

PENGEMBANGAN PLATFORM MICROLEARNING BERBASIS WEB UNTUK MENINGKATKAN PEMBELAJARAN DI PRODI TEKNIK INFORMATIKA

TUGAS AKHIR

Disusun sebagai salah satu syarat untuk kelulusan
Program Strata 1, Program Studi Teknik Informatika,
Universitas Pasundan Bandung

oleh :

Rafi Ikhsanul Hakim

NRP : 22.304.0095



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG
JUNI 2026**

LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR

Telah disetujui dan disahkan Proposal Tugas Akhir, dari :

Nama : Rafi Ikhsanul Hakim

Nrp: 223040095

Dengan Judul :

“PENGEMBANGAN PLATFORM MICROLEARNING BERBASIS WEB UNTUK
MENINGKATKAN PEMBELAJARAN DI PRODI TEKNIK INFORMATIKA”

Bandung, 01 Juni 2026

Menyetujui,

Bandung, _____
Pembimbing Utama

(Wanda Gusdya , ST., MT)

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

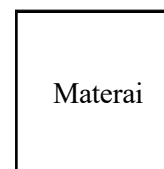
Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Tugas akhir ini adalah benar-benar asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Pasundan Bandung maupun di Perguruan Tinggi lainnya
2. Tugas akhir ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari tim Dosen Pembimbing
3. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah, serta disebutkan dalam Daftar Pustaka pada tugas akhir ini
4. Kakas, perangkat lunak, dan alat bantu kerja lainnya yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Pasundan Bandung

Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan tugas akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi akademik, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Pasundan, serta perundang-undangan lainnya.

Bandung, 3 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



(Rafi Ikhsanul Hakim)

NRP. 22.304.0095

ABSTRAK

Mahasiswa sering mengalami kesulitan memahami materi perkuliahan yang disajikan dalam dokumen PDF karena formatnya yang panjang dan kurang interaktif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan platform microlearning berbasis web bernama MangMicro yang mampu mentransformasi dokumen PDF menjadi berbagai format pembelajaran interaktif dengan memanfaatkan teknologi *Generative Artificial Intelligence*.

Pengembangan sistem menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan *Agile Iterative Development*. Platform dibangun menggunakan Next.js, PostgreSQL, dan Drizzle ORM, serta mengintegrasikan Google Gemini AI, Nano Banana 2, dan Deepgram. Proses transformasi materi menerapkan prinsip *Microlearning*, *Cognitive Load Theory*, dan *LearnLM* sehingga materi disajikan dalam unit pembelajaran singkat yang mudah dipahami. Hasil penelitian berupa platform yang menghasilkan enam format pembelajaran, yaitu Teks Imersif, Kuis Interaktif, Slide Deck, Peta Konsep, Audio Lesson, dan Video Bernarasi, serta dilengkapi autentikasi pengguna dan pelacakan progres belajar. Pengujian fungsional menggunakan Black Box Testing menunjukkan seluruh fitur utama berjalan sesuai kebutuhan sistem. Platform ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran mandiri melalui penyajian materi yang lebih ringkas, interaktif, dan adaptif.

Kata kunci: *microlearning, pembelajaran berbasis web, Next.js, Google Gemini AI, Nano Banana 2, generative AI*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan laporan Tugas Akhir dengan judul “Pengembangan Platform Microlearning Berbasis Web untuk Meningkatkan Pembelajaran di Prodi Teknik Informatika” dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana teknik pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas teknik, Universitas Pasundan Bandung. Platform MangMicro yang dikembangkan dalam penelitian ini merupakan upaya untuk mengintegrasikan teknologi kecerdasan buatan (AI) dalam menciptakan pengalaman pembelajaran yang lebih adaptif, interaktif, dan sesuai dengan karakteristik mahasiswa di era digital.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Keterbatasan waktu, pengetahuan, dan pengalaman penulis menjadi faktor yang mempengaruhi hasil penelitian ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan pengembangan lebih lanjut di masa yang akan datang.

Penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT berkat segala karunia, hidayah serta kenikmatan-Nya yang telah diberikan serta menemani penulis dalam setiap harinya.
2. Kepada Ayah saya tercinta yang mengajarkan arti kerja keras sebagai bentuk cinta yang nyata dan rela mengorbankan segalanya untuk saya menggapai mimpi. Terima kasih, karena ayah yang tak pernah berhenti percaya pada kemampuan anaknya. Semoga kelak, keberhasilan ini menjadi persembahan kecil atas segala perjuangan yang tak ternilai untuk ayah.
3. Kepada Mama saya yang saya cintai atas setiap doa yang dipanjatkan dan dukungan berupa kepintaran serta kata kata penyemangat di setiap harinya. Terima kasih Mama, karena telah menjadi cahaya yang menuntun perjalanan penulis melewati gelapnya keraguan dan ketakutan. Kasih sayang yang diberikan Mama tak pernah surut, Semoga keberhasilan ini dapat mengukir senyum bangga di wajahmu, walau sebesar apa pun, tak akan pernah sebanding dengan semua yang telah Mama berikan.
4. Bapak Wanda Gusdya, ST., MT., selaku dosen pembimbing saya yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta ilmu yang diberikan selama proses penyusunan penelitian ini di tengah kesibukannya dan mempermudah Penulis untuk bimbingan tanpa kesulitan. Semoga setiap ilmu dan kebaikan yang diberikan menjadi amal jariyah yang tak terputus.
5. Seluruh dosen pengajar Departemen Teknik Informatika atas segala ilmu dan pengetahuan yang telah diberikan.
6. Kakak dan Adik Penulis, Dzaki Ramdhani dan Ghailan Abdul Ghani yang telah memberikan dukungan dan semangat serta motivasi yang diberikan dengan keyakinan bahwa Penulis pasti

7. bisa melewati semua ini. Terima kasih telah menjadi saudara yang selalu ada dalam setiap proses Penulis. Semoga bisa terus saling menguatkan dalam langkah hidup ke depan dan kesuksesan yang diberikan.
8. Sahabat penulis di Bandung, Darren dan Firza, yang telah menemani penulis sejak masa SMP hingga saat ini, menjadi tempat bercerita, serta selalu memberikan dukungan dan semangat bagi penulis.
9. Sahabat sekaligus keluarga dari Palembang, Fatur, Ceto, Ghozy, dan semua personil dari grup “141” yang memberikan dukungan semangat serta penghibur dalam setiap waktu luang.
10. Rombongan “Bernard Family”, Bernard, Brandon, Vaness, Arvin, Sutandi, Ricardo, dan Jojo selaku sahabat juga dari penulis yang menghibur penulis sejak sekolah dulu hingga sekarang dan telah memberikan kenangan terbaik bagi penulis.
11. Rombongan “High Value Man” sebagai motivasi untuk terus mengejar menyelesaikan skripsi, dan juga tempat bertukar pikiran bagi penulis.
12. Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada grup “MANIFESTING 4 TAHUN” yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan perkuliahan ini. Grup ini tidak hanya menjadi wadah untuk belajar bersama dan bertukar informasi seputar perkuliahan, tetapi juga menjadi sumber motivasi, dukungan, dan semangat bagi penulis dalam menjalani proses akademik. Kehadiran Daniel, Dopi, RB, Akbar, Ebi, Galuh, Algi, dapsus, Fadli, Ceng-ceng, Jo, Mahesa, Marsa, Miftah, Ranca, Fikry, Darryl dalam grup ini telah memberikan banyak bantuan, baik melalui diskusi, berbagi informasi, maupun dorongan moral, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lebih baik.
13. Kepada grup “Roti Bakar Kukus Ainan” yang telah menjadi sumber semangat, motivasi, dan dukungan bagi penulis sejak semester pertama perkuliahan. Grup ini bukan hanya menjadi tempat berbagi cerita dan kebersamaan, tetapi juga menjadi ruang yang selalu menghadirkan dukungan emosional serta semangat bagi penulis dalam menghadapi berbagai proses selama masa perkuliahan. Kehadiran Alfa, Faris, Fawas, Rija, Azhar, Dan, Dony, El, Kholis, Reza, Salman, Rendy dalam grup ini yang senantiasa berada di sisi penulis, baik dalam suka maupun duka, memberikan makna tersendiri dan menjadi salah satu penguat bagi penulis untuk terus bertahan, berkembang, dan menyelesaikan tugas akhir ini.
14. Tia Septiani Mustari selaku partner penulis yang telah sabar untuk mendengar segala keluhan dari penulis sekaligus memberikan dukungan dan semangat sehingga membantu penulis menyelesaikan perkuliahan di Fakultas Teknik Informatika Universitas Pasundan.

Penulis berharap agar laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan teknologi pembelajaran berbasis AI di lingkungan pendidikan tinggi, khususnya di Program Studi Teknik Informatika, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan microlearning dan generative AI dalam pendidikan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	i
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 LATAR BELAKANG	1-1
1.2 IDENTIFIKASI MASALAH.....	1-2
1.3 TUJUAN TUGAS AKHIR	1-3
1.4 LINGKUP TUGAS AKHIR	1-3
1.5 METODOLOGI TUGAS AKHIR	1-4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN TUGAS AKHIR	1-5
BAB 2 LANDASAN TEORI	2-1
2.1 TEORI YANG DIGUNAKAN	2-1
2.1.1 Microlearning	2-1
2.1.2 Cognitive Load Theory (CLT)	2-1
2.1.3 Student Centered Learning (SCL) & Self Directed Learning (SDL).....	2-2
2.1.4 LearnLM (Learning Methodology untuk Gemini)	2-3
2.1.5 Artificial Intelligence dan Generative AI	2-3
2.1.6 Google Gemini AI	2-3
2.1.7 Nano Banana 2	2-4
2.1.8 Next.js.....	2-4
2.1.9 React.....	2-4
2.1.10 TypeScript	2-4
2.1.11 PostgreSQL dan Neon	2-5
2.1.12 Drizzle ORM	2-5
2.1.13 Vercel Platform dan Vercel Blob	2-5

2.1.14	Remotion	2-5
2.1.15	Deepgram.....	2-6
2.1.16	ReactFlow	2-6
2.1.17	Tailwind CSS.....	2-6
2.1.18	Framer Motion.....	2-7
2.1.19	Server-Side Rendering (SSR).....	2-7
2.1.20	Static Site Generation (SSG)	2-7
2.1.21	API Routes.....	2-8
2.1.22	Metode Kuesioner.....	2-8
2.1.23	Skala Likert.....	2-9
2.1.24	Metode Agile dan Iterative Development.....	2-9
2.2	PENELITIAN TERDAHULU	2-10
BAB 3	SKEMA PENELITIAN.....	3-1
3.1	ALUR PENYELESAIAN TUGAS AKHIR	3-1
3.2	PERUMUSAN MASALAH.....	3-3
3.2.1	Analisis Masalah.....	3-3
3.2.2	Solusi Masalah.....	3-4
3.2.3	Skema Analisis	3-5
3.3	PROFIL PENELITIAN	3-6
3.3.1	Visi dan Misi Program Studi Teknik Informatika	3-6
3.3.2	Objek Penelitian	3-7
3.4	Teknik Pengumpulan Data	3-7
3.5	KESIMPULAN	3-8
3.5.1	Kesimpulan Sementara.....	3-8
3.5.2	Kesimpulan Selanjutnya.....	3-8
BAB 4	ANALISIS & PERANCANGAN.....	4-1
4.1	<i>Software Requirement</i>	4-1
4.1.1	Pengumpulan Data.....	4-1

4.1.2	Kuesioner Penelitian.....	4-2
4.2	Analisis Kebutuhan Sistem	4-4
4.2.3	User Stories	4-4
4.2.4	Analisis Aktor Bisnis.....	4-5
4.2.5	Analisis Kebutuhan User.....	4-5
4.2.6	Analisis Kebutuhan Fungsional.....	4-5
4.2.7	Analisis Kebutuhan Non-Fungsional	4-7
4.2.8	Perancangan Arsitektur Diagram	4-8
4.3	Software Design.....	4-10
4.3.9	Use Case Diagram	4-10
4.3.10	Activity Diagram.....	4-12
4.3.11	Skenario Use Case.....	4-16
4.4	Prototype	4-24
4.4.12	UC-01: Unggah Dokumen Materi PDF.....	4-25
4.4.13	UC-02: Lihat Teks Imersif	4-26
4.4.14	UC-03: Kerjakan Kuis Interaktif.....	4-27
4.4.15	UC-04: Lihat Slide Materi.....	4-27
4.4.16	UC-05: Generate & Putar Audio	4-28
4.4.17	UC-06: Lihat Peta Konsep.....	4-29
4.4.18	UC-07: Tonton Video Bernarasi	4-30
4.5	Perancangan Basis Data	4-31
BAB 5	IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN SISTEM	5-1
5.1	Implementasi Sistem	5-1
5.1.1	Pelaksanaan Iterasi Pengembangan.....	5-1
5.1.2	Teknologi Konstruksi	5-2
5.1.3	Perangkat Bantu Konstruksi	5-3
5.1.4	Struktur Folder dan Berkas.....	5-3
5.1.5	Daftar Fungsi Utama	5-4

5.1.6	Konfigurasi Routing Sistem.....	5-7
5.2	Implementasi Integrasi AI dan Strategi Prompting	5-8
5.2.1	Konfigurasi Model Gemini.....	5-8
5.2.2	Ekstraksi PDF Berbasis Gemini Document Understanding	5-9
5.2.3	Pembatasan Input Materi ke Prompt.....	5-11
5.2.4	Strategi Prompting Konten Microlearning	5-12
5.3	Implementasi Fitur berdasarkan UC.....	5-24
5.3.1	UC-01 Unggah Dokumen Materi PDF	5-25
5.3.2	UC-02 Lihat Teks Imersif.....	5-28
5.3.3	UC-03 Kerjakan Kuis Interaktif	5-30
5.3.4	UC-04 Lihat Slide Materi	5-36
5.3.5	UC-05 Generate dan Putar Audio.....	5-40
5.3.6	UC-06 Lihat Peta Konsep.....	5-48
5.3.7	UC-07 Tonton Video Bernarasi.....	5-55
5.4	Pengujian Fungsional Black Box	5-62
5.4.1	Pengujian UC-01 Unggah Dokumen Materi PDF	5-62
5.4.2	Pengujian UC-02 Lihat Teks Imersif.....	5-64
5.4.3	Pengujian UC-03 Kerjakan Kuis Interaktif	5-65
5.4.4	Pengujian UC-04 Lihat Slide Materi	5-67
5.4.5	Pengujian UC-05 Generate dan Putar Audio	5-68
5.4.6	Pengujian UC-06 Lihat Peta Konsep.....	5-69
5.4.7	Pengujian UC-07 Tonton Video Bernarasi	5-70
5.4.8	Rekapitulasi Hasil Pengujian Black Box	5-71
5.5	Pengujian Integrasi AI.....	5-72
BAB 6	KESIMPULAN & SARAN.....	6-1
6.1	Kesimpulan.....	6-1
6.2	Saran.....	6-2
DAFTAR PUSTAKA		xv

Lampiran A Data Hasil Kuesioner.....	L-1
--------------------------------------	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Fishbone Masalah.....	3-3
Gambar 3.2 Fishbone Solusi	3-4
Gambar 3.3 Skema Analisis.....	3-5
Gambar 4.1 Arsitektur Diagram.....	4-8
Gambar 4.2 Use Case Diagram.....	4-10
Gambar 4.3 Activity Diagram UC-01.....	4-12
Gambar 4.4 Activity Diagram UC-02.....	4-12
Gambar 4.5 Activity Diagram UC-03.....	4-13
Gambar 4.6 Activity Diagram UC-04.....	4-14
Gambar 4.7 Activity Diagram UC-05.....	4-14
Gambar 4.8 Activity Diagram UC-06.....	4-15
Gambar 4.9 Activity Diagram UC-07.....	4-15
Gambar 4.10 Halaman Learning Hub	4-22
Gambar 4.11 Halaman Teks Imersif.....	4-22
Gambar 4.12 Halaman Kuis.....	4-23
Gambar 4.13 Halaman Slide Deck.....	4-23
Gambar 4.14 Halaman Awal <i>Audio Lesson</i>	4-24
Gambar 4.15 Halaman Peta Konsep	4-25
Gambar 4.16 Halaman Awal Video Narasi	4-25
Gambar 4.17 Halaman Video Player	4-26
Gambar 4.18 Entity Relationship Diagram.....	4-27
Gambar 5.1 Kode Program Konfigurasi Model Gemini.....	5-7
Gambar 5.2 Kode Program Prompt Ekstraksi PDF	5-8
Gambar 5.3 Kode Program Implementasi Ekstraksi PDF Menggunakan Gemini.....	5-9
Gambar 5.4 Kode Program Alur Ekstraksi PDF dengan Fallback.....	5-10
Gambar 5.5 Kode Program Pembatasan Input Prompt	5-11
Gambar 5.6 Kode Program Prinsip LearnLM pada Prompt Teks Imersif	5-12
Gambar 5.7 Kode Program Pengaturan Prompt Kuis Interaktif	5-13
Gambar 5.8 Kode Program Prompt Materi untuk Kuis Interaktif	5-14
Gambar 5.9 Kode Program Prompt Essay Grader	5-15
Gambar 5.10 Kode Program Prompt Slide Pembelajaran.....	5-16
Gambar 5.11 Kode Program Prompt peta Konsep.....	5-17

Gambar 5.12 Kode Program Prompt Audio	5-17
Gambar 5.13 Kode Program Prompt video Pembelajaran Bernarasi	5-18
Gambar 5.14 Kode Program Analisis Internal pada Prompt Video	5-19
Gambar 5.15 Kode Program Kontrak Narasi Video	5-19
Gambar 5.16 Kode Program Instruksi Studi Kasus Pada Video	5-20
Gambar 5.17 Kode Program Strategi Prompt Gambar pada Video	5-20
Gambar 5.18 Kode Program Layout Video Bernarasi	5-21
Gambar 5.19 Kode Program Elemen Konten Video	5-21
Gambar 5.20 Kode Program Struktur Output Video Bernarasi	5-22
Gambar 5.21 Kode Program Prompt Adaptif Video Bernarasi.....	5-23
Gambar 5.22 Kode Program Proses Upload dari Halaman Pengguna	5-25
Gambar 5.23 Validasi File dan Ekstraksi PDF.....	5-26
Gambar 5.24 Kode Program Penyimpanan Dokumen ke Database.....	5-27
Gambar 5.25 Kode Program Tahap Generasi Teks Imersif	5-28
Gambar 5.26 Kode Program Penyimpanan Metadata Teks Imersif.....	5-28
Gambar 5.27 Properti Komponen Teks Imersif	5-29
Gambar 5.28 Kode Program Pengambilan Konfigurasi Kuis	5-30
Gambar 5.29 Kode Program Tahap Generasi Kuis	5-31
Gambar 5.30 Kode Program Penyimpanan Draft Jawaban Kuis	5-31
Gambar 5.31 Kode Program Pemeriksaan Jawaban Esai.....	5-32
Gambar 5.32 Kode Program Endpoint Penilaian Jawaban Esai.....	5-33
Gambar 5.33 Kode Program Pemanggilan Model Penilai Esai	5-33
Gambar 5.34 Kode Program Pengiriman Hasil Kuis	5-34
Gambar 5.35 Kode Program Penyimpanan Jawaban dan Feedback Kuis.....	5-34
Gambar 5.36 Implementasi Fungsi Generasi Slide Materi	5-35
Gambar 5.37 Kode Program Penyimpanan Hasil Slide ke Database	5-36
Gambar 5.38 Kode Program Generate Gambar Pendukung Slide	5-37
Gambar 5.39 Kode Program Tahap Generasi Skrip Audio	5-38
Gambar 5.40 Kode Program Implementasi Fungsi Generasi Skrip Audio	5-39
Gambar 5.41 Kode Program Penyimpanan Metadata Audio	5-40
Gambar 5.42 Kode Program Pemicu Generate Audio dari Antarmuka	5-40
Gambar 5.43 Kode Program Generate Audio per Segment	5-41
Gambar 5.44 Kode Program Pembaruan Konten Audio Setelah Generate	5-42
Gambar 5.45 Kode Program Background Job Generate Audio	5-43
Gambar 5.46 Pemantauan Progres Audio di Antarmuka	5-44
Gambar 5.47 Struktur Data Peta Konsep	5-46

Gambar 5.48 Kode Program Implementasi Fungsi Generasi Peta Konsep.....	5-47
Gambar 5.49 Kode Program Pembentukan Root Node	5-48
Gambar 5.50 Kode Program Fungsi Pengambilan Child Node	5-48
Gambar 5. 51 Kode Program Pembentukan Node Level 1	5-49
Gambar 5.52 Pembentukan Node Level 2	5-49
Gambar 5.53 Kode Program Pembentukan Edge Peta Konsep	5-50
Gambar 5.54 Kode Program Interaksi Klik Node dan Penyimpanan Progres	5-51
Gambar 5.55 Kode Program Tampilan Detail Node.....	5-52
Gambar 5.56 Kode Program Pemicu Generate Video Bernarasi	5-53
Gambar 5. 57 Kode Program Generate Struktur Narrated Slides	5-54
Gambar 5.58 Pipeline Pembuatan Aset Video.....	5-54
Gambar 5.59 Kode Program Generate Gambar Slide.....	5-55
Gambar 5.60 Kode Program Generasi Audio per Slide.....	5-55
Gambar 5.61 Kode Program Sinkronisasi Audio dan Elemen Visual	5-56
Gambar 5.62 Kode Program Pengambilan Timestamp kata dengan Deepgram.....	5-56
Gambar 5.63 Kode Program Perhitungan Durasi Video.....	5-57
Gambar 5.64 Kode Program Penguncian Progres Video Berdasarkan Kuis	5-57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	2-11
Tabel 3.2 Alur Penyelesaian Tugas Akhir	3-1
Tabel 3.3 Tahapan Skema Analisis.....	3-5
Tabel 4.2 Daftar Pertanyaan Kuesioner	4-2
Tabel 4.3 User Stories.....	4-4
Tabel 4.4 Daftar Aktor Bisnis	4-5
Tabel 4.5 User Requirement	4-5
Tabel 4.6 Analisis Kebutuhan Fungsional	4-6
Tabel 4.7 Analisis Kebutuhan Non-Fungsional.....	4-7
Tabel 5.1 Iterasi Pengembangan Sistem	5-1
Tabel 5.2 Teknologi Konstruksi.....	5-2
Tabel 5.3 Perangkat Bantu Konstruksi	5-3
Tabel 5.4 Struktur Folder dan Berkas Platform Microlearning	5-4
Tabel 5.5 Daftar Fungsi Utama.....	5-5
Tabel 5.6 Routing Halaman	5-7
Tabel 5.7 Routing API	5-7

Tabel 5.8 Pemetaan Use Case dengan File Implementasi	5-25
Tabel 5.9 Pengujian UC-01 Unggah Dokumen Materi PDF	5-63
Tabel 5.10 Pengujian UC-02 Lihat Teks Imersif	5-64
Tabel 5.11 Pengujian UC-03 Kerjakan Kuis Interaktif	5-65
Tabel 5.12 Pengujian UC-04 Lihat Slide Materi	5-67
Tabel 5.13 Pengujian UC-05 Generate dan Putar Audio	5-68
Tabel 5.14 Pengujian UC-06 Lihat Peta Konsep	5-69
Tabel 5.15 Pengujian UC-07 Tonton Video Bernarasi	5-70
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Black Box	5-72
Tabel 5.17 Pengujian Integrasi AI	5-73

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini memberikan pandangan umum mengenai pelaksanaan tugas akhir. Adapun penjelasan tersebut meliputi latar belakang, identifikasi masalah, tujuan tugas akhir, manfaat tugas akhir, motivasi tugas akhir, lingkup tugas akhir, metodologi tugas akhir, standar dan kaskas, serta sistematika penulisan tugas akhir.

1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi digital dan meningkatnya penetrasi internet di Indonesia telah mengubah cara mahasiswa mengakses dan mempelajari materi perkuliahan. Data Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) menunjukkan bahwa pada tahun 2024, jumlah pengguna internet mencapai lebih dari 220 juta orang atau sekitar 80% populasi nasional [APJII24]. Peningkatan ini membuka peluang besar bagi penerapan pembelajaran berbasis web di berbagai jenjang pendidikan, termasuk pendidikan tinggi.

Namun, efektivitas pembelajaran digital masih menghadapi tantangan signifikan. Mahasiswa sering mengalami kesulitan mempertahankan fokus dan retensi informasi ketika mempelajari materi teknis yang kompleks dalam format dokumen statis seperti PDF. Laporan *Digital 2024: Indonesia* oleh We Are Social menemukan bahwa rata-rata waktu fokus pengguna dalam mengonsumsi satu konten hanya sekitar 8-10 menit [WESOC24]. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kecanduan konten digital pendek berdampak negatif signifikan terhadap kemampuan konsentrasi mahasiswa, dengan koefisien jalur mencapai -55,2% [HAR24]. Kondisi ini selaras dengan survei Kemendikbudristek (2023) yang menyebut bahwa lebih dari 60% pelajar dan mahasiswa kesulitan mempertahankan fokus saat mengikuti pembelajaran daring berdurasi panjang.

Permasalahan tersebut menjadi lebih spesifik pada Program Studi Teknik Informatika Universitas Pasundan karena karakteristik materi perkuliahannya. Materi pada mata kuliah seperti Algoritma dan Pemrograman, Struktur Data, Basis Data, Jaringan Komputer, dan Rekayasa Perangkat Lunak umumnya disampaikan melalui dokumen PDF berupa modul, diktat, dan slide perkuliahan yang memuat potongan kode program, notasi kompleksitas algoritma, serta diagram teknis seperti Entity Relationship Diagram, Unified Modeling Language, dan topologi jaringan. Materi dengan karakteristik tersebut memiliki keterkaitan antarelemen (*element interactivity*) yang tinggi, yaitu setiap konsep hanya dapat dipahami apabila konsep prasyaratnya telah dikuasai terlebih dahulu, sehingga menuntut mahasiswa memproses banyak elemen informasi secara bersamaan di dalam memori kerja [SWEL11]. Ketika materi tersebut disajikan dalam bentuk dokumen statis yang panjang dan linear, mahasiswa harus membangun sendiri representasi visual dari hubungan antarkonsep tanpa dukungan visualisasi, umpan balik, maupun segmentasi materi. Kondisi ini menambah beban kognitif ekstraneous yang sebenarnya dapat diminimalkan melalui desain penyajian materi yang tepat [SWEL88].

Untuk memperoleh gambaran empiris mengenai kondisi tersebut, penulis melakukan studi pendahuluan melalui penyebaran kuesioner kepada 40 mahasiswa Program Studi Teknik Informatika

Universitas Pasundan pada bulan Februari 2026. Hasilnya menunjukkan bahwa 27 responden (67,5%) menggunakan dokumen PDF sebagai sumber belajar utama dengan frekuensi sering hingga sangat sering, namun 35 responden (87,5%) hanya mampu membaca materi tersebut maksimal 30 menit dalam satu sesi belajar. Sebanyak 29 responden (72,5%) mulai kehilangan fokus pada rentang halaman 1 hingga 15, dan hanya 4 responden (10%) yang menyatakan mampu mempertahankan fokus hingga dokumen selesai dibaca. Delapan pernyataan mengenai permasalahan membaca dokumen PDF memperoleh rata-rata 3,93 dari skala 5 dan termasuk kategori tinggi, dengan kesulitan memahami konsep kompleks tanpa visualisasi memperoleh rata-rata 4,10 dan penilaian bahwa materi PDF statis kurang interaktif memperoleh rata-rata 3,98. Pada pertanyaan terbuka, responden menyebutkan kesulitan mempertahankan fokus, cepat bosan, kesulitan menemukan inti materi, banyaknya teks, serta kurangnya visualisasi dan interaktivitas sebagai kendala utama. Sementara itu, 36 responden (90%) memilih durasi ideal pembelajaran antara 3 hingga 15 menit, dan 38 responden (95%) menyatakan harapan yang besar terhadap kehadiran platform microlearning. Data selengkapnya disajikan pada Bab 4 dan Lampiran A.

Microlearning menjadi salah satu pendekatan yang relevan untuk menjawab tantangan tersebut. Microlearning menyajikan materi dalam unit-unit kecil dan ringkas yang dapat diakses dengan cepat, sehingga sesuai dengan karakteristik pengguna digital masa kini. Systematic review dan meta-analisis terbaru menunjukkan bahwa microlearning memiliki efek signifikan terhadap retensi mahasiswa ($OR = 1,87$) dan hasil pembelajaran ($SMD = 0,74$), dengan mahasiswa yang menerima intervensi microlearning menunjukkan hasil belajar 0,74 standar deviasi di atas kelompok kontrol [FIR25]. [GIU17] menjelaskan bahwa microlearning efektif untuk meningkatkan fokus dan memungkinkan pembelajaran bertahap yang lebih mudah dicerna. Penelitian [LEO21] juga menemukan bahwa microlearning meningkatkan retensi konsep, keterlibatan mahasiswa, dan motivasi belajar. Studi terbaru mengonfirmasi bahwa microlearning meningkatkan hasil pembelajaran, mendukung keterlibatan kognitif, dan memfasilitasi kompetensi abad ke-21 melalui fitur multimodalitas, gamifikasi, dan aksesibilitas mobile [DIN25]

Microlearning memiliki dasar teoretis yang kuat dalam Cognitive Load Theory (CLT). Teori ini menjelaskan bahwa memori kerja manusia memiliki kapasitas terbatas, dan desain instruksional harus meminimalkan beban kognitif ekstraneous untuk mengoptimalkan pembelajaran [SWEL88] [SWEL11]. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penerapan prinsip CLT dalam lingkungan pembelajaran digital, seperti segmentasi informasi dan pengurangan kompleksitas yang tidak perlu, dapat secara signifikan menurunkan beban kognitif dan meningkatkan hasil belajar siswa [RAM24]. Microlearning mengatasi keterbatasan ini dengan menyajikan informasi dalam potongan-potongan yang dapat dicerna dan menghormati kapasitas memori kerja [FIR25].

Di sisi lain, perkembangan teknologi Artificial Intelligence (AI), khususnya Generative AI dan Large Language Models (LLM), menawarkan peluang untuk melakukan otomatisasi transformasi konten secara cerdas dan kontekstual. Meta-analisis komprehensif menunjukkan bahwa Generative AI memiliki dampak positif substansial terhadap hasil pembelajaran mahasiswa ($g+ = 0,804$), terutama

dalam kemampuan bahasa ($g+ = 2,331$), prestasi akademik ($g+ = 0,633$), motivasi emosional ($g+ = 0,617$), dan keterampilan kognitif tingkat tinggi ($g+ = 0,580$) [CHE25]. Teknologi seperti Google Gemini AI dan Nano Banana 2 mampu memproses dokumen akademik dan menghasilkan berbagai format pembelajaran yang lebih menarik dan adaptif.

Google telah mengembangkan LearnLM, sebuah keluarga model berbasis Gemini yang dirancang khusus untuk pengalaman pembelajaran dan pengajaran yang lebih baik dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip ilmu pembelajaran [GFE24]. LearnLM menerapkan lima prinsip pedagogi kunci: (1) mendorong pembelajaran aktif dengan umpan balik tepat waktu, (2) mengelola beban kognitif dengan menyajikan informasi terstruktur dalam berbagai modalitas, (3) beradaptasi dengan tujuan dan kebutuhan pembelajar secara dinamis, (4) merangsang rasa ingin tahu untuk memberikan motivasi, dan (5) memperdalam metakognisi untuk membantu pembelajar merencanakan, memantau, dan merefleksikan progres mereka [AGAR24]. Prinsip-prinsip ini sejalan dengan kebutuhan untuk menciptakan pengalaman pembelajaran yang efektif dan personal.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, pengembangan platform microlearning berbasis web yang memanfaatkan AI untuk mentransformasi dokumen PDF akademik menjadi berbagai format pembelajaran interaktif menjadi solusi yang penting. Platform ini dirancang khusus untuk mendukung mahasiswa Teknik Informatika di Universitas Pasundan, diharapkan mampu menyediakan materi dalam format singkat (3-15 menit per sesi), interaktif, mudah diakses melalui web browser, serta mendukung pembelajaran mandiri yang lebih adaptif.

1.2 IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan yang dihadapi mahasiswa Program Studi Teknik Informatika Universitas Pasundan dapat diidentifikasi melalui pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Bagaimana menyajikan materi perkuliahan teknis yang selama ini berbentuk dokumen PDF panjang agar mahasiswa mampu mempertahankan fokus belajar sesuai dengan kapasitas perhatian yang dimilikinya?
2. Bagaimana menyajikan konsep dengan keterkaitan antarelemen yang tinggi, seperti algoritma, struktur data, dan pemodelan basis data, agar mahasiswa dapat memahaminya tanpa harus membangun sendiri representasi visual hubungan antarkonsep?
3. Bagaimana meminimalkan beban kognitif ekstrapad yang dialami mahasiswa ketika mempelajari materi padat informasi sehingga retensi terhadap materi dapat meningkat?
4. Bagaimana menyediakan variasi format pembelajaran yang interaktif agar sesuai dengan preferensi gaya belajar mahasiswa?

5. Bagaimana mentransformasi dokumen PDF materi perkuliahan menjadi unit-unit pembelajaran singkat secara otomatis sehingga mahasiswa tidak perlu mengolah materi secara manual?

1.3 TUJUAN TUGAS AKHIR

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut, maka dapat diperoleh tujuan tugas akhir yaitu:

1. Menghasilkan materi pembelajaran dalam unit-unit singkat berdurasi 3-15 menit per sesi sesuai prinsip microlearning sehingga mahasiswa dapat mempertahankan fokus belajar.
2. Menyediakan enam format pembelajaran multimodal, yaitu Teks Imersif, Kuis Interaktif, Slide Deck, Peta Konsep, Audio Lesson, dan Video Bernarasi, untuk mendukung pemahaman mahasiswa terhadap konsep teknis Teknik Informatika.
3. Menerapkan prinsip Cognitive Load Theory dan LearnLM dalam penyusunan konten pembelajaran agar beban kognitif ekstraneous yang dialami mahasiswa dapat diminimalkan.
4. Mengembangkan platform microlearning berbasis web yang mampu mentransformasi dokumen PDF akademik menjadi berbagai format pembelajaran secara otomatis.

1.4 LINGKUP TUGAS AKHIR

Lingkup tugas akhir ini dibatasi pada:

1. Platform dikembangkan dalam bentuk aplikasi berbasis web menggunakan Next.js 15+ dengan TypeScript.
2. Input materi pembelajaran dibatasi pada dokumen berformat PDF dengan ekstraksi maksimal 50.000 karakter untuk memastikan fokus konten, mengelola beban kognitif sesuai prinsip CLT, dan efisiensi pemrosesan .
3. Konten pembelajaran dihasilkan dalam Bahasa Indonesia, dengan tetap mempertahankan istilah teknis bahasa Inggris yang relevan di bidang Teknik Informatika.
4. Teknologi AI yang digunakan terbatas pada Google Gemini untuk generasi teks dan audio, serta Nano Banana 2 untuk generasi visual, dengan penerapan prinsip LearnLM.
5. Format pembelajaran yang disediakan mencakup enam jenis dengan durasi 3-15 menit per format sesuai dengan penelitian efektivitas microlearning, Immersive Text, Quiz, Slides, Mindmap, Audio Lesson, dan Narrated video.
6. Database menggunakan PostgreSQL (Neon Serverless) yang dikelola dengan Drizzle ORM untuk manajemen data pengguna, dokumen, konten pembelajaran, dan progres belajar.
7. Platform yang dikembangkan tidak mencakup fitur penilaian atau evaluasi akademik oleh dosen, seperti pemberian nilai, umpan balik formal terhadap hasil belajar mahasiswa, maupun

monitoring progress mahasiswa dari sisi dosen. Sistem difokuskan sepenuhnya pada pengalaman pembelajaran mandiri (*self-directed learning*) mahasiswa.

8. Sistem tidak mencakup pembuatan konten pembelajaran secara real-time streaming, melainkan menggunakan pendekatan batch processing dengan penyimpanan hasil di database.
9. Evaluasi dilakukan melalui pengujian fungsionalitas (black box testing).

1.5 METODOLOGI TUGAS AKHIR

Bagian ini akan menjelaskan langkah-langkah metodologi penyelesaian yang dilakukan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

Jenis Penelitian: Penelitian terapan (applied research) dengan pendekatan Research and Development (R&D).

Metode Pengembangan: Menggunakan metodologi Agile dalam kerangka kerja Iterative Development yang memungkinkan fleksibilitas dalam menghadapi perubahan kebutuhan dan pengujian fitur secara bertahap.

Tahapan Utama:

1) **Identifikasi Masalah**

Penelitian dimulai dengan mengidentifikasi masalah utama yang dihadapi oleh mahasiswa Teknik Informatika di Universitas Pasundan, yaitu kesulitan mempertahankan fokus dan retensi informasi ketika mempelajari materi teknis yang kompleks dalam format dokumen PDF panjang.

