasilkan jawaban akhir berdasarkan *input* yang telah diproses dan hasil *retrieval* yang sudah di *augment*. *Augmentation* bisa terjadi pada tiga tahap yang berbeda yaitu *input*, *output* ataupun *intermediate* tergantung pada kebutuhan sistem.

Gambar 2.1 menguraikan bagaimana sistem menggunakan kombinasi teknik *retrieval* dan *generation* untuk memberikan jawaban yang relevan berdasarkan informasi yang ada. Tahapan *augmentation* di berbagai lapisan memberikan fleksibilitas tambahan untuk memperkaya atau menyaring informasi, memastikan jawaban yang dihasilkan akurat dan sesuai dengan konteks masalah yang diajukan oleh pengguna. Gambar 2.2 menunjukkan kerangka kerja dalam *chatbot* yang menerapkan RAG di dalamnya.



Gambar 2. 2 Implementasi RAG dalam *chatbot*

Pada Gambar 2.1 dijelaskan untuk menerapkan RAG dalam *chatbot* melalui beberapa tahapan yang diantaranya sebagai berikut:

1. Persiapan data yang meliputi, melakukan *splitter* terhadap pdf atau data menjadi elemen-elemen yang lebih kecil atau sesuai dengan kebutuhan
2. Melakukan *embeddings* terhadap data yang sudah berbentuk *chunk* atau potongan elemen sesuai kebutuhan model
3. Penyimpanan dalam vektor *store*
4. Melakukan *embeddings* terhadap *query* yang dikirimkan oleh pengguna menggunakan teknik *embeddings* yang sama dengan pengumpulan data sebelumnya
5. Diantara *query* yang sudah di *embeddings* dan data yang ada dalam vektor *store* dilakukan *semantic search*, setelah itu *prompt* akan bekerja sesuai perintah
6. Pengambilan bagian-bagian yang relevan dengan *query* yang sudah dikirimkan, kemudian digabungkan sehingga menjadi sebuah konteks
7. Selanjutnya konteks dikirimkan kepada LLM, LLM melakukan *generate* terhadap konteks sehingga mampu mengeluarkan jawaban yang relevan
8. Jawaban yang relevan dikirimkan kembali kepada *user*.

LLM memiliki peran penting karena model ini berbekal informasi kontekstual dan cepat yang ditambah. Pemahaman LLM mengenai bahasa alami dan isyarat kontekstual untuk menafsirkan pertanyaan pengguna dan menghasilkan

informasi yang akurat. LLM meningkatkan akurasi dan relevansi tanggapan dengan memanfaatkan sumber data faktual serta memanfaatkan konstektual yang diberikan oleh *augmented prompt*. Dapat disimpulkan bahwa hubungan antara berbagai informasi, memanfaatkan fakta yang relevan, serta menghasilkan jawaban yang koheren terhadap pertanyaan pengguna.

2.2.5. Split Data in Chunk

Split in Chunk merupakan teknik yang digunakan dalam pengolahan teks untuk membagi teks yang Panjang menjadi potongan-potongan yang lebih kecil (*chunk*) sehingga akan mudah untuk dikelola. Metode *split in chunk* dapat dilakukan berdasarkan jumlah kata, yaitu teks dapat dibagi dalam jumlah kata yang tetap misalnya setiap 100 kata. Berdasarkan kalimat, yaitu *chunk* dibentuk berdasarkan kalimat dan memastikan bahwa potongan teks tetap logis dan mudah dipahami Ketika dipisah dengan teks asli. berdasarkan paragraf atau *section*, yaitu pembagian berdasarkan paragraf atau *section* serta mempertahankan struktur alami dari dokumen asli. Terakhir, berdasarkan *sliding window* yaitu dengan menggunakan jendela geser dimana *chunks* dapat tumpang tindih, sehingga dapat membantu dalam menangkap konteks yang mungkin hilang jika teks dibagi secara kaku. Proses *chunk* ini dapat menjamin bahwa sistem dapat menavigasi data secara efisien, memfasilitasi pengambilan konten terkait dengan cepat. Menerapkan strategi *chunk* data yang efektif ini dapat meningkatkan kecepatan dan akurasi model secara signifikan. Sebuah dokumen mungkin berfungsi sebagai bagiannya sendiri, atau dapat dibagi menjadi beberapa bab, bagian, paragraf, kalimat, atau bahkan unit yang lebih kecil seperti “potongan kata”. Mengingat bahwa tujuan utamanya adalah untuk melengkapi model *generatif* dengan informasi yang dapat memperkaya kemampuan pembangkitannya (Singh & Kumar, 2024).

2.2.6. Embeddings

Transformasi teks menjadi *vektor* merupakan hal penting dalam tahap pra pemrosesan data agar data yang dikumpulkan dapat diproses dan dipahami oleh model LLM. Dalam model LLM, untuk melakukan *konversi* dari teks menjadi *vektor* bisa menggunakan teknik seperti TF-IDF, Word2Vec, ataupun *Embeddings* yang lain. Seperti model *embeddings* dari *OllamaEmbeddings* yaitu *mxbai-embed-*

large mengungguli model komersial *text-embedding-3-large* model OpenAI dan telah menyamai kinerja model yang ukurannya 20 kali lebih besar. *Mxbai-embed-large* dilatih tumpang tindih data MTEB, yang menunjukkan bahwa model tersebut sudah tergenerasi dengan baik di beberapa domain, tugas, serta panjang teks. Pembuatan *embeddings* mencakup untuk berbagai entitas multimedia dan multimodal seperti tabel, gambar, dan rumus. *Chunk embeddings* yang dihasilkan selama pengembangan sistem atau saat dokumen baru diindeks. Pemrosesan awal kueri secara signifikan memengaruhi kinerja sistem RAG, terutama dalam mengelola kueri negatif ataupun ambigu. Setelah proses ini maka setiap potongan teks yang sudah di *embeddings* akan disimpan dalam sebuah *vektore store*. Penyimpanan ini berfungsi sebagai gudang tempat penyematan yang dapat diambil secara efisien selama fase inferensi. Penyimpanan *embeddings* secara terstruktur akan memfasilitasi akses dan pengambilan cepat sehingga dapat mempercepat pemrosesan selama inferensi (Singh & Kumar, 2024).

2.2.7. Prompt

Prompt merupakan sebuah instruksi, pertanyaan, atau konteks yang diberikan kepada model untuk menghasilkan teks. *Prompt* sangat berperan penting dalam mengarahkan *respon* model sehingga relevan dengan tujuan yang diinginkan oleh pengguna. Terdapat tiga jenis *prompt* yang meliputi *Prompt* Terbuka (*Open-ended Prompt*): Memungkinkan model untuk menghasilkan *respon* yang luas dan tidak terbatas pada jawaban yang spesifik. *Prompt* Tertutup (*Closed-ended Prompt*): Memandu model untuk memberikan jawaban yang lebih spesifik dan terbatas. *Prompt* Instruksional (*Instructional Prompt*): Memberikan instruksi spesifik kepada model untuk melakukan tugas tertentu, seperti menerjemahkan teks atau menjawab pertanyaan berdasarkan konteks tertentu. Dalam aplikasi *chatbot*, *prompt* digunakan untuk memandu percakapan dan memastikan bahwa *respon* model relevan dan sesuai dengan pertanyaan atau konteks pengguna. *Prompt* yang efektif adalah *prompt* yang jelas, spesifik, dan disusun dengan mempertimbangkan tujuan yang ingin dicapai. Namun pada kenyataannya data pelatihan LLM bisa saja memberikan *respon* yang salah tetapi tampak masuk akal, jika pertanyaan di luar topik data pelatihan. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut RAG

menggabungkan pengambilan informasi dengan *system prompt* yang dibuat dengan cermat. Metode inilah yang mengikat LLM ke informasi yang tepat, terkini, dan relevan (Shi dkk., 2024).

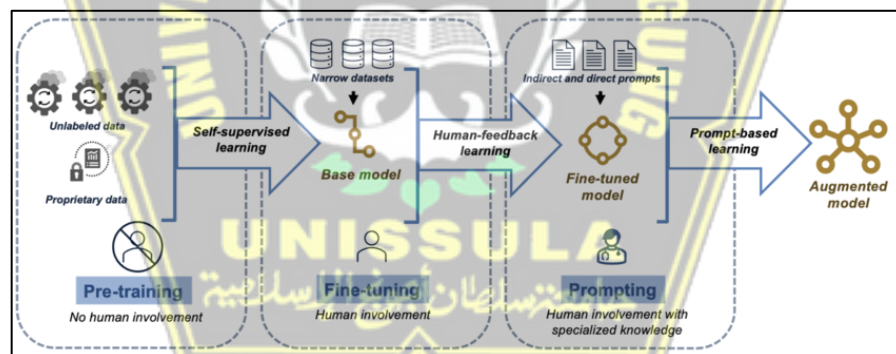
2.2.8. Large Language Model (LLM)

Large Language Model (LLM) merupakan sebuah model dari *deep learning* yang besar dan telah dilatih sebelumnya dengan jumlah data yang besar. *Transformer* yang mendasari yaitu rangkaian dari jaringan neural yang terdiri atas *encoder* dan *decoder* dengan kemampuan perhatian yang mandiri. LLM memiliki peranan yang sangat besar dan signifikan dalam pengembangan *Natural Language Processing* (NLP), yang salah satunya adalah mampu memahami dan menghasilkan teks yang mirip dengan bahasa manusia. Dalam penelitian (Zhao dkk., 2023) - mengatakan bahwa penerapan LLM salah satunya pada layanan kesehatan, pelayanan kesehatan merupakan bentuk aplikasi vital yang ada erat kaitannya dengan kehidupan manusia. Seperti ChatGPT atau LLM telah diterapkan ke dalam domain medis, dan terbukti bahwa LLM mampu menangani tugas tugas perawatan kesehatan seperti konsultasi saran medis. LLM belajar dari pra-pelatihan tanpa pengawasan pada data teks dengan skala besar. Pada penelitian ini telah ditinjau mengenai kemajuan terkini LLM, memperkenalkan konsep utama, temuan, serta teknik untuk memahami dan memanfaatkan LLM. Pada survei ini juga telah membahas 4 aspek penting dalam LLM yang meliputi, pra-pelatihan, adaptasi, pemanfaatan, serta evaluasi. Mengenai arsitektur model yang digunakan, karena skalabilitas dan efektivitasnya transformer sudah menjadi arsitektur *de facto* dalam membangun LLM.

Pelatihan model kompleks LLM melibatkan miliaran parameter, mulai dari GPT-3 yang memiliki sekitar 175 miliar parameter dan LLaMA *open source* yang memiliki 7 hingga 70 miliar parameter. Dalam proses pelatihan model LLM, Langkah pertama dikenal sebagai pra-pelatihan yang merupakan sebuah pendekatan pengawasan mandiri yang melibatkan pelatihan pada kumpulan besar data tidak berlabel, seperti teks internet, kode Github, postingan media sosial, Wikipedia, dan *BooksCorpus*. Tujuan dari pelatihan ini adalah untuk memprediksi kata berikutnya dari sebuah kalimat, dan dari proses ini membutuhkan sumber daya

yang banyak. Sebelum dimasukkan ke dalam model, diperlukan konversi teks menjadi token, sehingga dari langkah ini akan menghasilkan model dasar yang hanya sebagai model penghasil Bahasa umum, dan tidak memiliki kapasitas untuk tugas-tugas yang berdeda.

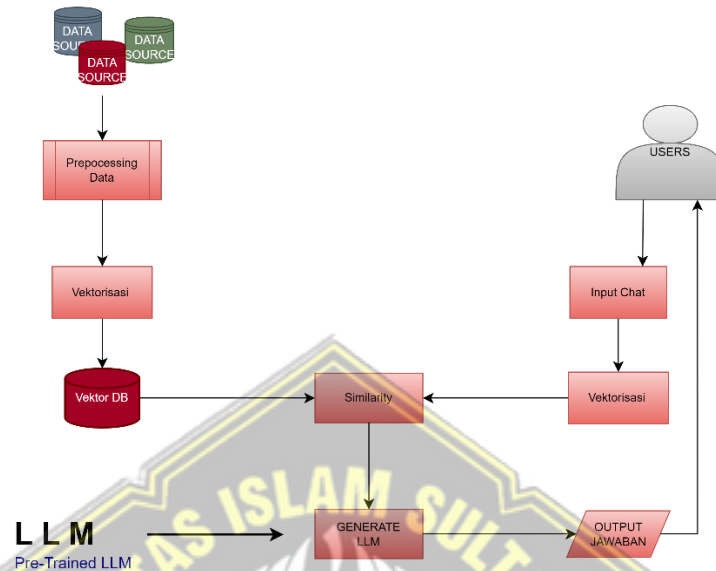
Langkah kedua dikenal sebagai *fine-tuning*, dimana model akan dilatih lebih lanjut terhadap kumpulan data yang lebih sempit seperti transkrip medis untuk aplikasi layanan kesehatan atau ringkasan hukum untuk *bot* asisten hukum. Proses *fine-tuning* dapat ditingkatkan dengan pendekatan *AI Konstitusional*, selain itu *fine-tuning* dapat ditingkatkan dengan *reward training*, dimana manusia dapat menilai kualitas keluaran beberapa model, serta pendekatan pembelajaran penguatan dari umpan balik manusia (RLHF). Teknik lain yang menjanjikan adalah penyetelan *prompt tuning* yang memberikan solusi hemat biaya untuk memperbaiki sebuah parameter model, sehingga dapat meningkatkan kinerja tugas tugas medis (Omiye dkk., 2024). Gambar 2.2 berikut menunjukkan serangkaian proses sebelum terbentuknya LLM.



Gambar 2. 3 alur proses pelatihan LLM

LLM belajar dari setiap masukan yang lebih terfokus pada tahap proses pelatihan. Pra- pelatihan, dimana LLM akan dilatih tentang campuran data tidak berlabel serta data kepemilikan tanpa pengawasan manusia. *Fine-tuning*, dimana terdiri atas kumpulan data yang lebih sempit serta umpan balik manusia (RLHF) dimasukkan sebagai masukan ke model dasar. Sehingga dengan model yang telah disempurnakan dapat memasuki tahap tambahan, dimana manusia dengan pengetahuan khusus menerapkan teknik dorongan yang dapat mengubah LLM menjadi sebuah model yang diperbesar untuk melakukan tugas-tugas khusus.

Model yang sudah di *fine-tuning* dari fase kedua ini adalah model yang diterapkan dalam aplikasi fleksibel seperti *chatbot*.



Gambar 2. 4 Implementasi LLM dalam sistem *chatbot*

Gambar 2.3 menunjukkan implementasi model LLM dalam suatu sistem berbasis *chatbot* melibatkan beberapa proses penting di dalamnya, seperti *preprocessing* sebuah teks atau data agar lebih bisa dikenali, kemudian vektorisasi dari teks menjadi vektor agar bisa terbaca. Proses ini berlaku dalam tahap pengumpulan data yang akhirnya disimpan dalam *vectorbase* dan tahap *input* dari *users*. Dilakukan uji kecocokan atau *similarity* antara pertanyaan *users* dan data yang ada di dalam *vectorbase*, kemudian hasil *similarity* akan *digenerate* oleh LLM berdasarkan model LLM *Pre-Trained*. Setelah semua tahap dilalui, maka output berupa jawaban yang paling sesuai akan ditampilkan lagi kepada *users*.

2.2.9. ROUGE

Recall -Oriented Undersity for Gisting Evaluation (ROUGE) adalah kumpulan metrik yang dirancang guna mengevaluasi ringkasan otomatis dari teks-teks panjang yang terdiri dari beberapa paragraf ataupun kalimat. Evaluasi model yang digunakan akan melibatkan berbagai metrik evaluasi yang relevan. ROUGE-N dan ROUGE-L akan digunakan sebagai metrik untuk mengevaluasi kinerja sistem. Hal ini melibatkan pengukuran kinerja model pada tugas spesifik, seperti klasifikasi teks, evaluasi model dilakukan dengan metode pengukuran *precision*

yaitu pengukuran akurasi dari hasil yang dihasilkan oleh model, yaitu seberapa banyak dari hasil yang dihasilkan oleh model benar-benar akurat, *precision* memberikan informasi tentang seberapa tepat hasil yang dihasilkan oleh model, nilai *precision* yang tinggi berarti Sebagian besar kata atau frasa yang dihasilkan oleh model adalah relevan atau benar. *Recall* berfungsi untuk mengukur seberapa baik model menangkap seluruh informasi relevan yang ada dalam referensi, yaitu seberapa banyak kata atau frasa yang seharusnya ada (sesuai referensi) yang berhasil ditemukan dalam model. *Recall* memberikan informasi tentang cakupan hasil model dimana nilai *recall* yang tinggi berarti model berhasil menangkap Sebagian besar kata atau frasa yang seharusnya. Sedangkan *f-measure* merupakan metrik gabungan yang mempertimbangkan *precision* dan *recall* secara bersamaan. *F-measure* merupakan rata-rata harmonis dari *precision* dan *recall*. *F-measure* memberikan keseimbangan antara *precision* dan *recall*, dimana ini sangat dibutuhkan untuk mempertimbangkan keduanya secara bersamaan terutama ketika ada *trade-off* antara keduanya. (Tri dkk., 2024). Berikut adalah persamaan menghitung ROUGE-N dan ROUGE-L:

2.2.8.1. ROUGE-1

ROUGE-1 merupakan model evaluasi yang berfungsi untuk mengukur kesamaan berdasarkan unigram (kata tunggal) antara teks hasil model dan teks referensi. Metode ini berguna untuk mengevaluasi seberapa banyak kata-kata penting yang ada dalam referensi muncul dalam hasil model. ROUGE-1 dihitung sebagai rasio jumlah unigram yang tumpang tindih dengan referensi terhadap total unigram dalam referensi atau hasil model, bergantung juga apakah akan menghitung *precision*, *recall*, atau *F-measure*. Berikut adalah rumus perhitungannya:

$$Precision = \frac{\text{jumlah unigram kata sama}}{\text{keseluruhan kata di ringkasan sistem}} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{\text{jumlah unigram kata sama}}{\text{keseluruhan kata di ringkasan referensi}} \quad (2)$$

$$F - Measure = 2x \frac{precision \times recall}{precision + recall} \quad (3)$$

2.2.8.2. ROUGE-2

ROUGE-2 merupakan model evaluasi yang berfungsi untuk mengukur kesamaan berdasarkan bigram (dua kata berturut-turut) antara hasil model dan teks referensi. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi urutan kata yang lebih kompleks, memberikan pandangan yang lebih dalam tentang kohesi dan konteks yang ditangkap model. ROUGE-2 dihitung sebagai rasio jumlah bigram yang tumpang tindih dengan referensi terhadap total bigram dalam referensi atau hasil model. Berikut adalah rumus perhitungannya:

$$\textit{Precision} = \frac{\textit{jumlah bigram kata sama}}{\textit{keseluruhan kata di ringkasan sistem}} \quad (4)$$

$$\textit{Recall} = \frac{\textit{jumlah bigram kata sama}}{\textit{keseluruhan kata di ringkasan referensi}} \quad (5)$$

$$\textit{F - Measure} = 2x \frac{\textit{precision} \times \textit{recall}}{\textit{precision} + \textit{recall}} \quad (6)$$

2.2.8.3. ROUGE-L

ROUGE-L merupakan model evaluasi yang berfungsi untuk mengukur kesamaan berdasarkan *Longest Common Subsequence* (LCS) antara teks hasil model dan teks referensi. Model ini digunakan untuk mengevaluasi kesamaan urutan panjang antara hasil model dan referensi, sehingga bisa mengukur seberapa baik urutan yang dihasilkan mencerminkan urutan yang diharapkan dalam referensi. Berikut adalah rumus perhitungannya:

$$\textit{Precision} = \frac{\textit{LCS(Longest Common Subsequent)}}{\textit{keseluruhan kata di ringkasan sistem}} \quad (7)$$

$$\textit{Recall} = \frac{\textit{LCS(Longest Common Subsequent)}}{\textit{keseluruhan kata di ringkasan manusia}} \quad (8)$$

$$\textit{F - Measure} = 2x \frac{\textit{precision} \times \textit{recall}}{\textit{precision} + \textit{recall}} \quad (9)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut.