2) **Pengumpulan Data**

a) Studi Literatur

Mengumpulkan referensi dari jurnal, artikel ilmiah, dan dokumentasi teknis terkait microlearning, Cognitive Load Theory, Generative AI, LearnLM, dan teknologi web modern (Next.js, PostgreSQL, Drizzle ORM).

b) Observasi

mengamati pola belajar mahasiswa Teknik Informatika dalam mengakses dan mempelajari materi perkuliahan, serta mengidentifikasi preferensi format pembelajaran (visual, audio, interaktif, atau tekstual).

c) Kuesioner

Menyebarkan kuesioner kepada 40 mahasiswa Program Studi Teknik Informatika Universitas Pasundan melalui Google Form pada bulan Februari 2026 untuk memperoleh data empiris mengenai kebiasaan membaca dokumen PDF, permasalahan yang dialami selama mempelajari materi teknis, preferensi format pembelajaran, serta durasi ideal sesi microlearning. Instrumen kuesioner terdiri atas 30 butir pertanyaan yang disusun menggunakan skala Likert lima poin.

3) **Analisis Kebutuhan**

Mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem melalui analisis karakteristik mahasiswa, hasil studi literatur, observasi, dan data kuesioner identifikasi kebutuhan.

4) **Perancangan Sistem**

Merancang arsitektur aplikasi, database schema (ERD), alur data, dan antarmuka pengguna menggunakan diagram standar (Use Case Diagram, Activity Diagram, Sequence Diagram).

5) **Implementasi**

a) **Pengembangan Frontend**

Membangun komponen UI menggunakan Next.js, React, Tailwind CSS, dan Framer Motion untuk animasi.

b) **Pengembangan Backend**

Membangun API routes menggunakan Next.js untuk logika bisnis, Drizzle ORM untuk database layer, serta integrasi AI melalui Google Gemini API dan Nano Banana 2 dengan penerapan prinsip LearnLM [AGAR24].

c) **Integrasi AI**

Implementasi prompt engineering untuk Google Gemini dengan System Instruction berbasis LearnLM, integrasi Nano Banana 2 untuk generasi visual, dan Gemini 3.1 Flash TTS untuk audio pembelajaran.

6) **Pengujian dan Evaluasi**

a) **Pengujian Fungsionalitas**

Melakukan black box testing untuk memastikan semua fitur berjalan sesuai spesifikasi.

b) **Pengujian Integrasi AI**

Menguji kualitas output AI dari setiap format pembelajaran (akurasi, relevansi, kesesuaian dengan prinsip pedagogi).

7) **Dokumentasi**

Menyusun dokumentasi teknis lengkap dan laporan tugas akhir yang mencakup semua tahapan penelitian

1.6 **SISTEMATIKA PENULISAN TUGAS AKHIR**

Berikut dibawah ini merupakan sistematika penulisan yang akan digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini memberikan pandangan umum mengenai pelaksanaan tugas akhir. Adapun penjelasan tersebut meliputi latar belakang, identifikasi masalah, tujuan tugas akhir, manfaat tugas akhir, motivasi

tugas akhir, lingkup tugas akhir, metodologi tugas akhir, standar dan kaskas, serta sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang kerangka pikir penulisan tugas akhir meliputi teori pendukung dan teori yang digunakan terkait microlearning, Cognitive Load Theory, Artificial Intelligence, Generative AI, LearnLM, teknologi web modern (Next.js, PostgreSQL, Drizzle ORM), serta penelitian terdahulu yang relevan.

BAB 3 SKEMA PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan alur penyelesaian tugas akhir, perumusan masalah, analisis permasalahan penelitian, skema analisis, serta profil dan objek penelitian.

BAB 4 PERANCANGAN SISTEM

Bab ini menjelaskan perancangan arsitektur sistem, perancangan database (ERD), perancangan proses bisnis (Use Case Diagram, Activity Diagram), dan perancangan antarmuka pengguna (UI/UX mockup).

BAB 5 IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Bab ini berisi detail implementasi fitur-fitur platform, integrasi teknologi AI, hasil pengujian fungsionalitas, serta pengujian integrasi AI.

BAB 6 PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB 2

LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang kerangka pikir penulisan tugas akhir meliputi teori yang digunakan terkait konsep-konsep dasar, teknologi, dan metodologi yang menjadi landasan penelitian, serta penelitian terdahulu yang relevan.

2.1 TEORI YANG DIGUNAKAN

Subbab ini berisi sejumlah teori atau konsep yang relevan digunakan dalam penelitian atau tugas akhir.

2.1.1 Microlearning

Microlearning adalah pendekatan pembelajaran berbasis konten singkat yang berfokus pada satu tujuan pembelajaran spesifik, biasanya disajikan dalam format yang dapat diselesaikan dalam durasi 3-15 menit. Pendekatan ini dirancang untuk mengakomodasi rentang perhatian pengguna digital yang cenderung singkat dan kebutuhan akan pembelajaran yang fleksibel [GIU17].

Microlearning memiliki beberapa karakteristik utama yang membedakannya dari pendekatan pembelajaran tradisional, yaitu durasi pembelajaran yang singkat, fokus tunggal pada satu objektif pembelajaran spesifik, penggunaan berbagai format media atau multimodal, aksesibilitas tinggi yang memungkinkan pembelajar mengakses materi kapan saja dan di mana saja, serta konsep just-in-time learning yang memberikan informasi pada saat dibutuhkan oleh pembelajar.

Berdasarkan systematic review dan meta-analisis terbaru, microlearning memiliki efek signifikan terhadap retensi mahasiswa dengan odds ratio sebesar 1,87 dan hasil pembelajaran dengan standardized mean difference sebesar 0,74, menunjukkan bahwa mahasiswa yang menerima intervensi microlearning menunjukkan hasil belajar 0,74 standar deviasi di atas kelompok kontrol [FIR25][DIN25].

2.1.2 Cognitive Load Theory (CLT)

Cognitive Load Theory dikembangkan oleh John Sweller yang menjelaskan bahwa memori kerja manusia memiliki kapasitas terbatas dalam memproses informasi baru. Teori ini membagi beban kognitif menjadi tiga jenis yaitu intrinsic load yang inheren dalam materi pembelajaran, extraneous load yang disebabkan oleh cara penyajian materi dan harus diminimalkan, serta germane load yang produktif untuk proses pembelajaran dan harus dimaksimalkan [SWEL11].

Prinsip desain berdasarkan CLT mencakup segmentasi untuk memecah informasi kompleks menjadi bagian-bagian kecil, modalitas untuk menggunakan kombinasi visual dan audio, redundansi untuk menghindari informasi duplikat, dan contiguity untuk menyajikan informasi terkait secara berdekatan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penerapan prinsip CLT dalam lingkungan pembelajaran digital dapat secara signifikan menurunkan beban kognitif dan meningkatkan hasil belajar siswa [RAM24].

2.1.3 Student Centered Learning (SCL) dan Self Directed Learning (SDL)

Student-Centered Learning (SCL) adalah paradigma pendidikan yang menempatkan mahasiswa sebagai pusat proses pembelajaran, di mana dosen bertindak sebagai fasilitator bukan semata transmitter of knowledge [WEI02]. Teori SCL mendasarkan pada prinsip bahwa mahasiswa memiliki kontrol aktif dalam proses pembelajaran mereka, termasuk dalam memilih apa yang dipelajari, bagaimana cara belajar, dan pada kecepatan apa mereka belajar [WEI02].

Prinsip-prinsip utama Student-Centered Learning mencakup: (1) Learner Autonomy dan Choice, di mana mahasiswa memiliki agency dalam membuat keputusan pembelajaran; (2) Active Engagement, di mana mahasiswa secara aktif berpartisipasi dan tidak pasif menerima informasi; (3) Self-Regulation dan Metacognition, di mana mahasiswa merencanakan, memonitor, dan merefleksikan progress pembelajaran mereka sendiri; (4) Personalization, di mana pembelajaran disesuaikan dengan kebutuhan, preferensi, dan kecepatan belajar individual mahasiswa; serta (5) Relevance to Learner Goals, di mana konten pembelajaran relevan dengan tujuan dan konteks mahasiswa.

Self-Directed Learning (SDL) merupakan aspek fundamental dari SCL yang didefinisikan sebagai proses di mana mahasiswa mengambil inisiatif dalam mendiagnosa kebutuhan pembelajaran, memformulasikan goals pembelajaran, mengidentifikasi sumber daya pembelajaran, memilih strategi pembelajaran yang sesuai, dan mengevaluasi hasil pembelajaran mereka [ZIM02]. Penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa yang memiliki tingkat self-directed learning yang tinggi menunjukkan peningkatan signifikan dalam motivation, retention, dan transfer of knowledge [KNO75].

Implementasi SCL dan SDL dalam era digital dikenal sebagai Learner-Centered Technology (LCT), yang menggunakan teknologi untuk memfasilitasi learner autonomy, learner choice, personalization, dan active engagement [BON98]. Platform pembelajaran berbasis teknologi yang menerapkan prinsip SCL dan SDL dirancang untuk memberikan mahasiswa kontrol lebih besar terhadap pengalaman pembelajaran mereka, mendukung self-regulation, dan mendorong pembelajaran mandiri yang berkelanjutan.

Platform MangMicro mengimplementasikan prinsip-prinsip SCL dan SDL melalui berbagai fitur desain: (1) Menyediakan enam format pembelajaran yang berbeda (Teks Immersif, Kuis Interaktif, Slide Deck, Peta Konsep, Audio Lesson, Video Bernarasi) untuk memberikan mahasiswa autonomy dan choice dalam memilih modalitas pembelajaran sesuai dengan preferensi dan gaya belajar individual mereka; (2) Fitur self-paced learning dengan durasi terstruktur 3-15 menit per sesi yang memungkinkan mahasiswa mengontrol tempo pembelajaran sesuai dengan kapasitas kognitif dan schedule mereka; (3) Progress tracking dan learning analytics yang terintegrasi untuk mendukung self-regulation, metacognition, dan self-assessment mahasiswa; (4) Personalized learning path yang beradaptasi dengan kebutuhan individual mahasiswa berdasarkan progress dan preferensi learning mereka; serta (5) Interactive learning elements (kuis, mindmap interaktif, dan video narasi) yang mendorong active engagement dan learner participation, bukan pembelajaran pasif.

2.1.4 LearnLM (Learning Methodology untuk Gemini)

LearnLM adalah pendekatan fine-tuning berbasis learning science yang diterapkan pada model Gemini untuk menciptakan AI yang lebih pedagogis dalam konteks pembelajaran [GFE24]. LearnLM dikembangkan melalui pedagogical instruction following dengan lima tahapan utama yaitu scenario curation, conversation collection dari 168 pedagogi experts, supervised fine-tuning, reinforcement learning from human feedback, dan co-training dengan Gemini.

LearnLM menerapkan lima prinsip learning science yaitu inspiring active learning, managing cognitive load, adapting to the learner, stimulating curiosity, dan deepening metacognition [AGAR24]. Evaluasi dengan 168 pedagogi experts menunjukkan bahwa Gemini yang di-fine-tune dengan LearnLM secara signifikan lebih disukai dengan preferensi 31% lebih tinggi dari GPT-4o dan 11% lebih tinggi dari Claude 3.5 [LEARNLM24].

2.1.5 Artificial Intelligence dan Generative AI

Artificial Intelligence atau kecerdasan buatan adalah bidang ilmu komputer yang fokus pada pembuatan mesin atau sistem yang dapat melakukan tugas-tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia seperti pengenalan pola, pengambilan keputusan, pemrosesan bahasa alami, dan pembelajaran dari pengalaman. Generative AI adalah subset dari AI yang mampu menghasilkan konten baru seperti teks, gambar, audio, dan video berdasarkan input dan training data yang dimiliki menggunakan model pembelajaran mesin yang kompleks seperti transformer architecture.

Large Language Models seperti Google Gemini adalah model AI yang dilatih dengan dataset teks yang sangat besar hingga triliunan token, memungkinkan pemahaman konteks yang mendalam dan generasi teks yang natural, koheren, dan kontekstual. Meta-analisis komprehensif menunjukkan bahwa Generative AI memiliki dampak positif substansial terhadap hasil pembelajaran mahasiswa dengan effect size sebesar 0,804, terutama dalam kemampuan bahasa dengan effect size 2,331 dan prestasi akademik dengan effect size 0,633 [CHE25].

2.1.6 Google Gemini AI

Google Gemini adalah keluarga model AI multimodal yang dikembangkan oleh Google DeepMind, mampu memproses dan menghasilkan berbagai jenis konten seperti teks, gambar, audio, dan video secara terintegrasi dalam satu model [GDEEPM24]. Platform MangMicro menggunakan tiga varian model Gemini yaitu Gemini 3.1 Flash Lite untuk generasi teks cepat, Gemini 3.1 Pro untuk pembuatan konten kompleks dan video narasi, serta Gemini 3.1 Flash TTS untuk konversi teks ke audio.

Gemini memiliki fitur kunci seperti JSON mode untuk menghasilkan output terstruktur, system instruction untuk kustomisasi perilaku model dengan prinsip pedagogi LearnLM, context window yang besar hingga 1 juta token, dan kemampuan multimodal untuk memproses teks, gambar, dan audio dalam satu request API [GCLLOUD24].

2.1.7 Nano Banana 2

Nano Banana 2 merupakan model generasi gambar dari Google yang digunakan untuk menghasilkan ilustrasi visual berbasis deskripsi teks (*text-to-image*). Model ini mendukung pembuatan visual edukatif dengan kualitas tinggi, kemampuan mengikuti *prompt* teknis, serta konsistensi gaya antargambar dalam satu rangkaian materi pembelajaran. Karakteristik tersebut menjadikan model ini sesuai untuk kebutuhan visualisasi konsep pada materi teknik yang kompleks.

Platform MangMicro menerapkan Nano Banana 2 untuk menghasilkan ilustrasi visual pada format *Slide Deck*. *Prompt* visual dibentuk dari hasil analisis konten materi oleh Gemini AI sehingga gambar yang dihasilkan tetap kontekstual, relevan dengan topik, dan mendukung pemahaman konsep secara bertahap.

2.1.8 Next.js

Next.js adalah framework React open-source yang dikembangkan oleh Vercel untuk membangun aplikasi web modern dengan fitur fullstack di mana frontend dan backend terintegrasi dalam satu framework [VER24]. Next.js memiliki fitur utama seperti App Router untuk sistem routing modern, Server-Side Rendering untuk performa optimal dan SEO yang baik, Static Site Generation untuk pre-rendering halaman statis, API Routes untuk endpoint backend terintegrasi, serta Automatic Code Splitting dan Built-in Optimization yang tersedia out-of-the-box.

Next.js dipilih untuk platform MangMicro karena dapat menangani client-side rendering dan server-side logic dalam satu framework terintegrasi sehingga mempercepat development cycle, mempermudah maintenance kode, dan mengoptimalkan deployment ke platform serverless dengan performa yang konsisten.

2.1.9 React

React adalah library JavaScript open-source yang dikembangkan oleh Meta untuk membangun user interface yang interaktif, deklaratif, dan reusable [META24]. React menggunakan paradigma component-based architecture yang memecah UI menjadi komponen-komponen kecil yang independen, Virtual DOM untuk mengoptimalkan rendering, Hooks untuk mengelola state dan side effects, Unidirectional data flow untuk aliran data yang predictable, dan React Server Components untuk render di server guna mengurangi bundle size client-side.

Platform MangMicro menggunakan React 19 yang membawa peningkatan performa dengan concurrent rendering dan optimasi untuk Server Components, memungkinkan pembuatan komponen pembelajaran yang reusable seperti komponen Quiz, Slide Viewer, dan Mindmap Viewer dengan konsistensi UI dan behavior.

2.1.10 TypeScript

TypeScript adalah superset dari JavaScript yang menambahkan static typing dengan optional type annotations [MSFT24]. TypeScript dikembangkan oleh Microsoft sebagai free dan open-source

software untuk meningkatkan kualitas kode JavaScript dengan type safety, type inference, interfaces, generics, enums, dan tuples.

TypeScript memberikan keunggulan seperti type safety untuk mencegah bug runtime, intellisense dan autocomplete yang lebih baik, refactoring yang lebih aman, serta dokumentasi kode yang self-explanatory melalui type annotations yang membantu kolaborasi tim dan pemahaman kode.

2.1.11 PostgreSQL dan Neon

PostgreSQL adalah sistem manajemen basis data relasional atau RDBMS open-source yang powerful, feature-rich, dan SQL-compliant [PGSQL24]. PostgreSQL memiliki keunggulan seperti ACID compliance untuk reliability dan consistency transaksi, dukungan untuk berbagai tipe data termasuk JSON dan XML, full-text search dan indexing yang powerful, foreign key constraints untuk integritas data, serta extensibility dengan custom functions.

Neon adalah platform PostgreSQL serverless yang menyediakan auto-scaling, database branching, connection pooling, cold start optimization, dan separation of storage and compute untuk arsitektur yang efisien dan cost optimization [NEON24].

2.1.12 Drizzle ORM

Drizzle ORM adalah Object-Relational Mapping library lightweight dan performant untuk TypeScript yang menyediakan type-safe database access [DRIZ24]. Drizzle memiliki keunggulan seperti full type inference untuk type safety penuh dengan autocomplete di IDE, SQL-like syntax yang mudah dipelajari, zero runtime overhead untuk performa optimal, migration management melalui drizzle-kit, serta multi-database support untuk PostgreSQL, MySQL, dan SQLite.

Drizzle menggunakan TypeScript untuk mendefinisikan database schema yang type-safe dan secara otomatis menghasilkan types untuk query results, memastikan type safety end-to-end dari database hingga application logic untuk mengurangi runtime errors dan meningkatkan maintainability kode.

2.1.13 Vercel Platform dan Vercel Blob

Vercel Platform adalah cloud platform untuk deployment aplikasi web dengan fokus pada developer experience, performa, dan scalability [VER24]. Vercel menyediakan serverless functions dengan auto-scaling, edge network untuk CDN global, zero-downtime deployment, preview deployments untuk setiap pull request, environment variables management untuk secure secret management, serta build logs dan analytics built-in.

Vercel Blob adalah object storage yang terintegrasi dengan Vercel Platform untuk menyimpan file seperti PDF, audio, gambar, dan video dengan CDN global, automatic caching, simple API, dan integration yang tight dengan Vercel Platform untuk deployment dan configuration yang mudah.

2.1.14 Remotion

Remotion adalah library React untuk membuat video secara programmatic dengan kode [REMO24]. Remotion memungkinkan developer menggunakan kemampuan React seperti components,

props, dan state untuk membuat video dengan sinkronisasi frame-perfect antara visual dan audio, animasi precise dengan frame-level control, reusable React components untuk template video, rendering serverless di cloud, dan parametric video untuk variasi konten yang dinamis.

Platform MangMicro menerapkan Remotion untuk format Narrated Video di mana slide visual yang dihasilkan oleh Gemini AI dan Nano Banana 2 digabungkan dengan audio narasi dari Gemini TTS dalam video yang tersinkronisasi dengan animasi transisi yang smooth menggunakan Framer Motion.

2.1.15 Deepgram

Deepgram adalah layanan *Automatic Speech Recognition* (ASR) yang digunakan untuk mengubah sinyal audio menjadi transkrip teks secara otomatis. Dalam konteks pengembangan sistem pembelajaran berbasis multimedia, keluaran ASR tidak hanya berupa transkrip kalimat, tetapi juga dapat berupa *word-level-timestamps* (waktu mulai dan waktu akhir tiap kata).

Fitur *word-level-timestamps* penting pada platform seperti MangMicro karena memungkinkan sinkronisasi yang presisi antara narasi audio dan elemen visual pada video pembelajaran. Dengan data ini, sistem dapat menampilkan teks, poin, atau anotasi visual pada momen yang sesuai dengan kata yang sedang diucapkan, sehingga pengalaman belajar menjadi lebih terstruktur dan mudah diikuti.

Selain itu, pemanfaatan ASR mendukung evaluasi kualitas narasi dan proses *alignment* konten multimedia secara otomatis, tanpa perlu penandaan waktu manual. Pendekatan ini meningkatkan efisiensi pengembangan konten video edukatif, terutama ketika materi yang diproses bersifat dinamis dan dihasilkan secara otomatis oleh pipeline AI.

2.1.16 ReactFlow

ReactFlow adalah library React untuk membangun node-based user interface yang highly customizable seperti workflow editors, flow charts, dan diagram interaktif [XYFLO24]. ReactFlow menyediakan easy to use dengan seamless zooming dan panning, customizable dengan custom node types dan edge types, fast rendering dengan optimasi viewport virtualization, interactive dengan drag-and-drop dan keyboard shortcuts, serta plugin components seperti Background, MiniMap, dan Controls yang built-in.

Platform MangMicro menggunakan ReactFlow untuk format Concept Map atau Mindmap di mana konsep-konsep dari materi PDF divisualisasikan sebagai nodes dengan edges yang menunjukkan relasi antar konsep, memungkinkan mahasiswa mengeksplorasi mindmap secara interaktif dengan zoom, pan, dan click untuk melihat detail konsep.

2.1.17 Tailwind CSS

Tailwind CSS adalah utility-first CSS framework yang menyediakan low-level utility classes untuk membangun custom designs tanpa meninggalkan HTML [TAIL24]. Tailwind menggunakan pendekatan utility-first di mana developer menggunakan utility classes yang predefined untuk styling seperti flex dan grid untuk layout, p-4 dan m-2 untuk spacing, text-lg dan font-bold untuk typography, serta bg-blue-500 dan text-white untuk colors.

Pendekatan ini mempercepat development karena styling dapat dilakukan langsung di HTML, meningkatkan consistency desain, mengurangi bundle size CSS dengan tree-shaking unused styles, dan memudahkan responsive design dengan breakpoint utilities.

2.1.18 Framer Motion

Framer Motion adalah production-ready motion library untuk React yang menyediakan API yang powerful namun simple untuk membuat animasi dan [FRAM24]. Library ini dirancang untuk developer dan designer yang ingin membuat interactive user experiences dengan performa tinggi tanpa kompleksitas.

Fitur utama Framer Motion mencakup Declarative Animations dengan animate prop untuk animasi deklaratif yang mudah dibaca, Gestures untuk drag, tap, hover, dan pan gestures out-of-the-box, Layout Animations dengan automatic layout transitions menggunakan layout prop, Variants untuk animation orchestration dengan kontrol transition yang detail, SVG Support untuk animasi SVG paths dan elements, serta Server-Side Rendering support penuh untuk Next.js.

Framer Motion digunakan dalam MangMicro untuk animasi transisi pada slide pembelajaran dengan fade dan slide effects yang smooth, kemunculan elemen UI yang progressive (*fade-in*, *slide-in*) untuk meningkatkan visual hierarchy, interactive gestures pada komponen pembelajaran seperti swipe untuk navigasi slide, serta micro-interactions untuk feedback visual yang meningkatkan perceived performance dan user engagement.

2.1.19 Server-Side Rendering (SSR)

Server-Side Rendering adalah teknik rendering di mana HTML halaman web di-generate di server saat ada request, kemudian dikirim ke client sebagai fully-rendered page [VER24]. SSR berbeda dengan *Client-Side Rendering* (CSR) di mana rendering terjadi di browser menggunakan JavaScript, sehingga user harus menunggu JavaScript di-download dan di-execute sebelum content terlihat.

Keunggulan SSR mencakup Faster Initial Load karena user melihat content lebih cepat dengan HTML sudah di-render, Better SEO karena search engine dapat crawl content yang sudah di-render tanpa perlu menjalankan JavaScript, Improved Performance terutama untuk users dengan perangkat low-end atau koneksi internet lambat, serta Dynamic Content yang dapat di-personalize per request berdasarkan user data.

Next.js menggunakan SSR untuk pages yang memerlukan data fresh pada setiap request, seperti dashboard pembelajaran yang menampilkan progres terkini user, halaman konten microlearning yang di-generate sesuai preferensi user, dan halaman laporan yang menampilkan statistik pembelajaran real-time.

2.1.20 Static Site Generation (SSG)

Static Site Generation adalah teknik di mana HTML pages di-generate saat build time, bukan saat runtime ketika ada request [VER24]. Pages yang di-generate secara statis kemudian dapat di-serve langsung dari CDN untuk performa maksimal tanpa perlu server processing.

Keunggulan SSG mencakup Maximum Performance karena pages di-serve langsung dari CDN tanpa server processing overhead, Scalability untuk handle traffic tinggi tanpa server bottleneck, Security karena tidak ada database atau server logic yang exposed ke client, serta Cost-Effective karena hosting statis lebih murah dibanding dynamic hosting yang memerlukan server computing resources.

Next.js menggunakan SSG untuk pages yang tidak berubah frequently, seperti landing page yang menjelaskan fitur platform, documentation pages yang menjelaskan cara penggunaan, dan static content pages. Dengan *Incremental Static Regeneration* (ISR), pages dapat di-generate ulang secara berkala tanpa perlu full rebuild, memungkinkan balance antara static performance dan dynamic content freshness.

2.1.21 API Routes

API Routes di Next.js adalah fitur untuk membuat API endpoints sebagai serverless functions di dalam aplikasi Next.js tanpa perlu server terpisah [VER24]. Setiap file di folder `/app/api` secara otomatis menjadi API endpoint yang dapat menerima HTTP requests dan mengembalikan responses.

Keunggulan API Routes mencakup Fullstack dalam Satu Repo dengan frontend dan backend logic dalam satu codebase yang terintegrasi, Serverless by Default dengan auto-scaling tanpa perlu server management manual, Type-Safe untuk sharing types antara frontend dan backend dengan TypeScript yang memastikan consistency, serta Easy Deployment karena frontend dan backend dapat di-deploy sekaligus ke platform seperti Vercel.

API Routes digunakan dalam MangMicro untuk endpoint upload PDF dan ekstraksi teks dari dokumen, endpoint generasi konten dengan Gemini AI untuk menghasilkan berbagai format microlearning, endpoint autentikasi dan session management untuk user authentication dan authorization, serta endpoint fetch dan save learning progress untuk menyimpan data pembelajaran user secara real-time.

2.1.22 Metode Kuesioner

Metode kuesioner merupakan teknik pengumpulan data dengan memberikan seperangkat pertanyaan tertulis kepada responden untuk dijawab sesuai kondisi dan pengalaman [SUG19]. Dalam penelitian ini, kuesioner digunakan bukan sebagai metode pengujian utama, melainkan sebagai alat untuk mengidentifikasi permasalahan dan kebutuhan mahasiswa terkait penggunaan materi kuliah dalam bentuk dokumen PDF panjang serta harapan mereka terhadap platform microlearning MangMicro.

Kuesioner disusun untuk menggali informasi mengenai: pola belajar mahasiswa, kesulitan yang dialami saat mempelajari materi PDF statis, preferensi format pembelajaran yang lebih singkat dan interaktif, serta kebutuhan fitur pada platform microlearning berbasis web. Data yang diperoleh dari kuesioner ini digunakan sebagai dasar perumusan requirement sistem dan perancangan solusi yang lebih sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan mahasiswa Teknik Informatika.

2.1.23 Skala Likert

Skala Likert adalah skala psikometrik yang digunakan dalam kuesioner untuk mengukur sikap, pendapat, dan persepsi responden terhadap suatu pernyataan [LIK32]. Skala ini menggunakan tingkat persetujuan terhadap pernyataan dengan jumlah pilihan jawaban yang bervariasi, umumnya 5 atau 7 tingkat.

Format Skala Likert 5 tingkat mencakup Sangat Tidak Setuju (STS) dengan skor 1, Tidak Setuju (TS) dengan skor 2, Netral (N) dengan skor 3, Setuju (S) dengan skor 4, dan Sangat Setuju (SS) dengan skor 5. Interpretasi skor rata-rata dapat dikategorikan sebagai 1,00 - 1,80 untuk Sangat Rendah, 1,81 - 2,60 untuk Rendah, 2,61 - 3,40 untuk Sedang, 3,41 - 4,20 untuk Tinggi, dan 4,21 - 5,00 untuk Sangat Tinggi.

Skala Likert digunakan dalam kuesioner identifikasi kebutuhan MangMicro untuk mengukur preferensi mahasiswa terhadap format pembelajaran, kesulitan saat menggunakan materi PDF panjang, serta harapan terhadap fitur platform microlearning berbasis web.

2.1.24 Metode Agile dan Iterative Development

Metode Agile adalah pendekatan pengembangan software yang iteratif dan inkremental, menekankan pada fleksibilitas, kolaborasi tim, dan feedback cepat dari stakeholders [BECK01]. Agile manifesto memprioritaskan individuals and interactions over processes and tools, working software over comprehensive documentation, customer collaboration over contract negotiation, dan responding to change over following a plan.

Iterative Development adalah pengembangan yang dilakukan dalam siklus iterasi berulang, di mana setiap iterasi menghasilkan increment yang dapat di-test dan di-evaluate oleh stakeholders [LAR03]. Tahapan setiap iterasi mencakup Planning untuk perencanaan sprint dan prioritas fitur, Analysis untuk analisis kebutuhan dan requirements gathering, Design untuk perancangan arsitektur dan UI/UX, Implementation untuk coding dan development fitur, Testing untuk pengujian fungsionalitas dan bug fixing, serta Evaluation untuk evaluasi hasil dan feedback dari stakeholders.

Keunggulan metode Agile mencakup responsif terhadap perubahan requirements karena development cycle yang pendek memungkinkan adaptasi cepat, feedback loop yang cepat untuk continuous improvement melalui sprint review, risk mitigation dengan testing di setiap iterasi untuk early detection, serta delivery inkremental yang memungkinkan early user testing dan feedback sebelum product completion. Platform MangMicro dikembangkan menggunakan metodologi Agile dengan iterasi sprint yang berfokus pada pengujian fungsionalitas, integrasi AI, dan bug fixing untuk menghasilkan platform yang stabil dan sesuai requirement sistem.

2.2 PENELITIAN TERDAHULU

Berikut ini adalah penelitian terdahulu yang penulis jadikan sebagai referensi untuk tugas akhir atau penelitian yang hampir sama dengan topik tugas akhir:

No	Peneliti	Hasil Penelitian	Alasan Penggunaan
1	Firdaus, A., Wijaya, A., & Santosa, R. (2025)	Menunjukkan bahwa microlearning memiliki efek signifikan terhadap retensi mahasiswa (OR = 1,87) dan hasil pembelajaran (SMD = 0,74) dari meta-analisis 40+ studi	Memberikan evidence base empiris terkuat tentang efektivitas microlearning dalam konteks pendidikan tinggi, menjadi fondasi justifikasi penggunaan durasi 3-15 menit per format pembelajaran MangMicro
2	Dinihari, Y. (2025)	Mengonfirmasi bahwa microlearning meningkatkan hasil pembelajaran, mendukung keterlibatan kognitif, dan memfasilitasi kompetensi abad ke-21 melalui fitur multimodalitas (teks, gambar, audio, video), gamifikasi, dan aksesibilitas mobile	Mengidentifikasi tren terbaru implementasi microlearning di era digital yang selaras dengan desain enam format pembelajaran MangMicro.
3	Ramadhan, F., & Santoso, B. (2024)	Menunjukkan bahwa penerapan prinsip CLT dalam pembelajaran digital (segmentasi informasi, pengurangan kompleksitas) dapat secara signifikan menurunkan beban kognitif dan meningkatkan hasil belajar	Memberikan guidance praktis tentang implementasi CLT, pembagian ke 6 format berbeda, dan durasi terbatas 3-15 menit
4	Haryati, S., & Nugroho, A. (2024)	Menunjukkan bahwa kecanduan konten digital pendek berdampak negatif terhadap kemampuan konsentrasi mahasiswa dengan koefisien jalur mencapai -55,2%	Menunjukkan masalah nyata yang dihadapi mahasiswa Indonesia, memotivasi desain platform MangMicro dengan durasi pembelajaran terstruktur untuk mengoptimalkan perhatian tanpa over-stimulation
5	Putra, F. H. R. (2024)	Mengimplementasikan CLT konsisten dengan mengelola intrinsic load, mengurangi extraneous load melalui desain clean, dan meningkatkan germane load melalui interaktivitas	Memberikan case study implementasi CLT di platform digital real-world yang dapat diadopsi dalam desain setiap format pembelajaran MangMicro
6	Suparyono, E. I. (2025)	Menunjukkan literasi digital rendah meningkatkan beban kognitif, self-efficacy rendah menghambat partisipasi, dan persepsi teknologi negatif memperburuk hambatan adopsi	Menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi adopsi teknologi pembelajaran di kalangan pengguna Indonesia, informasi kritis untuk design user interface MangMicro yang intuitif dan accessible
7	Agarwal, S., Doroudi, S., MacKay, D., & Kasneci, G. (2024)	Menjelaskan lima prinsip pedagogi LearnLM: (1) active learning, (2) managing cognitive load, (3) adaptation, (4) curiosity, (5) metacognition, dengan preferensi 31% lebih	Publikasi official Google tentang LearnLM menjadi dasar teoritis penggunaan Google Gemini AI dalam platform MangMicro dengan prinsip-

No	Peneliti	Hasil Penelitian	Alasan Penggunaan
		tinggi dari GPT-4o dan 11% lebih tinggi dari Claude 3.5	prinsip pedagogi yang dirancang khusus untuk pembelajaran
8	Dewantara, B. A. (2025)	Menunjukkan GenAI menawarkan manfaat untuk efisiensi pembelajaran, aksesibilitas materi luas, dan personalisasi melalui umpan balik real-time, namun juga mengidentifikasi tantangan integritas akademik	Penelitian lokal Indonesia tentang manfaat dan tantangan penggunaan Generative AI yang relevan dengan konteks implementasi platform MangMicro di pendidikan tinggi Indonesia

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

BAB 3

SKEMA PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan alur penyelesaian tugas akhir, perumusan masalah, kerangka pemikiran teoretis, dan profile tempat penelitian. Skema penelitian berfungsi sebagai panduan awal bagi pembaca untuk memahami tujuan, ruang lingkup, dan landasan teoretis penelitian yang akan dilakukan. Dengan menyediakan informasi yang jelas mengenai alur penyelesaian tugas akhir, perumusan masalah, kerangka pemikiran teoretis, dan profil tempat penelitian, skema penelitian membantu pembaca untuk memahami konteks dan relevansi penelitian secara lebih baik.

3.1 ALUR PENYELESAIAN TUGAS AKHIR

Alur Penyelesaian tugas akhir ini dilakukan berdasarkan diagram alur penyelesaian. Berikut ini merupakan alur penyelesaian tugas akhir:

Tabel 3.1 Alur Penyelesaian Tugas Akhir

Tahap dan Hasil	Langkah Penelitian	Literatur & Referensi
Tahap 1: Identifikasi dan Perumusan masalah Hasil: Identifikasi masalah utama yang dihadapi mahasiswa Teknik Informatika di Universitas Pasundan, yaitu kesulitan mempertahankan fokus dan retensi informasi ketika mempelajari materi. Kontribusi: Menentukan rumusan masalah dan tujuan pengembangan platform MangMicro.	1. Latar belakang penelitian 2. Identifikasi masalah 3. Perumusan masalah 4. Tujuan penelitian	[APJII24],[WESOC24], [HAR24], [KEMDIK23]
Tahap 2: Pengumpulan Data Hasil: Referensi dari jurnal, artikel ilmiah, dokumentasi teknis terkait microlearning, CLT, Generative AI, LearnLM, dan teknologi web modern. Observasi pola belajar mahasiswa Teknik Informatika. Kontribusi: Landasan teoritis dan data empiris untuk perancangan sistem.	1. Studi literatur 2. Observasi pola belajar mahasiswa 3. Kuesioner identifikasi kebutuhan	[FIR25], [DIN25], [GIU17], [LEO21], [SWEL88], [SWEL11], [RAM24], [CHE25], [AGAR24], [GFE24]
Tahap 3: Analisis Kebutuhan Hasil: Identifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem melalui analisis karakteristik mahasiswa, hasil studi literatur, dan data kuesioner. Kontribusi: Spesifikasi kebutuhan sistem yang jelas untuk perancangan.	1. Analisis kebutuhan fungsional 2. Analisis kebutuhan non-fungsional 3. User stories & use cases	[FIR25], [DIN25], [SWEL88], [SWEL11], [RAM24], [CHE25]

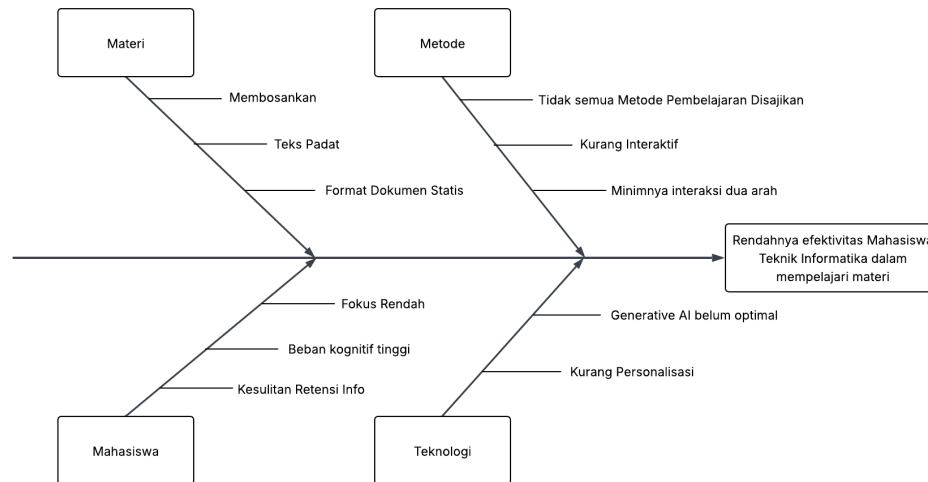
Tahap dan Hasil	Langkah Penelitian	Literatur & Referensi
Tahap 4: Perancangan Sistem Hasil: Arsitektur aplikasi Next.js, database schema (ERD) dengan Drizzle/Neon, alur data, dan antarmuka pengguna menggunakan diagram standar (Use Case, Activity Diagram). Kontribusi: Blueprint teknis yang scalable, performant, dan user-centric untuk 6 format pembelajaran.	1. Perancangan arsitektur sistem 2. Perancangan database (ERD) 3. Perancangan UML (Use Case, Activity) 4. Perancangan UI/UX mockup 5. Prompt engineering LearnLM	[AGAR24]
Tahap 5: Implementasi Hasil: Platform web MangMicro lengkap dengan frontend (Next.js, React, Tailwind CSS) backend (API routes, Drizzle ORM), dan integrasi AI (Gemini, Nano Banana 2, TTS) dengan prinsip LearnLM. Kontribusi: Aplikasi siap uji dengan 6 format microlearning, autentikasi, dan progress tracking	1. Pengembangan frontend (Next.js, React, Tailwind CSS) 2. Pengembangan backend (API routes, Drizzle ORM) 3. Integrasi AI (Gemini Nano Banana 2, TTS) 4. Implementasi autentikasi & Database	[AGAR24], [VER24], [META24], [TAIL24], [GDEEPM24], [GCLOUD24]
Tahap 6: Pengujian dan Evaluasi Hasil: Data hasil pengujian fungsionalitas Black Box untuk memastikan semua fitur berjalan sesuai spesifikasi dan pengujian integrasi AI untuk kualitas output pembelajaran. Kontribusi: Validasi efektivitas sistem dan kesiapan deployment	1. Black Box Testing fungsionalitas 2. Pengujian integrasi AI (akurasi, relevansi konten) 3. Bug fixing & optimization	[AGAR24]
Tahap 7: Dokumentasi Hasil: Dokumentasi teknis lengkap dan laporan tugas akhir yang mencakup semua tahapan penelitian. Kontribusi: Menjawab rumusan masalah dan menyediakan rekomendasi pengembangan lanjutan.	1. Penarikan kesimpulan 2. Penyusunan laporan tugas akhir 3. Dokumentasi teknis & deployment guide 4. Saran pengembangan	

3.2 PERUMUSAN MASALAH

Analisis masalah dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab dari permasalahan dan untuk mengetahui hubungan sebab akibat permasalahan. Hubungan dari analisis masalah dengan solusi tugas akhir bertujuan untuk mengetahui ketepatan solusi dalam menyelesaikan permasalahan tugas akhir.