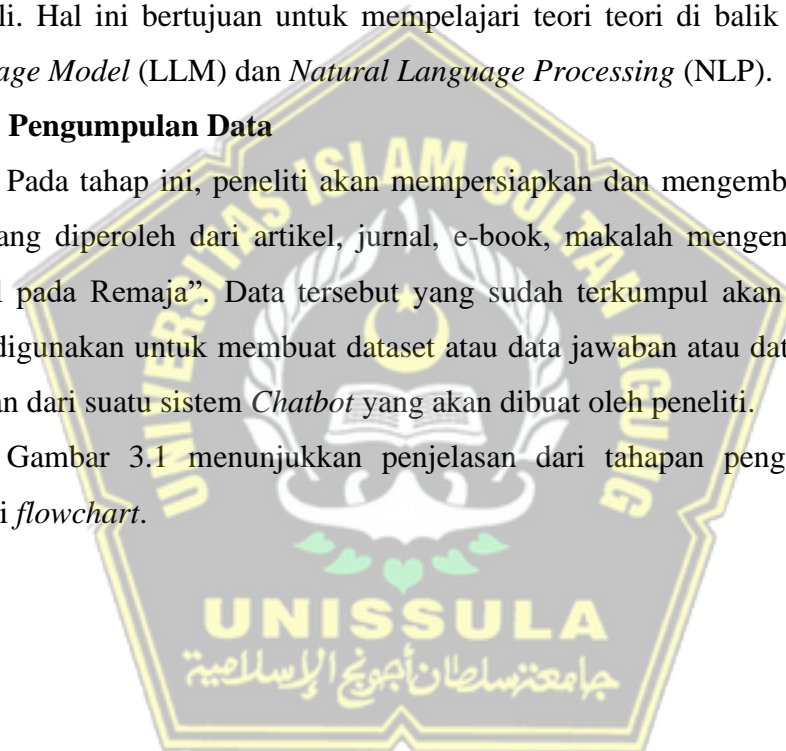
3.1.1. Studi Literatur

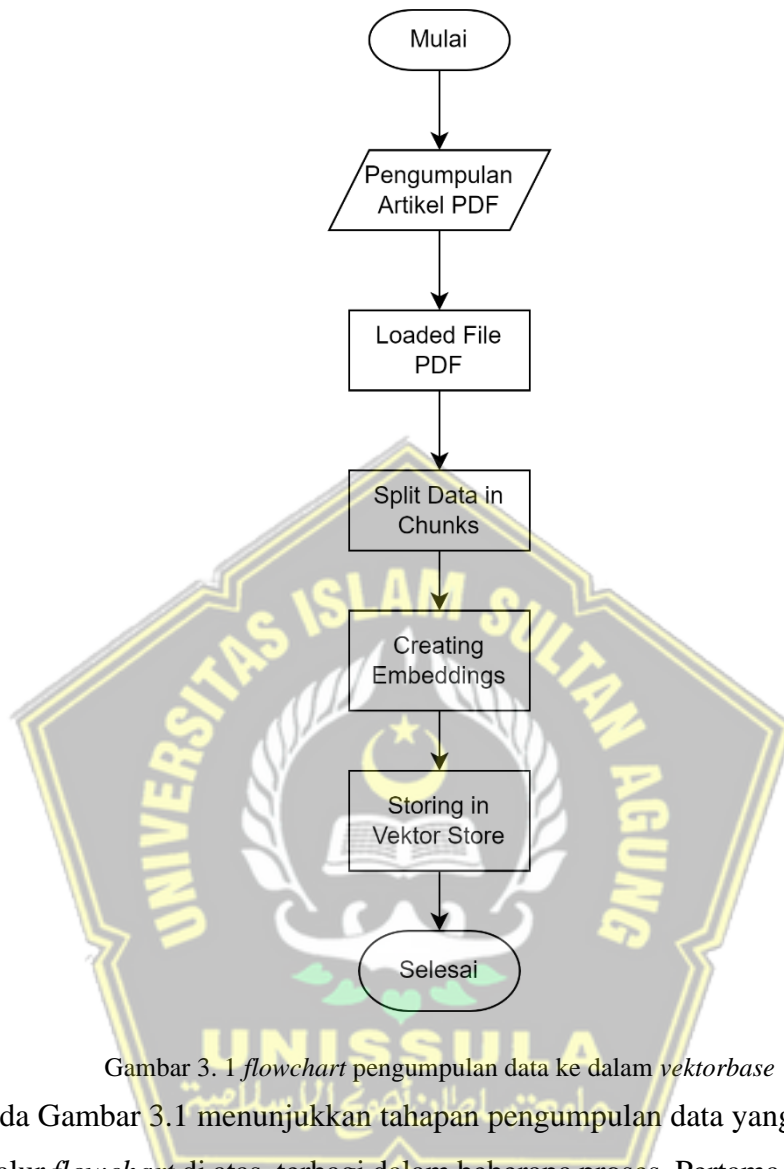
Dalam proposal penelitian ini akan dilakukan peninjauan terhadap beberapa jurnal, artikel, makalah, e-book, tesis, serta skripsi yang terdahulu, dan akan diulas kembali. Hal ini bertujuan untuk mempelajari teori-teori di balik konsep *Large Language Model* (LLM) dan *Natural Language Processing* (NLP).

3.1.2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini, peneliti akan mempersiapkan dan mengembangkan model data yang diperoleh dari artikel, jurnal, e-book, makalah mengenai “Gangguan Mental pada Remaja”. Data tersebut yang sudah terkumpul akan diproses agar dapat digunakan untuk membuat dataset atau data jawaban atau data rujukan atas jawaban dari suatu sistem *Chatbot* yang akan dibuat oleh peneliti.

Gambar 3.1 menunjukkan penjelasan dari tahapan pengumpulan data melalui *flowchart*.



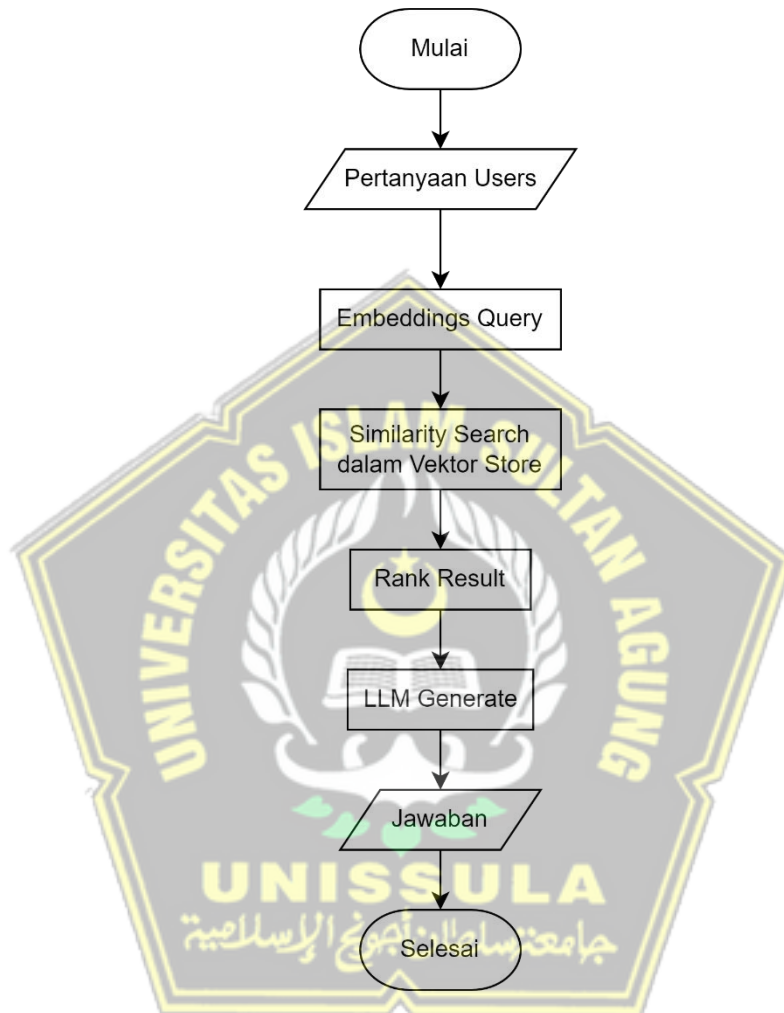


Gambar 3. 1 *flowchart* pengumpulan data ke dalam *vektorbases*

Pada Gambar 3.1 menunjukkan tahapan pengumpulan data yang digambarkan dalam alur *flowchart* di atas, terbagi dalam beberapa proses. Pertama, pengumpulan data secara manual yaitu berupa artikel mengenai “Gangguan Mental pada Remaja” yang dapat digunakan untuk rujukan jawaban dari sistem *chatbot* yang akan dibuat. Kedua, mengekstraksi file pdf menjadi teks dengan menggunakan *PyPDFLoader*. Ketiga, melakukan tahap *split data in chunk* menggunakan *Library RecursiveCharacterTextSplitte* dimana pada tahap ini akan mempermudah data untuk selanjutnya diproses *embeddings* . Keempat, mengkonversi teks menjadi *vector* dengan model *mxbai-embed-large*. Kelima penyimpanan dalam database, database yang digunakan untuk menyimpan teks yang sudah dikonversi menjadi vektor adalah FAISS.

3.1.3. Pemodelan Sistem

Rancangan pemodelan sistem disajikan dalam bentuk *flowchart* seperti pada Gambar 3.2.



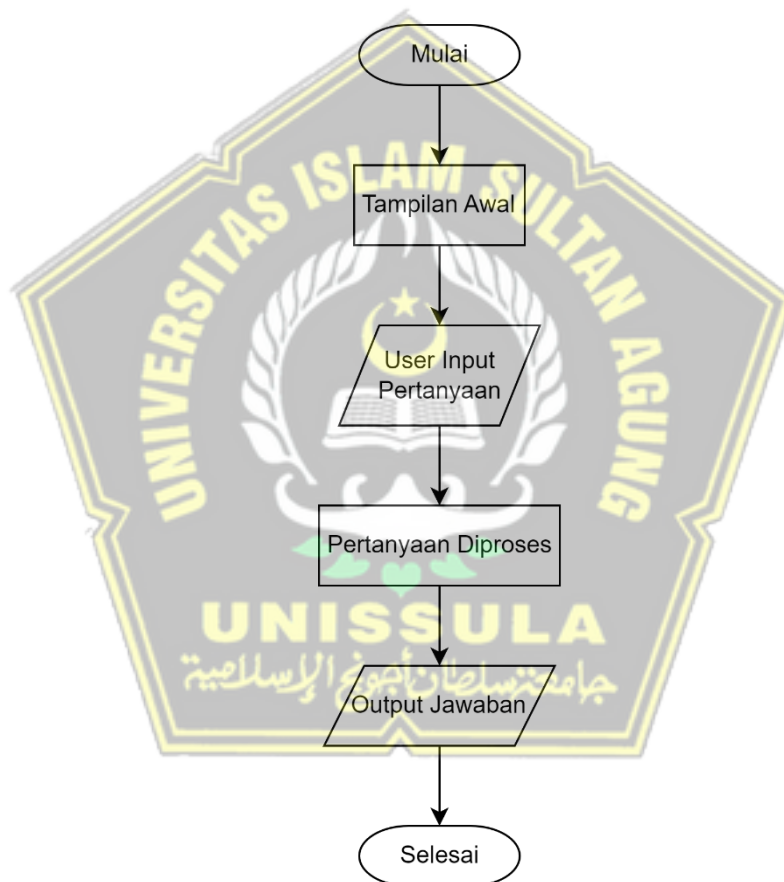
Gambar 3. 2 *Flowchart* pemodelan sistem *chatbot*

Pada Gambar 3.2 menunjukkan tahapan pemodelan sistem yang digambarkan dengan alur *flowchat* di atas terbagi atas beberapa tahapan yaitu meliputi *embeddings input* dari pengguna menggunakan model yang sama dengan model *embeddings* pada saat pengumpulan data, kemudian dilakukan (*similarity search*) *retrieval* atau pengambilan konteks yang cocok antara data *input* dengan data yang ada di dalam database yaitu dengan menggunakan *Library create_retrieval_chain*. Dari beberapa konteks relevan yang sudah diambil maka

akan *digenerate* dengan llama3 sehingga hasil dari *generate* llama3 akan ditampilkan kepada pengguna.

3.2. Analisis Sistem

Dalam penelitian ini penulis membuat sebuah sistem *chatbot* berbasis website yang bertujuan untuk memberikan layanan informasi kesehatan mental terutama dalam bidang gangguan mental (depresi dan emosional) kepada remaja. Alur dari analisis sistem dijelaskan dalam *flowchart* berikut.



Gambar 3. 3 *Flowchart* sistem *chatbot*

Pada Gambar 3.3 menunjukkan sebuah *flowchart* yang menggambarkan proses dari suatu sistem *chatbot*. Beberapa tahapan pada gambar akan dijelaskan:

1. *User* memasuki halaman tampilan awal setelah membuka *website* aplikasi *chatbot*.

2. *User* akan mengirimkan pertanyaan di dalam kolom *input* dan melakukan *enter* atau klik *icon* pesawat pada bagian kanan *inputan*.
3. Setelah pertanyaan terkirim maka *chatbot* akan memproses pertanyaan dengan melakukan *retrieval* pada *vectorstore* untuk kemudian menghasilkan jawaban.
4. Jika *retrieval* telah berhasil, maka hasilnya akan *digenerate* oleh *llama3* kemudian akan diteruskan kepada *user* sebagai umpan balik atau jawaban atas pertanyaan yang sudah dikirim.

3.3. Analisis Kebutuhan

Pada tahap analisis kebutuhan ini, penulis membahas semua perangkat lunak yang digunakan selama pembuatan aplikasi *chatbot* agar sistem ini berjalan dengan baik dan memberikan hasil yang tepat. Beberapa program berikut digunakan untuk membuat sistem ini:

1. Python 3.12.3

Python merupakan salah satu bahasa pemrograman komputer yang dapat digunakan untuk membangun sebuah situs, *software/aplikasi*, ataupun analisa data. Pada penelitian ini menggunakan *python* versi 3.12.3 yang merupakan *rilis* pemeliharaan terbaru, yang berisi lebih dari 300 perbaikan *bug*, penyempurnaan versi *python*, serta perubahan dokumentasi sejak 3.12.2. Pemilihan bahasa ini didasarkan karena *python* bersifat *open source*, komunitasnya besar, dan ada banyak sumber daya *online* yang bisa diakses.

2. Vectorbase

Vectorbase merupakan representasi data dalam bentuk vektor atau titik dalam ruang berdimensi tinggi. Representasi vektor ini memungkinkan algoritma untuk menghitung kesamaan antara dua entitas berdasarkan jarak antara vektor-vektor mereka. Ini merupakan dasar dari banyak teknik modern dalam *retrieval* informasi, dimana dokumen atau jawaban yang paling relevan dengan kueri pengguna dipilih berdasarkan kesamaan vektor. Penggunaan vektor *base* dalam *chatbot* dimungkinkan untuk dapat menyimpan dan melakukan pencarian dalam jutaan hingga miliaran vektor dengan efisien tinggi, vektor *base* juga dapat digunakan untuk berbagai jenis data dan aplikasi dari NLP hingga *computer vision*.

3. *Streamlit*

Streamlit merupakan salah satu pustaka *open source* yang dapat digunakan untuk membuat aplikasi web interaktif berbasis data dalam bahasa pemrograman *python*. Dalam penelitian ini, *streamlit* diintegrasikan untuk menampilkan hasil dari sistem *chatbot* aplikasi yang berbasis web, kemudahan penggunaan *streamlit* karena tidak memerlukan pengetahuan mendalam tentang pengembangan web. *Streamlit* juga menyediakan berbagai *widget* interaktif seperti *slidebar*, tombol, *input* teks dan masih banyak lagi.

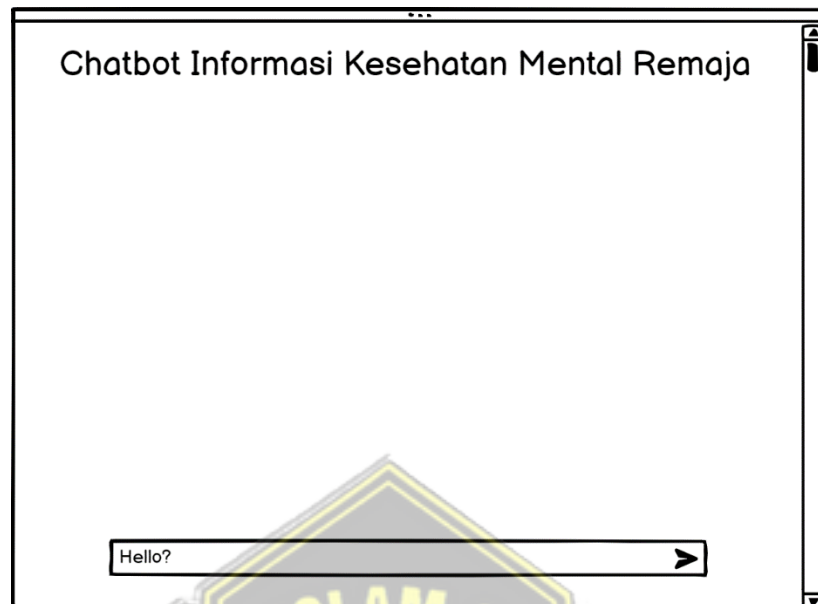
4. Model *Generatif*

Model *generatif* merupakan sebuah model yang dilatih agar bisa menghasilkan teks berdasarkan masukan tertentu. Model ini bisa membuat teks dan tidak hanya meniru gaya atau konten data pelatihan melainkan mampu menghasilkan konten baru. Model *generatif* digunakan untuk tugas seperti *dialog generation*, *text completion* dan pembuatan konten otomatis. Model *generatif* bisa diambil dari beberapa platform yang menyediakan, seperti Huggingface, Ollama, dll. Model *generatif* dibutuhkan karena mampu menghasilkan teks alami yang koheren, fleksibilitas dalam menyelesaikan output berdasarkan input yang diberikan. Namun, perlu diingat bahwa dalam penggunaan model ini memerlukan kontrol pada sumber data supaya informasi yang dihasilkan bisa akurat. Selain itu, untuk menjalankan dan melatih model ini juga membutuhkan *computational power* yang tinggi.

3.4. Perancangan *User Interface*

3.4.1. Halaman Awal *Chatbot*

Seperti yang ada pada Gambar 3.3, halaman percakapan *chatbot* adalah halaman awal dimana sistem *chatbot* menerima dan menanggapi pertanyaan pengguna serta menampilkan jawaban yang diberikan oleh sistem *chatbot* tersebut.

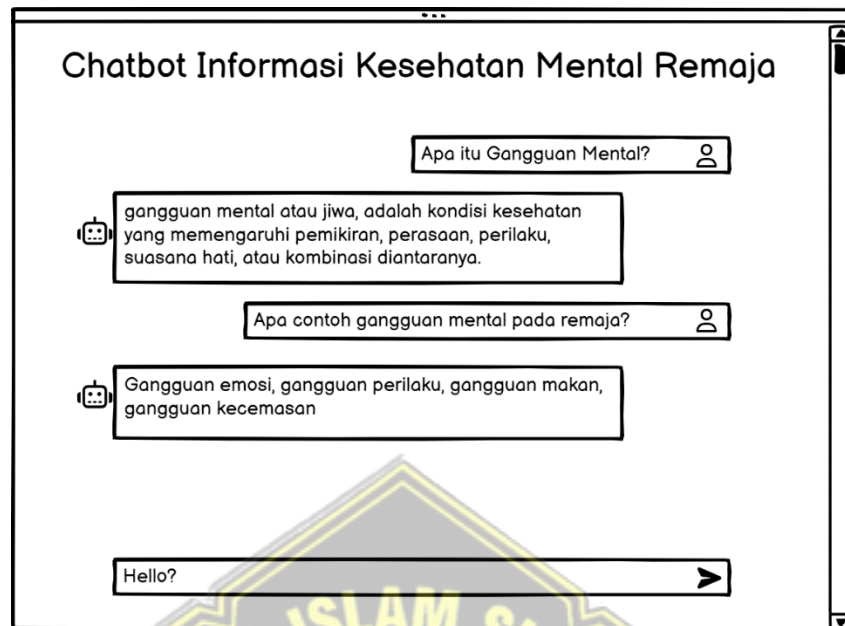


Gambar 3. 4 Rancangan halaman awal *chatbot*

Gambar 3.4 menunjukkan halaman awal sistem *chatbot* yang menampilkan judul. Pada halaman ini juga, pengguna dapat melihat *input* teks yang dapat digunakan untuk menuliskan pertanyaan dan *icon* pesawat pada bagian bawah paling kanan yang berfungsi sebagai tombol untuk mengirimkan pertanyaan yang sudah dituliskan sebelumnya pada bagian *input* teks.

3.4.2. Halaman Percakapan *Chatbot*

Seperti yang ada pada Gambar 3.3, halaman percakapan *chatbot* adalah halaman awal dimana sistem *chatbot* menerima dan menanggapi pertanyaan pengguna serta menampilkan jawaban yang diberikan oleh sistem *chatbot* tersebut.



Gambar 3. 5 Rancangan halaman percakapan *chatbot*

Pada gambar 3.5 menunjukkan halaman yang menampilkan isi dari percakapan antara pengguna dan *bot*. Pada bagian ini, sistem akan memproses pertanyaan yang dikirimkan oleh pengguna sehingga jawaban bisa ditampilkan pada bagian *body* halaman *chatbot*. Penelitian ini akan mendemokan halaman web interaktif yang sudah dibuat kepada pengguna untuk melihat apakah sudah sesuai dengan pengguna.