3.2.1 Analisis Masalah

Analisis faktor-faktor permasalahan yang terjadi dalam pembelajaran di Prodi Teknik Informatika menjadi fokus analisis. Di bawah ini merupakan deskripsi dari penyebab masalah yang terjadi.



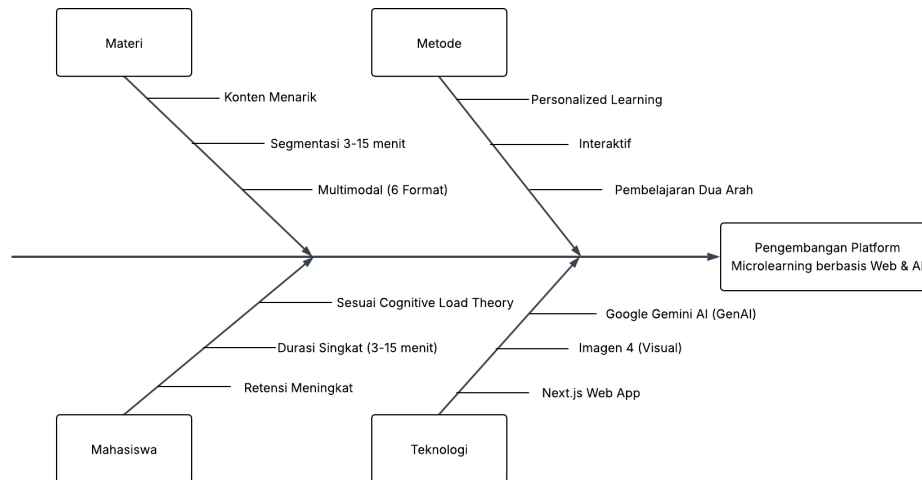
Gambar 3.1 Fishbone Masalah

Berikut adalah faktor-faktor penyebab permasalahan yang teridentifikasi berdasarkan diagram sebab akibat di atas:

1. Materi: Penyajian materi kuliah yang masih didominasi format PDF panjang menyebabkan beban kognitif berlebih (*extraneous load*) bagi mahasiswa.
2. Mahasiswa: Karakteristik mahasiswa digital memiliki rentang perhatian singkat, sehingga sulit fokus pada materi berdurasi panjang.
3. Metode : Tidak semua metode pembelajaran disajikan dalam platform yang tersedia, sehingga variasi penyajian materi masih terbatas dan belum mengakomodasi seluruh kebutuhan belajar mahasiswa
4. Teknologi: Kurangnya alat bantu otomatis yang dapat mengubah materi statis menjadi format yang lebih adaptif dan interaktif.

3.2.2 Solusi Masalah

Permasalahan yang ada harus memiliki sebuah solusi yang dapat menyelesaikan masalahnya, hal ini saling terhubung untuk dapat bisa menjawab setiap masalah dengan solusi yang baik, berikut adalah solusinya:



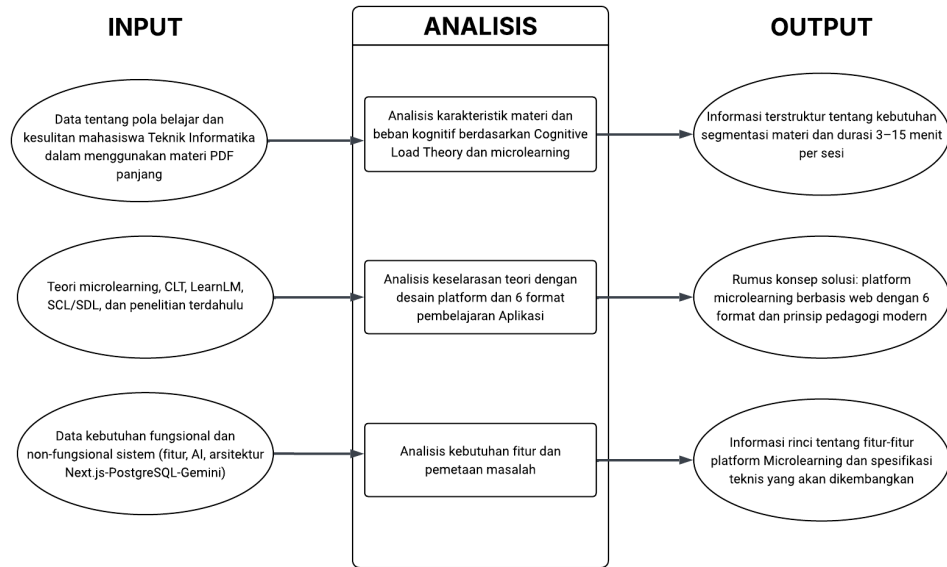
Gambar 3.2 Fishbone Solusi

Berikut adalah solusi-solusi untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi:

1. Transformasi Materi: Menggunakan AI untuk memecah PDF panjang menjadi segmen-segmen kecil (*chunking*) yang mudah dicerna.
2. Adaptasi Format: Menyediakan 6 variasi format (Kuis, Slide, Mindmap, dll) untuk mengakomodasi berbagai gaya belajar.
3. Efisiensi: Otomatisasi pembuatan materi ajar menggunakan *Generative AI*.

3.2.3 Skema Analisis

Skema analisis merupakan gambaran dari tahapan analisis yang dilakukan. Dalam pengembangan skema analisis input, proses dan output. Input merupakan data yang akan dimanfaatkan pada proses analisis yang menghasilkan output. Skema analisis dapat dilihat pada Gambar Berikut:



Gambar 3.3 Skema Analisis

Setelah digambarkan sekma analisis, kemudian akan dijelaskan tahapan yang dilakukandan maksud dari setiap tahapan yang akan dilakukan pada tabel 3.2 merupakan deskripsi tahapan skema analisis

Tabel 3.2 Tahapan Skema Analisis

Langkah Analisis	Objek Analisis	Hasil Analisis	Maksud Analisis
Mengumpulkan data tentang pola belajar dan kesulitan mahasiswa dalam menggunakan materi PDF panjang	Data pola belajar mahasiswa Teknik Informatika (rentang perhatian, kesulitan fokus, dll.)	Identifikasi karakteristik mahasiswa, kesulitan mempertahankan fokus, preferensi terhadap konten visual dan audio, serta kebutuhan segmentasi materi	Untuk merancang microlearning yang sesuai dengan karakteristik dan beban kognitif mahasiswa
Mengkaji teori microlearning, Cognitive Load Theory, LearnLM, dan SCL/SDL	Teori-teori pembelajaran dan penelitian terdahulu terkait microlearning dan Generative AI	Pemahaman prinsip pedagogi yang harus diimplementasikan pada desain platform dan 6 format pembelajaran	Untuk memastikan solusi yang dirancang memiliki landasan teori yang kuat dan evidence-based
Mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem serta pemilihan teknologi	Kebutuhan fitur platform (6 format belajar, AI, autentikasi, progress tracking) dan arsitektur Next.js-PostgreSQL-Gemini	Spesifikasi rinci fitur-fitur MangMicro dan keputusan teknis	Untuk mendapatkan gambaran jelas tentang solusi teknis yang akan dikembangkan agar menjawab masalah pembelajaran mahasiswa

3.3 PROFIL PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan Bandung. Program studi ini menyelenggarakan pendidikan sarjana di bidang teknik informatika dan memanfaatkan materi digital sebagai salah satu sumber utama pembelajaran.

3.3.1 Visi dan Misi Program Studi Teknik Informatika

Visi Program Studi Teknik Informatika Universitas Pasundan adalah sebagai berikut:

“Menjadi Penyelenggara Pendidikan Tinggi Bidang Teknik Informatika dengan Keunggulan Pengembangan Perangkat Lunak Multiplatform dan Pengakuan Internasional serta Dijiwai oleh Nilai Islam dan Sunda pada tahun 2037.”

Misi Program Studi Teknik Informatika dirumuskan dalam beberapa butir sebagai berikut:

1. Menyelenggarakan pendidikan tinggi teknik yang unggul secara nasional dan mendapatkan akreditasi internasional, dengan atmosfer akademik yang mencerminkan nilai *cageur* (sehat), *bageur* (baik), *bener* (benar), *singer* (mawas diri), dan *pinter* (pintar).
2. Melaksanakan penelitian berkualitas internasional yang memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu rekayasa perangkat lunak dan informatika, serta mencerminkan kebutuhan dan peluang di tatar Pasundan.
3. Menyelenggarakan pengabdian kepada masyarakat berbasis hasil penelitian untuk meningkatkan kesejahteraan dan martabat manusia serta mendukung pembangunan berkelanjutan.
4. Menjaga, memelihara, dan mengembangkan nilai Islam dan Sunda dalam pendidikan, penelitian, dan pengabdian, sehingga terbentuk identitas akademik yang religius dan nyunda di lingkungan masyarakat.
5. Menyelenggarakan tata kelola program studi dan layanan tridharma berbasis teknologi informasi yang efektif, efisien, dan akuntabel.
6. Membangun semangat inovasi dan kewirausahaan di bidang rekayasa teknik informatika.

3.3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian dalam tugas akhir ini adalah kegiatan pembelajaran dan kebutuhan penyusunan materi di Program Studi Teknik Informatika Universitas Pasundan, khususnya terkait penggunaan dokumen PDF akademik sebagai sumber utama materi perkuliahan. Fokus penelitian diarahkan pada bagaimana mahasiswa mengakses, mempelajari, dan mempertahankan pemahaman terhadap materi teknis yang panjang dan kompleks, serta tantangan yang muncul dari penggunaan materi dalam format dokumen statis.

Melalui objek penelitian ini, dikumpulkan data mengenai pola belajar mahasiswa, hambatan dalam memahami materi dari dokumen PDF, dan kebutuhan terhadap format pembelajaran alternatif yang lebih singkat, interaktif, dan adaptif. Temuan tersebut menjadi dasar perancangan dan pengembangan platform *microlearning* *MangMicro* sebagai solusi untuk mentransformasi dokumen PDF menjadi berbagai format konten pembelajaran dengan durasi 3–15 menit per sesi.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini bertujuan untuk memahami permasalahan pembelajaran di Prodi Teknik Informatika, mengidentifikasi kebutuhan terhadap platform microlearning, serta mendukung perancangan dan pengembangan sistem MangMicro. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan menelaah jurnal, artikel ilmiah, laporan penelitian, dan dokumentasi teknis yang berkaitan dengan microlearning, Cognitive Load Theory, Student-Centered Learning, LearnLM, Generative AI, serta teknologi web modern seperti Next.js, PostgreSQL, dan Drizzle ORM. Hasil studi literatur ini menjadi landasan teoretis untuk merumuskan masalah, menyusun solusi, serta menentukan desain enam format pembelajaran microlearning yang akan diimplementasikan pada platform MangMicro.

2. Observasi Pola Belajar Mahasiswa

Observasi dilakukan terhadap pola belajar mahasiswa Teknik Informatika dalam mengakses materi perkuliahan, khususnya ketika menggunakan dokumen PDF panjang sebagai sumber belajar utama. Melalui observasi ini dikumpulkan informasi mengenai cara mahasiswa mengonsumsi materi, durasi belajar efektif, serta kendala yang muncul seperti kesulitan fokus, beban kognitif tinggi, dan rendahnya retensi informasi.

3. Kuesioner Identifikasi Kebutuhan dan Masalah

Kuesioner digunakan sebagai instrumen untuk mengidentifikasi kebutuhan dan permasalahan mahasiswa serta dosen terkait penggunaan materi berbasis PDF dan potensi pemanfaatan platform microlearning berbasis web. Pertanyaan dalam kuesioner difokuskan pada aspek-aspek seperti frekuensi penggunaan dokumen PDF, tingkat kesulitan memahami materi teknis, preferensi format pembelajaran (teks singkat, kuis, visual, audio, video), serta harapan terhadap fitur-fitur yang sebaiknya tersedia pada platform MangMicro. Kuesioner disusun menggunakan skala Likert sehingga data yang diperoleh dapat dianalisis secara kuantitatif untuk memperkuat hasil analisis kebutuhan sistem.

4. Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan artefak pendukung seperti contoh materi kuliah dalam format PDF, tangkapan layar (screenshot) penggunaan platform pembelajaran yang sudah ada, serta catatan hasil diskusi dengan dosen dan mahasiswa. Data dokumentasi ini digunakan sebagai bahan analisis lebih lanjut dalam perumusan masalah, skema analisis, dan perancangan solusi pada platform Microlearning.

BAB 4

ANALISIS & PERANCANGAN

Bab ini menjelaskan perancangan platform microlearning secara menyeluruh, meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan proses bisnis, perancangan arsitektur sistem, perancangan basis data, serta perancangan antarmuka pengguna. Seluruh perancangan disusun berdasarkan hasil analisis kebutuhan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, dengan berlandaskan pada prinsip-prinsip pedagogi LearnLM, *Cognitive Load Theory*, dan *Student-Centered Learning* yang telah diuraikan pada Bab 2.

4.1 *Software Requirement*

Software Requirements adalah proses menentukan apa yang harus dilakukan oleh sistem perangkat lunak. Persyaratan perangkat lunak merupakan kondisi atau kemampuan yang dibutuhkan oleh pengguna untuk memecahkan masalah atau mencapai tujuan, serta kondisi yang harus dipenuhi oleh sistem untuk memenuhi kebutuhan pemangku kepentingan. Tahap Software Requirements Platform MangMicro bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendefinisikan seluruh kebutuhan sistem secara terstruktur, yang diperoleh melalui pengumpulan data dari tiga metode utama, yaitu studi literatur, observasi, dan kuesioner.

4.1.1 Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui tiga pendekatan yang saling melengkapi guna memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai kebutuhan Platform MangMicro.

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengkaji jurnal ilmiah, artikel penelitian, dan dokumentasi teknis yang berkaitan dengan topik microlearning, *Cognitive Load Theory*, *Student-Centered Learning*, Generative AI, LearnLM, serta teknologi web modern seperti Next.js, PostgreSQL, dan Drizzle ORM. Hasil studi literatur digunakan sebagai landasan teoretis dalam merumuskan solusi dan menentukan desain enam format pembelajaran microlearning.

b. Observasi

Observasi dilakukan terhadap beberapa platform pembelajaran digital dan microlearning, yaitu Duolingo, Quizlet, dan Khan Academy. Observasi difokuskan pada pola interaksi pengguna, bentuk penyajian konten, penggunaan kuis interaktif, visualisasi materi, mekanisme pelacakan progres, serta respons antarmuka selama pengguna mengakses materi pembelajaran.

Hasil observasi digunakan sebagai referensi perancangan antarmuka dan fitur Platform MangMicro, terutama dalam penyediaan materi bertahap, format pembelajaran interaktif, navigasi konten, dan pelacakan progres belajar. Observasi ini tidak digunakan untuk menyimpulkan perilaku atau efektivitas belajar mahasiswa, melainkan sebagai benchmarking terhadap fitur dan pengalaman pengguna pada platform pembelajaran yang telah tersedia.

c. Kuesioner

Kuesioner disebarkan kepada mahasiswa Program Studi Teknik Informatika Universitas Pasundan guna mengidentifikasi kebutuhan dan preferensi belajar secara empiris. Instrumen kuesioner terdiri atas 30 pertanyaan yang mencakup profil responden, permasalahan dalam membaca dokumen PDF, preferensi format pembelajaran, durasi ideal sesi microlearning, serta tingkat harapan terhadap kehadiran platform berbasis AI. Pengisian kuesioner dilakukan secara daring melalui Google Form pada bulan Februari 2026.

4.1.2 Kuesioner Penelitian

Kuesioner digunakan sebagai instrumen pengumpulan data untuk mengetahui kebutuhan, kebiasaan belajar, serta permasalahan yang dialami mahasiswa dalam mempelajari materi perkuliahan berbentuk dokumen PDF. Dalam penelitian ini, kuesioner difokuskan pada mahasiswa Program Studi Teknik Informatika untuk memperoleh gambaran mengenai tingkat kesulitan memahami materi, kebiasaan membaca PDF, preferensi terhadap format pembelajaran, dan harapan terhadap fitur platform microlearning berbasis web.

Kuesioner disusun menggunakan skala Likert 5 poin agar jawaban responden dapat diukur secara kuantitatif. Hasil kuesioner digunakan sebagai dasar dalam analisis kebutuhan sistem dan perancangan fitur pada platform MangMicro, khususnya untuk menentukan format pembelajaran yang paling sesuai dengan karakteristik pengguna.

4.1.2.1 Skala Penilaian Kuesioner

Skala Likert yang digunakan pada kuesioner ini terdiri dari lima pilihan jawaban, yaitu Sangat Tidak Setuju, Tidak Setuju, Netral, Setuju, dan Sangat Setuju. Skala ini digunakan untuk mengukur tingkat persetujuan responden terhadap setiap pernyataan yang berkaitan dengan pengalaman belajar, kesulitan memahami materi, serta kebutuhan terhadap platform microlearning.

4.1.2.2 Daftar Pertanyaan Kuesioner

Instrumen kuesioner terdiri atas 30 butir pertanyaan. Empat butir pertama digunakan untuk memperoleh data profil responden dan hanya digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik sampel. Adapun 26 butir lainnya digunakan untuk menganalisis kebiasaan belajar, permasalahan dalam mempelajari

dokumen PDF, preferensi format pembelajaran, kebutuhan fitur sistem, durasi ideal microlearning, serta masukan terbuka bagi perancangan aplikasi.

Tabel 4.1 menyajikan 26 butir pertanyaan analisis kebutuhan. Data profil responden tidak dimasukkan ke dalam tabel tersebut karena tidak digunakan dalam perhitungan rata-rata kebutuhan maupun penentuan fitur sistem.

Tabel 4.1 Daftar Pertanyaan Kuesioner

No	Kode	Pertanyaan	Skala
1	A1	Seberapa sering Anda menggunakan dokumen PDF sebagai sumber belajar utama dalam perkuliahan?	Ordinal
2	A2	Berapa lama rata-rata Anda membaca materi PDF dalam satu sesi belajar?	Ordinal
3	A3	Pada halaman ke berapa biasanya Anda mulai kehilangan fokus saat membaca dokumen PDF panjang (>20 halaman)?	Ordinal
4	B1	Saya kesulitan mempertahankan fokus ketika membaca materi teknis dalam format PDF panjang	Likert
5	B2	Saya merasa cepat lelah (mental) saat mempelajari materi PDF yang padat informasi	Likert
6	B3	Saya sering lupa informasi yang sudah saya baca dari dokumen PDF setelah beberapa hari	Likert
7	B4	Format PDF teks panjang membuat saya kurang termotivasi untuk belajar	Likert
8	B5	Saya kesulitan memahami konsep kompleks yang dijelaskan dalam format teks panjang tanpa visualisasi	Likert
9	B6	Saya lebih suka belajar dalam sesi-sesi singkat (3-15menit) dibanding membaca panjang	Likert
10	B7	Saya kesulitan menemukan bagian penting dari materi PDF yang panjang	Likert
11	B8	Materi PDF statis kurang interaktif dan membosankan bagi saya	Likert
12	C1	Teks Immersif: Materi terstruktur dalam 5-10 bagian singkat yang dapat dibaca dalam 3-5 menit	Likert
13	C2	Kuis interaktif 10 pertanyaan pilihan ganda untuk menguji pemahaman	Likert
14	C3	Slide Deck: 8-12 slide visual dengan ilustrasi untuk menjelaskan konsep	Likert
15	C4	Peta Konsep (Mindmap): Diagram interaktif yang menunjukkan hubungan antar konsep	Likert
16	C5	Audio Lesson: Penjelasan materi dalam format audio bergaya podcast	Likert
17	C6	Video Bernalarasi: Video dengan sinkronisasi visual dan narasi audio	Likert
18	D1	Transformasi otomatis dokumen PDF menjadi berbagai format pembelajaran	Likert
19	D2	Durasi pembelajaran yang singkat dan terfokus (3-15 menit per sesi)	Likert
20	D3	Pilihan berbagai format sesuai gaya belajar saya (visual, audio, teks, interaktif)	Likert
21	D4	Pelacakan progres belajar untuk setiap format pembelajaran	Likert
22	D5	Konten yang dihasilkan AI dan disesuaikan dengan materi PDF	Likert
23	E1	Menurut Anda, berapa durasi ideal untuk satu sesi pembelajaran microlearning?	Ordinal
24	E2	Format pembelajaran mana yang paling Anda butuhkan untuk memahami materi teknis Teknik Informatika? (pilih maksimal 3)	Nominal

No	Kode	Pertanyaan	Skala
25	E3	Seberapa besar Anda berharap platform microlearning dapat membantu meningkatkan pemahaman dan retensi materi kuliah?	Likert
26	F1	Apa kesulitan terbesar yang Anda hadapi saat mempelajari materi dari dokumen PDF panjang?	Terbuka

Berdasarkan hasil kuesioner terhadap 40 responden, sebanyak 27 responden (67,5%) menggunakan dokumen PDF sebagai sumber belajar dengan frekuensi sering hingga sangat sering. Namun, 35 responden (87,5%) hanya membaca materi PDF selama maksimal 30 menit dalam satu sesi belajar.

Sebanyak 29 responden (72,5%) mulai kehilangan fokus pada halaman 1 sampai dengan halaman 15 ketika membaca dokumen PDF panjang. Hanya 4 responden (10%) yang menyatakan dapat mempertahankan fokus hingga selesai. Hasil ini menunjukkan bahwa panjang dokumen memengaruhi kemampuan responden dalam mempertahankan perhatian.

Delapan pernyataan mengenai permasalahan membaca PDF memperoleh nilai rata-rata keseluruhan sebesar 3,93 dari skala 5 dan termasuk kategori tinggi. Preferensi belajar melalui sesi singkat berdurasi 3–15 menit memperoleh rata-rata tertinggi sebesar 4,20. Kesulitan memahami konsep kompleks tanpa visualisasi memperoleh rata-rata 4,10, sedangkan penilaian bahwa materi PDF statis kurang interaktif dan membosankan memperoleh rata-rata 3,98.

Seluruh format microlearning memperoleh penilaian dalam kategori tinggi. Slide deck memperoleh rata-rata 4,05, diikuti peta konsep sebesar 4,00, video bernarasi sebesar 3,98, teks imersif sebesar 3,90, kuis interaktif sebesar 3,85, dan audio lesson sebesar 3,70. Hasil tersebut menunjukkan bahwa responden cenderung membutuhkan materi dalam format visual dan interaktif.

Pada aspek kebutuhan sistem, pilihan berbagai format pembelajaran sesuai gaya belajar memperoleh rata-rata 4,15. Transformasi otomatis dokumen PDF menjadi berbagai format pembelajaran memperoleh rata-rata 4,05. Durasi pembelajaran yang singkat dan terfokus serta fitur pelacakan progres masing-masing memperoleh rata-rata 4,00. Selain itu, 36 responden (90%) memilih durasi ideal microlearning antara 3 sampai dengan 15 menit.

Sebanyak 38 responden (95%) memiliki harapan cukup besar, besar, atau sangat besar bahwa platform microlearning dapat membantu meningkatkan pemahaman dan retensi materi kuliah. Jawaban terbuka responden memperlihatkan beberapa permasalahan utama, yaitu kesulitan mempertahankan fokus, cepat bosan atau lelah, kesulitan menemukan inti materi, banyaknya teks, serta kurangnya visualisasi dan interaktivitas.

Berdasarkan hasil tersebut, platform MangMicro perlu menyediakan materi dalam bagian-bagian singkat, berbagai pilihan format pembelajaran, transformasi otomatis dokumen PDF, serta fitur pelacakan progres. Hasil kuesioner ini menjadi dasar dalam penyusunan user stories, kebutuhan fungsional, dan kebutuhan nonfungsional sistem.

4.2 Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan sistem merupakan tahap fundamental dalam pengembangan platform microlearning. Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendefinisikan secara terperinci apa yang harus dapat dilakukan oleh sistem (kebutuhan fungsional) serta bagaimana sistem harus berperilaku dan berkinerja (kebutuhan non-fungsional). Identifikasi kebutuhan dilakukan berdasarkan hasil studi literatur, observasi pola belajar mahasiswa, serta data kuesioner identifikasi kebutuhan yang telah dikumpulkan. Hasil analisis ini menjadi fondasi bagi seluruh keputusan perancangan yang dijabarkan dalam bab ini.

4.2.3 User Stories

Tabel 4.2 User Stories

Kode	User Story
US-01	Sebagai Mahasiswa, saya ingin mengunggah dokumen PDF materi kuliah, sehingga saya dapat mengubahnya menjadi berbagai format konten microlearning.
US-02	Sebagai Mahasiswa, saya ingin mendapatkan konten Teks Immersif dari PDF saya, sehingga saya dapat membaca materi secara naratif dan terstruktur dalam durasi singkat.
US-03	Sebagai Mahasiswa, saya ingin mengerjakan Kuis Interaktif berdasarkan materi PDF saya, sehingga saya dapat menguji dan memperkuat pemahaman secara aktif
US-04	Sebagai Mahasiswa, saya ingin menjelajahi Peta Konsep interaktif dari materi PDF saya, sehingga saya dapat memahami hubungan antar-konsep dalam materi.
US-05	Sebagai Mahasiswa, saya ingin mendengarkan Audio Lesson dari materi PDF saya, sehingga saya dapat belajar sambil melakukan aktivitas lain.
US-06	Sebagai Mahasiswa, saya ingin melihat Slide Deck visual dari materi PDF saya, sehingga saya dapat memahami poin-poin kunci secara terstruktur dan visual.
US-07	Sebagai Mahasiswa, saya ingin menonton Video Bernarasi dari materi PDF saya, sehingga saya dapat belajar melalui kombinasi visual dan audio yang menarik.

4.2.4 Analisis Aktor Bisnis

Berikut adalah daftar aktor beserta deskripsinya:

Tabel 4.3 Daftar Aktor Bisnis

Kode	Aktor Bisnis	Deskripsi
BAC-01	Mahasiswa	Pengguna yang dapat mengunggah dokumen PDF materi, melihat konten pembelajaran dalam berbagai format, dan mengerjakan kuis interaktif.

4.2.5 Analisis Kebutuhan User

Analisis Kebutuhan Pengguna Analisis kebutuhan pengguna dilakukan untuk menentukan fitur dan fungsionalitas yang dibutuhkan pengguna dari sistem yang akan dibangun. Proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendokumentasikan kebutuhan pengguna yang nantinya akan menjadi dasar pengembangan sistem. Rincian kebutuhan pengguna tersebut dipaparkan dalam tabel berikut:

Tabel 4.4 User Requirement

Kode	User Requirement
UR-01	Mahasiswa dapat mengunggah file dokumen materi kuliah berformat PDF
UR-02	Mahasiswa dapat melihat ringkasan materi dalam format teks imersif
UR-03	Mahasiswa dapat mengerjakan soal kuis interaktif berbasis materi yang diunggah
UR-04	Mahasiswa dapat melihat materi dalam bentuk peta pikiran (mindmap)
UR-05	Mahasiswa dapat mendengarkan materi dalam format audio (podcast)
UR-06	Mahasiswa dapat melihat materi dalam format presentasi slide visual
UR-07	Mahasiswa dapat menonton presentasi video bernarasi dari materi

4.2.6 Analisis Kebutuhan Fungsional

Analisis kebutuhan fungsional mendefinisikan apa yang harus dapat dilakukan oleh sistem untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Berikut adalah pemetaan dari Kebutuhan User (UR) ke Software Requirements (SR) fungsional:

Tabel 4.5 Analisis Kebutuhan Fungsional

Kode	User Requirement	Kode	Software Requirement
UR-01	Mahasiswa dapat mengunggah file dokumen materi kuliah berformat PDF.	SR-01	Perangkat lunak harus dapat menerima unggahan file dokumen dengan format PDF.
		SR-02	Perangkat lunak harus dapat mengekstraksi dan menyimpan teks dari file PDF yang diunggah
		SR-03	Perangkat lunak harus dapat menampilkan status proses upload dan pengolahan dokumen (misalnya: pending, processing, completed).
UR-02	Mahasiswa dapat melihat ringkasan materi dalam format teks imersif	SR-04	Perangkat lunak harus dapat mengirim teks hasil ekstraksi dokumen PDF ke Google Gemini AI untuk di-generate menjadi ringkasan teks.
		SR-05	Perangkat lunak harus dapat menyajikan ringkasan teks yang terstruktur dengan estimasi waktu baca (reading time) kepada pengguna.
UR-03	Mahasiswa dapat mengerjakan soal kuis interaktif berbasis materi yang diunggah.	SR-06	Perangkat lunak harus dapat mengirim teks ke Google Gemini AI untuk menghasilkan soal kuis interaktif beserta opsi dan kunci jawabannya.

Kode	User Requirement	Kode	Software Requirement
		SR-07	Perangkat lunak harus dapat merekam setiap jawaban pengguna, menghitung skor total, dan menyimpannya di database
UR-04	Mahasiswa dapat melihat materi dalam bentuk peta pikiran (mindmap)	SR-08	Perangkat lunak harus dapat mengirim teks ke AI untuk menghasilkan struktur data relasional peta konsep
		SR-09	Perangkat lunak harus dapat merender dan memvisualisasikan data peta konsep secara interaktif
UR-05	Mahasiswa dapat mendengarkan materi dalam format audio (podcast).	SR-10	Perangkat lunak harus dapat mengirim skrip narasi teks ke layanan Google Gemini 3.1 Flash TTS API untuk dikonversi menjadi format audio (Text-to-Speech).
		SR-11	Perangkat lunak harus dapat menyediakan alat pemutar audio (audio player) di UI agar pengguna dapat mendengarkan podcast.
UR-06	Mahasiswa dapat melihat materi dalam format presentasi slide visual.	SR-12	Perangkat lunak harus dapat membagi teks materi menjadi bagian-bagian pendek yang terstruktur untuk ditampilkan dalam bentuk barisan slide (Slide Deck).
UR-07	Mahasiswa dapat menonton presentasi video bernarasi dari materi.	SR-13	Perangkat lunak harus dapat merender dan menyinkronkan aset visual slide dengan narasi audio menjadi sebuah tayangan video menggunakan kerangka kerja Remotion
UR-08	Mahasiswa dapat memantau progres belajar dan skor kuis melalui dasbor.	SR-14	Perangkat lunak harus dapat mencatat status penyelesaian belajar dari setiap tipe konten (progress percent) dan menyimpannya ke database
		SR-15	Perangkat lunak harus dapat mengambil data riwayat belajar dan skor kuis untuk divualisasikan dalam sebuah grafik atau dasbor analitik.

4.2.7 Analisis Kebutuhan Non-Fungsional

Kebutuhan non-fungsional mendefinisikan batasan dan standar kualitas yang harus dipenuhi sistem dalam beroperasi. Kebutuhan ini tidak berhubungan langsung dengan fungsi-fungsi spesifik, melainkan mengatur cara sistem harus beroperasi dan teknologi yang digunakan

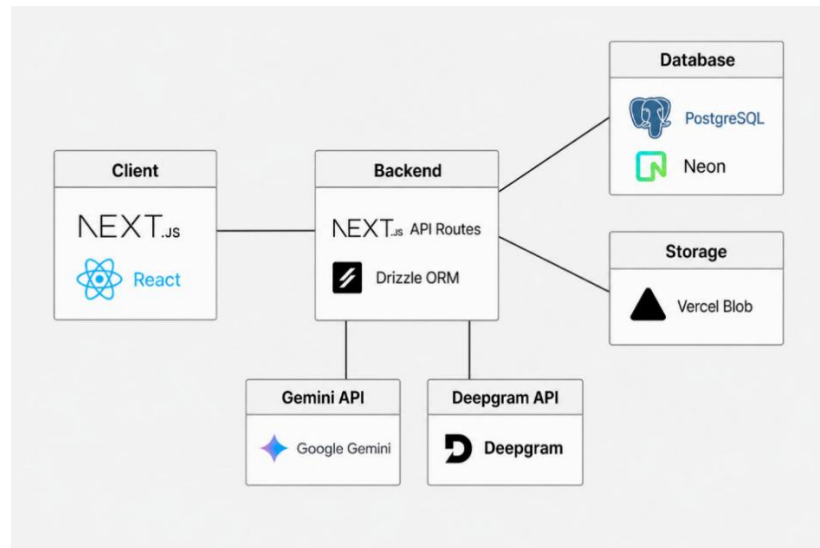
Tabel 4.6 Analisis Kebutuhan Non-Fungsional

Kode	Kategori	Deskripsi
NFR-01	Technology Constraint	Sistem dibangun menggunakan framework Next.js dengan bahasa pemrograman TypeScript, dan basis data PostgreSQL yang dikelola melalui Neon Serverless.
NFR-02	Compatibility	Antarmuka sistem harus dapat diakses melalui peramban web modern (Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge, Safari) tanpa perlu instalasi perangkat lunak tambahan.

Kode	Kategori	Deskripsi
NFR-03	Security	Sistem harus dapat menangani autentikasi pengguna untuk membuktikan keaslian identitas pengguna, serta melindungi data kredensial dengan algoritma hashing
NFR-04	Security	Sistem harus mengelola sesi pengguna secara aman menggunakan token yang divalidasi pada setiap permintaan dan memiliki masa kedaluwarsa untuk mencegah akses tidak sah.
NFR-05	Reliability	Sistem mencatat status proses asinkron, seperti pending, processing, completed, atau failed, serta menjaga data yang telah tersimpan agar tidak rusak ketika proses AI atau layanan pihak ketiga mengalami kegagalan.
NFR-06	Quality Of Service	Sistem harus memberikan indikator kemajuan visual (loading state) yang jelas kepada pengguna selama proses asinkron pemrosesan dokumen PDF dan generasi konten AI berlangsung
NFR-07	Realibility	Sistem harus memiliki penanganan galat (error handling) yang tangguh, menampilkan pesan peringatan yang jelas jika terjadi kegagalan pada ekstraksi PDF atau timeout pada integrasi API pihak ketiga (Gemini/Deepgram).
NFR-08	Usability	Antarmuka sistem harus responsif dan dapat menyesuaikan ukuran layar (mobile-friendly), sehingga dapat digunakan dengan nyaman pada perangkat desktop maupun seluler.

4.2.8 Perancangan Arsitektur Diagram

Arsitektur sistem dirancang menggunakan pendekatan *client-server* yang terdiri dari tiga lapisan utama: *Client Layer*, *Backend Layer*, dan *Data Layer*. Pemisahan lapisan ini bertujuan untuk memastikan skalabilitas, kemudahan pemeliharaan, dan kemandirian antar komponen. Gambar keseluruhan arsitektur sistem dapat dilihat pada Gambar ..



Gambar 4.1 Arsitektur Diagram

4.2.8.1 Client Layer

Client Layer merupakan lapisan antarmuka pengguna yang diimplementasikan sebagai aplikasi web menggunakan Next.js dan React. Lapisan ini bertanggung jawab untuk menampilkan halaman autentikasi, unggah dokumen, hasil pembelajaran (teks, kuis, slide, peta konsep), hingga fitur pembuatan video narasi.

Interaksi pengguna seperti unggah file PDF, proses generate konten, dan render video dikirim ke *Backend Layer* melalui request HTTP/HTTPS. Dengan pendekatan ini, client berperan sebagai penyaji antarmuka, sedangkan seluruh proses bisnis utama dikelola di sisi server.