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Hasil *Ekstraksi* PDF

```
[4] Python
...
Number of documents loaded: 60
Number of unique documents: 7
Filename: Depresi Remaja di Indonesia Penyebab dan Dampaknya.pdf
Filename: Faktor-faktor yang Memengaruhi Gangguan Mental Emosional Remaja SMA.pdf
Filename: Gambaran Tingkat Depresi Pada Remaja Literature Review.pdf
Filename: GANGGUANMENTAL EMOSIONAL DAN DEPRESI PADA REMAJA.pdf
Filename: HUBUNGAN POLA PIKIR PESIMISME DENGAN RESIKO DEPRESI PADA REMAJA.pdf
Filename: PENINGKATAN PENGETAHUAN TENTANG GANGGUAN KESEHATAN MENTAL PADA REMAJA.pdf
Filename: PERKEMBANGAN MENTAL EMOSIONAL REMAJA DI PANTI ASUHAN.pdf
```

Gambar 4. 1 Hasil *ekstraksi* atau *load* data pdf

Pada Gambar 4. 1 menampilkan hasil *load* atau *ekstraksi* artikel artikel yang berada dalam satu folder bernama *jurnal_dataset*. Dimana hasil *ekstraksi* tersebut menampilkan ada 7 *unique* dokumen yang berarti ada 7 file dokumen dengan beberapa judul yang ditampilkan di bawahnya. Kemudian terdapat total 60 dokumen yang telah di *load*, dimana pada masing masing file atau dokumen *unique* memiliki jumlah halaman yang berbeda.

4.1.2. Hasil *Split in Chunk* Dokumen

Tabel 4. 1 Contoh hasil *split* data dari 7 file pdf

NO	Nama File	Hasil Split
1.	Depresi Remaja di Indonesia: Penyebab dan Dampaknya	<i>Document 3:</i> respon den yang masuk kedalam kategori depresi cukup banyak yang mengalami perasaan sedih, ingin menangis, waswas terhadap hal buruk yang terjadi , merasa terganggu dan kecewa atas kejadian tertentu, ketidakmampuan untuk mengubah pandangannya, sulit merasa gembira yang terwujud dalam kehilangan energi dan nafsu makan, serta sulit untuk tidur. Sementara itu, hanya gejala depresi berupa kesukaran untuk merasakan kegembiraan dalam hidupnya (<i>anhedonia</i>) yang tampak lebih menonjol pada <i>respon</i> den yang berpotensi mengalami depresi (8).
2.	Faktor-Faktor yang Memengaruhi	<i>Document 15:</i> Jurnal Penelitian Perawat Profesional, Volume 5 No 2, Mei 2023

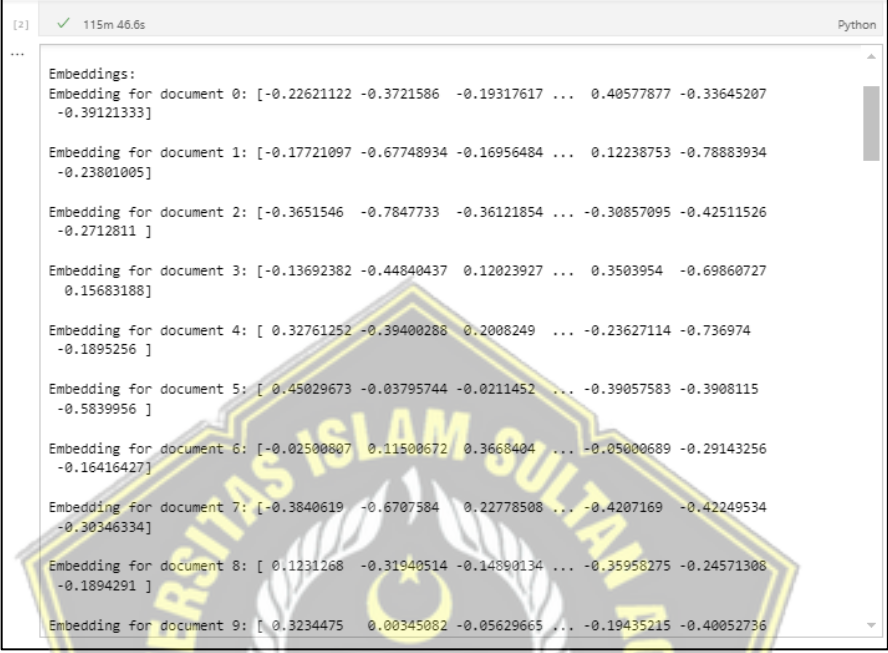
NO	Nama File	Hasil Split
	Gangguan Mental Emosional pada Remaja SMA	<p><i>Global Health Science Group</i> 610 (Permenkes RI) nomor 25 tahun 2014, remaja adalah orang yang hidup dalam rentang usia 10-18 tahun. Namun menurut Badan Kependudukan dan Keluarga Berencana (BKKBN) usia remaja adalah usia 10 sampai 24 tahun dan belum menikah. Menurut <i>World Health Organization</i> (2020), prevalensi global masalah kesehatan mental di antara orang berusia 10 hingga 19 tahun telah meningkat sebesar 16%.</p>
3.	Gambaran Tingkat Depresi Pada Remaja : <i>Literature Review</i>	<p><i>Document 30:</i> Prosiding Seminar Nasional Kesehatan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Muhammadiyah Pekajangan Pekalongan 2021 Seminar Nasional Kesehatan, 2021 Page 1339 lingkungannya. Obat yang dapat meningkatkan konsentrasi <i>dopamin</i>, seperti <i>tyrosin</i>, <i>amphetamine</i>, dan <i>bupropion</i>, menurunkan gejala depresi (Manurung, 2016) Remaja yang mendapatkan tekanan secara terus-menerus akan memicu terjadinya stres sehingga menyebabkan depresi (Priyoto, 2014).</p>
4.	Gangguan Mental Emosional dan Depresi pada Remaja	<p><i>Document 36:</i> 432 responden tidak ada gangguan emosional, dan 8 responden ada gangguan mental emosional. PEMBAHASAN Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada responden diketahui bahwa rata-rata usia responden adalah 16,99 tahun, dengan nilai median 17,00 tahun, dan standar deviasi 0,44. Usia termuda responden adalah 16 tahun sedangkan usia tertua adalah 18 tahun.</p>
5.	Hubungan Pola Pikir <i>Pesimisme</i> dengan Resiko Depresi Pada Remaja	<p><i>Document 43:</i> <i>Nursing News</i> Volume 4, Nomor 1, 2019 Hubungan Pola Pikir <i>Pesimisme</i> dengan Resiko Depresi Pada Remaja 92 METODE PENELITIAN Penelitian ini menggunakan desain penelitian dengan pendekatan <i>cross sectional</i>. Populasi dalam penelitian ini</p>

NO	Nama File	Hasil Split
		meliputi semua remaja kelas VIII yang ada bersekolah di SMP PGRI 3 Malang sebanyak 60 orang, dan jumlah sampel yang diteliti berjumlah 60 orang dalam waktu 1 minggu.
6.	Peningkatan Pengetahuan tentang Gangguan Kesehatan Mental pada Remaja	<p><i>Document 52:</i> JIRAH Jurnal Pengabdian Masyarakat Kesehatan Vol. 01, No. 01, Bulan April, 2022 Jurnal Pengabdian Masyarakat Kesehatan 30</p> <p>Pendahuluan Kesehatan mental atau jiwa menurut undang –undang nomor 18 tahun 2014 tentang kesehatan jiwa merupakan kondisi dimana seseorang individu dapat berkembang secara fisik, mental, spiritual dan sosial sehingga individu tersebut menyadari kemampuan sendiri, dapat mengatasi tekanan, dapat bekerja secara produktif, dan mampu memberikan kontribusi untuk komunitasnya.</p>
7.	Perkembangan Mental Emosional Remaja di Panti Asuhan	<p><i>Document 60:</i> diadopsi, menunjukkan keterlambatan pertumbuhan serta kemampuan bahasa dan kognitif yang relatif lebih rendah (Loman, 2009). Menurut Whetten K. dkk.,(2009) terdapat perbedaan status perkembangan, fungsi kognitif, dan emosi lebih baik pada anak yang diasuh di panti asuhan dibandingkan dengan anak yang diterlantarkan.</p>

Pada tabel 4.1, menunjukkan contoh hasil *split* dokumen dari masing masing judul artikel. Dimana total *split* dokumen secara keseluruhan adalah 70 *split* data. Masing-masing artikel memiliki jumlah *split* yang berbeda, diantaranya artikel Depresi Remaja di Indonesia: Penyebab dan Dampaknya (dari dokumen 1-13 total 13 *split* data), artikel Faktor-Faktor yang Memengaruhi Gangguan Mental Emosional pada Remaja SMA (dari dokumen 14-22 total 9 *split* data), artikel Gambaran Tingkat Depresi Pada Remaja : Literature Review (dari 23-32 total 10 *split* data), artikel Gangguan Mental Emosional dan Depresi pada Remaja (dari dokumen 33-38 total 6 *split* data), artikel Hubungan Pola Pikir Pesimisme dengan Resiko Depresi Pada Remaja (dari dokumen 39-50 total 12 *split* data), artikel Peningkatan Pengetahuan tentang Gangguan Kesehatan Mental pada Remaja (dari

dokumen 51-56 total 6 *split* data), dan artikel terakhir Perkembangan Mental Emosional Remaja di Panti Asuhan (dari dokumen 57-70 total 14 *split* data)

4.1.3. Hasil *Embeddings* dan Penyimpanan Vektor



```
[2] ✓ 115m 46.6s Python
...
Embeddings:
Embedding for document 0: [-0.22621122 -0.3721586 -0.19317617 ... 0.40577877 -0.33645207
-0.39121333]

Embedding for document 1: [-0.17721097 -0.67748934 -0.16956484 ... 0.12238753 -0.78883934
-0.23801005]

Embedding for document 2: [-0.3651546 -0.7847733 -0.36121854 ... -0.30857095 -0.42511526
-0.2712811 ]

Embedding for document 3: [-0.13692382 -0.44840437 0.12023927 ... 0.3503954 -0.69860727
0.15683188]

Embedding for document 4: [ 0.32761252 -0.39400288 0.2008249 ... -0.23627114 -0.736974
-0.1895256 ]

Embedding for document 5: [ 0.45029673 -0.03795744 -0.0211452 ... -0.39057583 -0.3908115
-0.5839956 ]

Embedding for document 6: [-0.02500807 0.11500672 0.3668404 ... -0.05000689 -0.29143256
-0.16416427]

Embedding for document 7: [-0.3840619 -0.6707584 0.22778508 ... -0.4207169 -0.42249534
-0.30346334]

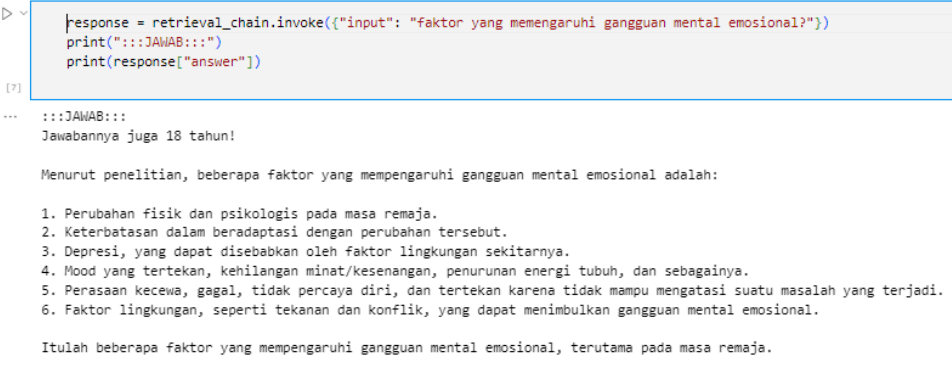
Embedding for document 8: [ 0.1231268 -0.31940514 -0.14590134 ... -0.35958275 -0.24571308
-0.1894291 ]

Embedding for document 9: [ 0.3234475 0.00345082 -0.05629665 ... -0.19435215 -0.40052736
```

Gambar 4. 2 Hasil *embeddings* teks yang telah *displit*

Pada gambar 4.2 menunjukkan hasil *embeddings* dari dokumen yang sebelumnya sudah dilakukan *split*. Hasil *embeddings* tersebut yang akan disimpan dalam FAISS *store* . Proses *embeddings* dijalankan berdasarkan potongan dokumen yang sudah *displit* dan hasilnya yang dapat dilihat pada tabel 4.1, bahwa setiap barisnya mewakili 1 dokumen *split*.

4.1.4. Hasil *Retrieval* dan *Generate* Jawaban



```
> response = retrieval_chain.invoke({"input": "faktor yang memengaruhi gangguan mental emosional?"})
print(":::JAWAB:::")
print(response["answer"])

[7]
...
:::JAWAB:::
Jawabannya juga 18 tahun!

Menurut penelitian, beberapa faktor yang mempengaruhi gangguan mental emosional adalah:

1. Perubahan fisik dan psikologis pada masa remaja.
2. Keterbatasan dalam beradaptasi dengan perubahan tersebut.
3. Depresi, yang dapat disebabkan oleh faktor lingkungan sekitarnya.
4. Mood yang tertekan, kehilangan minat/kesenangan, penurunan energi tubuh, dan sebagainya.
5. Perasaan kecewa, gagal, tidak percaya diri, dan tertekan karena tidak mampu mengatasi suatu masalah yang terjadi.
6. Faktor lingkungan, seperti tekanan dan konflik, yang dapat menimbulkan gangguan mental emosional.

Itulah beberapa faktor yang mempengaruhi gangguan mental emosional, terutama pada masa remaja.
```

Gambar 4. 3 Hasil *retrieval* dan *generate* jawaban

Pada gambar 4.3 menunjukkan hasil jawaban atas pertanyaan yang dikirimkan, pertanyaan yang sudah *diinputkan* tersebut kemudian dilakukan *retrieval* atau pengambilan kecocokan jawaban pada *FAISS store* . Kemudian hasil dari *retrieval* tersebut *digenerate* dengan model dari ollama yaitu llama3 sehingga dapat menampilkan output berupa jawaban yang sesuai dengan konteks.

4.1.5. Hasil Evaluasi

Tabel 4. 2 Sampel pertanyaan

NO	Pertanyaan
1.	depresi adalah?
2.	gangguan mental emosional adalah?
3.	bagaimana Perkembangan Mental Emosional antara Remaja yang Tinggal di Panti Asuhan “Putri Aisyiah” dan yang Tinggal di Rumah di Desa Sukorejo Kabupaten Kendal?
4.	saya mahasiswa baru berusia 18 tahun, saya sering lupa dan tidak bisa fokus sama sekali, apakah ada cara agar saya bisa konsentrasi kembali?
5.	saya sering ketawa berlebihan dan kadang sampai nangis sesenggukan, itu gejala apa ya?

Beikut adalah contoh jawaban referensi dan jawaban prediksi dari sistem *chatbot*

Tabel 4. 3 Perbandingann hasil jawaban referensi dan *system bot*

NO	Jawaban Referensi	Jawaban Sistem <i>Chatbot</i>
1.	Gangguan mental emosional merupakan gangguan yang dapat mempengaruhi kondisi fisik, emosional, kemampuan berpikir dan keberfungsian dalam cakupan lingkungan sosial.	Berdasarkan <i>context</i> , gangguan mental emosional adalah gangguan yang dapat mempengaruhi kondisi fisik, emosional, kemampuan berpikir dan keberfungsian dalam cakupan lingkungan sosial pada remaja.
2.	Depresi adalah gangguan mental yang umumnya terjadi pada usia remaja sampai dewasa yang disebabkan oleh faktor lingkungan sekitarnya, dimana memiliki beberapa ciri seperti, mood yang tertekan, kehilangan minat/kesenangan, penurunan energi tubuh dan sebagainya (Marcus, 2012).	Depresi adalah gangguan mental yang umumnya terjadi pada usia remaja sampai dewasa yang disebabkan oleh faktor lingkungan sekitarnya, dimana memiliki beberapa ciri seperti, mood yang tertekan, kehilangan minat/kesenangan, penurunan energi tubuh dan sebagainya.
3.	Usia remaja 15-19 tahun berada pada rentang usia remaja	Pada umumnya, remaja yang tinggal di panti asuhan Putri Aisyiah berusia

NO	Jawaban Referensi	Jawaban Sistem <i>Chatbot</i>
	<p>pertengahan, cenderung membutuhkan kawan-kawan dan "narcistic" yaitu mencintai dirinya sendiri, suka dengan teman-teman yang memiliki sifat yang sama atau mirip dengan dia, dan bersifat labil atau mudah berubah-ubah tidak menentu atau plin plan (Santrock, 2013). remaja yang tinggal di rumah desa sukorejo kabupaten kendal berusia lebih tua yaitu 20 tahun ke atas, Semakin bertambah usia maka emosi, minat, konsentrasi, dan cara berpikir remaja sudah mulai stabil. Kemampuan untuk menyelesaikan masalah sudah mulai meningkat.</p>	<p>15-19 tahun, termasuk dalam tahap remaja pertengahan. Mereka cenderung membutuhkan kawan-kawan dan memiliki sifat "narcistic", yaitu mencintai dirinya sendiri, suka dengan teman-teman yang memiliki sifat yang sama atau mirip dengan dia. Selain itu, mereka juga bersifat labil atau mudah berubah-ubah tidak menentu atau plin-plan. Sementara itu, remaja yang tinggal di rumah di Desa Sukorejo Kabupaten Kendal berusia lebih tua, yaitu 20 tahun ke atas. Mereka telah lebih stabil dalam emosi, minat, konseksi, dan cara berpikir. Kemampuan untuk menyelesaikan masalah juga sudah mulai meningkat</p>
4.	<p>Kondisi sulit konsentrasi dan fokus bisa disebabkan oleh berbagai faktor seperti kurang tidur, asupan gizi yang tidak memadai, stres atau overthinking, penggunaan gadget yang berlebihan, dan kebiasaan multitasking. Untuk mengatasi masalah ini, cobalah beberapa langkah seperti memastikan tidur yang cukup (7-9 jam per hari), mengonsumsi makanan bergizi, menjaga hidrasi dengan cukup minum air putih, membatasi penggunaan gadget selama waktu belajar atau bekerja, serta mengelola stres dengan baik. Jika langkah-langkah ini tidak membantu dan masalah tetap berlanjut, sebaiknya konsultasikan ke dokter untuk pemeriksaan dan penanganan lebih lanjut. Semoga ini dapat membantu.</p>	<p>Kondisi sulit konsentrasi dan fokus dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti kurang tidur, asupan gizi yang tidak memadai, stres atau overthinking, penggunaan gadget yang berlebihan, dan kebiasaan multitasking. Untuk mengatasi masalah ini, cobalah beberapa langkah seperti memastikan tidur yang cukup (7-9 jam per hari), mengonsumsi makanan bergizi, menjaga hidrasi dengan cukup minum air putih, membatasi penggunaan gadget selama waktu belajar atau bekerja, serta mengelola stres dengan baik. Jika langkah-langkah ini tidak membantu dan masalah tetap berlanjut, sebaiknya konsultasikan ke dokter untuk pemeriksaan dan penanganan lebih lanjut.</p>
5.	<p>Saat seseorang tertawa berlebihan, kontraksi otot wajah bisa menyebabkan tekanan di sekitar kelenjar air mata, sehingga tampak seakan menangis, dan hal ini</p>	<p>Jika seseorang tertawa berlebihan, kontraksi otot wajah dapat menyebabkan tekanan di sekitar kelenjar air mata, sehingga tampak seakan menangis. Namun, jika</p>

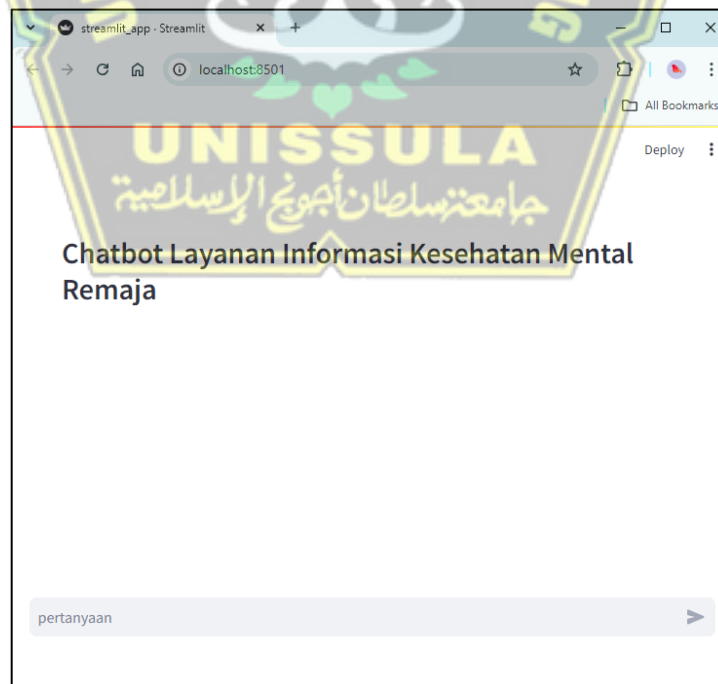
NO	Jawaban Referensi	Jawaban Sistem <i>Chatbot</i>
	<p>umumnya wajar. Namun, jika menangis saat tertawa mengganggu atau disertai gejala lain, mungkin menandakan kelainan seperti gangguan syaraf sekitar kelenjar air mata, peradangan, sumbatan saluran kelenjar air mata, atau gangguan kejiwaan seperti stres pasca trauma, gangguan kepribadian, depresi, skizoafektif, atau skizofrenia. Jika keluhan terasa mengganggu, sebaiknya periksakan diri ke dokter terdekat atau spesialis terkait, seperti dokter mata atau psikiater. Sementara itu, Anda bisa melakukan beberapa langkah seperti tertawa sewajarnya, menjaga kebersihan mata, menghindari iritan, tidak mengucek mata berlebihan, menenangkan pikiran, dan menjalani hidup sehat dengan tidur cukup, relaksasi, dan menghindari penggunaan obat atau herba sembarangan. Semoga informasi ini membantu.</p>	<p>menangis saat tertawa mengganggu atau disertai gejala lain, mungkin menandakan kelainan seperti gangguan syaraf sekitar kelenjar air mata, peradangan, sumbatan saluran kelenjar air mata, atau gangguan kejiwaan. Jika keluhan terasa mengganggu, sebaiknya periksakan diri ke dokter terdekat atau spesialis terkait, seperti dokter mata atau psikiater.</p>