4.2.8.2 Backend Layer

Backend Layer diimplementasikan menggunakan Next.js API Routes sebagai pusat logika aplikasi. Lapisan ini menangani proses autentikasi, validasi data, orkestrasi AI, pemrosesan dokumen, hingga pengelolaan hasil pembelajaran. Komponen utama pada lapisan ini meliputi:

1. **API Service:** Menyediakan endpoint untuk upload dokumen, proses generate konten, generate narasi, dan render video.
2. **Business Logic Service:** Mengelola alur pemrosesan seperti ekstraksi teks PDF, pembentukan materi microlearning, serta sinkronisasi konten visual-audio.
3. **AI Orchestration Service:** Mengintegrasikan layanan eksternal (Gemini API dan Deepgram API) sesuai kebutuhan proses.
4. **Data Access Service (Drizzle ORM):** Menjembatani backend dengan basis data PostgreSQL secara terstruktur dan aman.

4.2.8.3 AI Integration Layer

Lapisan integrasi AI digunakan untuk menghasilkan konten pembelajaran secara otomatis:

1. **Gemini API:** Digunakan untuk generasi konten utama seperti teks imersif, kuis interaktif, peta konsep, naskah audio, serta kebutuhan generatif lain pada luar pembelajaran.
2. **Deepgram API:** Digunakan untuk transkripsi/analisis audio pada level kata (*word-level timestamps*) agar sinkronisasi narasi dengan elemen visual pada video menjadi lebih presisi.

4.2.8.4 Data Layer

Data Layer berfungsi sebagai penyimpanan data terstruktur aplikasi menggunakan **PostgreSQL (Neon)**. Data yang disimpan mencakup data pengguna, metadata dokumen, status proses, konten hasil generasi, progres belajar, dan informasi terkait render. Akses ke basis data dilakukan melalui **Drizzle ORM** sehingga operasi query lebih konsisten, terkelola, dan mudah dipelihara.

4.2.8.5 Storage Layer

Storage Layer menggunakan **Vercel Blob** untuk menyimpan berkas tidak terstruktur, seperti file PDF yang diunggah, aset gambar slide, file audio, dan artefak media lain.

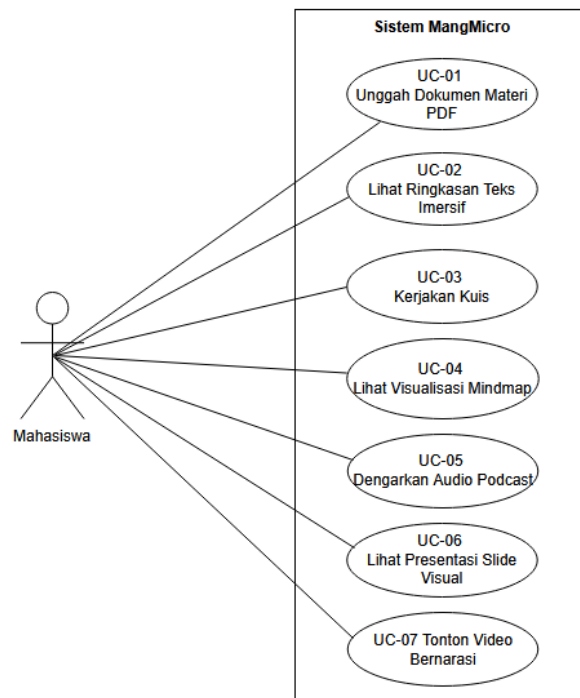
Pemisahan antara penyimpanan objek (Blob) dan data relasional (PostgreSQL) membuat arsitektur lebih efisien, skalabel, serta memudahkan pengelolaan aset multimedia dalam sistem.

4.3 Software Design

Software Design merupakan tahapan perancangan sistem yang mendefinisikan bagaimana Platform MangMicro akan diimplementasikan secara teknis. Dalam perancangan perangkat lunak, berbagai notasi dan model digunakan untuk merepresentasikan desain sistem. Pada Platform MangMicro, model perancangan yang digunakan meliputi Use Case Diagram, Activity Diagram, Skenario Use Case, Sequence Diagram, Entity Relationship Diagram (ERD/CDM), dan Physical Data Model (PDM).

4.3.9 Use Case Diagram

Use Case Diagram digunakan untuk menggambarkan interaksi antara pengguna (aktor) dengan sistem Platform MangMicro. Diagram ini menunjukkan seluruh fungsionalitas sistem yang dapat digunakan oleh aktor, beserta hubungan antar use case. Terdapat satu aktor yang berinteraksi dengan sistem yaitu Mahasiswa sebagai pengguna utama.



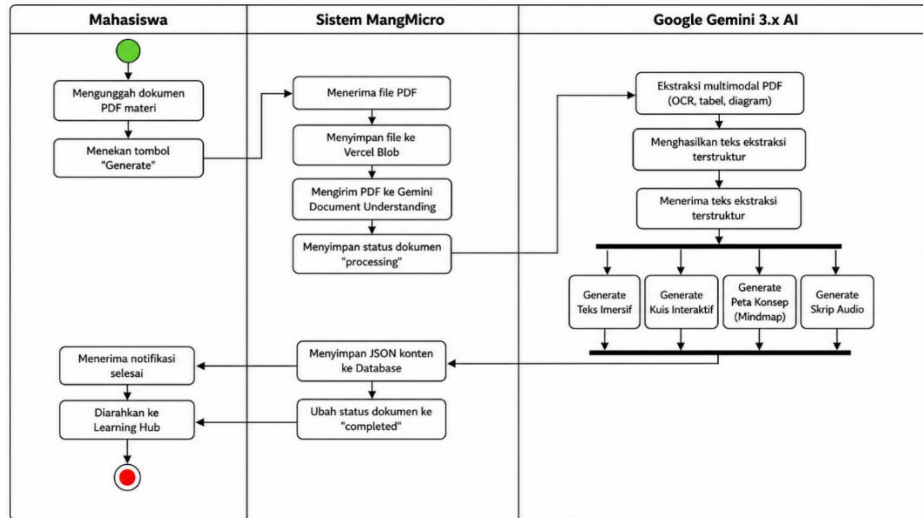
Gambar 4.2 Use Case Diagram

Tabel 4.7 Deskripsi Use Case

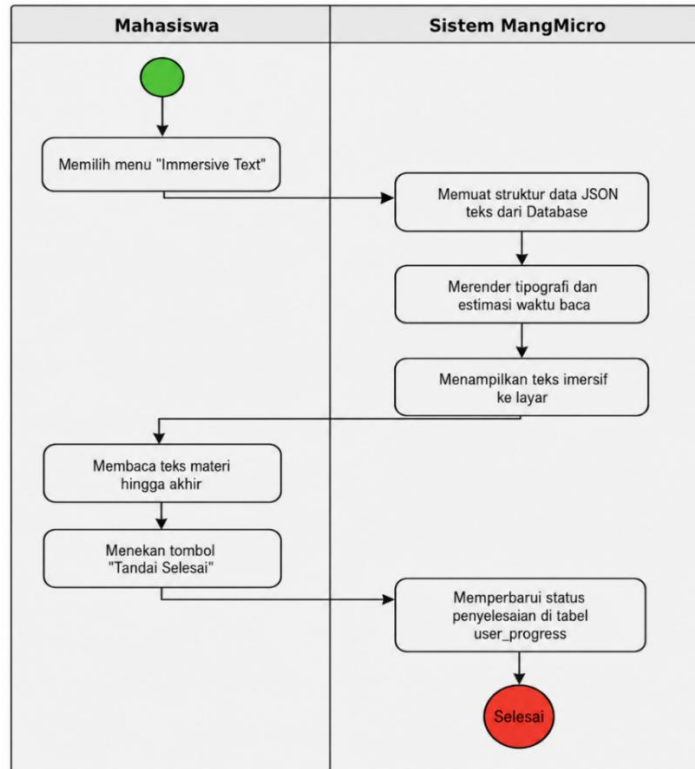
Kode UC	Nama Use Case	Aktor	Deskripsi Singkat
UC-01	Unggah Dokumen Materi PDF	Mahasiswa	Mahasiswa mengunggah dokumen PDF materi kuliah ke platform sebagai sumber konten microlearning
UC-02	Lihat Ringkasan Teks Imersif	Mahasiswa	Mahasiswa membaca ringkasan materi dalam format teks naratif yang terstruktur dan imersif
UC-03	Kerjakan Kuis	Mahasiswa	Mahasiswa mengerjakan soal kuis interaktif yang dihasilkan dari materi PDF untuk menguji pemahaman
UC-04	Lihat Visualisasi Mindmap	Mahasiswa	Mahasiswa menjelajahi peta konsep visual yang menggambarkan hubungan antar-konsep dalam materi
UC-05	Dengarkan Audio Podcast	Mahasiswa	Mahasiswa mendengarkan materi kuliah dalam format audio podcast yang dapat diputarkan kapan saja
UC-06	Lihat Presentasi Slide Visual	Mahasiswa	Mahasiswa melihat materi yang disajikan dalam format slide presentasi visual yang ringkas
UC-07	Tonton Video Bernarasi	Mahasiswa	Mahasiswa menonton video pembelajaran yang menggabungkan narasi suara dengan tampilan visual

4.3.10 Activity Diagram

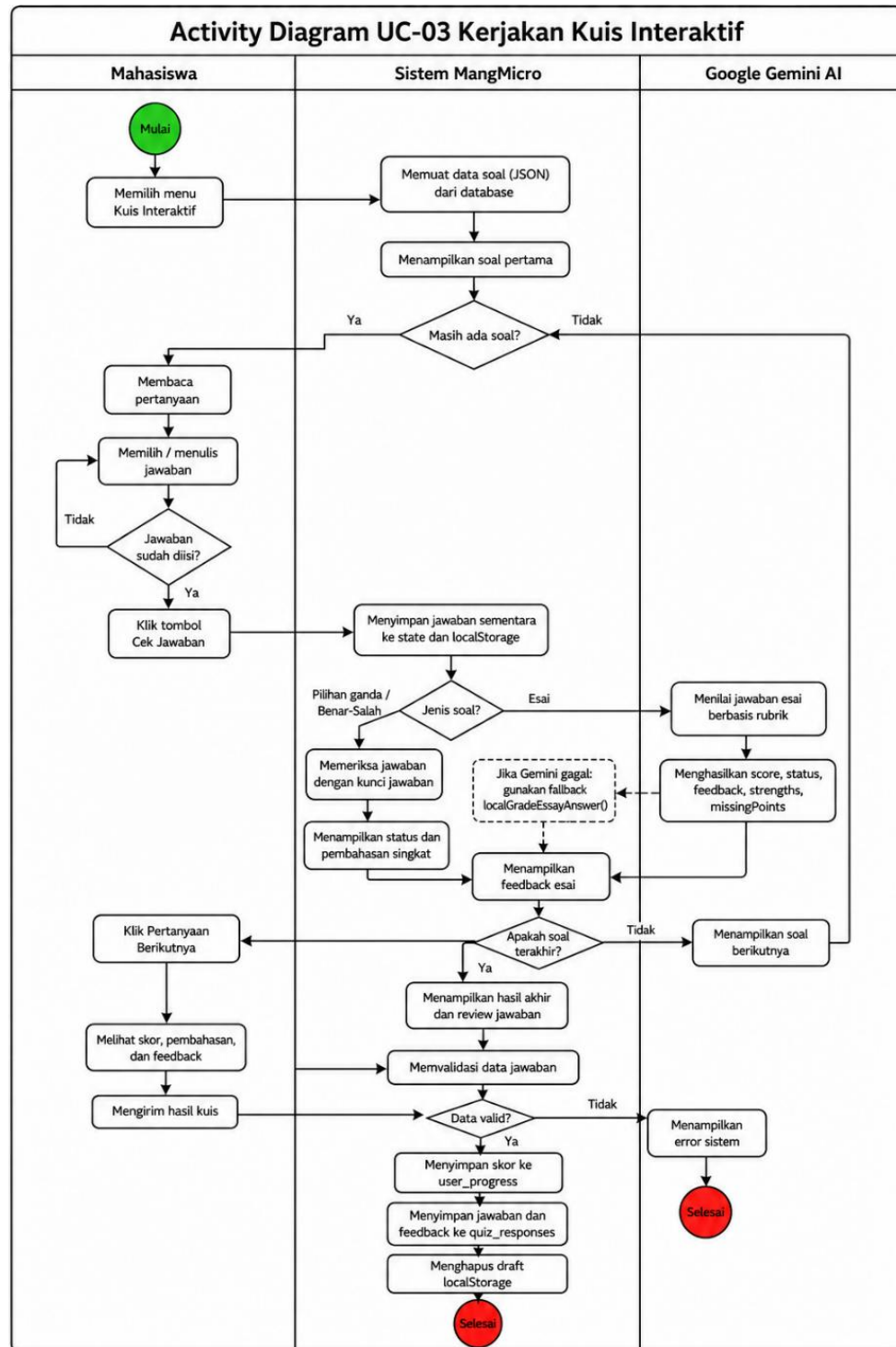
Activity Diagram digunakan untuk menggambarkan alur aktivitas dari setiap use case dalam Platform MangMicro. Diagram ini menunjukkan urutan langkah-langkah yang dilakukan oleh aktor dan sistem dalam menyelesaikan sebuah use case. Berikut adalah daftar Activity Diagram yang dirancang untuk Platform MangMicro:



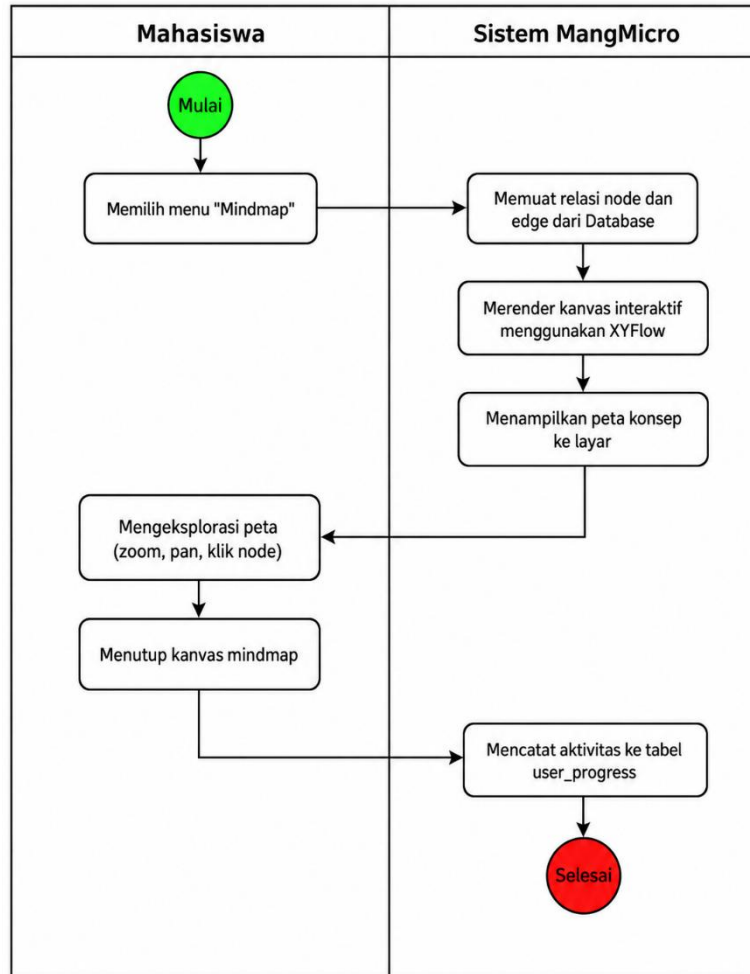
Gambar 4.3 Activity Diagram UC-01



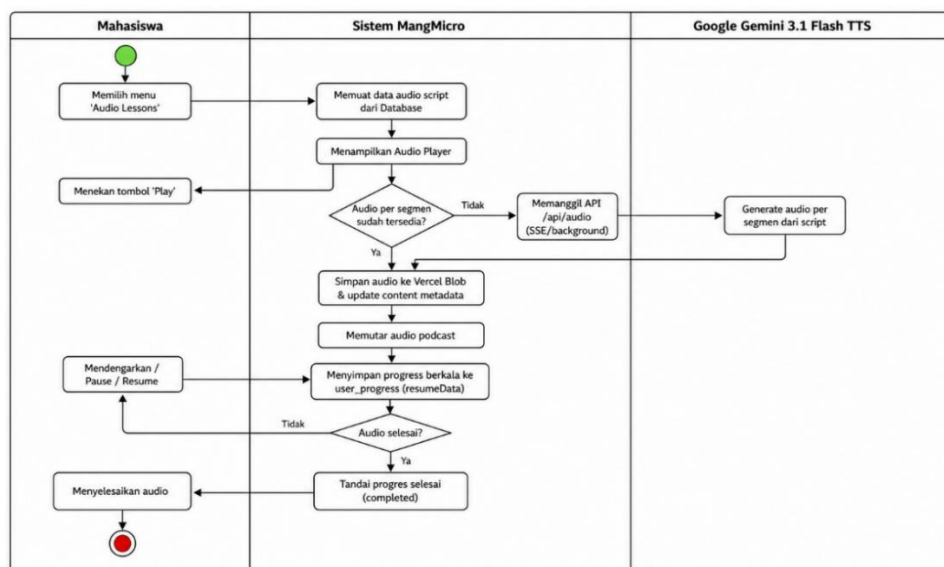
Gambar 4.4 Activity Diagram UC-02



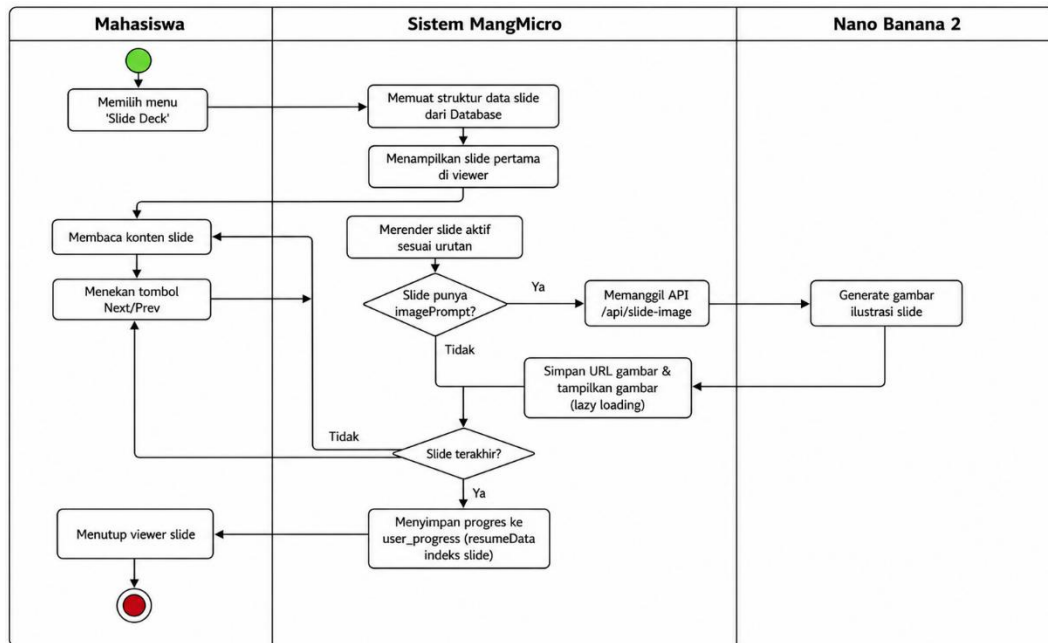
Gambar 4.5 Activity Diagram UC-03



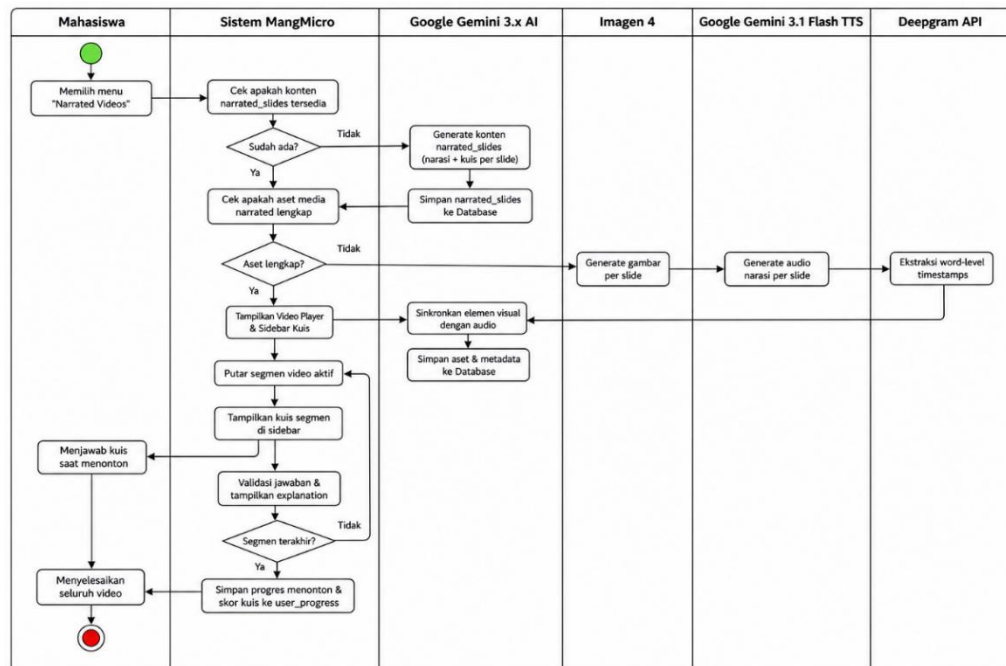
Gambar 4.6 Activity Diagram UC-04



Gambar 4.7 Activity Diagram UC-05



Gambar 4.8 Activity Diagram UC-06



Gambar 4.9 Activity Diagram UC-07

4.3.11 Skenario Use Case

Skenario Use Case mendeskripsikan interaksi antara aktor dan sistem secara rinci untuk setiap use case yang telah diidentifikasi. Setiap skenario mencakup kondisi awal (pre-condition), kondisi akhir (post-condition), alur utama (main flow), alur alternatif, dan alur pengecualian.

Tabel 4.8 Skenario UC-01

Identifikasi		
Use Case ID	UC-01	
Nama Use Case	Unggah PDF Materi	
Aktor	Mahasiswa	
Prekondisi	Pengguna telah login ke dalam sistem dan berada di halaman Dasbor.	
Postkondisi	Dokumen PDF tersimpan, teks terekstraksi, proses transformasi AI (teks, kuis, slide, mindmap, audio) selesai dijalankan, dan data tersimpan di basis data.	
Tujuan	Memasukkan materi kuliah ke dalam sistem agar dapat diproses oleh AI menjadi format pembelajaran interaktif.	
Skenario Utama		
Kondisi Awal: Unggah PDF Materi		
No	Aktor	Sistem
1	Pelajar mengakses halaman "Upload" dan memilih file dokumen berformat PDF dari perangkatnya.	
2		Sistem memvalidasi ekstensi dan ukuran file PDF. Jika valid, sistem menampilkan indikator loading.
3	Pelajar menekan tombol "Generate" atau "Proses".	
4		Sistem mengunggah file ke penyimpanan (Vercel Blob) dan mengekstraksi teks dari dokumen PDF.
5		Sistem mengirim teks ke Google Gemini AI untuk mem-generate 5 format konten dasar (immersive text, quiz, slide, mindmap, audio script) secara paralel.
6		Sistem menyimpan hasil kembalian AI berupa JSON ke tabel 'learning_content' dan memperbarui status menjadi 'completed'.
7		Sistem menampilkan notifikasi sukses dan mengarahkan Pelajar ke halaman Materi dokumen tersebut.

Tabel 4.9 Skenario UC-02

Identifikasi	
Use Case ID	UC-02
Nama Use Case	Lihat Ringkasan Teks Imersif
Aktor	Mahasiswa
Prekondisi	Dokumen materi telah selesai diproses oleh AI dan pengguna berada di halaman Learning Hub.
Postkondisi	Progres membaca teks tersimpan di basis data.
Tujuan	Membaca materi dalam bentuk teks yang lebih terstruktur dengan estimasi waktu baca untuk efisiensi belajar.
Skenario Utama	
Kondisi Awal: Halaman Learning Hub	

Identifikasi		
No	Aktor	Sistem
1	Mahasiswa memilih opsi "Immersive Text" dari daftar format.	
2		Sistem memuat struktur data JSON dari tabel 'learning_content'
3		Sistem merender konten ke antarmuka dengan tipografi yang bersih, poin-poin utama, dan estimasi waktu baca.
4	Mahasiswa membaca materi dan menandainya sebagai selesai saat tiba di akhir halaman	
5		Sistem memperbarui presentase kemajuan di tabel 'user_progress'
Skenario Alternatif		
1	Mahasiswa keluar sebelum sesuai membaca	
2		Sistem menyimpan data untuk melanjutkan nanti

Tabel 4.10 Skenario UC-03

Identifikasi		
Use Case ID	UC-03	
Nama Use Case	Kerjakan Kuis Interaktif AI	
Aktor	Mahasiswa	
Prekondisi	Dokumen materi telah selesai diproses oleh AI dan pengguna berada di halaman Learning Hub.	
Postkondisi	Skor kuis dan rekam jejak jawaban tersimpan di basis data (tabel 'user_progress' dan 'quiz_responses')	
Tujuan	Menguji tingkat pemahaman pengguna terhadap materi yang telah diunggah.	
Skenario Utama		
Kondisi Awal: Halaman Kuis Interaktif		
No	Aktor	Sistem
1	Mahasiswa membuka halaman Learning Hub dari dokumen yang telah diproses.	Sistem menampilkan daftar format pembelajaran yang tersedia.
2	Mahasiswa membaca soal dan memilih/menulis jawaban.	Sistem menyimpan jawaban sementara pada state halaman dan localStorage.
3	Mahasiswa menekan tombol Cek Jawaban.	Sistem memeriksa jenis soal yang sedang dikerjakan.
4		Jika soal berupa pilihan ganda atau benar/salah, sistem membandingkan jawaban mahasiswa dengan kunci jawaban.
5		Sistem menampilkan status hasil jawaban dan pembahasan singkat.
6	Mahasiswa menekan tombol "Selesai" pada soal terakhir.	Jika soal berupa esai, sistem mengirim pertanyaan, jawaban mahasiswa, contoh

Identifikasi		
		jawaban, kata kunci, dan rubrik ke Gemini AI melalui endpoint /api/quiz/grade-essay.
7		Gemini memberikan hasil penilaian berupa skor, status evaluasi, feedback, poin yang sudah tepat, dan poin yang perlu dilengkapi.
8	Mahasiswa melihat feedback jawaban.	Sistem menampilkan status Jawaban Memadai atau Perlu Dilengkapi, skor esai, serta umpan balik singkat.
9	Mahasiswa menekan tombol Pertanyaan Berikutnya	Sistem menampilkan soal berikutnya dan memperbarui progres pengerjaan.
10	Mahasiswa menyelesaikan seluruh soal.	Sistem menampilkan skor pemahaman, jumlah jawaban tercapai, jumlah jawaban yang perlu diulas, serta review jawaban.
11		Sistem mengirim hasil kuis ke endpoint /api/quiz/submit.
12		Sistem menyimpan jawaban, status evaluasi, waktu pengerjaan, dan feedback esai ke tabel quiz_responses, serta memperbarui progres pada tabel user_progress.
Skenario Alternatif		
A1	Mahasiswa me-refresh halaman saat di tengah pengerjaan kuis.	Sistem memulihkan posisi soal, jawaban sementara, dan hasil cek jawaban dari localStorage.
A2	Mahasiswa belum memilih atau mengisi jawaban.	Tombol Cek Jawaban tidak aktif sampai jawaban diisi.
A3	Proses penilaian esai menggunakan Gemini gagal.	Sistem menggunakan fallback penilaian lokal berbasis keyword dan kemiripan konsep.
A4	Hasil kuis gagal disimpan ke basis data.	Sistem menampilkan pesan kesalahan penyimpanan, tetapi hasil pengerjaan tetap ditampilkan pada halaman.
A5	Mahasiswa memilih mengulang kuis.	Sistem menghapus draft pengerjaan dari localStorage dan memulai kuis dari soal pertama.

Tabel 4.11 Skenario UC-04

Identifikasi	
Use Case ID	UC-04
Nama Use Case	Lihat Visualisasi Mindmap
Aktor	Mahasiswa
Prekondisi	Dokumen materi telah selesai diproses oleh AI dan pengguna berada di halaman Learning Hub.
Postkondisi	Progress visualisasi mindmap tersimpan di basis data.
Tujuan	Membantu pengguna memahami relasi antar konsep-konsep kunci dalam materi melalui grafik visual
Skenario Utama	
Kondisi Awal: Halaman Learning Hub	

Identifikasi		
No	Aktor	Sistem
1	Mahasiswa memilih opsi "Mindmap" dari daftar format.	
2		Sistem memuat relase <i>node</i> dan <i>edge</i> yang dihasilkan oleh AI dari basis data.
3		Sistem menggunakan <i>library XYFLOW</i> untuk merender kanvas interaktif yang berisi peta konsep
4	Mahasiswa menggeser, memperbesar/memperkecil, untuk mengeksplorasi peta konsep	
5	Mahasiswa mengklik salah satu <i>node</i> konsep spesifik pada kanvas mindmap	
6		Sistem menampilkan modal <i>popup</i> yang berisi deskripsi dan penjelasan mendalam mengenai konsep tersebut.
7	Mahasiswa keluar dari kanvas mindmap.	
8		Sistem mencatat aktivitas tersebut ke dalam tabel 'user_progress'.

Tabel 4.12 Skenario UC-05

Identifikasi		
Use Case ID	UC-05	
Nama Use Case	Dengarkan Audio Podcast	
Aktor	Mahasiswa	
Prekondisi	Dokumen materi telah selesai diproses oleh AI dan konten audio script tersedia pada Learning Hub.	
Postkondisi	Progres mendengarkan audio tersimpan di basis data.	
Tujuan	Memungkinkan pengguna untuk belajar melalui pendengaran saat sedang melakukan aktivitas lain (<i>multitasking</i>).	
Skenario Utama		
Kondisi Awal: Halaman Learning Hub		
No	Aktor	Sistem
1	Mahasiswa memilih opsi “Audio Lessons” dari daftar format.	
2		Sistem memuat URL <i>file</i> audio dari tabel 'learning_content' dan menampilkannya di <i>audio player</i> .
3	Mahasiswa menekan tombol “Play” pada <i>audio player</i> .	
4		Sistem mengecek apakah file audio sudah digenerate (audioUrl tersedia). Jika belum, sistem memanggil API untuk men- <i>generate</i> TTS terlebih dahulu dan menampilkan indikator progres
5		Sistem memutar audio pelajaran
6	Mahasiswa menjeda atau menyelesaikan audio.	
7		Sistem mencatat sejauh mana audio telah didengarkan ke tabel 'user_progress'.

Tabel 4.13 Skenario UC-06

Identifikasi	
Use Case ID	UC-06
Nama Use Case	Lihat Presentasi Slide
Aktor	Mahasiswa

Identifikasi		
Prekondisi	Dokumen materi telah selesai diproses oleh AI menjadi struktur <i>slide</i>	
Postkondisi	Progres melihat <i>slide</i> presentasi tersimpan di basis data.	
Tujuan	Menawarkan alternatif belajar materi melalui poin-poin yang lebih singkat di dalam <i>slide</i> presentasi yang rapi.	
Skenario Utama		
Kondisi Awal: Halaman Learning Hub		
No	Aktor	Sistem
1	Mahasiswa memilih opsi "Slide Deck" dari daftar format.	
2		Sistem memuat struktur <i>slide</i> dari basis data dan menampilkannya menggunakan penampil horizontal
3	Pelajar menekan tombol "Next" atau "Prev" untuk berpindah antar <i>slide</i> .	
4		Sistem memperbarui <i>slide</i> yang aktif sesuai dengan urutan presentasi.
5		Jika <i>slide</i> memiliki instruksi visual, sistem memanggil API untuk men- <i>generate</i> dan memuat gambar secara asinkron
6	Mahasiswa mencapai <i>slide</i> terakhir dan keluar.	
7		Sistem menyimpan status penyelesaian ke tabel 'user_progress'.

Tabel 4.14 Skenario UC-07

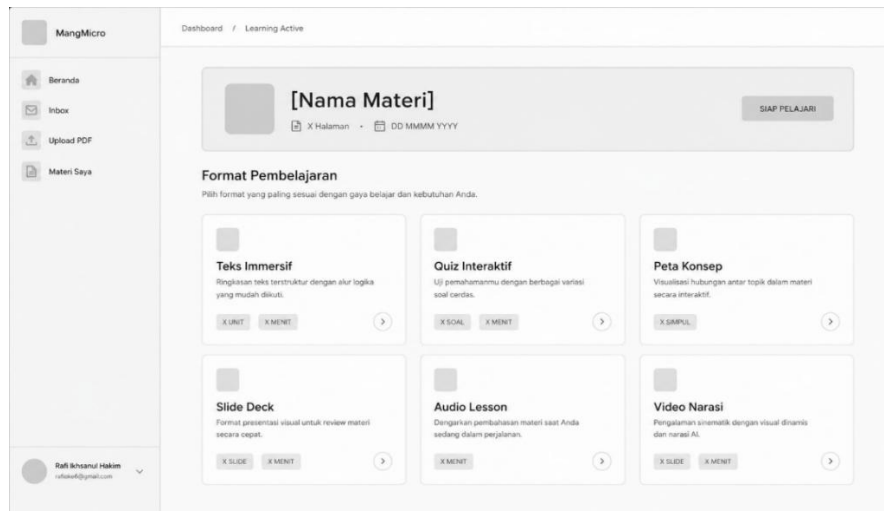
Identifikasi		
Use Case ID	UC-07	
Nama Use Case	Tonton Video Bernarasi	
Aktor	Mahasiswa	
Prekondisi	Dokumen sudah selesai diproses menjadi format dasar (immersive text, quiz, slides, mindmap, audio) dan pengguna berada di Learning Hub	
Postkondisi	Progres menonton dan nilai kuis sisipan tersimpan di basis data.	
Tujuan	Menyediakan pengalaman multimodal dengan menggabungkan animasi <i>slide</i> interaktif, narasi audio, dan kuis penyela	
Skenario Utama		
Kondisi Awal: Halaman Learning Hub		
No	Aktor	Sistem
1	Mahasiswa memilih opsi "Video Narasi" dari daftar format.	
2		Sistem memeriksa apakah konten 'narrated_slides' sudah tersedia pada dokumen.
3	Mahasiswa menekan tombol "Buat video narasi" saat konten 'narrate_slides' belum tersedia.	
4		Sistem memanggil API '/api/narrated/generate' untuk membangun struktur narasi dan kuis per slide, lalu memuat halaman pemutar narasi.
5		Sistem menampilkan Video Player dan sidebar Active Learning.
6	Mahasiswa menekan tombol "Generate Video" saat aset media video belum lengkap.	
7		Sistem memanggil API '/api/render-video' untuk menghasilkan gambar slide, audio narasi, dan sinkronisasi timestamp (Deepgram).

Identifikasi		
8	Mahasiswa menonton video yang berputar otomatis per segmen.	
9		Sistem mensinkronkan segmen video dengan pertanyaan kuis yang relevan di panel sidebar.
10	Mahasiswa menjawab pertanyaan kuis di sidebar saat video menjelaskan segmen terkait.	
11		Sistem memvalidasi jawaban secara instan (benar/salah) dan menampilkan penjelasan AI
12	Mahasiswa menyelesaikan seluruh durasi video.	
13		Sistem mencatat progres menonton dan total skor kuis ke tabel 'user_progress'.
Skenario Alternatif		
No	Kondisi	Aksi Sistem
1a	Konten 'narrated_slides' belum ada saat halaman dibuka	Sistem menampilkan halaman generator dan menunggu pengguna menekan tombol "Buat video narasi".
2a	Mahasiswa menjawab pertanyaan kuis di sidebar dengan opsi yang salah	Sistem menampilkan indikator jawaban salah beserta penjelasan, lalu video otomatis dilanjutkan kembali setelah jeda singkat tanpa mengharuskan pengguna mengulang

4.4 Prototype

Prototype merupakan rancangan awal sistem yang digunakan untuk menggambarkan bentuk antarmuka dan alur kerja aplikasi sebelum implementasi dilakukan. Pada penelitian ini, prototype disusun berdasarkan setiap use case yang telah ditentukan, sehingga dapat menunjukkan bagaimana pengguna berinteraksi dengan sistem pada tiap fitur. Prototype ini juga menjadi acuan dalam proses pengembangan dan evaluasi awal sistem.