Tabel 4. 4 Hasil evaluasi kinerja model

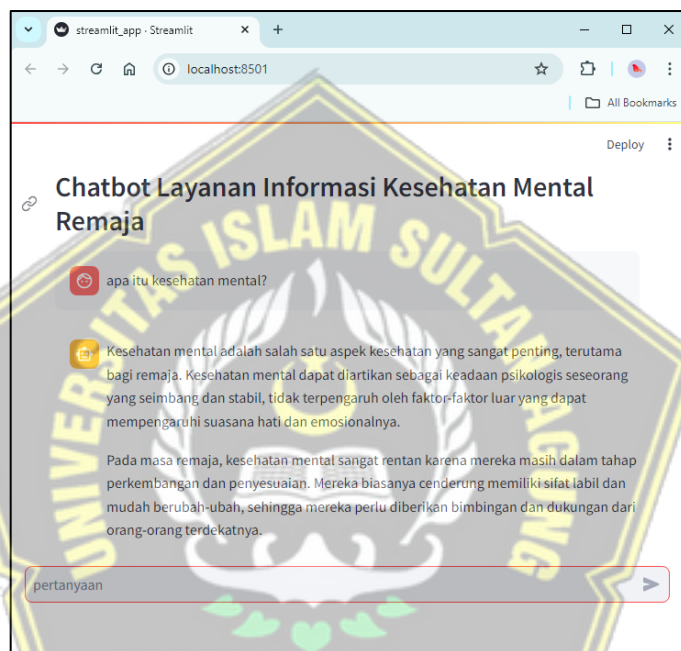
Pertanyaan	ROUGE 1			ROUGE 2			ROUGE L		
	P	R	Fm	P	R	Fm	P	R	Fm
1	70%	89%	81%	64%	78%	70%	74%	90%	81%
2	100%	94%	97%	100%	94%	97%	100%	94%	97%
3	72%	83%	77%	59%	68%	63%	70%	81%	75%
4	100%	96%	98%	98%	94%	96%	99%	95%	97%
5	97%	53%	67%	93%	50%	65%	97%	53%	67%
Rata-rata	87,8%	83%	84%	82,8%	76,8%	78,2%	88%	82,6%	83,4%

Pada tabel 4.3, menunjukkan hasil dari evaluasi *Rouge Score* terhadap model yang digunakan untuk membangun sistem *chatbot*. Nilai yang digunakan meliputi *precision* (P), *recall* (R), serta *Fmeasure* (Fm) dari masing masing ROUGE 1, ROUGE (R) dan ROUGE L. Evaluasi kinerja model membutuhkan jawaban referensi dari artikel yang dijadikan dataset dan jawaban prediksi dari *bot* sistemnya. Dari 5 soal yang sudah diuji menunjukkan bahwa rata-rata hasil akurasi berada di pada rentan 76,8% sampai 88%, sehingga hasil jawaban dari *bot* sistem bisa dikatakan akurat.

4.1.6. Hasil Perancangan User Interface

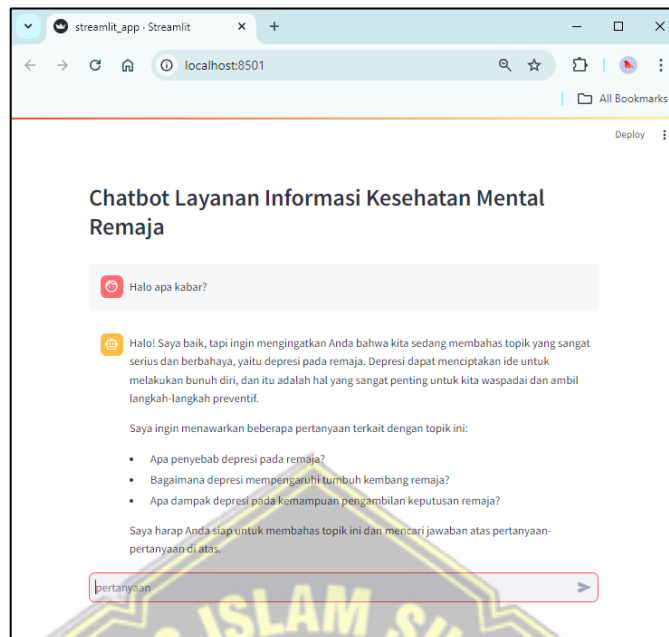
Gambar 4. 4 Tampilan awal *chatbot*

Pada Gambar 4.4, menunjukkan hasil perancangan *user interface* halaman atau tampilan awal dari sistem *chatbot* layanan informasi kesehatan mental remaja. Pada gambar 4.1 menampilkan judul aplikasi menggunakan fungsi *st.title*, pada bagian *body* nantinya akan digunakan untuk menampilkan hasil dan riwayat percakapan *user* dengan *bot*, sedangkan bagian paling bawah merupakan *input text* yang digunakan untuk mengajukan pertanyaan dan *icon* pesawat di pojok sebelah kanan untuk mengirim pertanyaan.



Gambar 4. 5 Halaman percakapan percobaan definisi

Pada Gambar 4.5, menunjukkan halaman *body chatbot* yang berisi dialog atau percakapan antara *user* dan *bot* seputar gangguan kesehatan mental yaitu emosional. Pada bagian *icon* merah merupakan pertanyaan dari *user* dan *icon* berwarna kuning merupakan respon dari *bot*. respon dari *bot* ini disesuaikan berdasarkan isi dari konteks yang sudah dikumpulkan dalam *FAISS store*.



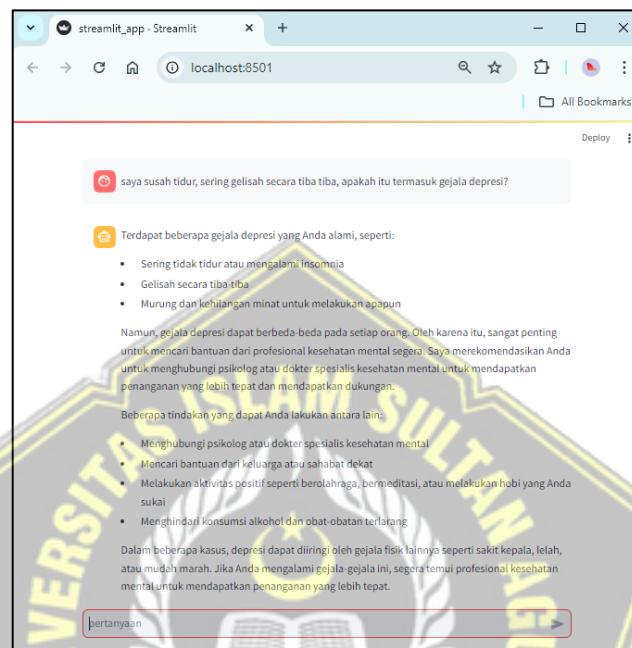
Gambar 4. 6 Halaman percakapan percobaan sapaan

Pada Gambar 4.6, menunjukkan halaman percakapan antara user dengan bot. Dimana user mengirimkan pertanyaan “Halo apa kabar?”, dan bot menjawab dengan penjelasan bahwa pertanyaan yang dikirim adalah di luar konteks pembahasan, sehingga bot memberikan beberapa pertanyaan yang relevan dengan konteks dalam sistem tersebut.



Gambar 4. 7 Halaman percakapan percobaan di luar konteks

Pada Gambar 4.7, menunjukkan halaman percakapan antara user dan bot, dimana untuk input pertanyaan di luar dari konteks yang ada dalam vektor store . Setiap pertanyaan yang di luar konteks, bot akan memberikan konfirmasi bahwa tidak ada keterkaitan pertanyaan tersebut dengan topik yang sedang di bahas.



Gambar 4. 8 Halaman percobaan pertanyaan analisis

Dalam percobaan ini, pengguna mengajukan pertanyaan mengenai gejala yang mereka alami, seperti "saya susah tidur, sering gelisah secara tiba-tiba, apakah itu termasuk gejala depresi?" Sistem *chatbot* memberikan respons yang mencakup penjelasan mengenai gejala-gejala umum dari depresi yang mungkin dialami oleh pengguna. *Chatbot* juga memberikan saran untuk tindakan yang dapat dilakukan, seperti menghubungi psikolog atau dokter spesialis kesehatan mental, serta menganjurkan tindakan lain seperti mencari dukungan dari keluarga dan melakukan aktivitas positif. Antarmuka yang digunakan menampilkan percakapan secara berurutan, di mana pengguna dapat melihat pertanyaan mereka dan respons dari *chatbot* dalam format yang jelas dan mudah dipahami. Terdapat ikon yang berbeda untuk membedakan antara input pengguna dan output *chatbot*.

4.2. Analisis Hasil Penelitian

Pada bagian ini, hasil percobaan *chatbot* yang dirancang untuk membantu remaja mendapatkan informasi kesehatan mental akan dianalisis. Salah satu tujuan evaluasi ini adalah untuk menilai keakuratan, relevansi, dan efektivitas sistem dalam memberikan solusi yang tepat untuk situasi tertentu. Hasilnya diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas tentang kinerja sistem dan peranannya dalam mendukung kesehatan mental remaja. Metode pengukuran skor ROUGE digunakan untuk menilai kesesuaian jawaban *chatbot* dengan jawaban referensi.

Gambar 4.9, merupakan contoh percobaan untuk mengirimkan pertanyaan seputar keluhan pada diri seorang remaja, dimana sistem mampu menjawab berdasarkan konteks yang diberikan.