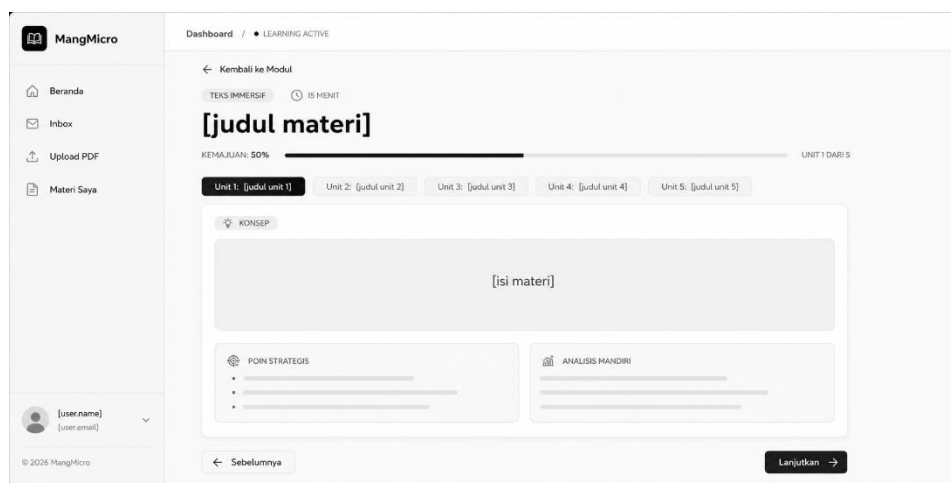
4.4.12 UC-01: Unggah Dokumen Materi PDF



Gambar 4.10 Halaman Learning Hub

Gambar 4.10 memperlihatkan halaman Learning Hub yang menjadi pusat akses terhadap konten pembelajaran dari dokumen PDF yang telah diproses. Pada halaman ini, pengguna dapat melihat informasi materi dan memilih enam format pembelajaran, yaitu Teks Imersif, Kuis Interaktif, Peta Konsep, Slide Deck, Audio Lesson, dan Video Narasi. Setiap pilihan dilengkapi informasi ringkas dan tombol navigasi menuju halaman pembelajaran terkait. Prototype ini merepresentasikan struktur navigasi, pengelompokan fitur, dan konsep utama antarmuka platform MangMicro, sedangkan rincian implementasi setiap halaman dijelaskan pada Bab V.

4.4.13 UC-02: Lihat Teks Imersif

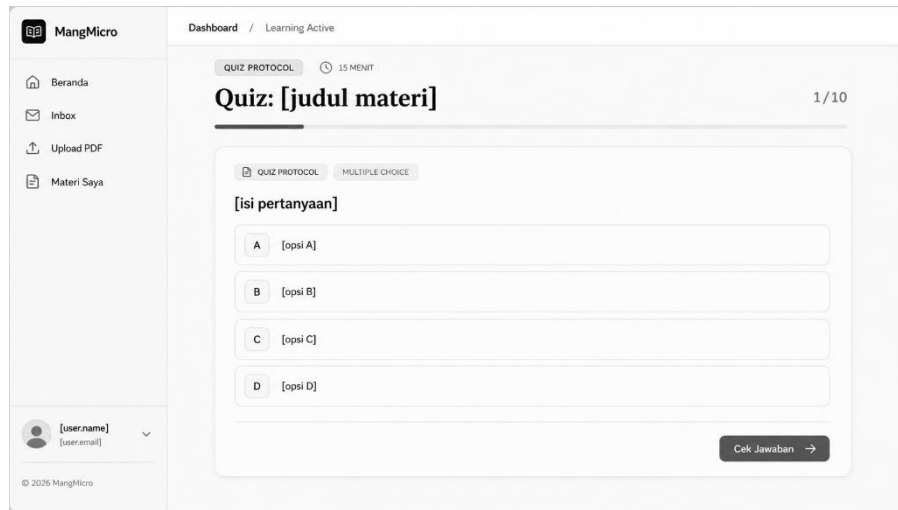


Gambar 4.11 Halaman Teks Imersif

Halaman ini memuat elemen navigasi, indikator kemajuan, daftar unit materi, area konten utama, serta kontrol perpindahan antarbagian materi. Judul materi pada prototype dituliskan dalam bentuk placeholder **[judul materi]**, sedangkan isi pembahasan ditampilkan sebagai **[isi materi]** untuk

merepresentasikan konten dinamis yang dihasilkan sistem. Tampilan ini menunjukkan bahwa pengguna dapat memantau progres belajar secara bertahap sambil melanjutkan materi pada unit berikutnya.

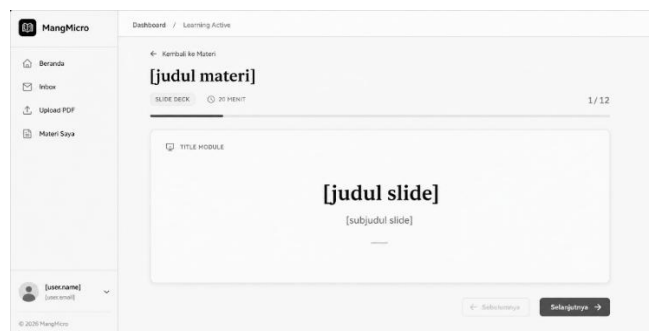
4.4.14 UC-03: Kerjakan Kuis Interaktif



Gambar 4.12 Halaman Kuis

Halaman ini memuat judul kuis, indikator nomor/progres soal (misalnya 1/10), serta area pertanyaan dengan beberapa opsi jawaban pilihan ganda. Pengguna memilih salah satu opsi, kemudian menekan tombol Cek Jawaban untuk memvalidasi respons sebelum melanjutkan ke soal berikutnya. Prototype ini menunjukkan alur evaluasi pemahaman yang terstruktur, sehingga pengguna dapat mengukur tingkat penguasaan materi

4.4.15 UC-04: Lihat Slide Materi

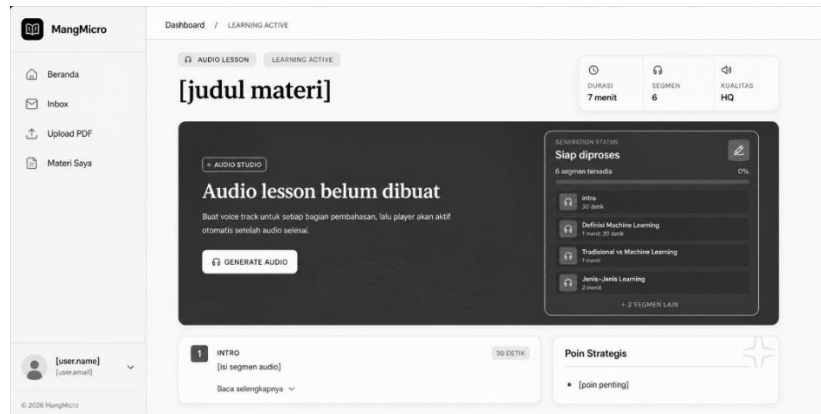


Gambar 4.13 Halaman Slide Deck

Halaman Slide Deck sebagai representasi use case pembelajaran visual berbasis slide. Pengguna dapat melihat judul materi, indikator urutan slide (misalnya 1/12), serta progres pembelajaran pada bagian

atas halaman. Area utama menampilkan konten slide dalam format terstruktur dengan placeholder [judul slide] dan [subjudul slide] yang merepresentasikan isi dinamis hasil generasi sistem. Navigasi Sebelumnya dan Selanjutnya disediakan untuk perpindahan antar slide secara berurutan, sehingga pengguna dapat meninjau materi dengan alur yang jelas dan terkontrol.

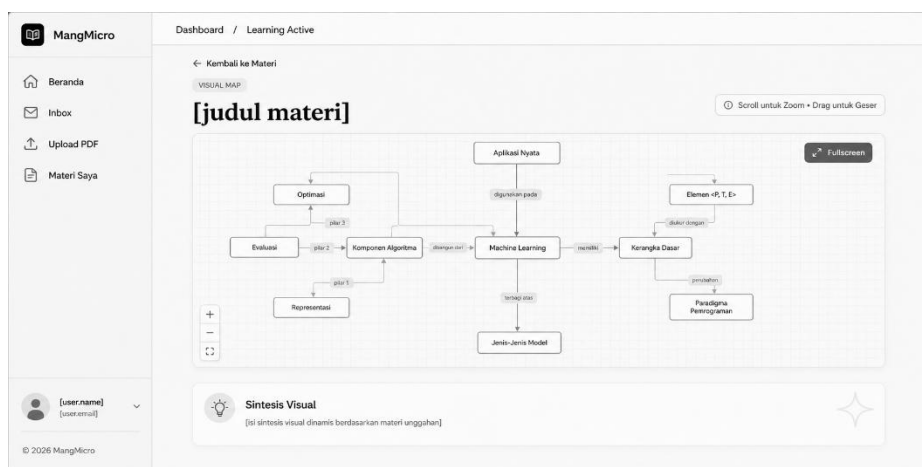
4.4.16 UC-05: Generate & Putar Audio



Gambar 4.14 Halaman Awal *Audio Lesson*

Menampilkan prototype Learning Audio pada kondisi awal ketika audio pembelajaran belum dibuat. Halaman ini menampilkan judul materi [judul materi], ringkasan informasi audio (durasi, jumlah segmen, dan kualitas), serta panel status generasi dengan progres awal 0%. Pengguna dapat menekan tombol Generate Audio untuk memulai proses pembentukan narasi suara per segmen. Setelah proses berjalan, pengguna dapat mengakses daftar segmen audio melalui kartu konten dan melihat poin penting pembelajaran pada panel pendukung, sehingga pengalaman belajar berbasis audio menjadi lebih terstruktur.

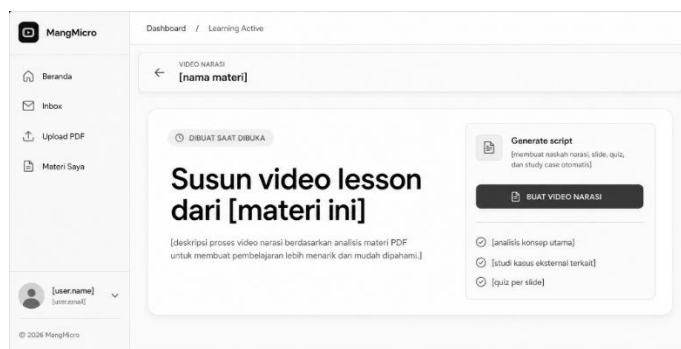
4.4.17 UC-06: Lihat Peta Konsep



Gambar 4.15 Halaman Peta Konsep

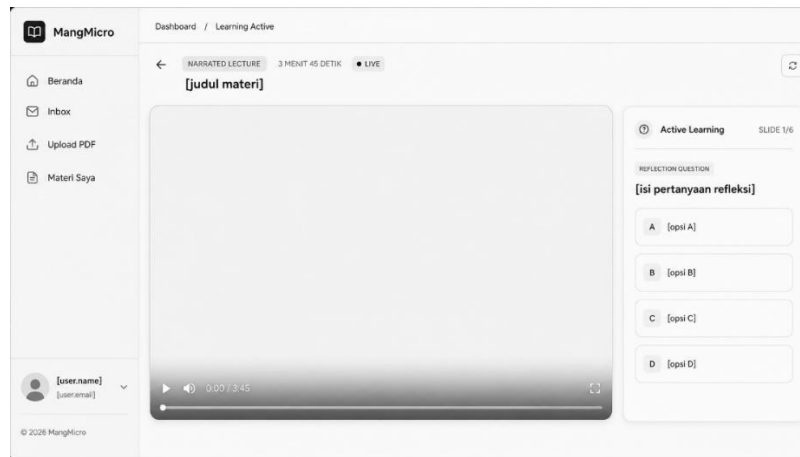
Gambar 4.9 menampilkan prototype UC-06 Visual Map yang memfasilitasi pengguna untuk melihat keterkaitan antar konsep materi dalam bentuk peta visual interaktif. Halaman ini memuat judul materi [judul materi], area peta konsep dengan node dan relasi, serta kontrol interaksi seperti *zoom* dan *fullscreen* untuk memudahkan eksplorasi struktur pengetahuan. Pada bagian bawah, sistem menampilkan panel Sintesis Visual dengan isi yang bersifat dinamis, yaitu ringkasan konseptual yang dihasilkan berdasarkan dokumen materi yang diunggah pengguna. Dengan demikian, prototype ini menunjukkan bahwa visualisasi dan narasi konsep menyesuaikan konteks materi secara otomatis, bukan konten statis.

4.4.18 UC-07: Tonton Video Bernarasi



Gambar 4.16 Halaman Awal Video Narasi

Pada tampilan ini, pengguna melihat ringkasan konteks materi [nama materi], deskripsi singkat proses, serta panel aksi untuk memulai pembentukan narasi. Tombol **Buat Video Narasi** berfungsi sebagai pemicu utama agar sistem menghasilkan naskah narasi dan menyusun komponen video berdasarkan konten materi yang telah diunggah. Halaman ini menegaskan bahwa proses video pada UC-07 bersifat *on-demand*, yaitu dimulai setelah pengguna memberikan perintah generate, bukan otomatis saat unggah dokumen.



Gambar 4.17 Halaman Video Player

Pada tampilan ini, pengguna dapat menonton video materi pada panel utama, sementara panel samping menampilkan pertanyaan reflektif per slide beserta opsi jawaban untuk menguji pemahaman secara langsung. Informasi status seperti durasi dan indikator slide membantu pengguna memahami posisi belajar saat ini. Prototype ini menunjukkan bahwa UC-07 tidak hanya berfokus pada penyajian video, tetapi juga menggabungkan evaluasi interaktif agar proses belajar lebih aktif dan terarah.

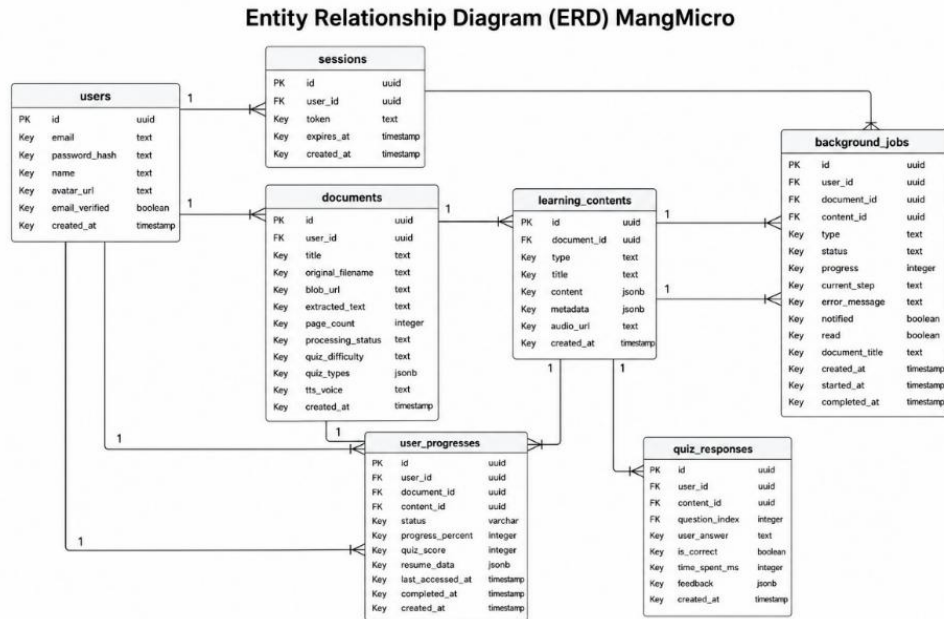
4.5 Perancangan Basis Data

Perancangan basis data pada sistem MangMicro dirancang menggunakan arsitektur relasional pada platform PostgreSQL dengan dukungan Drizzle ORM sebagai pengelola schema dan query database. Fokus perancangan ini adalah untuk mengintegrasikan data pengguna, dokumen PDF yang diunggah, hasil ekstraksi dokumen, konten microlearning yang dihasilkan oleh Gemini AI, progres belajar mahasiswa, hasil kuis, serta proses pembuatan media seperti audio dan video bernarasi.

Basis data dirancang agar mampu mendukung alur utama sistem, mulai dari autentikasi pengguna, manajemen dokumen, pemrosesan konten berbasis AI, penyimpanan hasil pembelajaran dalam berbagai format, hingga pencatatan progres belajar pengguna. Dengan struktur basis data yang terorganisasi, sistem dapat menjaga keterkaitan antara dokumen sumber, hasil generasi konten, dan aktivitas belajar mahasiswa.

1. *Entity Relationship Diagram (ERD)*

Berikut adalah skema database yang menggambarkan hubungan antar tabel di dalam sistem MangMicro. ERD ini digunakan untuk menunjukkan keterkaitan antara entitas utama, seperti pengguna, sesi login, dokumen, konten pembelajaran, progres pengguna, respons kuis, dan background job untuk pemrosesan media.



Gambar 4.18 Entity Relationship Diagram

Berdasarkan skema visual di atas, hubungan antar entitas pada sistem MangMicro dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Entitas Pusat : Tabel `users` bertindak sebagai entitas utama yang menyimpan identitas pengguna. Hampir seluruh aktivitas pada sistem, seperti unggah dokumen, pencatatan progres, pengiriman jawaban kuis, dan proses generasi media, terhubung dengan entitas ini melalui `user_id`.
2. Hierarki Materi : Tabel `documents` menyimpan informasi dokumen PDF yang diunggah oleh pengguna, seperti judul materi, nama file asli, lokasi penyimpanan file, teks hasil ekstraksi, dan status pemrosesan. Setiap dokumen kemudian dapat menghasilkan beberapa data pada tabel `learning_content`, seperti teks imersif, kuis, slide deck, audio lesson, peta konsep, dan video narasi.
3. Pelacakan Aktivitas Belajar : Tabel `user_progresses` digunakan untuk mencatat progres pengguna ketika mengakses konten pembelajaran. Data yang disimpan mencakup status belajar, persentase penyelesaian, skor kuis, data untuk melanjutkan pembelajaran, serta waktu akses terakhir.
4. Penyimpanan Jawaban Kuis : Tabel `quiz_responses` menyimpan detail jawaban pengguna pada kuis interaktif. Setiap jawaban dihubungkan dengan pengguna dan konten kuis tertentu, sehingga sistem dapat mencatat jawaban, status benar atau salah, serta waktu yang digunakan untuk menjawab.

5. Manajemen Sesi : Tabel sessions digunakan untuk menyimpan sesi login pengguna. Relasi ini memastikan bahwa akses ke sistem hanya dilakukan oleh pengguna yang memiliki sesi autentikasi yang valid.

6. Proses Latar Belakang : Tabel background_jobs mencatat proses yang berjalan secara asynchronous, seperti pembuatan audio dan video narasi. Tabel ini menyimpan jenis proses, status, progres, tahap yang sedang berjalan, pesan error jika terjadi kegagalan, serta status notifikasi kepada pengguna.

BAB 5

IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN SISTEM

5.1 Implementasi Sistem

Berdasarkan alur penyelesaian tugas akhir pada Tabel 3.1, Bab 5 berfokus pada Tahap 5, yaitu implementasi sistem, serta Tahap 6, yaitu pengujian dan evaluasi. Implementasi sistem dilakukan untuk merealisasikan hasil analisis dan perancangan yang telah dijelaskan pada Bab IV menjadi platform web MangMicro yang dapat digunakan oleh mahasiswa dalam mengolah dokumen materi perkuliahan menjadi konten microlearning.

Implementasi sistem pada penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan Agile Iterative Development. Pendekatan ini dipilih karena pengembangan platform MangMicro memiliki beberapa fitur yang saling berkaitan dan membutuhkan proses penyempurnaan secara bertahap. Setiap iterasi menghasilkan bagian sistem yang dapat diuji, dievaluasi, dan diperbaiki sebelum dilanjutkan ke fitur berikutnya.

Platform MangMicro dibangun sebagai aplikasi web berbasis Next.js yang memiliki fitur utama berupa unggah dokumen PDF, ekstraksi teks, generasi konten berbasis AI, penyajian konten pembelajaran, audio lesson, peta konsep, video bernarasi, autentikasi pengguna, serta progress tracking.

5.1.1 Pelaksanaan Iterasi Pengembangan

Implementasi sistem dilakukan melalui beberapa iterasi pengembangan. Setiap iterasi berfokus pada kelompok fitur tertentu agar proses konstruksi dapat dilakukan secara bertahap dan mudah dievaluasi.

Tabel 5.1 Iterasi Pengembangan Sistem

Iterasi	Fokus Pengembangan	Hasil Implementasi
Iterasi 1	Autentikasi dan manajemen dokumen	Login, register, session, upload PDF, ekstraksi teks
Iterasi 2	Generasi konten AI dasar	Teks imersif, kuis interaktif, dan slide materi
Iterasi 3	Konten visual dan audio	Peta konsep, audio script, dan text-to-speech
Iterasi 4	Video bernarasi	Narrated slides, aset visual, audio narasi, dan sinkronisasi
Iterasi 5	Pengujian dan penyempurnaan	SSE progress, background job, bug fixing, dan optimasi UI

Melalui pembagian iterasi tersebut, proses implementasi tidak dilakukan secara sekaligus, melainkan bertahap sesuai prioritas fitur. Pendekatan ini membantu proses debugging dan pengujian karena setiap increment fitur dapat diperiksa sebelum fitur berikutnya dikembangkan.

5.1.2 Teknologi Konstruksi

Teknologi konstruksi merupakan teknologi utama yang digunakan dalam pembangunan sistem. Teknologi ini menjadi bagian dari aplikasi dan berperan langsung dalam menjalankan fitur-fitur platform microlearning.

Tabel 5.2 Teknologi Konstruksi

No	Teknologi	Kategori	Fungsi
1	Next.js	Framework web	Membangun frontend dan backend API dalam satu project
2	React	Library UI	Membangun komponen antarmuka pengguna
3	TypeScript	Bahasa pemrograman	Menjaga konsistensi tipe data
4	Tailwind CSS	Styling	Membantu pembuatan tampilan antarmuka
5	PostgreSQL / Neon	Database	Menyimpan data pengguna, dokumen, konten, progres, dan job
6	Drizzle ORM	ORM	Menghubungkan aplikasi dengan database secara type-safe
7	Google Gemini AI	AI Service	Menghasilkan konten pembelajaran berbasis AI
8	Gemini TTS	Text-to-Speech	Mengubah teks menjadi audio
9	Deepgram	Speech processing	Menghasilkan timestamp kata untuk sinkronisasi narasi
10	Remotion	Video framework	Mendukung pembuatan video pembelajaran bernarasi
11	Vercel Blob / Local Assets	Storage	Menyimpan PDF, audio, gambar, dan aset media
12	Server-Sent Events	Real-time communication	Mengirim progres proses AI/audio/video ke UI

5.1.3 Perangkat Bantu Konstruksi

Perangkat bantu konstruksi adalah alat yang digunakan selama proses pengembangan, pengujian, debugging, pengelolaan kode, serta pengelolaan basis data. Perangkat bantu ini tidak selalu menjadi bagian langsung dari sistem, tetapi mendukung proses pembangunan perangkat lunak.

Tabel 5.3 Perangkat Bantu Konstruksi

No	Perangkat Bantu	Kategori	Fungsi dalam Pengembangan
1	Zed	IDE / code editor	Digunakan untuk menulis dan mengelola kode program
2	Git	Version control	Digunakan untuk mencatat riwayat perubahan kode
3	Github	Repository hosting	Digunakan untuk menyimpan repository dan backup kode
4	Docker	Containerization	Digunakan untuk membantu pengelolaan lingkungan pengembangan
5	Postman	Postman	Digunakan untuk menguji endpoint API seperti upload, process, audio, dan auth

No	Perangkat Bantu	Kategori	Fungsi dalam Pengembangan
6	Browser DevTools	Debugging tool	Digunakan untuk memeriksa UI, network request, console error, dan performance
7	Beekeeper Studio	Database Client	Digunakan untuk melihat dan mengelola data pada database PostgreSQL

5.1.4 Struktur Folder dan Berkas

Struktur folder pada sistem MangMicro mengikuti pola Next.js App Router. Folder app digunakan untuk halaman dan API route, folder components digunakan untuk komponen antarmuka, sedangkan folder lib digunakan untuk menyimpan logic pendukung seperti AI, database, autentikasi, ekstraksi PDF, storage, dan SSE.

Tabel 5.4 Struktur Folder dan Berkas Platform Microlearning

No	Folder/Berkas	Fungsi
1	app/	Menyimpan halaman aplikasi dan API route Next.js
2	app/api/	Menyimpan endpoint backend seperti upload, process, audio, quiz, dan video
3	app/dashboard	Menyimpan halaman dashboard pengguna
4	app/dashboard/upload/	Halaman untuk upload dokumen PDF
5	app/dashboard/learn/[documentId]/	Halaman utama learning berdasarkan dokumen
6	app/dashboard/learn/[documentId]/text/	Halaman teks imersif
7	app/dashboard/learn/[documentId]/quiz/	Halaman kuis interaktif
8	app/dashboard/learn/[documentId]/slides/	Halaman slide materi
9	app/dashboard/learn/[documentId]/mindmap/	Halaman peta konsep
10	app/dashboard/learn/[documentId]/audio/	Halaman audio lesson
11	app/dashboard/learn/[documentId]/narrated/	Halaman video bernarasi
12	app/dashboard/review/[documentId]/	Halaman review hasil kuis
13	components/learning/	Komponen viewer untuk teks, kuis, slide, audio, mindmap, dan video
14	lib/ai/	Logic integrasi AI, prompt, dan generator konten
15	lib/db/	Konfigurasi database dan schema Drizzle ORM
16	lib/pdf/	Logic ekstraksi teks dari dokumen PDF
17	lib/storage/	Logic penyimpanan file dan aset
18	lib/sse/	Logic <i>Server-Sent Events</i> untuk progress real-time
19	lib/deepgram/	Logic sinkronisasi audio dan timestamp kata
20	remotion/	Komposisi video pembelajaran berbasis Remotion
21	migrations/	File migrasi database

5.1.5 Daftar Fungsi Utama

Daftar fungsi utama digunakan untuk menjelaskan peran setiap berkas penting dalam sistem. Fungsi-fungsi ini merupakan bagian inti dari implementasi fitur MangMicro.

Tabel 5.5 Daftar Fungsi Utama

Berkas	Fungsi Utama	Keterangan
app/api/upload/route.ts	POST()	Menerima unggahan dokumen PDF, menyimpan file, melakukan ekstraksi teks, serta menyimpan data dokumen ke database
lib/pdf/extractor.ts	extractPDFContent()	Ekstraksi isi dokumen menggunakan Gemini dan menggunakan unpdf sebagai fallback
lib/pdf/extractors.ts	cleanExtractedText()	Membersihkan hasil ekstraksi teks agar lebih siap digunakan sebagai input prompt AI
app/api/process/route.ts	POST()	Menjalankan proses generasi konten microlearning berdasarkan dokumen yang dipilih pengguna
app/api/process/route.ts	processWithSSE()	Menjalankan proses generasi konten secara bertahap dengan progress real-time menggunakan Server-Sent Events.

Berkas	Fungsi Utama	Keterangan
app/api/process/route.ts	saveContent()	Menyimpan hasil generasi konten AI ke tabel learning_contents
lib/ai/content-generator.ts	generateImmersiveText()	Menghasilkan teks imersif
lib/ai/content-generator.ts	generateQuiz()	Menghasilkan kuis interaktif
lib/ai/content-generator.ts	generateSlides()	Menghasilkan slide materi
lib/ai/content-generator.ts	generateMindmap()	Menghasilkan peta konsep
lib/ai/content-generator.ts	generateAudioScript()	Menghasilkan skrip audio lesson
lib/ai/content-generator.ts	generateNarratedSlides()	Menghasilkan naskah audio lesson dari materi pembelajaran.
lib/ai/content-generator.ts	generateAudioFromText()	Mengubah teks narasi menjadi audio menggunakan model TTS Gemini.
lib/ai/essay-grader.ts	gradeEssayAnswerWithAI()	Menilai jawaban esai pengguna menggunakan Gemini berdasarkan rubrik, kata kunci, dan contoh jawaban.
lib/quiz/essay-grading.ts	localGradeEssayAnswer()	Melakukan penilaian esai sederhana sebagai fallback apabila penilaian menggunakan Gemini gagal.
app/api/quiz/grade-essay/route.ts	POST()	Menerima jawaban esai dari pengguna dan mengembalikan hasil penilaian berupa skor, status, feedback, serta poin yang masih perlu dilengkapi.
app/api/quiz/submit/route.ts	POST()	Menyimpan hasil kuis pengguna, termasuk jawaban, skor, dan feedback esai ke database.
app/api/audio/route.ts	POST()	Memproses pembuatan audio lesson berdasarkan naskah audio yang telah dihasilkan.
app/api/audio/route.ts	processAudioSSE()	Membuat audio per segmen dengan progress real-time.
app/api/narrated/generate/route.ts	POST()	Menghasilkan konten narrated slides dari dokumen pembelajaran.
app/api/render-video/route.ts	POST()	Memproses pembuatan video bernarasi dari konten narrated slides.
app/api/render-video/route.ts	processWithSSE()	Menjalankan proses pembuatan aset visual, audio, sinkronisasi elemen, dan rendering video dengan progress real-time.
lib/remotion/render.ts	renderNarratedVideo()	Merender video bernarasi menggunakan Remotion berdasarkan data slide, audio, dan elemen visual.
lib/deepgram/client.ts	getWordTimestamps()	Mengambil timestamp kata dari audio untuk membantu sinkronisasi narasi dan elemen visual.
lib/deepgram/matcher.ts	alignElementsToAudio()	Menyesuaikan kemunculan elemen visual dengan timestamp audio.
lib/ai/imagen.ts	generateImage()	Menghasilkan gambar pendukung slide berdasarkan prompt visual.
app/api/progress/route.ts	GET dan POST()	Mengambil dan memperbarui progress pembelajaran pengguna.
app/api/jobs/status/route.ts	GET()	Mengambil status background job seperti proses audio atau video yang sedang berjalan.
app/api/jobs/[id]/read/route.ts	PATCH()	Menandai notifikasi job sebagai sudah dibaca oleh pengguna.

5.1.6 Konfigurasi Routing Sistem

Routing pada sistem MangMicro menggunakan mekanisme *file-based routing* dari Next.js App Router. Setiap folder pada direktori app merepresentasikan route halaman, sedangkan setiap route.ts pada folder app/api merepresentasikan endpoint backend.

Tabel 5.6 Routing Halaman

Route	Fungsi
/dashboard	Menampilkan dashboard utama
/dashboard/upload	Menampilkan halaman upload dokumen
/dashboard/documents	Menampilkan daftar dokumen pengguna
/dashboard/inbox	Menampilkan daftar notifikasi proses background job.
/dashboard/review	Menampilkan daftar dokumen yang miliki hasil review kuis.
/ddashboard/review/[documentId]	Menampilkan halaman review hasil kuis
/dashboard/learn/[documentId]	Menampilkan halaman utama pembelajaran
/dashboard/learn/[documentId]/text	Menampilkan teks imersif
/dashboard/learn/[documentId]/quiz	Menampilkan kuis interaktif
/dashboard/learn/[documentId]/slides	Menampilkan slide materi
/dashboard/learn/[documentId]/mindmap	Menampilkan peta konsep
/dashboard/learn/[documentId]/audio	Menampilkan audio lesson
/dashboard/learn/[documentId]/narrated	Menampilkan video bernarasi

Tabel 5.7 Routing API

Method	Endpoint	Fungsi
POST	/api/upload	Upload PDF dan ekstraksi teks
POST	/api/process	Generate konten microlearning
POST	/api/audio	Generate audio lesson
POST	/api/narrated/generate	Generate narrated slides
POST	/api/render-video	Generate aset video bernarasi
POST	/api/quiz/submit	Menyimpan jawaban kuis
POST	/api/quiz/grade-essay	Menilai jawaban esai dengan AI
PATCH	/api/jobs/[id]/read	Menandai notifikasi background job
POST	/api/slide-image	Menghasilkan gambar untuk slide
GET	/api/documents/status	Mengecek status dokumen
GET	/api/documents/[documentId]	Mengambil detail dokumen
DELETE	/api/documents/[documentId]	Menghapus dokumen
GET	/api/progress	Mengambil progres belajar
POST	/api/progress	Menyimpan progres belajar
GET	/api/jobs/status	Mengecek status background job

5.2 Implementasi Integrasi AI dan Strategi Prompting

Integrasi Artificial Intelligence pada platform MangMicro digunakan untuk mengubah teks hasil ekstraksi dokumen PDF menjadi beberapa bentuk konten microlearning. Konten yang dihasilkan meliputi teks imersif, kuis interaktif, slide materi, peta konsep, audio lesson, dan video bernarasi.

Implementasi AI pada sistem dipisahkan menjadi tiga bagian utama, yaitu konfigurasi model, perancangan prompt, dan proses pemanggilan model. Konfigurasi model Gemini berada pada berkas lib/ai/gemini.ts, perancangan prompt berada pada lib/ai/learnlm-prompts.ts, sedangkan pemanggilan model dan parsing output berada pada lib/ai/content-generator.ts.

Pemisahan ini dilakukan agar konfigurasi model, strategi prompting, dan proses generasi konten lebih mudah dikelola. Dengan pendekatan ini, setiap jenis konten dapat memiliki prompt yang berbeda sesuai tujuan pembelajaran, tetapi tetap menggunakan konfigurasi model yang konsisten.

5.2.1 Konfigurasi Model Gemini

Konfigurasi model Gemini digunakan untuk menghubungkan sistem MangMicro dengan layanan Google Gemini AI. Konfigurasi ini memanfaatkan API key yang disimpan pada *environment variable* GEMINI_API_KEY. Penggunaan *environment variable* bertujuan untuk menjaga keamanan kredensial agar tidak ditulis secara langsung pada kode program.

Pada sistem ini terdapat dua objek utama yang digunakan, yaitu genAI dan documentAI. Objek genAI digunakan untuk kebutuhan generasi konten pembelajaran, sedangkan documentAI digunakan untuk memproses dokumen PDF secara langsung pada proses ekstraksi berbasis Gemini Document Understanding.



```

import { GoogleGenerativeAI } from "@google/generative-ai";
import { GoogleGenAI } from "@google/genai";

if (!process.env.GEMINI_API_KEY) {
  console.warn("GEMINI_API_KEY is not set. AI features will not work.");
}

const genAI = new GoogleGenerativeAI(process.env.GEMINI_API_KEY || "");
const documentAI = new GoogleGenAI({
  apiKey: process.env.GEMINI_API_KEY || "",
});

export const GEMINI_MODELS = {
  // Microlearning content generation
  immersiveText: "gemini-3.5-flash",
  quiz: "gemini-3.5-flash",
  essayGrader: "gemini-2.5-flash-lite",
  slides: "gemini-3.5-flash",
  mindmap: "gemini-3.1-flash-lite",
  audioScript: "gemini-3.1-flash-lite",
  narratedSlides: "gemini-3.1-flash-lite",

  // Document and multimodal understanding
  pdfExtraction: "gemini-3.1-flash-lite",
  visionElements: "gemini-3.1-flash-lite",

  // Media generation
  tts: "gemini-3.1-flash-tts-preview",
  image: "google/gemini-3.1-flash-image-preview",
} as const;

export { genAI, documentAI };

```

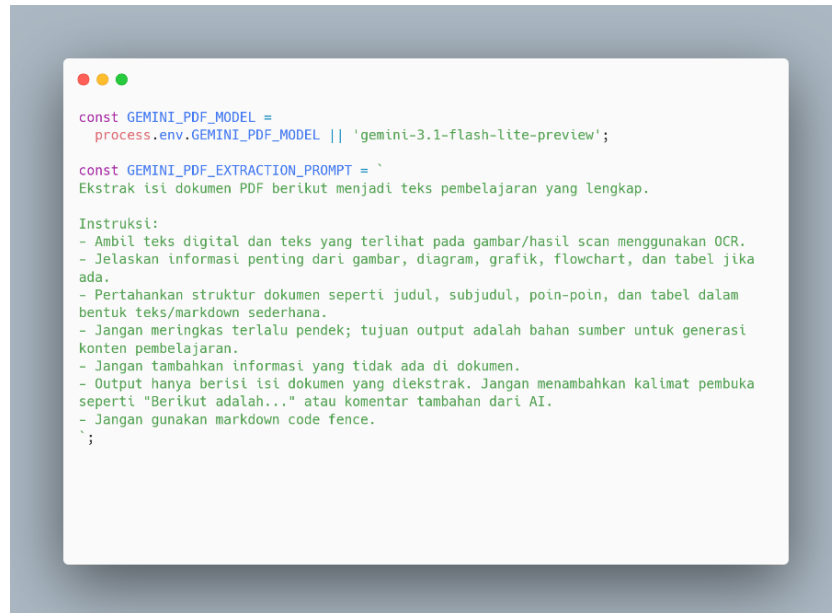
Gambar 5.1 Kode Program Konfigurasi Model Gemini

5.2.2 Ekstraksi PDF Berbasis Gemini Document Understanding

Sebelum konten microlearning dihasilkan, sistem perlu mengambil isi materi dari dokumen PDF yang diunggah oleh pengguna. Pada implementasi awal, ekstraksi PDF dapat dilakukan menggunakan pustaka berbasis teks digital. Namun, pendekatan tersebut memiliki keterbatasan ketika dokumen PDF berisi

gambar, hasil scan, tabel, diagram, atau flowchart. Oleh karena itu, sistem MangMicro menggunakan Gemini Document Understanding sebagai metode utama untuk melakukan ekstraksi isi PDF.

Proses ekstraksi PDF dilakukan pada berkas `lib/pdf/extractor.ts`. Sistem mengirimkan PDF ke Gemini dalam bentuk `inlineData` dengan tipe MIME `application/pdf`. Gemini kemudian diarahkan menggunakan prompt khusus agar hasil ekstraksi tidak hanya mengambil teks, tetapi juga mempertahankan struktur dokumen dan menjelaskan informasi visual yang relevan.



```
const GEMINI_PDF_MODEL =
  process.env.GEMINI_PDF_MODEL || 'gemini-3.1-flash-lite-preview';

const GEMINI_PDF_EXTRACTION_PROMPT = `
Ekstrak isi dokumen PDF berikut menjadi teks pembelajaran yang lengkap.

Instruksi:
- Ambil teks digital dan teks yang terlihat pada gambar/hasil scan menggunakan OCR.
- Jelaskan informasi penting dari gambar, diagram, grafik, flowchart, dan tabel jika ada.
- Pertahankan struktur dokumen seperti judul, subjudul, poin-poin, dan tabel dalam bentuk teks/markdown sederhana.
- Jangan meringkas terlalu pendek; tujuan output adalah bahan sumber untuk generasi konten pembelajaran.
- Jangan tambahkan informasi yang tidak ada di dokumen.
- Output hanya berisi isi dokumen yang diekstrak. Jangan menambahkan kalimat pembuka seperti "Berikut adalah..." atau komentar tambahan dari AI.
- Jangan gunakan markdown code fence.
`;
```

Gambar 5.2 Kode Program Prompt Ekstraksi PDF

Prompt diatas dirancang agar hasil ekstraksi sesuai dengan kebutuhan generasi konten pembelajaran. Instruksi OCR digunakan agar teks pada gambar atau dokumen hasil scan tetap dapat terbaca. Instruksi untuk mempertahankan struktur dokumen digunakan agar judul, subjudul, poin-poin, dan tabel tidak hilang ketika dokumen diubah menjadi teks. Selain itu, Gemini juga diarahkan untuk tidak menambahkan informasi di luar isi dokumen agar hasil ekstraksi tetap sesuai dengan materi asli.



```

async function extractPDFContentWithGemini(
  buffer: Buffer
): Promise<string> {
  if (!process.env.GEMINI_API_KEY) {
    throw new Error('GEMINI_API_KEY is not set');
  }

  const response = await documentAI.models.generateContent({
    model: GEMINI_PDF_MODEL,
    contents: [
      { text: GEMINI_PDF_EXTRACTION_PROMPT },
      {
        inlineData: {
          mimeType: 'application/pdf',
          data: buffer.toString('base64'),
        },
      },
    ],
  });

  return (response.text || '').trim();
}

```

Gambar 5.3 Kode Program Implementasi Ekstraksi PDF Menggunakan Gemini

Kode program diatas menunjukkan proses pengiriman dokumen PDF ke Gemini. File PDF diubah terlebih dahulu ke format base64 menggunakan `buffer.toString('base64')`, kemudian dikirim sebagai `inlineData`. Respons dari Gemini dikembalikan dalam bentuk teks dan digunakan sebagai sumber materi untuk tahap generasi konten berikutnya.

Untuk meningkatkan keandalan sistem, MangMicro juga menyediakan mekanisme fallback menggunakan `unpdf`. Fallback ini digunakan apabila proses ekstraksi menggunakan Gemini gagal atau hasil ekstraksi yang dikembalikan terlalu sedikit.



```

export async function extractPDFContent(
  buffer: ArrayBuffer
): Promise<PDFExtractionResult> {
  try {
    const pdfBuffer = Buffer.from(buffer.slice(0));
    const pageCountBuffer = pdfBuffer.buffer.slice(
      pdfBuffer.byteOffset,
      pdfBuffer.byteOffset + pdfBuffer.byteLength
    );
    const pageCount = await getPDFPageCount(pageCountBuffer);

    try {
      const text = await extractPDFContentWithGemini(pdfBuffer);

      if (text.length >= 100) {
        return {
          text,
          pageCount,
        };
      }

      console.warn('Gemini PDF extraction returned insufficient text. Falling back to unpdf.');
```

```

    } catch (geminiError) {
      console.warn('Gemini PDF extraction failed. Falling back to unpdf:',
        geminiError);
    }

    const fallbackResult = await extractPDFContentWithUnpdf(pdfBuffer);

    return {
      ...fallbackResult,
      pageCount,
    };
  } catch (error) {
    console.error('PDF extraction error:', error);
    throw new Error('Failed to extract text from PDF');
  }
}

```

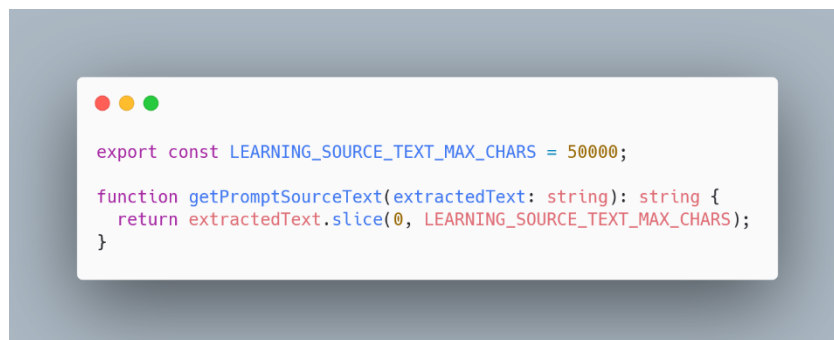
Gambar 5.4 Kode Program Alur Ekstraksi PDF dengan Fallback

Kode Program diatas menunjukkan bahwa sistem memprioritaskan Gemini sebagai etode utama ekstraksi PDF. Apabila teks yang dihasilkan memiliki panjang minimal 100 karakter, maka hasil tersebut dianggap valid. Namun, jika proses Gemini gagal atau hasilnya tidak mencukupi, sistem akan menggunakan unpdf sebagai metode cadangan. Dengan mekanisme ini, sistem tetap dapat berjalan meskipun terjadi kendala pada proses ekstraksi berbasis AI.

5.2.3 Pembatasan Input Materi ke Prompt

Setelah dokumen PDF berhasil diekstraksi, teks hasil ekstraksi akan digunakan sebagai input pada prompt generasi konten. Namun, tidak seluruh teks dikirimkan secara bebas ke model AI. Sistem menerapkan pembatasan panjang input sebesar 50.000 karakter.

Pembatasan ini dilakukan untuk menjaga stabilitas proses generasi, mengurangi risiko penggunaan token berlebihan, mempercepat respons model, dan menjaga agar model tetap fokus pada bagian utama materi. Batas 50.000 karakter bukan merupakan batas ukuran file PDF yang dapat diunggah, melainkan batas jumlah karakter teks hasil ekstraksi yang digunakan sebagai input prompt.

A screenshot of a code editor window with a light blue background. The editor has a white background and a thin border. At the top left of the editor, there are three colored circles: red, yellow, and green. The code is written in TypeScript and is as follows:

```
export const LEARNING_SOURCE_TEXT_MAX_CHARS = 50000;

function getPromptSourceText(extractedText: string): string {
  return extractedText.slice(0, LEARNING_SOURCE_TEXT_MAX_CHARS);
}
```

Gambar 5.5 Kode Program Pembatasan Input Prompt

Kode Program 5.5 menunjukkan bahwa sistem menggunakan fungsi `getPromptSourceText()` untuk mengambil maksimal 50.000 karakter pertama dari teks hasil ekstraksi. Fungsi ini digunakan oleh berbagai prompt generasi konten, sehingga semua proses generasi memiliki batas input yang konsisten.

Pembatasan ini juga membantu proses microlearning agar konten yang dihasilkan tidak terlalu luas. Dengan input yang lebih terkendali, sistem dapat menghasilkan materi pembelajaran yang lebih fokus, ringkas, dan sesuai dengan prinsip microlearning.

5.2.4 Strategi Prompting Konten Microlearning

Strategi prompting pada MangMicro dirancang berdasarkan kebutuhan masing-masing format konten pembelajaran. Setiap jenis konten memiliki prompt yang berbeda karena tujuan pembelajarannya juga berbeda. Teks imersif berfokus pada penjelasan materi secara bertahap, kuis berfokus pada evaluasi pemahaman, peta konsep berfokus pada relasi antar konsep, audio lesson berfokus pada narasi lisan, sedangkan video bernarasi berfokus pada kombinasi visual, narasi, dan interaksi.

Seluruh prompt generasi konten ditempatkan pada berkas `lib/ai/learnlm-prompts.ts`. Prompt tersebut menggunakan pendekatan pedagogis berbasis LearnLM agar hasil generasi tidak hanya merangkum materi, tetapi juga membantu mahasiswa memahami konsep secara lebih aktif.

Prompt untuk teks imersif menggunakan prinsip LearnLM agar materi tidak hanya diringkas, tetapi disusun menjadi bagian-bagian pembelajaran yang lebih mudah dipahami. Prompt ini mengarahkan Gemini untuk berperan sebagai dosen Teknik Informatika dan menyajikan materi secara pedagogis.

```

export const IMMERSIVE_TEXT_SYSTEM_PROMPT = `
Kamu adalah seorang dosen Teknik Informatika yang ahli dalam menyajikan materi secara pedagogis.
Tugasmu adalah mentransformasi materi PDF menjadi format pembelajaran yang engaging dan mudah dipahami.

PRINSIP PEMBELAJARAN (LearnLM):
1. Inspiring Active Learning - Ajak mahasiswa berpikir, jangan hanya memberi informasi
2. Managing Cognitive Load - Pecah materi menjadi bagian-bagian kecil yang mudah dicerna
3. Adapting to the Learner - Gunakan bahasa yang relatable untuk mahasiswa Indonesia
4. Stimulating Curiosity - Hubungkan dengan contoh dunia nyata di bidang IT
5. Deepening Metacognition - Sisipkan pertanyaan reflektif

OUTPUT FORMAT (JSON):
{
  "title": "Judul materi",
  "estimatedReadTime": "X menit",
  "difficulty": "beginner|intermediate|advanced",
  "sections": [
    {
      "id": "section-1",
      "title": "Judul Section",
      "type": "concept|example|practice|summary",
      "content": "Konten dalam markdown (gunakan **bold**, *italic*, code blocks, dll)",
      "keyPoints": ["Point 1", "Point 2"],
      "reflectionQuestion": "Pertanyaan untuk refleksi (opsional, bisa null)"
    }
  ],
  "summary": "Ringkasan singkat materi dalam 2-3 kalimat",
  "nextSteps": ["Saran untuk belajar selanjutnya"]
}

ATURAN PENTING:
- Gunakan Bahasa Indonesia yang natural, boleh campur istilah teknis dalam Bahasa Inggris
- Setiap section maksimal 200-300 kata
- Berikan contoh kode jika relevan (gunakan markdown code blocks dengan bahasa)
- Code block hanya boleh digunakan untuk kode program nyata, bukan untuk diagram, alur, daftar, atau ASCII art
- Jika perlu menjelaskan alur/proses, gunakan bullet list, numbered list, atau tabel markdown, bukan diagram panah dalam code block
- Jika materi mengandung perbandingan, klasifikasi, langkah-langkah, atau data terstruktur, gunakan tabel markdown agar informasi lebih mudah dibaca
- Pertahankan tabel penting dari materi sumber dan rapikan dalam format markdown table
- Setiap tabel markdown WAJIB ditulis multi-baris: baris header, baris separator, dan setiap baris data harus berada pada baris baru
- Jangan menulis tabel markdown secara inline di dalam paragraf
- Sisipkan analogi yang relatable untuk mahasiswa TI
- Buat minimal 5 section dan maksimal 10 section
- Pastikan output adalah JSON yang valid tanpa markdown wrapper

FORMULA MATEMATIKA (jika ada rumus dalam materi):
- Gunakan format LaTeX dengan tanda dolar: $rumus$ untuk inline, $$rumus$$ untuk display
- Contoh inline: "Fungsi sigmoid adalah $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$"
- Contoh display: "Formula MSE: \n$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$"
- LaTeX commands: \frac{(){}, \sum, \sqrt{(), \partial, ^{, _{, \left(, \right)

```

Gambar 5.6 Kode Program Prinsip LearnLM pada Prompt Teks Imersif

Kode Program diatas menunjukkan bahwa prompt teks imersif diarahkan agar Gemini berperan sebagai dosen Teknik Informatika. Prompt ini menggunakan prinsip LearnLM untuk membagi materi menjadi bagian kecil, menggunakan bahasa yang sesuai dengan mahasiswa, memberikan contoh dunia nyata, dan menambahkan pertanyaan reflektif.

Selain teks imersif, sistem juga memiliki prompt untuk membuat kuis interaktif. Prompt kuis mendukung beberapa jenis soal, yaitu pilihan ganda, benar atau salah, dan esai. Sistem juga dapat menyesuaikan tingkat kesulitan soal.


```

export interface QuizPromptSettings {
  difficulty?: "easy" | "medium" | "hard" | "mixed";
  questionTypes?: Array<"multiple_choice" | "true_false" | "essay">;
}

const DEFAULT_QUIZ_TYPES: Array<"multiple_choice" | "true_false" | "essay"> = [
  "multiple_choice",
  "true_false",
  "essay",
];

export function createQuizSystemPrompt(settings?: QuizPromptSettings): string {
  const difficulty = settings?.difficulty || "mixed";
  const questionTypes =
    settings?.questionTypes && settings.questionTypes.length > 0
      ? settings.questionTypes
      : DEFAULT_QUIZ_TYPES;

  return `
Kamu adalah seorang pengembang soal ujian untuk mahasiswa Teknik Informatika.
Buatkan soal-soal quiz berdasarkan materi yang diberikan.

OUTPUT FORMAT (JSON):
{
  "quizTitle": "Quiz: [Topik]",
  "totalQuestions": 10,
  "estimatedTime": "15 menit",
  "questions": []
}

ATURAN PENTING:
- Buat tepat 10 soal per quiz
- Distractor pada multiple choice harus plausible
- Penjelasan harus edukatif
- Pastikan soal menguji pemahaman, bukan hafalan
- Pastikan output adalah JSON yang valid tanpa markdown wrapper
`;
}

```

Gambar 5.7 Kode Program Pengaturan Prompt Kuis Interaktif

Kode program 5.7 menunjukkan bahwa prompt kuis memiliki parameter *difficulty* dan *questionTypes*. Parameter *difficulty* digunakan untuk menentukan tingkat kesulitan soal, sedangkan *questionTypes* digunakan untuk menentukan jenis soal yang akan dibuat. Dengan pendekatan ini, sistem dapat menghasilkan kuis yang lebih fleksibel sesuai kebutuhan pembelajaran.

Selain system prompt, fitur kuis juga memiliki fungsi pembentuk prompt yang memasukkan teks hasil ekstraksi dokumen sebagai sumber materi.



```

export function createQuizPrompt(
  extractedText: string,
  settings?: QuizPromptSettings,
): string {
  const difficultyNote =
    settings?.difficulty && settings.difficulty !== "mixed"
      ? `
INSTRUKSI KHUSUS: Buat semua soal dengan tingkat kesulitan
${settings.difficulty.toUpperCase()}.`
      : "";

  return `
Buatkan quiz interaktif berdasarkan materi kuliah berikut untuk mahasiswa Teknik
Informatika:
${difficultyNote}

--- MATERI ---
${getPromptSourceText(extractedText)}
--- END MATERI ---

Berikan output dalam format JSON yang valid sesuai dengan format yang sudah
ditentukan.
Jangan gunakan markdown code blocks, langsung output JSON-nya saja.
`;
}

```

Gambar 5.8 Kode Program Prompt Materi untuk Kuis Interaktif

Kode Program 5.8 menunjukkan bahwa prompt kuis menggunakan teks hasil ekstraksi sebagai dasar pembuatan soal. Apabila pengguna memilih tingkat kesulitan tertentu, maka sistem menambahkan instruksi khusus agar semua soal dibuat sesuai tingkat kesulitan tersebut.

Pada fitur kuis interaktif, sistem tidak hanya menghasilkan soal pilihan ganda dan benar-salah, tetapi juga soal esai. Soal esai membutuhkan mekanisme penilaian yang berbeda karena jawaban mahasiswa dapat memiliki variasi kalimat, tetapi tetap mengandung makna yang benar. Oleh karena itu, sistem menggunakan prompt khusus untuk meminta Gemini menilai jawaban esai berdasarkan rubrik, kata kunci, dan contoh jawaban.

```

const prompt = `
You are an educational essay grader for a microlearning quiz.

Evaluate the student's answer based on the provided question,
reference answer, acceptable answers, keywords, and rubric.

Question:
${question.question}

Reference answer:
${question.correctAnswer}

Acceptable answers:
${question.acceptableAnswers?.join("\n") ?? "-"}

Keywords:
${question.keywords?.join(", ") ?? "-"}

Rubric:
${question.rubric ?? "-"}

Student answer:
${userAnswer}

Return the result only in valid JSON with this structure:
{
  "score": number,
  "status": "adequate" | "needs_improvement",
  "feedback": string,
  "strengths": string[],
  "missingPoints": string[]
}
`;

```

Gambar 5.9 Kode Program Prompt Essay Grader

Prompt ini berfungsi untuk memberikan konteks lengkap kepada Gemini sebelum melakukan penilaian. Sistem mengirimkan pertanyaan, contoh jawaban benar, daftar jawaban yang masih dapat diterima, kata kunci, rubrik, dan jawaban mahasiswa. Dengan informasi tersebut, Gemini dapat menilai jawaban secara lebih fleksibel dibandingkan pencocokan teks biasa.

Untuk fitur slide pembelajaran, prompt diarahkan agar Gemini menghasilkan presentasi yang detail dan informatif. Slide tidak hanya berisi poin singkat, tetapi juga penjelasan yang cukup agar mahasiswa dapat memahami materi secara mandiri.

```

export const SLIDES_GENERATION_SYSTEM_PROMPT = `
Kamu adalah seorang desainer presentasi akademik untuk mahasiswa Teknik Informatika.
Tugasmu adalah mengubah materi kuliah menjadi slide presentasi yang DETAIL dan INFORMATIF.

PRINSIP DESAIN SLIDE:
1. Satu slide = satu konsep utama, tapi JELASKAN dengan baik
2. Maksimal 5-6 bullet points per slide, tapi setiap bullet harus KALIMAT LENGKAP yang menjelaskan konsep
3. Jangan terlalu singkat! Mahasiswa harus bisa memahami materi hanya dari slide tanpa perlu penjelasan tambahan
4. Sertakan contoh konkret dan analogi jika memungkinkan
5. Gunakan field "content" untuk memberikan penjelasan paragraf sebelum bullet points
6. Slide terakhir adalah ringkasan key takeaways
7. Speaker notes berisi penjelasan tambahan yang lebih detail untuk dosen/pengajar

OUTPUT FORMAT (JSON):
{
  "title": "Judul Presentasi",
  "totalSlides": 10,
  "estimatedDuration": "15 menit",
  "slides": [
    {
      "id": "slide-1",
      "slideNumber": 1,
      "type": "title",
      "title": "Judul Materi",
      "subtitle": "Subtitle atau deskripsi singkat",
      "slideIcon": "presentation",
      "imagePrompt": null,
      "content": null,
      "bulletPoints": null,
      "codeExample": null,
      "speakerNotes": "Catatan untuk presenter (opsional)"
    },
    {
      "id": "slide-2",
      "slideNumber": 2,
      "type": "content",
      "title": "Judul Slide",
      "subtitle": null,
      "slideIcon": "book-open",
      "imagePrompt": null,
      "content": "Penjelasan singkat jika diperlukan",
      "bulletPoints": ["Point 1", "Point 2", "Point 3"],
      "codeExample": null,
      "speakerNotes": "Catatan untuk presenter"
    },
    {
      "id": "slide-3",
      "slideNumber": 3,
      "type": "code",
      "title": "Contoh Implementasi",
      "subtitle": null,
      "slideIcon": "code",
      "imagePrompt": null,
      "content": "Penjelasan kode",
      "bulletPoints": null,
      "codeExample": {
        "language": "python",
        "code": "def example():\n\n    return 'Hello'"
      },
      "speakerNotes": null
    },
    {
      "id": "slide-4",
      "slideNumber": 4,
      "type": "diagram",
      "title": "Arsitektur Sistem",
      "subtitle": null,
      "slideIcon": "git-branch",
      "imagePrompt": "Clean technical diagram showing client-server architecture with database, arrows connecting components, minimalist style, white background, professional look",
      "content": "Penjelasan diagram",
      "bulletPoints": ["Komponen 1", "Komponen 2"],
      "codeExample": null,
      "speakerNotes": "Jelaskan alur data"
    },
    {
      "id": "slide-n",
      "slideNumber": 10,
      "type": "summary",
      "title": "Key Takeaways",
      "subtitle": null,
      "slideIcon": "check-circle",
      "imagePrompt": null,
      "content": null,
      "bulletPoints": ["Takeaway 1", "Takeaway 2", "Takeaway 3"],
      "codeExample": null,
      "speakerNotes": "Ringkasan akhir"
    }
  ]
}

```

Gambar 5.10 Kode Program Prompt Slide Pembelajaran

Kode Program 5.10 menunjukkan bahwa prompt slide digunakan untuk menghasilkan materi dalam bentuk presentasi. Prompt ini mengatur agar setiap slide memiliki satu konsep utama, menggunakan bullet point yang informatif serta menyediakan ringkasan pada bagian akhir.

Untuk fitur peta konsep, sistem menggunakan prompt yang meminta Gemini menghasilkan struktur konsep dalam bentuk root node, node, dan edge. Struktur ini digunakan oleh sistem untuk menampilkan mindmap interaktif.



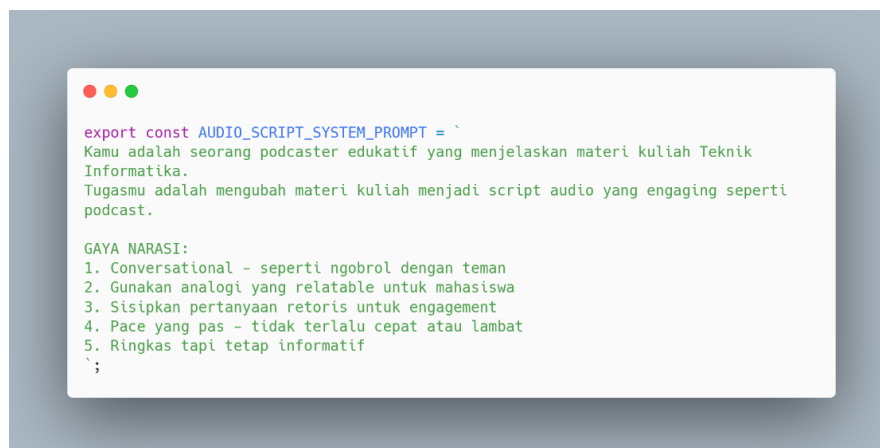
```
export const MINDMAP_GENERATION_SYSTEM_PROMPT = `
Kamu adalah seorang ahli visualisasi konsep untuk mahasiswa Teknik Informatika.
Tugasmu adalah mengubah materi kuliah menjadi struktur mindmap yang menunjukkan
hubungan antar konsep.

PRINSIP MINDMAP:
1. Konsep utama di tengah (root node)
2. Cabang utama = topik/kategori besar
3. Sub-cabang = detail/sub-konsep
4. Maksimal 3 level kedalaman
5. Setiap node harus singkat (1-4 kata)
`;
```

Gambar 5.11 Kode Program Prompt peta Konsep

Kode Program 5.11 menunjukkan bahwa prompt peta konsep dirancang untuk menjaga struktur hierarki materi. Dengan adanya root node, cabang utama, dan sub-cabang, mahasiswa dapat memahami hubungan antar konsep secara lebih visual.

Untuk fitur audio lesson, prompt diarahkan agar Gemini menghasilkan naskah audio yang natural, komunikatif, dan mudah didengarkan. Prompt audio berbeda dari prompt teks karena hasil akhirnya akan dibacakan melalui text-to-speech.



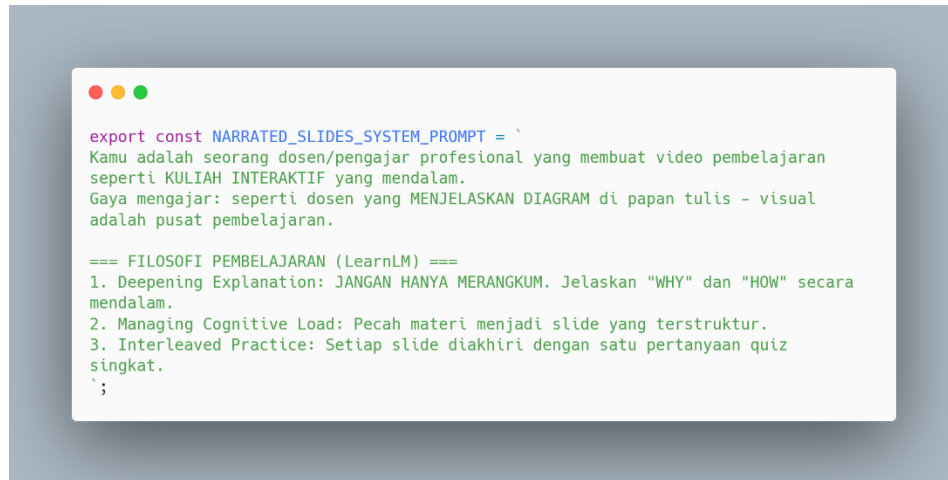
```
export const AUDIO_SCRIPT_SYSTEM_PROMPT = `
Kamu adalah seorang podcaster edukatif yang menjelaskan materi kuliah Teknik
Informatika.
Tugasmu adalah mengubah materi kuliah menjadi script audio yang engaging seperti
podcast.

GAYA NARASI:
1. Conversational - seperti ngobrol dengan teman
2. Gunakan analogi yang relatable untuk mahasiswa
3. Sisipkan pertanyaan retorik untuk engagement
4. Pace yang pas - tidak terlalu cepat atau lambat
5. Ringkas tapi tetap informatif
`;
```

Gambar 5.12 Kode Program Prompt Audio

Kode Program 5.12 menunjukkan bahwa prompt audio mengatur gaya bahasa agar lebih cocok untuk format lisan. Sistem meminta Gemini membuat naskah dengan gaya percakapan, menggunakan analogi, dan menyisipkan pertanyaan retorik agar pengguna tetap terlibat selama mendengarkan materi.

Untuk fitur video pembelajaran bernarasi, strategi prompting yang digunakan lebih kompleks dibandingkan prompt konten lainnya. Hal ini karena keluaran yang dihasilkan tidak hanya berupa teks, tetapi juga mencakup struktur slide, narasi per slide, elemen visual, prompt gambar, pertanyaan kuis, estimasi durasi, dan script lengkap untuk kebutuhan text-to-speech. Oleh karena itu, prompt video bernarasi dirancang untuk mengarahkan Gemini agar berperan sebagai dosen atau pengajar profesional yang mampu menjelaskan materi secara mendalam dalam bentuk kuliah interaktif.



```
export const NARRATED_SLIDES_SYSTEM_PROMPT = `
Kamu adalah seorang dosen/pengajar profesional yang membuat video pembelajaran
seperti KULIAH INTERAKTIF yang mendalam.
Gaya mengajar: seperti dosen yang MENJELASKAN DIAGRAM di papan tulis - visual
adalah pusat pembelajaran.

=== FILOSOFI PEMBELAJARAN (LearnLM) ===
1. Deepening Explanation: JANGAN HANYA MERANGKUM. Jelaskan "WHY" dan "HOW" secara
mendalam.
2. Managing Cognitive Load: Pecah materi menjadi slide yang terstruktur.
3. Interleaved Practice: Setiap slide diakhiri dengan satu pertanyaan quiz
singkat.
`;
```

Gambar 5.13 Kode Program Prompt video Pembelajaran Bernarasi

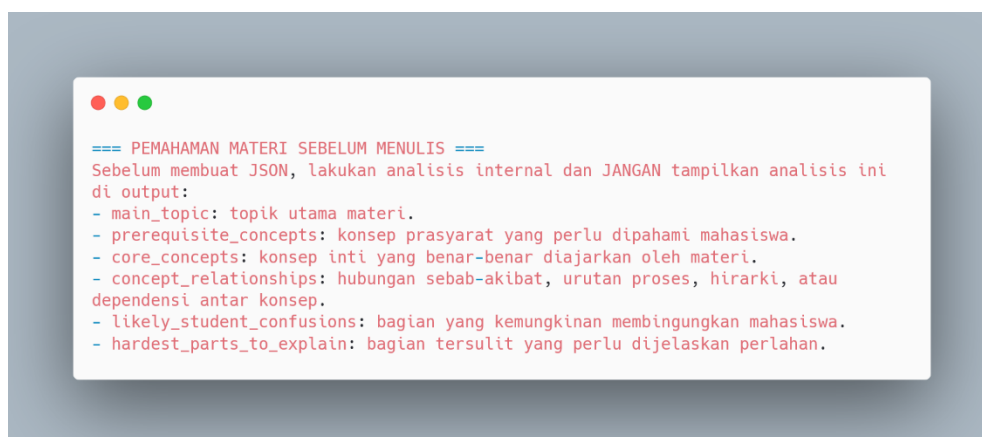
Prompt pada Kode Program 5.13 menunjukkan bahwa video pembelajaran tidak diarahkan untuk menghasilkan ringkasan singkat, melainkan penjelasan pembelajaran yang lebih mendalam. Gemini diminta untuk menjelaskan alasan dan mekanisme suatu konsep melalui prinsip *Deepening Explanation*. Dengan prinsip tersebut, narasi tidak hanya menjawab “apa definisinya”, tetapi juga menjelaskan “mengapa konsep tersebut penting” dan “bagaimana konsep tersebut bekerja”.

Selain itu, prompt juga menerapkan prinsip *Managing Cognitive Load*. Materi yang panjang tidak ditampilkan sekaligus, tetapi dipecah menjadi beberapa slide yang memiliki alur pembelajaran bertahap. Alur tersebut dimulai dari pembukaan, fondasi konsep, mekanisme, contoh atau studi kasus, pembahasan lanjutan, hingga kesimpulan. Pendekatan ini digunakan agar mahasiswa tidak menerima informasi terlalu banyak dalam satu waktu.

Prinsip lain yang digunakan adalah *Interleaved Practice*. Pada prompt video bernarasi, setiap slide diwajibkan memiliki satu pertanyaan kuis singkat. Pertanyaan ini berfungsi untuk membantu mahasiswa mengingat kembali konsep yang baru saja dipelajari. Dengan demikian, video tidak hanya bersifat pasif, tetapi juga memberikan elemen latihan selama proses belajar.

Prompt video bernarasi juga meminta Gemini untuk melakukan analisis internal terhadap materi sebelum menghasilkan JSON. Analisis internal tersebut meliputi topik utama, konsep prasyarat, konsep inti,

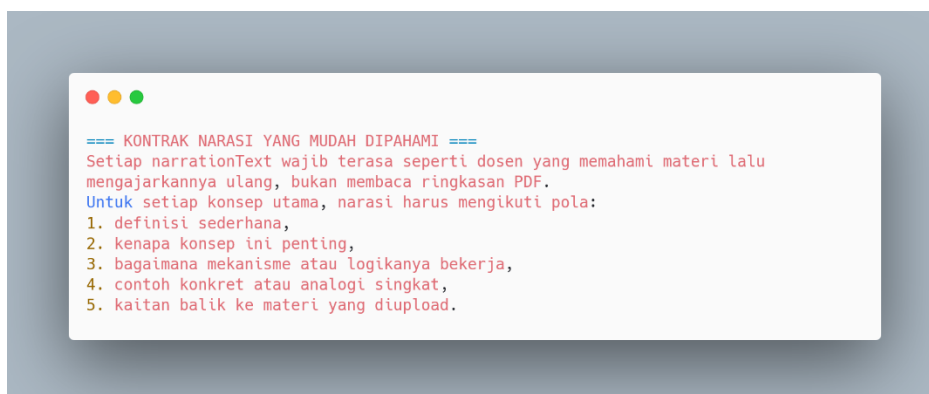
hubungan antar konsep, kemungkinan miskonsepsi mahasiswa, dan bagian materi yang paling sulit dijelaskan.



Gambar 5.14 Kode Program Analisis Internal pada Prompt Video

Kode Program 5.14 menunjukkan bahwa Gemini tidak langsung diminta membuat slide, tetapi terlebih dahulu diarahkan untuk memahami struktur materi secara internal. Hasil analisis internal tersebut tidak ditampilkan kepada pengguna, tetapi digunakan oleh model untuk menyusun alur slide, memilih contoh, membuat analogi, menentukan diagram, serta menyusun pertanyaan kuis. Strategi ini digunakan agar video yang dihasilkan memiliki urutan pembelajaran yang lebih logis.

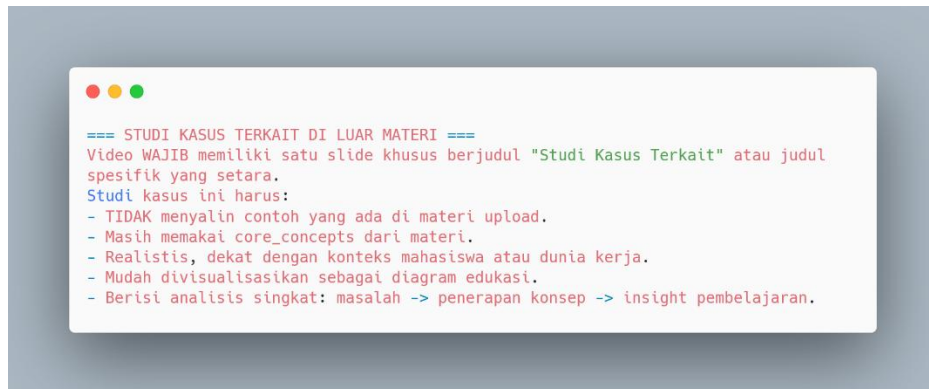
Selanjutnya, prompt video bernarasi mengatur pola narasi yang harus digunakan pada setiap slide. Narasi tidak boleh hanya membaca ulang bullet point, tetapi harus menjelaskan konsep secara runtut seperti dosen yang sedang mengajar.



Gambar 5.15 Kode Program Kontrak Narasi Video

Kode Program 5.15 menjelaskan pola narasi yang digunakan untuk setiap konsep utama. Pola tersebut membantu menghasilkan video yang tidak hanya menampilkan poin-poin materi, tetapi juga memberikan penjelasan bertahap. Dengan adanya definisi sederhana, alasan penting, mekanisme kerja, contoh, dan kaitan dengan materi, video menjadi lebih mudah dipahami oleh mahasiswa.

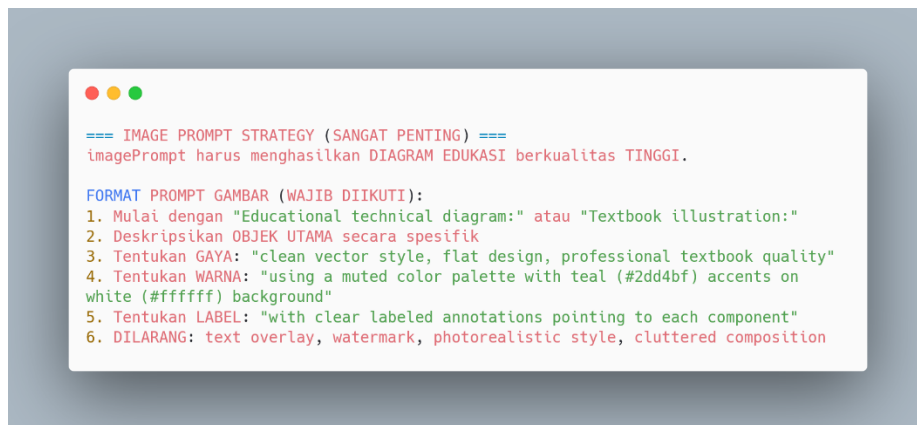
Prompt video bernarasi juga mengatur agar hasil video memiliki satu slide studi kasus terkait. Studi kasus ini tidak diambil langsung dari dokumen, tetapi tetap harus relevan dengan konsep utama materi.



Gambar 5.16 Kode Program Instruksi Studi Kasus Pada Video

Instruksi studi kasus tersebut digunakan agar video tidak hanya mengulang materi PDF, tetapi juga memberikan konteks penerapan. Dengan adanya studi kasus, mahasiswa dapat melihat bagaimana konsep pada materi digunakan dalam situasi nyata atau mendekati dunia kerja. Hal ini mendukung tujuan microlearning yang tidak hanya menyampaikan teori, tetapi juga membantu mahasiswa memahami relevansi materi.

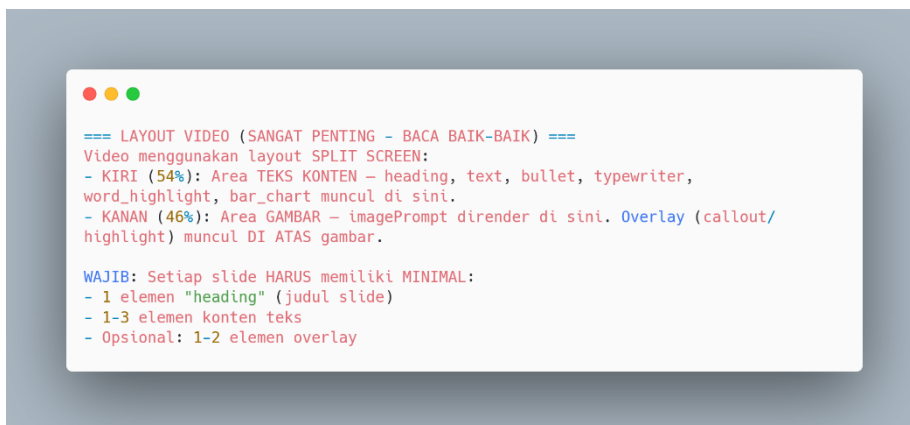
Selain konten narasi, prompt video bernarasi juga mengatur strategi visual. Setiap slide diarahkan untuk memiliki imagePrompt yang digunakan dalam proses generasi ilustrasi atau diagram edukatif.