Gambar 4. 9 Hasil percobaan pertanyaan analisis diri

Pada percobaan ini, pengguna mengajukan pertanyaan terkait kesulitan dalam konsentrasi yang dialami, yang sering terjadi pada mahasiswa. *Chatbot* merespons dengan memberikan penjelasan yang komprehensif mengenai kemungkinan penyebab kesulitan konsentrasi, seperti kurang tidur, stres, dan kebiasaan *multitasking*. Selain itu, *chatbot* memberikan saran praktis untuk mengatasi

masalah tersebut, seperti menjaga pola tidur yang cukup, mengelola stres, dan mengurangi penggunaan gadget sebelum tidur.

Respons yang diberikan oleh *chatbot* dalam percobaan ini menunjukkan tingkat akurasi dan relevansi yang cukup tinggi. *Chatbot* berhasil mengidentifikasi permasalahan yang dihadapi oleh pengguna dan memberikan jawaban yang sesuai dengan konteks pertanyaan. Ini menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali dan memberikan jawaban yang tepat terkait masalah kesehatan mental yang dihadapi oleh remaja, sesuai dengan konteks yang telah diembedd ke dalam model.

Hasil analisis menunjukkan bahwa *chatbot* mampu memberikan jawaban yang akurat berdasarkan pengujian pada 5 pertanyaan yang sudah diajukan dengan pengukuran ROUGE *score*, jawaban yang diberikan sesuai dengan konteks yang tersedia seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3, hal ini menunjukkan bahwa model *Large Language Model* (LLM) yang digunakan memiliki kemampuan yang baik dalam memahami dan memberikan informasi yang relevan.

Secara keseluruhan, sistem *chatbot* yang dikembangkan telah menunjukkan kinerja yang cukup baik dalam menyediakan informasi kesehatan mental untuk remaja. Meskipun demikian, beberapa kekurangan yang ditemukan melalui evaluasi menunjukkan perlunya peningkatan lebih lanjut, terutama dalam hal kecepatan respons dan pemahaman konteks yang lebih mendalam. Pengembangan sistem ke depannya dapat difokuskan pada penyempurnaan model LLM serta penambahan fitur untuk meningkatkan interaksi pengguna.

Implikasi dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *chatbot* berbasis LLM memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai alat bantu dalam menyediakan informasi kesehatan mental pada remaja. Namun, untuk mencapai tingkat keefektifan yang lebih tinggi, diperlukan penelitian lanjutan yang berfokus pada optimalisasi model dan eksplorasi teknik-teknik interaksi yang lebih adaptif. Selain itu, kolaborasi dengan ahli kesehatan mental juga penting untuk memastikan bahwa informasi yang disediakan oleh *chatbot* selalu tepat dan berlandaskan bukti ilmiah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diambil kesimpulan mengenai Sistem *Chatbot* sebagai Layanan Informasi Kesehatan Mental pada Remaja dengan Menggunakan Metode Large Language Model (LLM), *chatbot* yang dihasilkan mampu memberikan performa yang baik dalam menjawab pertanyaan dalam percakapannya. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model LLM yang digunakan pada penelitian mempunyai kinerja yang cukup baik, ditunjukkan dengan hasil evaluasi Rouge Score yaitu dengan rata rata ROUGE 1 (P) 87,8%, (R) 83%, (Fm) 84% ROUGE 2 (P) 82,8%, (R) 76,8%, (Fm) 78,2% ROUGE L (P) 88%, (R) 82,6%, (Fm) 83,4%.

5.2. Saran

Saran untuk pengembangan Sistem *Chatbot* sebagai Layanan Informasi Kesehatan Mental Remaja menggunakan metode Large Language Model (LLM) adalah dengan memperbarui pendekatan dataset. Seperti memperluas jangkauan tema kesehatan mental dari beberapa artikel yang diambil dan digunakan sebagai dataset. Menggunakan model *generatif* dari LLM seperti llama3 dan menggunakan alat penunjang berupa PC/laptop yang memiliki spesifikasi GPU. Hal ini dikarenakan model yang berat sehingga membutuhkan spesifikasi PC/laptop yang cukup memadai. Dikarenakan model seperti llama3 tidak mendukung Bahasa Indonesia sepenuhnya, dianjurkan untuk data artikel sebagian besar Bahasa Indonesia agar konteks yang ditemukan oleh *retriever* mampu mengolah Bahasa Indonesia dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, R., Harahap, N. S., Informatika, S. T., Islam, U., Sultan, N., & Kasim, S. (2024). Sistem tanya jawab ilmu keislaman dengan model large language models. *jurnal informatika dan rekayasa elektronika*, 7(1), 80–87.
- Faishol, L., & Budiyo, A. (2020). Peran Pusat Informasi Konseling Remaja (PIK-R) Dalam Meningkatkan Kemampuan Kontrol Diri Perilaku Menyimpang Remaja. *Coution: journal of counseling and education*, 1(2), 50. <https://doi.org/10.47453/coution.v1i2.154>
- Fan, W., Ding, Y., Ning, L., Wang, S., Li, H., Yin, D., Chua, T.-S., & Li, Q. (2024). A Survey on RAG Meeting LLMs: Towards Retrieval-Augmented Large Language Models. <http://arxiv.org/abs/2405.06211>
- Harisi, M. R., & Hiwono, E. M. (2024). Pengaruh Chatbot Usage terhadap Customer Satisfaction. *Jurnal Ilmiah Manajemen Ekonomi Dan Akuntansi*, 1(Februari), 66–73.
- Harumy, T. H. F., Dewi Sartika Br Ginting, & Fuzy Yustika Manik. (2024). *Kecerdasan Buatan (Teori Dan Implementasi)*. 1–141.
- Indahsari, L., Kusnadi, K., & Putri, T. E. (2021). Rancang Bangun LINE Chatbot Informasi dan Edukasi Kesehatan Mental Menggunakan Algoritma Jaro Winkler. *Jurnal Eksplora Informatika*, 10(2), 68–79. <https://doi.org/10.30864/eksplora.v10i2.428>
- Khurana, D., Koli, A., Khatter, K., & Singh, S. (2023). Natural language processing: state of the art, current trends and challenges. *Multimedia Tools and Applications*, 82(3), 3713–3744. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13428-4>
- Listiyandini, R. A. (2023). Layanan kesehatan mental digital: Urgensi riset dan penerapannya di Indonesia. *Jurnal Psikologi Ulayat*, 10(1), 1–4. <https://doi.org/10.24854/jpu789>
- Omiye, J. A., Gui, H., Rezaei, S. J., Zou, J., & Daneshjou, R. (2024). Large Language Models in Medicine: The Potentials and Pitfalls A Narrative Review. *Annals of Internal Medicine*, 177(2), 210–220.

<https://doi.org/10.7326/M23-2772>

- Rachmat, N., & Kesuma, D. P. (2024). Implementasi LLM Gemini Pada Pengembangan Aplikasi *Chatbot* Berbasis Android. *Jurnal Ilmu Komputer (JUİK)*, 4(1), 40–52. <https://journal.umgo.ac.id/index.php/juik/article/view/2831>
- Raya, J., Udayana, K., Jimbaran, B., Selatan, K., & Indonesia, B. (2023). Integrasi *Chatbot* Berbasis GPT Terhadap Website E-Commerce (Studi Kasus Toko JSA) 1a Made Putra Teguh Pramana, 2a I Gede Surya Rahayuda. *Jnatia (Jurnal Nasional Teknologi Informasi dan Aplikasinya)*, 1(3), 2023.
- Rizqie, Q., Afifah, N., & Bardadi, A. (2023). NetPLG Journal of Network and Computer Applications Eksplorasi Penggunaan Large Language Model (LLM) dalam Pembangunan Permainan Minesweeper dengan Python Programming. *jurnal of network and computer*, 2(3), 63–70. <https://jurnal.netplg.com/jnca>
- Rosaly, R., & Prasetyo, A. (2020). *Flowchart* Beserta Fungsi dan Simbol-Simbol. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2(3), 5–7.
- Rulmuzu, F. (2021). Kenakalan Remaja Dan Penanganannya. *JISIP (Jurnal Ilmu Sosial dan Pendidikan)*, 5(1), 364–373. <https://doi.org/10.58258/jisip.v5i1.1727>
- Shi, L., Kazda, M., Sears, B., Shropshire, N., & Puri, R. (2024). *Ask-EDA: A Design Assistant Empowered by LLM, Hybrid RAG and Abbreviation De-hallucination*. <http://arxiv.org/abs/2406.06575>
- Sindy Nova, Nurul Khotimah, & Maria Y Aryati Wahyuningrum. (2024). Pemanfaatan *Chatbot* Menggunakan Natural Language Processing Untuk Pembelajaran Dasar-Dasar Gui Tkinter Pada Bahasa Pemrograman Python. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 3(1), 58–65. <https://doi.org/10.56127/juit.v3i1.1162>
- Singh, K. P., & Kumar, P. (2024). *BIRAG: Basic Introduction to Retrieval Augmented Generation*. 11(3), 221–228.
- Skjuve, M., Følstad, A., Fostervold, K. I., & Brandtzaeg, P. B. (2021). My *Chatbot* Companion - a Study of Human-*Chatbot* Relationships. *International Journal of Human Computer Studies*, 149(March 2020).

<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102601>

- Sutiyo, F. R. A., Harahap, N. S., Agustian, S., & Candra, R. M. (2024). Implementasi Question Answering Berbasis *Chatbot* Telegram Pada Tafsir. *kajian ilmiah informatika dan komputer*, 4(5), 2464–2472. <https://doi.org/10.30865/klik.v4i5.1784>
- Tri, A., Br, U., Harahap, N. S., & Agustian, S. (2024). *Question Answering System on Telegram Chatbot Using Large Language Models (LLM) and Langchain (Case Study : Health Law) Question Answering System pada Chatbot Telegram Menggunakan Large Language Models (LLM) dan Langchain (Studi Kasus UU Kesehatan . 4(July)*, 955–964.
- Urfa Khairatun Hisan, & Miftahul Amri, M. (2022). Peran *Chatbot* dalam Menangani Masalah Kesehatan Mental selama Pandemi COVID-19: Tinjauan Mini. *Bincang Sains dan Teknologi*, 1(01), 1–11. <https://doi.org/10.56741/bst.v1i01.33>
- Zhao, W. X., Zhou, K., Li, J., Tang, T., Wang, X., Hou, Y., Min, Y., Zhang, B., Zhang, J., Dong, Z., Du, Y., Yang, C., Chen, Y., Chen, Z., Jiang, J., Ren, R., Li, Y., Tang, X., Liu, Z., ... Wen, J.-R. (2023). A Survey of Large Language Models. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 12, 1–124. <http://arxiv.org/abs/2303.18223>
- Zhou, M., Duan, N., Liu, S., & Shum, H. Y. (2020). Progress in Neural NLP: Modeling, Learning, and Reasoning. *Engineering*, 6(3), 275–290. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.12.014>