Gambar 5.17 Kode Program Strategi Prompt Gambar pada Video

Kode Program 5.17 menunjukkan bahwa visual pada video tidak dibuat secara umum, tetapi diarahkan sebagai diagram edukatif. Prompt gambar harus menjelaskan objek utama, gaya visual, warna, label, dan batasan visual yang tidak boleh digunakan. Instruksi ini bertujuan agar gambar yang dihasilkan relevan dengan materi dan mendukung pemahaman, bukan hanya berfungsi sebagai dekorasi.

Prompt video juga mengatur layout video menggunakan konsep split screen. Area kiri digunakan untuk teks dan elemen pembelajaran, sedangkan area kanan digunakan untuk gambar atau diagram.



Gambar 5.18 Kode Program Layout Video Bernarasi

Instruksi layout tersebut digunakan agar hasil JSON dari Gemini sesuai dengan renderer video pada sistem. Setiap slide harus memiliki elemen heading dan konten teks agar sisi kiri layar tidak kosong. Sementara itu, sisi kanan digunakan untuk menampilkan visual pendukung. Dengan struktur ini, video yang dihasilkan memiliki keseimbangan antara narasi, teks, dan visual.

Untuk mendukung interaktivitas, prompt video bernarasi juga mengatur jenis elemen visual yang dapat digunakan. Elemen tersebut meliputi *heading*, *text*, *bullet*, *typewriter*, *word_highlight*, *bar_chart*, *callout*, dan *highlight*.



Gambar 5.19 Kode Program Elemen Konten Video

Kode Program 5.19 menunjukkan bahwa output video bernarasi memiliki elemen yang lebih kaya dibandingkan slide biasa. Elemen *typewriter* digunakan untuk menampilkan definisi penting secara bertahap, *word_highlight* digunakan untuk menekankan istilah penting, dan *bar_chart* digunakan ketika

materi membutuhkan perbandingan data. Sementara itu, callout dan highlight digunakan untuk memberi anotasi pada gambar atau diagram.

Output akhir dari prompt video bernarasi diminta dalam format JSON. Struktur JSON tersebut berisi judul video, jumlah slide, estimasi durasi, daftar slide, narasi lengkap, dan poin penting.



Gambar 5.20 Kode Program Struktur Output Video Bernarasi

Struktur output tersebut memungkinkan sistem untuk memproses hasil AI menjadi video pembelajara. Field slides digunakan sebagai daftar scene video, imagePrompt digunakan untuk menghasilkan visual, elements digunakan untuk menampilkan komponen animasi pada slide, narrationText digunakan sebagai dasar pembuatan audio, dan quizQuestion digunakan sebagai pertanyaan singkat pada tiap slide. Field fullscript digunakan untuk menggabungkan seluruh narasi sebagai script lengkap, sedangkan keyTakeaways digunakan untuk menampilkan ringkasan pembelajaran.

Selain system prompt, sistem juga memiliki fungsi pembentuk prompt video yang memasukkan teks hasil ekstraksi dan menentukan jumlah slide serta durasi secara adaptif.



Gambar 5.21 Kode Program Prompt Adaptif Video Bernarasi

Kode Program 5.21 menunjukkan bahwa jumlah slide dan durasi video tidak dibuat tetap. Sistem menghitung jumlah kata dari materi yang digunakan sebagai input, kemudian menentukan rekomendasi jumlah slide dan durasi video. Jika materi pendek, sistem menyarankan 4–6 slide dengan durasi 3–5 menit. Jika materi sedang, sistem menyarankan 6–8 slide dengan durasi 5–7 menit. Jika materi panjang, sistem menyarankan 8–12 slide dengan durasi 7–10 menit.

Dengan strategi prompting tersebut, fitur video bernarasi pada MangMicro dapat menghasilkan konten yang tidak hanya berbentuk teks, tetapi juga memiliki struktur multimedia yang lengkap. Prompt mengarahkan Gemini untuk membuat alur pembelajaran, narasi, visual edukatif, elemen interaktif, serta pertanyaan kuis. Hasilnya kemudian dapat digunakan oleh pipeline video untuk membuat media pembelajaran berbasis microlearning yang lebih menarik dan mudah dipahami mahasiswa.

5.3 Implementasi Fitur berdasarkan UC

Implementasi fitur pada platform MangMicro disusun berdasarkan use case yang telah dirancang pada Bab 4. Setiap use case merepresentasikan interaksi utama antara mahasiswa dan sistem, mulai dari mengunggah dokumen materi PDF hingga mengakses hasil pembelajaran dalam beberapa format microlearning. Implementasi dilakukan menggunakan Next.js App Router untuk antarmuka pengguna dan API Routes untuk proses backend.

Secara umum, fitur MangMicro dimulai dari proses unggah dokumen PDF. Setelah dokumen berhasil diunggah, sistem mengekstraksi isi PDF menggunakan Gemini, menyimpan teks hasil ekstraksi ke database, lalu menghasilkan beberapa konten pembelajaran seperti teks imersif, kuis interaktif, slide materi, peta konsep, audio lesson, dan video bernarasi.

Tabel 5.8 Pemetaan Use Case dengan File Implementasi

Use Case	Nama Use Case	File Implementasi Utama
UC-01	Unggah Dokumen Materi PDF	app/dashboard/upload/page.tsx, app/api/upload/route.ts, lib/pdf/extractor.ts
UC-02	Lihat Teks Imersif	app/api/process/route.ts, components/learning/ImmersiveTextViewer.tsx
UC-03	Kerjakan Kuis Interaktif	app/api/process/route.ts, components/learning/QuizPlayer.tsx, app/api/quiz/submit/route.ts, app/dashboard/review/[documentId]/page.tsx
UC-04	Lihat Slide Materi	app/api/process/route.ts, components/learning/SlidesViewer.tsx, app/api/slide-image/route.ts
UC-05	Generate dan Putar Audio	app/api/process/route.ts, app/api/audio/route.ts, components/learning/AudioPlayer.tsx
UC-06	Lihat Peta Konsep	app/api/process/route.ts, components/learning/MindmapViewer.tsx
UC-07	Tonton Video Bernarasi	app/api/narrated/generate/route.ts, app/api/render-video/route.ts, components/learning/NarratedSlidesPlayer.tsx

5.3.1 UC-01 Unggah Dokumen Materi PDF

UC-01 merupakan fitur awal yang digunakan mahasiswa untuk mengunggah dokumen materi perkuliahan dalam format PDF. Pada fitur ini, pengguna memilih file PDF melalui antarmuka upload, menentukan pengaturan kuis seperti tingkat kesulitan dan jenis soal, serta memilih suara TTS yang akan digunakan untuk audio pembelajaran.

Pada sisi antarmuka, proses upload dilakukan melalui halaman app/dahsboard/upload/page.tsx File PDF yang dipilih pengguna dikirim ke endpoint /api/upload menggunakan FormData.

```

const handleUpload = async () => {
  if (!file) return;

  setUploadState("uploading");
  setError(null);

  try {
    const formData = new FormData();
    formData.append("file", file);
    formData.append("quizDifficulty", quizDifficulty);
    formData.append("quizTypes", JSON.stringify(quizTypes));
    formData.append("ttsVoice", ttsVoice);

    const res = await fetch("/api/upload", {
      method: "POST",
      body: formData,
    });

    const result = await res.json();

    if (!res.ok) {
      throw new Error(result.error || "Upload gagal");
    }

    fetch("/api/process", {
      method: "POST",
      headers: { "Content-Type": "application/json" },
      body: JSON.stringify({ documentId: result.documentId }),
      keepalive: true,
    }).catch(console.error);

    setUploadState("success");

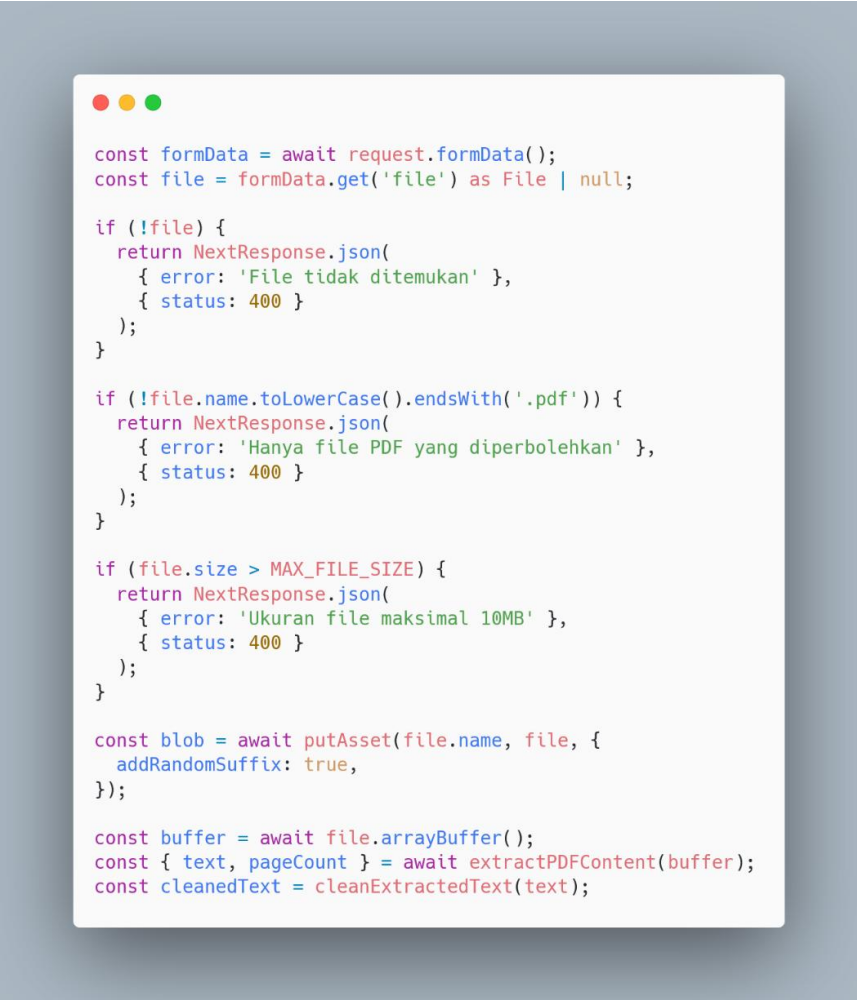
    setTimeout(() => {
      router.push(`/dashboard/documents`);
    }, 1500);
  } catch (err) {
    setUploadState("error");
    setError(err instanceof Error ? err.message : "Terjadi kesalahan");
  }
};

```

Gambar 5.22 Kode Program Proses Upload dari Halaman Pengguna

Kode Program 5.22 menunjukkan bahwa setelah file berhasil dikirim ke endpoint `/api/upload`, sistem langsung memanggil endpoint `/api/process` untuk memulai proses generasi konten pembelajaran. Dengan demikian, pengguna tidak perlu menjalankan proses generasi secara manual setelah dokumen berhasil diunggah.

Pada sisi backend, endpoint `app/api/upload/route.ts` bertugas melakukan validasi pengguna, validasi file PDF, penyimpanan file, ekstraksi isi dokumen, dan penyimpanan metadata dokumen ke database.



```

const formData = await request.formData();
const file = formData.get('file') as File | null;

if (!file) {
  return NextResponse.json(
    { error: 'File tidak ditemukan' },
    { status: 400 }
  );
}

if (!file.name.toLowerCase().endsWith('.pdf')) {
  return NextResponse.json(
    { error: 'Hanya file PDF yang diperbolehkan' },
    { status: 400 }
  );
}

if (file.size > MAX_FILE_SIZE) {
  return NextResponse.json(
    { error: 'Ukuran file maksimal 10MB' },
    { status: 400 }
  );
}

const blob = await putAsset(file.name, file, {
  addRandomSuffix: true,
});

const buffer = await file.arrayBuffer();
const { text, pageCount } = await extractPDFContent(buffer);
const cleanedText = cleanExtractedText(text);

```

Gambar 5.23 Validasi File dan Ekstraksi PDF

Kode Program 5.23 menunjukkan bahwa sistem hanya menerima dokumen dengan format PDF dan ukuran file yang sesuai batas maksimal. Setelah validasi berhasil, dokumen disimpan menggunakan fungsi `putAsset()`, lalu isi dokumen diekstraksi melalui fungsi `extractPDFContent()`. Hasil ekstraksi kemudian dibersihkan menggunakan `cleanExtractedText()` agar teks lebih siap digunakan dalam proses generasi konten.



Gambar 5.24 Kode Program Penyimpanan Dokumen ke Database

Kode Program 5.24 menunjukkan bahwa dokumen yang berhasil diproses disimpan pada tabel documents. Data yang disimpan meliputi identitas pengguna, judul dokumen, nama file asli, URL file, teks hasil ekstraksi, jumlah halaman, status pemrosesan, konfigurasi kuis, dan pilihan suara TTS. Implementasi ini merealisasikan UC-01, yaitu mahasiswa dapat mengunggah dokumen materi PDF sebagai sumber pembuatan konten microlearning.

5.3.2 UC-02 Lihat Teks Imersif

UC-02 digunakan mahasiswa untuk melihat materi dalam format teks imersif. Teks imersif merupakan hasil transformasi isi dokumen PDF menjadi materi pembelajaran yang lebih terstruktur, memiliki section, poin penting, dan pertanyaan reflektif. Proses generasi teks imersif dilakukan oleh endpoint `app/api/process/route.ts` melalui fungsi `generateImmersiveText()`.



Gambar 5.25 Kode Program Tahap Generasi Teks Imersif

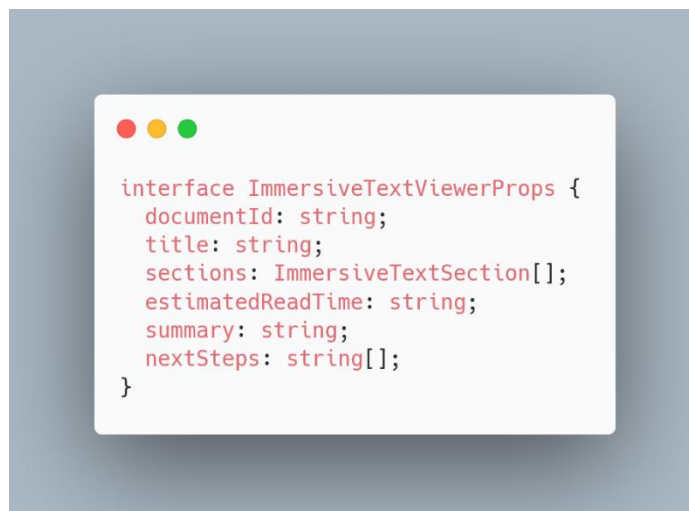
Kode Program 5.25 menunjukkan bahwa teks imersif menjadi salah satu tahapan dalam pipeline generasi konten. Fungsi `generateImmersiveText()` menerima teks hasil ekstraksi dokumen dan mengubahnya menjadi konten pembelajaran dalam format JSON. Setelah konten dihasilkan, sistem menyimpan hasil tersebut ke tabel `learningContent`.



Gambar 5.26 Kode Program Penyimpanan Metadata Teks Imersif

Kode Program 5.26 menunjukkan bahwa sistem menyimpan konten teks imersif beserta metadata pendukung, seperti estimasi waktu baca, tingkat kesulitan, dan jumlah section. Metadata ini digunakan untuk memberikan informasi tambahan kepada pengguna ketika mengakses materi.

Pada sisi antarmuka, teks imersif ditampilkan melalui komponen `ImmersiveTextViewer.tsx`. Komponen ini menerima daftar section dan menampilkan isi materi menggunakan renderer markdown.



Gambar 5.27 Properti Komponen Teks Imersif

Kode Program 5.27 menunjukkan data yang dibutuhkan untuk menampilkan teks imersif. Data tersebut meliputi judul materi, daftar section, estimasi waktu baca, ringkasan, dan saran langkah belajar berikutnya.

Komponen ini juga mendukung konten markdown, tabel, dan formula matematika melalui ReactMarkdown, remark-gfm, remark-math, dan rehype-katex. Dengan ini implementasi ini, materi yang dihasilkan oleh AI dapat ditampilkan dalam bentuk bacaan pembelajaran yang lebih rapi dan interaktif.

5.3.3 UC-03 Kerjakan Kuis Interaktif

UC-03 digunakan oleh mahasiswa untuk mengerjakan kuis interaktif berdasarkan materi PDF yang telah diunggah. Kuis dibuat oleh Gemini menggunakan teks hasil ekstraksi dokumen dan konfigurasi kuis yang dipilih pengguna pada saat upload, seperti tingkat kesulitan dan jenis soal. Jenis soal yang didukung pada sistem meliputi pilihan ganda, benar/salah, dan esai.

Konfigurasi kuis diambil dari data dokumen melalui fungsi `getQuizSettings()` pada berkas `app/api/process/route.ts`. Fungsi ini memastikan bahwa sistem hanya menggunakan tingkat kesulitan dan jenis soal yang valid. Apabila pengguna tidak memilih konfigurasi tertentu, sistem akan menggunakan konfigurasi bawaan, yaitu tingkat kesulitan campuran dan jenis soal pilihan ganda, benar/salah, serta esai.

```

function getQuizSettings(doc: typeof documents.$inferSelect): QuizSettings {
  const difficulty =
    doc.quizDifficulty === 'easy' ||
    doc.quizDifficulty === 'medium' ||
    doc.quizDifficulty === 'hard' ||
    doc.quizDifficulty === 'mixed'
    ? doc.quizDifficulty
    : DEFAULT_QUIZ_SETTINGS.difficulty;

  const questionTypes = Array.isArray(doc.quizTypes)
    ? doc.quizTypes.filter(
        (type) =>
          type === 'multiple_choice' ||
          type === 'true_false' ||
          type === 'essay'
      )
    : [];

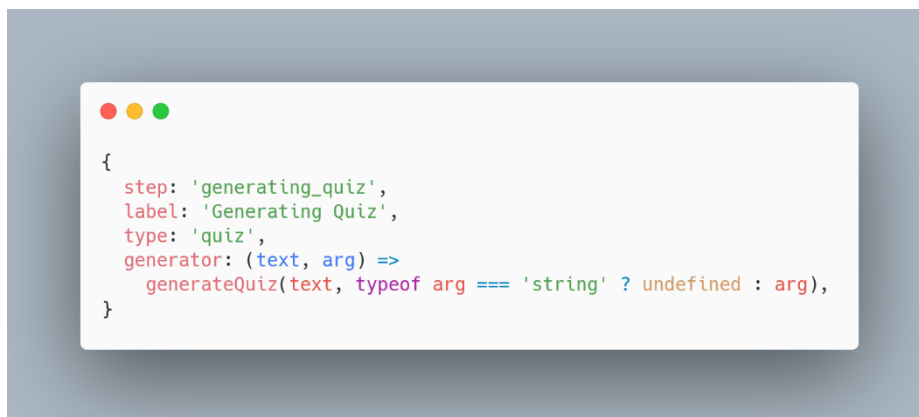
  return {
    difficulty,
    questionTypes:
      questionTypes.length > 0
        ? questionTypes
        : DEFAULT_QUIZ_SETTINGS.questionTypes,
  };
}

```

Gambar 5.28 Kode Program Pengambilan Konfigurasi Kuis

Kode Program 5.28 menunjukkan proses pengambilan konfigurasi kuis dari data dokumen. Sistem melakukan validasi terhadap tingkat kesulitan dan jenis soal agar nilai yang digunakan tetap sesuai dengan konfigurasi yang didukung oleh aplikasi. Konfigurasi ini kemudian digunakan sebagai parameter pada proses generasi kuis.

Setelah konfigurasi kuis diperoleh, sistem menjalankan proses generasi kuis melalui tahapan `generating_quiz`. Pada tahap ini, teks materi dan konfigurasi kuis dikirimkan ke fungsi `generateQuiz()` untuk menghasilkan struktur soal dalam format JSON.



Gambar 5.29 Kode Program Tahap Generasi Kuis

Kode Program 5.29 menunjukkan bahwa proses pembuatan kuis dilakukan melalui fungsi `generateQuiz()`. Fungsi tersebut menerima teks hasil ekstraksi dokumen dan konfigurasi kuis. Hasil generasi kemudian disimpan sebagai konten pembelajaran bertipe quiz pada database.

Pada sisi antarmuka, kuis ditampilkan melalui komponen `QuizPlayer.tsx`. Komponen ini mengatur soal yang sedang aktif, jawaban pengguna, waktu pengerjaan, hasil pemeriksaan jawaban, serta status penyelesaian kuis. Untuk mencegah jawaban hilang ketika halaman di-refresh, sistem menyimpan draft pengerjaan kuis ke `localStorage`.



Gambar 5.30 Kode Program Penyimpanan Draft Jawaban Kuis

Kode Program 5.30 menunjukkan bahwa sistem menyimpan status pengerjaan kuis sementara pada `localStorage`. Data yang disimpan meliputi nomor soal aktif, daftar jawaban, jawaban yang sedang dipilih, dan status hasil pemeriksaan. Dengan mekanisme ini, pengguna dapat melanjutkan pengerjaan kuis apabila halaman tidak sengaja dimuat ulang.

Pemeriksaan jawaban kuis dilakukan berdasarkan jenis soal. Untuk soal pilihan ganda dan benar/salah, sistem melakukan pencocokan langsung dengan kunci jawaban. Sementara itu, untuk soal esai, sistem mengirimkan jawaban pengguna ke endpoint `/api/quiz/grade-essay` agar dapat dinilai menggunakan Gemini berdasarkan rubrik, kata kunci, contoh jawaban, dan variasi jawaban yang dapat diterima.



```

if (question.type === "essay") {
  setIsCheckingAnswer(true);

  try {
    const res = await fetch("/api/quiz/grade-essay", {
      method: "POST",
      headers: { "Content-Type": "application/json" },
      body: JSON.stringify({
        question,
        userAnswer: selectedAnswer,
      }),
    });
  } catch (error) {
    feedback = localGradeEssayAnswer(question, selectedAnswer as string);
    isCorrect = feedback.status === "adequate";
  } finally {
    setIsCheckingAnswer(false);
  }
}

```

Gambar 5.31 Kode Program Pemeriksaan Jawaban Esai

Kode Program 5.31 menunjukkan proses pemeriksaan jawaban esai. Sistem terlebih dahulu mencoba melakukan penilaian menggunakan Gemini melalui endpoint `/api/quiz/grade-essay`. Apabila proses tersebut gagal, sistem tetap dapat melakukan penilaian sederhana menggunakan fungsi fallback `localGradeEssayAnswer()`. Dengan demikian, fitur kuis tetap dapat berjalan meskipun layanan AI mengalami gangguan.

Endpoint `/api/quiz/grade-essay` bertugas menerima jawaban esai dari pengguna, memvalidasi data yang dikirim, memanggil fungsi penilaian berbasis AI, dan mengembalikan hasil penilaian ke antarmuka kuis.

```

export async function POST(req: NextRequest) {
  const user = await getCurrentUser();

  if (!user) {
    return NextResponse.json({ error: "Unauthorized" }, { status: 401 });
  }

  const body = await req.json();
  const parsed = gradeEssaySchema.safeParse(body);

  if (!parsed.success) {
    return NextResponse.json(
      { error: "Invalid request", details: parsed.error.flatten() },
      { status: 400 },
    );
  }

  const grading = await gradeEssayAnswerWithAI(
    parsed.data.question as QuizQuestion,
    parsed.data.userAnswer,
  );

  return NextResponse.json({
    success: true,
    grading,
    isCorrect: grading.status === "adequate",
  });
}

```

Gambar 5.32 Kode Program Endpoint Penilaian Jawaban Esai

Kode Program 5.32 menunjukkan endpoint yang digunakan untuk menilai jawaban esai. Endpoint ini hanya dapat digunakan oleh pengguna yang sudah login. Data yang masuk divalidasi terlebih dahulu, kemudian dikirim ke fungsi `gradeEssayAnswerWithAI` () untuk memperoleh hasil penilaian.

Proses penilaian esai menggunakan Gemini dilakukan pada berkas `lib/ai/essay-grader.ts`. Model yang digunakan diambil dari konfigurasi `GMEINI_MODELS`. `essayGrader`, sehingga pengaturan model tetap terpusat pada berkas konfigurasi Gemini.

```

const model = genAI.getGenerativeModel({
  model: GEMINI_MODELS.essayGrader,
  systemInstruction: ESSAY_GRADER_SYSTEM_PROMPT,
  generationConfig: {
    responseMimeType: "application/json",
  },
});

const result = await model.generateContent(prompt);

```

Gambar 5.33 Kode Program Pemanggilan Model Penilai Esai

Kode Program 5.33 menunjukkan bahwa penilaian jawaban esai dilakukan menggunakan model Gemini yang dikonfigurasi sebagai `essayGrader`. Sistem juga

mengatur `responseMimeType` menjadi `application/json` agar hasil penilaian dapat diproses secara terstruktur oleh aplikasi.

Setelah seluruh soal selesai dikerjakan, sistem mengirimkan hasil kuis ke endpoint `/api/quiz/submit`. Data yang dikirim meliputi indeks soal, jawaban pengguna, status benar atau tidak, waktu pengerjaan, serta feedback esai jika tersedia.



```
const responses = Object.entries(answers).map(([index, data]) => ({
  questionIndex: parseInt(index),
  userAnswer: String(data.answer),
  isCorrect: data.isCorrect,
  feedback: data.feedback,
  timeSpentMs: data.timeSpent,
}));

await fetch("/api/quiz/submit", {
  method: "POST",
  headers: { "Content-Type": "application/json" },
  body: JSON.stringify({
    contentId,
    responses,
    totalScore,
  }),
});
```

Gambar 5.34 Kode Program Pengiriman Hasil Kuis

Kode Program 5.34 menunjukkan proses pengiriman hasil kuis ke server. Pada implementasi terbaru, sistem tidak hanya menyimpan jawaban dan skor, tetapi juga menyimpan feedback hasil penilaian esai. Feedback tersebut disimpan pada kolom `feedback` di tabel `quiz_responses`.



```
await db.insert(quizResponses).values(
  responses.map((r) => ({
    userId: user.id,
    contentId,
    questionIndex: r.questionIndex,
    userAnswer: r.userAnswer,
    isCorrect: r.isCorrect,
    feedback: r.feedback,
    timeSpentMs: r.timeSpentMs,
  })))
);
```

Gambar 5.35 Kode Program Penyimpanan Jawaban dan Feedback Kuis

Kode Program 5.35 menunjukkan bahwa setiap jawaban pengguna disimpan ke tabel `quiz_responses`. Untuk soal esai, data feedback yang dihasilkan oleh Gemini atau fallback lokal ikut disimpan dalam bentuk JSON. Data ini kemudian digunakan kembali pada halaman review kuis.

Implementasi ini merealisasikan UC-03, yaitu mahasiswa dapat mengerjakan kuis interaktif, mendapatkan hasil pemeriksaan jawaban, memperoleh feedback untuk soal esai, dan melihat kembali hasil pengerjaan kuis pada halaman review. Dengan adanya penilaian esai berbasis AI, sistem tidak hanya memeriksa kesamaan jawaban secara literal, tetapi juga mempertimbangkan kesesuaian makna jawaban terhadap rubrik pembelajaran.

5.3.4 UC-04 Lihat Slide Materi

UC-04 digunakan mahasiswa untuk melihat materi dalam bentuk slide pembelajaran. Slide materi dihasilkan dari teks hasil ekstraksi dokumen PDF, kemudian disusun menjadi beberapa halaman presentasi. Format slide digunakan agar materi panjang dapat dipelajari secara bertahap dan lebih visual. Setiap slide dapat berisi judul, subjudul, ikon, penjelasan, bullet point, contoh kode, catatan pembicara, dan prompt gambar apabila materi membutuhkan visualisasi tambahan.

Implementasi fitur slide terdiri dari dua bagian utama, yaitu proses generasi slide menggunakan Gemini dan proses penampilan slide pada antarmuka pengguna. Proses generasi slide dilakukan pada berkas `lib/ai/content-generator.ts`, sedangkan tampilan slide diimplementasikan pada komponen `components/learning/SlidesViewer.tsx`.



```
export async function generateSlides(
  extractedText: string
): Promise<SlidesContent> {
  const model = genAI.getGenerativeModel({
    model: 'gemini-3-flash-preview',
    systemInstruction: SLIDES_GENERATION_SYSTEM_PROMPT,
    generationConfig: {
      responseMimeType: 'application/json',
    }
  });

  const result = await withRetry(() =>
    model.generateContent(createSlidesPrompt(extractedText))
  );

  const responseText = result.response.text();

  try {
    const jsonString = extractJSON(responseText);
    const parsed = JSON.parse(jsonString) as SlidesContent;

    if (!parsed.title || !parsed.slides || !Array.isArray(parsed.slides)) {
      throw new Error('Invalid response structure');
    }

    return parsed;
  } catch (error) {
    console.error('Failed to parse slides response:', error);
    console.error('Raw response:', responseText);
    throw new Error('Failed to generate slides content');
  }
}
```

Gambar 5.36 Implementasi Fungsi Generasi Slide Materi

Kode Program 5.36 menunjukkan proses utama pembuatan slide materi. Sistem membuat instance model Gemini menggunakan `genAI.getGenerativeModel()` dengan

SLIDES_GENERATION_SYSTEM_PROMPT sebagai system instruction. Prompt tersebut mengarahkan Gemini untuk menghasilkan slide pembelajaran yang detail, informatif, dan sesuai dengan struktur JSON yang dibutuhkan sistem.

Konfigurasi responseType: “application/json” digunakan agar respons model diarahkan dalam bentuk JSON. Setelah Gemini mengembalikan respons, sistem mengambil teks respons melalui result.response.text(), kemudian memprosesnya menggunakan fungsi extractJSON(). Hasil JSON tersebut diubah menjadi objek SlidesContent.

Hasil dari fungsi generateSlides() kemudian disimpan ke database melalui proses saveContent() pada app/api/process/route.ts.



```

case 'slides':
  metadata.totalSlides = contentData.totalSlides;
  metadata.estimatedDuration = contentData.estimatedDuration;
  break;

await db.insert(learningContent).values({
  documentId,
  type,
  title: (contentData.title || contentData.quizTitle || 'Untitled') as string,
  content: contentData,
  metadata,
});

```

Gambar 5.37 Kode Program Penyimpanan Hasil Slide ke Database

Kode Program 5.37 menunjukkan bahwa hasil slide disimpan sebagai data bertipe slides pada tabel learningContent. Metadata yang disimpan meliputi jumlah slide dan estimasi durasi pembelajaran. Metadata ini digunakan untuk menampilkan informasi ringkas kepada pengguna pada halaman pembelajaran.

Pada beberapa slide, Gemini dapat menghasilkan imagePrompt untuk membuat ilustrasi atau diagram pendukung. Jika sebuah slide memiliki imagePrompt tetapi belum memiliki imageUrl, komponen SlidesViewer akan memanggil endpoint /api/slide-image untuk menghasilkan gambar.


```

useEffect(() => {
  if (
    currentSlide?.imagePrompt &&
    !currentSlide.imageUrl &&
    !imageLoading[currentIndex] &&
    !imageError[currentIndex]
  ) {
    const loadImage = async () => {
      setImageLoading((prev) => ({ ...prev, [currentIndex]: true }));

      try {
        const res = await fetch('/api/slide-image', {
          method: 'POST',
          headers: { 'Content-Type': 'application/json' },
          body: JSON.stringify({
            contentId,
            slideIndex: currentIndex,
          }),
        });

        const data = await res.json();

        if (data.imageUrl) {
          setSlides((prev) => {
            const updated = [...prev];
            updated[currentIndex] = {
              ...updated[currentIndex],
              imageUrl: data.imageUrl,
            };
            return updated;
          });
        } else if (data.error) {
          setImageError((prev) => ({
            ...prev,
            [currentIndex]: data.error,
          }));
        }
      } catch {
        setImageError((prev) => ({
          ...prev,
          [currentIndex]: 'Gagal memuat gambar',
        }));
      } finally {
        setImageLoading((prev) => ({
          ...prev,
          [currentIndex]: false,
        }));
      }
    };

    loadImage();
  }
}, [
  currentSlide,
  currentIndex,
  contentId,
  imageLoading,
  imageError,
]);

```

Gambar 5.38 Kode Program Generate Gambar Pendukung Slide

Kode Program 5.38 menunjukkan bahwa gambar pendukung slide dibuat secara on-demand. Artinya, gambar tidak harus langsung dibuat bersamaan dengan proses generasi slide, tetapi dapat dibuat ketika slide tersebut dibuka oleh pengguna. Pendekatan ini membantu mengurangi beban pemrosesan awal dan mempercepat proses utama generasi konten.

Dengan implementasi tersebut, UC-04 tidak hanya menampilkan materi dalam bentuk slide statis, tetapi juga mendukung navigasi interaktif, keyboard shortcut, animasi transisi, dan pembuatan gambar

pendukung berdasarkan imagePrompt. Fitur ini merealisasikan rancangan UC-04 pada Bab 4, yaitu mahasiswa dapat melihat materi hasil generasi sistem dalam bentuk slide pembelajaran yang lebih visual dan terstruktur.

5.3.5 UC-05 Generate dan Putar Audio

UC-05 digunakan mahasiswa untuk menghasilkan dan memutar audio pembelajaran dari materi PDF yang telah diunggah. Pada sistem MangMicro, fitur audio tidak langsung dibuat sebagai file suara pada saat dokumen diproses. Sistem terlebih dahulu menghasilkan skrip audio berdasarkan isi materi, kemudian file audio dibuat ketika pengguna membuka fitur audio dan menekan tombol play atau generate audio.

Pendekatan tersebut digunakan agar proses awal pembuatan konten tidak terlalu berat. Pembuatan skrip audio dilakukan bersamaan dengan proses generasi konten microlearning, sedangkan konversi menjadi audio dilakukan secara terpisah melalui endpoint audio. Dengan demikian, sistem dapat menyimpan struktur pembelajaran audio terlebih dahulu, lalu menghasilkan file suara ketika dibutuhkan.

Implementasi UC-05 melibatkan berkas utama, yaitu `app/api/process/route.ts` untuk membuat skrip audio, `lib/ai/content-generator.ts` untuk memanggil Gemini dan Gemini TTS, `app/api/audio/route.ts` untuk menghasilkan file audio, serta `components/learning/AudioPlayer.tsx` untuk menampilkan dan memutar audio pada antarmuka pengguna



```

{
  step: 'generating_audio_script',
  label: 'Generating Audio Script',
  type: 'audio',
  generator: (text, arg) =>
    generateAudioScript(text, typeof arg === 'string' ? arg : undefined),
}

```

Gambar 5.39 Kode Program Tahap Generasi Skrip Audio

Kode Program 5.39 menunjukkan bahwa pembuatan skrip audio menjadi salah satu tahap pada pipeline pemrosesan dokumen. Pada tahap ini, sistem memanggil fungsi `generateAudioScript()` dengan input berupa teks hasil ekstraksi dokumen PDF. Parameter `arg` digunakan untuk mengirimkan nama pengguna apabila tersedia, sehingga skrip audio dapat dibuat lebih personal.

Fungsi `generateAudioScript()` menghasilkan data audio dalam bentuk terstruktur, bukan langsung berupa file suara. Data yang dihasilkan meliputi judul audio, durasi estimasi, daftar segment, full script, dan key takeaways. Struktur ini memungkinkan audio lesson memiliki bagian-bagian pembelajaran seperti pembukaan, penjelasan materi, contoh, rekap, dan penutup.



```

export async function generateAudioScript(
  extractedText: string,
  userName?: string
): Promise<AudioScriptContent> {
  const model = genAI.getGenerativeModel({
    model: 'gemini-3-flash-preview',
    systemInstruction: AUDIO_SCRIPT_SYSTEM_PROMPT,
    generationConfig: {
      responseType: "application/json",
    }
  });

  const result = await withRetry(() =>
    model.generateContent(createAudioScriptPrompt(extractedText, userName))
  );

  const responseText = result.response.text();

  try {
    const jsonString = extractJSON(responseText);
    const parsed = JSON.parse(jsonString) as AudioScriptContent;

    if (!parsed.title || !parsed.segments || !parsed.fullScript) {
      throw new Error('Invalid response structure');
    }

    return parsed;
  } catch (error) {
    console.error('Failed to parse audio script response:', error);
    console.error('Raw response:', responseText);
    throw new Error('Failed to generate audio script content');
  }
}

```

Gambar 5.40 Kode Program Implementasi Fungsi Generasi Skrip Audio

Kode Program 5.40 menunjukkan bahwa sistem menggunakan Gemini untuk menghasilkan skrip audio. Model dipanggil dengan AUDIO_SCRIPT_SYSTEM_PROMPT agar respons yang dihasilkan sesuai dengan gaya audio pembelajaran. Konfigurasi responseType: "application/json" digunakan agar hasil dikembalikan berbentuk JSON. Setelah respons diterima, sistem melakukan parsing dan validasi untuk memastikan data memiliki *title*, *segments*, dan *fullscript*.

Setelah skrip audio berhasil dibuat, data tersebut disimpan ke tabel learningContent sebagai konten bertipe audio.



```

case 'audio':
  metadata.duration = contentData.duration;
  metadata.segmentCount = (contentData.segments as unknown[])?.length || 0;
  break;

await db.insert(learningContent).values({
  documentId,
  type,
  title: (contentData.title || contentData.quizTitle || 'Untitled') as string,
  content: contentData,
  metadata,
});

```

Gambar 5.41 Kode Program Penyimpanan Metadata Audio

Kode Program 5.41 menunjukkan bahwa sistem menyimpan metadata audio berupa estimasi durasi dan jumlah segment. Data utama audio disimpan pada field content, sedangkan metadata digunakan untuk menampilkan informasi ringkas kepada pengguna.

Setelah skrip audio tersedia, proses konversi menjadi file suara dilakukan melalui endpoint `app/api/audio/route.ts`. Endpoint ini dapat menghasilkan audio secara langsung maupun melalui background job. Pada implementasi MangMicro, proses audio dapat dijalankan sebagai background job agar pengguna tetap mendapatkan informasi progres tanpa harus menunggu proses selesai di satu request panjang



```

const handlePlay = async () => {
  if (!hasSegmentAudio) {
    handleGenerateAudio();
    return;
  }

  await togglePlay();
};

const handleGenerateAudio = async () => {
  if (isGenerating) return;

  setIsGenerating(true);

  const res = await fetch("/api/audio", {
    method: "POST",
    headers: { "Content-Type": "application/json" },
    body: JSON.stringify({ contentId, background: true }),
    keepalive: true,
  });

  const { jobId } = await res.json();
  setBackgroundJobId(jobId);
};

```

Gambar 5.42 Kode Program Pemicu Generate Audio dari Antarmuka

Kode Program 5.42 menunjukkan bahwa ketika pengguna menekan tombol play, sistem terlebih dahulu memeriksa apakah audio segment sudah tersedia. Jika audio belum tersedia, sistem tidak langsung memutar audio, tetapi memanggil `handleGenerateAudio()` untuk memulai proses pembuatan audio. Request dikirim ke endpoint `/api/audio` dengan parameter `background: true`, sehingga proses dapat dijalankan sebagai background job.

Pada endpoint audio, sistem mengambil data audio script dari database, kemudian memproses setiap segment menjadi file audio. Setiap segment dikirim ke fungsi `generateAudioFromText()` untuk dikonversi menjadi suara menggunakan Gemini TTS.



```

for (let i = 0; i < totalSegments; i++) {
  const segment = segments[i];
  const progress = Math.round((i / totalSegments) * 100);

  send({
    step: 'generating_audio',
    status: 'in_progress',
    message: `Generating audio for segment ${i + 1}/${totalSegments}`,
    detail: segment.topic || segment.type,
    progress
  });

  try {
    if (segment.audioUrl) {
      updatedSegments.push(segment);
      continue;
    }

    const { audioBase64 } = await generateAudioFromText(
      segment.text,
      voiceName
    );

    const wavBuffer = createWavBuffer(audioBase64);
    const pcmBytes = wavBuffer.length - 44;
    const actualDuration = pcmBytes / (24000 * 2);

    const blob = await putAsset(
      `audio-segments/${contentId}/${segment.id}.wav`,
      wavBuffer,
      {
        contentType: 'audio/wav',
        addRandomSuffix: true
      }
    );

    updatedSegments.push({
      ...segment,
      audioUrl: blob.url,
      actualDuration: Math.ceil(actualDuration)
    });
  } catch (err) {
    console.error(`Failed segment ${i}:`, err);
    updatedSegments.push(segment);
  }
}

```

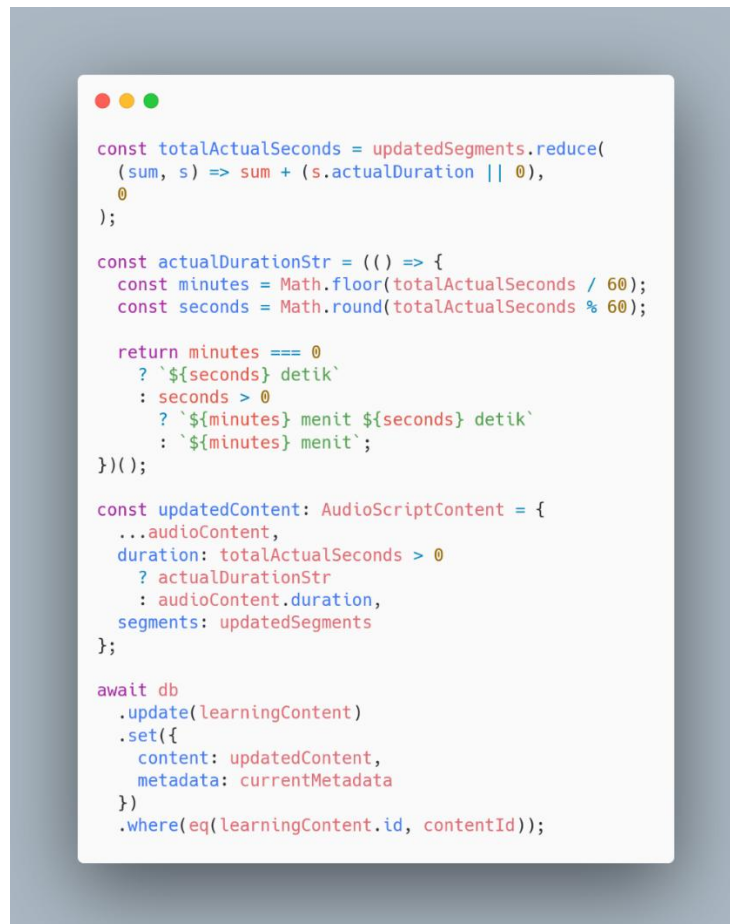
Gambar 5.43 Kode Program Generate Audio per Segment

Kode Program 5.43 menunjukkan bahwa proses audio dilakukan per segment. Jika sebuah segment sudah memiliki `audioUrl`, maka sistem tidak membuat ulang audio tersebut. Jika belum tersedia, teks pada segment dikirim ke Gemini TTS melalui fungsi `generateAudioFromText()`. Hasil audio kemudian diubah menjadi file WAV menggunakan `createWavBuffer()`.

Sistem juga menghitung durasi aktual audio berdasarkan ukuran data PCM. Durasi aktual tersebut disimpan pada field `actualDuration`, sehingga player dapat mengetahui panjang audio yang sebenarnya.

Setelah audio per segment dibuat, sistem menyimpan file tersebut ke storage menggunakan `putAsset()`. URL hasil penyimpanan kemudian dimasukkan ke dalam data segment melalui field `audioUrl`.

Setelah seluruh segment selesai diproses, sistem menghitung total durasi aktual audio dan memperbarui konten audio di database.



```
const totalActualSeconds = updatedSegments.reduce(
  (sum, s) => sum + (s.actualDuration || 0),
  0
);

const actualDurationStr = (() => {
  const minutes = Math.floor(totalActualSeconds / 60);
  const seconds = Math.round(totalActualSeconds % 60);

  return minutes === 0
    ? `${seconds} detik`
    : seconds > 0
      ? `${minutes} menit ${seconds} detik`
      : `${minutes} menit`;
})();

const updatedContent: AudioScriptContent = {
  ...audioContent,
  duration: totalActualSeconds > 0
    ? actualDurationStr
    : audioContent.duration,
  segments: updatedSegments
};

await db
  .update(learningContent)
  .set({
    content: updatedContent,
    metadata: currentMetadata
  })
  .where(eq(learningContent.id, contentId));
```

Gambar 5.44 Kode Program Pembaruan Konten Audio Setelah Generate

Kode Program 5.44 menunjukkan bahwa setelah semua segment diproses, sistem memperbarui data audio pada database. Field `segments` diperbarui dengan segment yang sudah memiliki `audioUrl` dan `actualDuration`. Durasi total juga diperbarui berdasarkan durasi aktual audio, bukan hanya estimasi dari hasil generasi AI.

Untuk mendukung proses background, sistem mencatat status pembuatan audio pada tabel `backgroundJobs`. Status ini digunakan untuk menampilkan progres kepada pengguna.

```

async function processAudioInBackground(
  contentId: string,
  audioContent: AudioScriptContent,
  voiceName: string,
  jobId: string
) {
  await db
    .update(backgroundJobs)
    .set({
      status: 'processing',
      startedAt: new Date()
    })
    .where(eq(backgroundJobs.id, jobId));

  try {
    const dbSend = (update: ProgressUpdate) => {
      if (update.progress !== undefined) {
        db.update(backgroundJobs)
          .set({
            progress: update.progress,
            currentStep: update.detail || update.message || ''
          })
          .where(eq(backgroundJobs.id, jobId))
          .catch(e =>
            console.error("Failed to update job progress:", e)
          );
      }
    };

    await processAudioSSE(
      contentId,
      audioContent,
      voiceName,
      dbSend
    );

    await db
      .update(backgroundJobs)
      .set({
        status: 'completed',
        progress: 100,
        currentStep: 'Audio ready!',
        completedAt: new Date(),
      })
      .where(eq(backgroundJobs.id, jobId));
  } catch (error) {
    await db
      .update(backgroundJobs)
      .set({
        status: 'failed',
        errorMessage:
          error instanceof Error ? error.message : 'Unknown error',
        completedAt: new Date(),
      })
      .where(eq(backgroundJobs.id, jobId));

    throw error;
  }
}

```

Gambar 5.45 Kode Program Background Job Generate Audio

Kode Program 5.45 menunjukkan bahwa proses pembuatan audio dapat berjalan di background. Ketika job dimulai, status diubah menjadi processing. Selama proses berlangsung, progres dan langkah saat ini diperbarui ke database. Jika proses berhasil, status diubah menjadi completed; jika gagal, status diubah menjadi failed dan pesan error disimpan.

Pada sisi frontend, komponen `AudioPlayer.tsx` memantau status background job. Jika terdapat job aktif, komponen menampilkan progres pembuatan audio.



Gambar 5.46 Pemantauan Progres Audio di Antarmuka

Kode Program 5.46 menunjukkan bahwa antarmuka melakukan polling ke endpoint `/api/jobs/status` untuk melihat perkembangan proses audio. Jika job selesai, halaman dimuat ulang agar audio yang sudah dibuat dapat ditampilkan dan diputar. Jika job gagal, pesan error ditampilkan kepada pengguna.

Berdasarkan implementasi tersebut, UC-05 tidak hanya mencakup pemutaran audio, tetapi juga seluruh proses pembuatan audio lesson dari dokumen PDF. Sistem menghasilkan skrip audio menggunakan Gemini, mengubah setiap segment menjadi audio menggunakan Gemini TTS, menyimpan audio ke storage, memperbarui database, menampilkan progres background job, dan menyediakan antarmuka pemutaran

audio kepada mahasiswa. Implementasi ini merealisasikan rancangan UC-05, yaitu mahasiswa dapat menghasilkan dan mendengarkan audio pembelajaran dari materi yang telah diunggah.

5.3.6 UC-06 Lihat Peta Konsep

UC-06 digunakan mahasiswa untuk melihat materi dalam bentuk peta konsep atau visual map. Fitur ini bertujuan untuk membantu mahasiswa memahami hubungan antar konsep yang terdapat pada dokumen materi PDF. Berbeda dengan teks imersif yang menyajikan materi secara naratif, peta konsep menyajikan materi dalam bentuk node dan edge sehingga pengguna dapat melihat struktur pengetahuan secara lebih visual.

Implementasi UC-06 terdiri dari dua bagian utama. Bagian pertama adalah proses generasi struktur peta konsep menggunakan Gemini. Bagian kedua adalah proses visualisasi peta konsep pada antarmuka pengguna menggunakan ReactFlow. Proses generasi dilakukan pada berkas `lib/ai/content-generator.ts`, sedangkan tampilan peta konsep diimplementasikan pada komponen `components/learning/MindmapViewer.tsx`.

Struktur data konsep terdiri dari `rootNode`, `nodes`, `edges`, dan `summary`. `rootNode` merepresentasikan konsep utama materi, `nodes` merepresentasikan konsep turunan, `edges` merepresentasikan relasi antar konsep, sedangkan `summary` berisi sintesis visual dari keseluruhan materi.

```

export interface MindmapNode {
  id: string;
  label: string;
  description?: string;
  explanation?: string;
  category: 'concept' | 'detail' | 'example' | 'definition';
  level: number;
}

export interface MindmapEdge {
  id: string;
  source: string;
  target: string;
  label?: string | null;
}

export interface MindmapRootNode {
  id: string;
  label: string;
  description?: string;
  explanation?: string;
}

export interface MindmapContent {
  title: string;
  rootNode: MindmapRootNode;
  nodes: MindmapNode[];
  edges: MindmapEdge[];
  summary: string;
}

```

Gambar 5.47 Struktur Data Peta Konsep

Kode Program 5.47 menunjukkan struktur data yang digunakan untuk menyimpan peta konsep. Setiap node memiliki id, label, description, explanation, category, dan level. Field category digunakan untuk membedakan jenis node, seperti konsep utama, detail, contoh, atau definisi. Field level digunakan untuk menunjukkan kedalaman node pada struktur peta konsep.

Relasi antar node disimpan dalam bentuk edge. Setiap edge memiliki source dan target yang menunjukkan arah hubungan antara node asal dan node tujuan. Dengan struktur ini, peta konsep dapat divisualisasikan secara hierarkis dan interaktif.

Proses generasi peta konsep dilakukan melalui fungsi generateMindmap() pada berkas lib/ai/content-generator.ts.

```

export async function generateMindmap(
  extractedText: string
): Promise<MindmapContent> {
  const model = genAI.getGenerativeModel({
    model: 'gemini-3-flash-preview',
    systemInstruction: MINDMAP_GENERATION_SYSTEM_PROMPT,
    generationConfig: {
      responseMimeType: "application/json",
    }
  });

  const result = await withRetry(() =>
    model.generateContent(createMindmapPrompt(extractedText))
  );

  const responseText = result.response.text();

  try {
    const jsonString = extractJSON(responseText);
    const parsed = JSON.parse(jsonString) as MindmapContent;

    if (!parsed.title || !parsed.rootNode || !parsed.nodes || !parsed.edges) {
      throw new Error('Invalid response structure');
    }

    return parsed;
  } catch (error) {
    console.error('Failed to parse mindmap response:', error);
    console.error('Raw response:', responseText);
    throw new Error('Failed to generate mindmap content');
  }
}

```

Gambar 5.48 Kode Program Implementasi Fungsi Generasi Peta Konsep

Kode Program 5.48 menunjukkan bahwa peta konsep dibuat dengan memanggil model Gemini menggunakan MINDMAP_GENERATION_SYSTEM_PROMPT. Prompt tersebut mengarahkan Gemini untuk menghasilkan struktur mindmap berdasarkan teks hasil ekstraksi dokumen PDF. Konfigurasi responseMimeType: "application/json" digunakan agar respons model dikembalikan dalam bentuk JSON.

Setelah respons diterima, sistem melakukan proses ekstraksi JSON melalui fungsi extractJSON(), kemudian hasilnya diubah menjadi objek MindmapContent. Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa respons memiliki title, rootNode, nodes, dan edges. Apabila salah satu struktur utama tersebut tidak tersedia, sistem akan menganggap respons tidak valid.

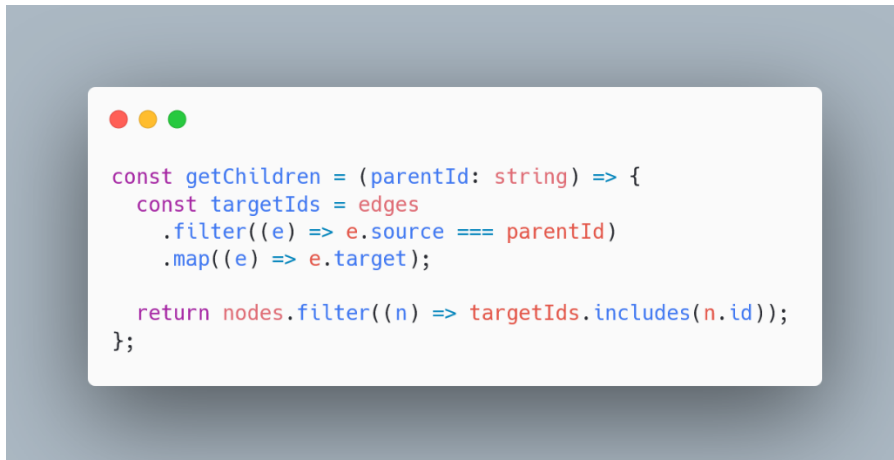
Pembuatan visual peta konsep dimulai dengan membentuk root node di tengah area canvas. Root node berfungsi sebagai konsep utama dari materi.



Gambar 5.49 Kode Program Pembentukan Root Node

Kode Program 5.49 menunjukkan bahwa root node ditempatkan pada koordinat tengah canvas, yaitu centerX dan centerY. Node ini diberi styling khusus melalui CATEGORY_STYLES.root agar tampil berbeda dari node lainnya. Dengan cara ini, pengguna dapat langsung mengenali konsep utama materi.

Untuk menentukan hubungan parent-child antar node, sistem menggunakan fungsi getChildren(). Fungsi ini mencari node yang memiliki hubungan dengan parent tertentu berdasarkan data edge.



Gambar 5.50 Kode Program Fungsi Pengambilan Child Node

Kode Program 5.50 menunjukkan bahwa sistem membaca daftar edge untuk mencari node turunan dari sebuah parent node. Edge yang memiliki source sama dengan parentId dianggap sebagai hubungan dari parent ke child. Hasil digunakan untuk menentukan susunan visual node pada peta konsep.

Setelah root node dibentuk, sistem membentuk node level 1 di sekitar root node. Node level 1 merepresentasikan cabang utama dari materi.



Gambar 5.51 Kode Program Pembentukan Node Level 1

Kode Program 5.51 menunjukkan bahwa node level 1 ditempatkan secara melingkar di sekitar root node. Posisi setiap node dihitung menggunakan fungsi trigonometri berdasarkan sudut dan radius. Pendekatan ini membuat cabang utama tersebar merata di sekitar konsep pusat sehingga peta konsep lebih mudah dibaca.

Selain node level 1, sistem juga membentuk node level 2 dan level 3. Node level 2 digunakan untuk menjelaskan sub-konsep, sedangkan node level 3 digunakan untuk detail tambahan apabila tersedia.



Gambar 5.52 Pembentukan Node Level 2

Kode Program 5.52 menunjukkan bahwa node level 2 diposisikan relatif terhadap node level 1. Penempatan ini membuat relasi antar konsep tetap terlihat sebagai struktur hierarkis. Setiap node juga diberi class berdasarkan kategori, sehingga konsep, detail, contoh, dan definisi dapat dibedakan secara visual.

Setelah seluruh node dibentuk, sistem membentuk edge untuk menghubungkan node-node tersebut.



Gambar 5.53 Kode Program Pembentukan Edge Peta Konsep

Kode Program 5.53 menunjukkan bahwa setiap edge dari hasil generasi AI diubah menjadi edge ReactFlow. Edge menggunakan tipe smoothstep agar hubungan antar node terlihat lebih halus. Marker panah digunakan untuk menunjukkan arah relasi dari satu konsep ke konsep lain.

Komponen MindmapViewer juga menyediakan interaksi pengguna. Pengguna dapat melakukan zoom, drag, fullscreen, dan klik node untuk melihat penjelasan detail.

```

onNodeClick=async (event, node) => {
  if (node.id === rootNode.id) {
    setSelectedNode({
      id: rootNode.id,
      label: rootNode.label,
      description: rootNode.description,
      explanation: rootNode.explanation,
      category: "root",
    });
  } else {
    const foundNode = nodes.find((n) => n.id === node.id);

    if (foundNode) {
      setSelectedNode({
        id: foundNode.id,
        label: foundNode.label,
        description: foundNode.description,
        explanation: foundNode.explanation,
        category: foundNode.category,
      });
    }
  }

  const newVisited = new Set(visitedNodes);
  newVisited.add(node.id);

  if (newVisited.size > visitedNodes.size) {
    setVisitedNodes(newVisited);

    if (contentId) {
      const totalNodes = nodes.length + 1;
      const progressPercent = Math.min(
        100,
        Math.round((newVisited.size / totalNodes) * 100),
      );

      await fetch("/api/progress", {
        method: "POST",
        headers: { "Content-Type": "application/json" },
        body: JSON.stringify({
          contentId,
          progressPercent,
          status: progressPercent === 100 ? "completed" : "in_progress",
          resumeData: { visitedNodes: Array.from(newVisited) },
        }),
      });
    }
  }
}
}

```

Gambar 5.54 Kode Program Interaksi Klik Node dan Penyimpanan Progres

Kode Program 5.54 menunjukkan bahwa ketika pengguna mengklik sebuah node, sistem menampilkan informasi detail node tersebut melalui state `selectedNode`. Selain itu, sistem juga mencatat node yang telah dikunjungi oleh pengguna. Jumlah node yang telah dikunjungi dihitung sebagai progres belajar, kemudian dikirim ke endpoint `/api/progress`. Dengan demikian, peta konsep tidak hanya bersifat visual, tetapi juga mendukung pelacakan aktivitas belajar.

Informasi detail node ditampilkan dalam bentuk modal. Modal ini menampilkan label, deskripsi, dan penjelasan tambahan dari node yang dipilih.



Gambar 5.55 Kode Program Tampilan Detail Node

Kode Program 5.55 menunjukkan bahwa detail node ditampilkan ketika pengguna memilih salah satu node pada peta konsep. Informasi ini membantu pengguna memahami konsep secara lebih mendalam tanpa harus meninggalkan halaman peta konsep.

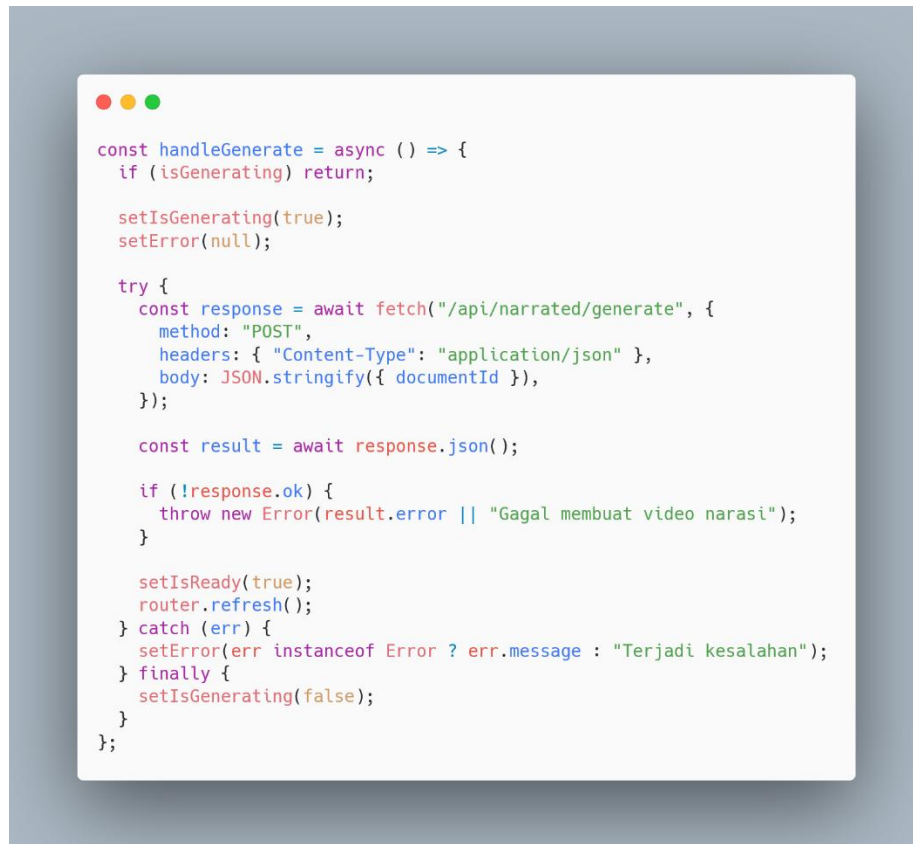
Berdasarkan implementasi tersebut, UC-06 merealisasikan fitur peta konsep interaktif yang tidak hanya menampilkan hubungan antar konsep, tetapi juga menyediakan eksplorasi node, detail penjelasan, fullscreen, zoom, drag, minimap, dan pencatatan progres belajar. Dengan fitur ini, mahasiswa dapat memahami struktur materi secara visual dan mengeksplorasi bagian-bagian konsep sesuai kebutuhan belajar masing-masing.

5.3.7 UC-07 Tonton Video Bernarasi

UC-07 digunakan mahasiswa untuk membuat dan menonton video pembelajaran bernarasi dari dokumen materi PDF. Berbeda dengan konten seperti teks imersif, kuis, slide, audio, dan peta konsep yang dibuat pada proses awal, video bernarasi dibuat secara on-demand ketika pengguna menekan tombol Buat Video Narasi. Pendekatan ini digunakan karena proses video membutuhkan tahapan yang lebih berat, seperti pembuatan struktur slide, pembuatan gambar, pembuatan audio, sinkronisasi audio-visual, serta penyajian video menggunakan Remotion.

Implementasi UC-07 melibatkan beberapa berkas utama, yaitu `components/learning/NarratedLessonGenerator.tsx`, `app/api/narrated/generate/route.ts`, `app/api/render-`

video/routes.ts, lib/deepgram/client.ts, lib/deepgram/matcher.ts, dan
components/learning/NarratedSlidesPlayer.tsx



Gambar 5.56 Kode Program Pemicu Generate Video Bernarasi

Kode Program 5.56 menunjukkan proses ketika pengguna menekan tombol pembuatan video narasi. Komponen frontend mengirimkan documentId ke endpoint /api/narrated/generate. Endpoint tersebut tidak langsung membuat file video akhir, melainkan membuat struktur awal video bernarasi terlebih dahulu.

```

const narratedSlides = await generateNarratedSlides(
  doc.extractedText,
  user.name
);

const [newContent] = await db
  .insert(learningContent)
  .values({
    documentId: doc.id,
    type: 'narrated_slides',
    title: narratedSlides.title,
    content: narratedSlides,
    metadata: {
      duration: narratedSlides.estimatedDuration,
      totalSlides: narratedSlides.totalSlides,
      generatedOnDemand: true,
    },
  })
  .returning();

```

Gambar 5.57 Kode Program Generate Struktur Narrated Slides

Kode Program 5.57 menunjukkan bahwa sistem memanggil fungsi `generateNarratedSlides()` untuk menghasilkan struktur video. Data yang dihasilkan meliputi judul video, jumlah slide, estimasi durasi, daftar slide, narasi per slide, elemen visual, pertanyaan kuis, dan key takeaways. Hasil tersebut disimpan sebagai konten bertipe `narrated_slides` pada tabel `learningContent`.

Setelah struktur video tersedia, sistem membuat aset video melalui endpoint `app/api/render-video/route.ts`. Proses ini meliputi pembuatan gambar slide dan pembuatan audio narasi.

```

let slidesWithAssets = await generateSlideImages(slidesContent.slides);

slidesWithAssets = await generateSlideAudiosWithAlignment(
  slidesWithAssets,
  contentId,
  doc.ttsVoice || "Aoede"
);

```

Gambar 5.58 Pipeline Pembuatan Aset Video

Kode Program 5.58 menunjukkan bahwa pipeline video terdiri dari dua proses utama. Pertama, sistem membuat visual slide berdasarkan `imagePrompt`. Kedua, sistem membuat audio narasi per slide dan menyelaraskan waktu kemunculan elemen visual dengan audio.

```

const imageBuffer = await generateImage(
  enrichImagePrompt(slide.imagePrompt, slide.title),
  {
    aspectRatio: "16:9",
    imageSize: "1K",
  }
);

const imageBlob = await putAsset(
  `narrated-videos/slides/${slide.id}.png`,
  imageBuffer,
  { addRandomSuffix: true, contentType: "image/png" }
);

updatedSlides.push({
  ...slide,
  imageUrl: imageBlob.url,
});

```

Gambar 5.59 Kode Program Generate Gambar Slide

Kode Program 5.59 menunjukkan bahwa setiap slide yang memiliki imagePrompt akan diproses menjadi gambar edukatif. Fungsi enrichImagePrompt() digunakan untuk memperjelas instruksi visual agar gambar yang dihasilkan lebih sesuai dengan konteks pembelajaran. Gambar yang berhasil dibuat disimpan ke storage, lalu URL gambar disimpan pada field imageUrl

```

const audioResult = await generateAudioFromText(
  slide.narrationText,
  voiceName
);

const audioBuffer = createWavBuffer(audioResult.audioBase64);

const pcmBytes = audioBuffer.length - 44;
const actualDuration = pcmBytes / (24000 * 2);

const audioBlob = await putAsset(
  `narrated-videos/${contentId}/slide-${slide.slideNumber}.wav`,
  audioBuffer,
  { addRandomSuffix: true, contentType: "audio/wav" }
);

```

Gambar 5.60 Kode Program Generasi Audio per Slide

Kode Program 5.60 menunjukkan bahwa narasi setiap slide dikonversi menjadi audio menggunakan Gemini TTS. Hasil audio dikemas menjadi file WAV melalui createWavBuffer(). Sistem juga menghitung durasi aktual audio berdasarkan ukuran data PCM. Durasi aktual ini penting karena panjang setiap slide harus mengikuti panjang narasi yang sebenarnya.

Setelah audio dibuat, sistem melakukan sinkronisasi antara audio dan elemen visual menggunakan Deepgram. Deepgram digunakan untuk mendapatkan word-level timestamps, yaitu waktu mulai dan selesai untuk setiap kata pada audio narasi.



```

const transcription = await getWordTimestamps(audioBuffer, "id");

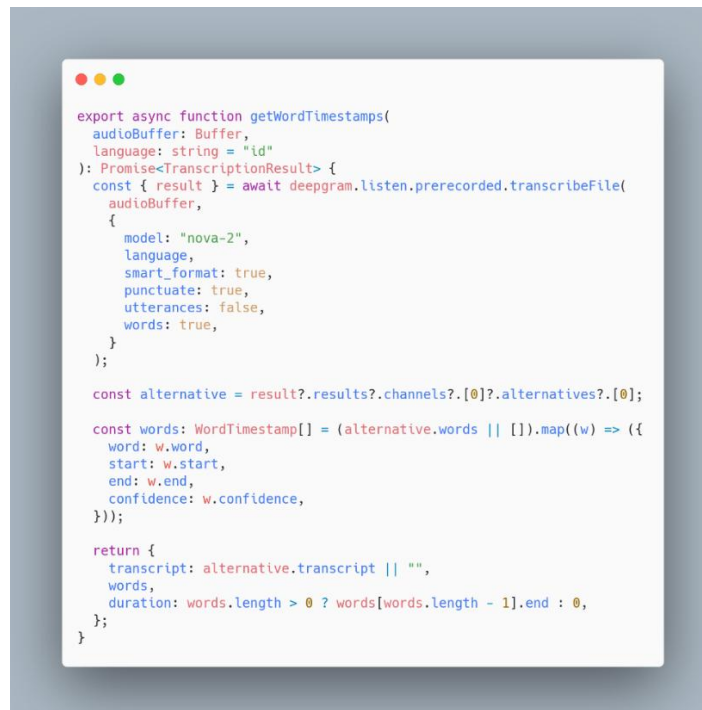
if (transcription.words.length > 0) {
  alignedElements = alignElementsToAudio(
    slide.elements,
    slide.narrationText,
    transcription.words
  );

  alignedElements = validateAndFixTimestamps(
    alignedElements,
    actualDuration
  );
}

```

Gambar 5.61 Kode Program Sinkronisasi Audio dan Elemen Visual

Kode Program 5.61 menunjukkan bahwa audio dikirim ke fungsi `getWordTimestamps()`. Hasil transkripsi dari Deepgram kemudian digunakan oleh `alignElementsToAudio()` untuk menentukan nilai `appearAtSecond` pada setiap elemen visual. Dengan demikian, elemen seperti heading, bullet, highlight, dan callout dapat muncul sesuai dengan narasi yang sedang diucapkan.



```

export async function getWordTimestamps(
  audioBuffer: Buffer,
  language: string = "id"
): Promise<TranscriptionResult> {
  const { result } = await deepgram.listen.prerecorded.transcribeFile(
    audioBuffer,
    {
      model: "nova-2",
      language,
      smart_format: true,
      punctuate: true,
      utterances: false,
      words: true,
    }
  );

  const alternative = result?.results?.channels?.[0]?.alternatives?.[0];

  const words: WordTimestamp[] = (alternative.words || []).map((w) => ({
    word: w.word,
    start: w.start,
    end: w.end,
    confidence: w.confidence,
  }));

  return {
    transcript: alternative.transcript || "",
    words,
    duration: words.length > 0 ? words[words.length - 1].end : 0,
  };
}

```

Gambar 5.62 Kode Program Pengambilan Timestamp kata dengan Deepgram

Kode Program 5.62 menunjukkan bahwa konfigurasi `words: true` digunakan agar Deepgram mengembalikan timestamp pada level kata. Data ini menjadi dasar sinkronisasi antara audio dan visual.

Setelah seluruh aset video selesai dibuat, sistem memperbarui konten video pada database. Data slide yang awalnya hanya berisi struktur narasi diperbarui dengan imageUrl, audioUrl, actualDuration, dan elemen visual yang sudah memiliki waktu kemunculan.



```
const totalFrames = useMemo(() => {
  let seconds = 0;

  for (const slide of slidesData) {
    let slideSecs = slide.actualDuration || 90;
    seconds += slideSecs;
  }

  return seconds * 30;
}, [slidesData]);
```

Gambar 5.63 Kode Program Perhitungan Durasi Video

Kode Program 5.63 menunjukkan bahwa durasi video dihitung dari total durasi aktual setiap slide. Nilai detik kemudian dikonversi menjadi frame dengan asumsi 30 FPS. Perhitungan ini digunakan oleh Remotion agar video memiliki durasi yang sesuai dengan audio narasi.

Fitur video bernarasi juga memiliki kuis pada setiap slide. Sistem dapat menghentikan video apabila pengguna belum menjawab pertanyaan pada slide tertentu.



```
const firstUnansweredQuizFrame = useMemo(() => {
  for (let i = 0; i < slidesData.length; i++) {
    const hasQuiz = !!slidesData[i].quizQuestion;
    const hasAnswered = !!userAnswers[slidesData[i].id];

    if (hasQuiz && !hasAnswered) {
      return slideEndFrames[i];
    }
  }

  return null;
}, [slidesData, userAnswers, slideEndFrames]);
```

Gambar 5.64 Kode Program Penguncian Progres Video Berdasarkan Kuis

Kode Program 5.64 menunjukkan bahwa sistem mencari slide pertama yang memiliki kuis tetapi belum dijawab oleh pengguna. Jika pengguna mencoba melewati bagian tersebut, video akan berhenti dan meminta pengguna menjawab kuis terlebih dahulu. Dengan mekanisme ini, video bernarasi tidak hanya menjadi media pasif, tetapi juga mendorong keterlibatan aktif mahasiswa.

Berdasarkan implementasi tersebut, UC-07 merealisasikan fitur video pembelajaran bernarasi yang menggabungkan beberapa teknologi, yaitu Gemini untuk menghasilkan struktur slide dan narasi, model gambar untuk membuat visual edukatif, Gemini TTS untuk membuat audio narasi, Deepgram untuk sinkronisasi audio-visual, dan Remotion untuk pemutaran video. Fitur ini menjadi bentuk microlearning multimodal karena menggabungkan teks, visual, audio, animasi, dan kuis interaktif dalam satu pengalaman pembelajaran.

5.4 Pengujian Fungsional Black Box

Pengujian fungsional dilakukan menggunakan metode Black Box Testing. Pengujian ini berfokus pada kesesuaian fungsi sistem terhadap kebutuhan fungsional dan skenario use case yang telah dirancang pada Bab 4. Pada metode ini, pengujian dilakukan tanpa melihat struktur internal kode program secara langsung, melainkan dengan memberikan input pada fitur, mengamati respons sistem, dan membandingkan hasil aktual dengan hasil yang diharapkan.

Setiap skenario pengujian diberi kode test case dengan format TC-XX-YY, dimana XX menunjukkan nomor use case dan YY menunjukkan nomor skenario pengujian pada use case tersebut.

Tujuan dari pengujian ini adalah memastikan bahwa setiap fitur utama pada platform MangMicro dapat berjalan sesuai kebutuhan pengguna. Pengujian dilakukan terhadap tujuh use case utama, yaitu unggah dokumen materi PDF, melihat teks imersif, mengerjakan kuis interaktif, melihat slide materi, generate dan putar audio, melihat peta konsep, serta menonton video bernarasi.

5.4.1 Pengujian UC-01 Unggah Dokumen Materi PDF

Pengujian UC-01 dilakukan untuk memastikan bahwa pengguna dapat mengunggah dokumen PDF sebagai sumber materi pembelajaran. Pengujian juga mencakup validasi file, batas ukuran file, penyimpanan dokumen, dan pemrosesan awal dokumen.

Tabel 5.9 Pengujian UC-01 Unggah Dokumen Materi PDF

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-01-01	Upload file PDF valid	Pengguna memilih file PDF lalu menekan tombol upload	Sistem menerima file, menyimpan dokumen, dan memulai proses pemrosesan	Sistem berhasil menerima file dan memproses dokumen	Pass
TC-01-02	Upload tanpa memilih file	Pengguna menekan tombol upload tanpa memilih file	Sistem tidak menjalankan proses upload dan menampilkan validasi	Sistem tidak memproses upload tanpa file	Pass
TC-01-03	Upload file selain PDF	Pengguna memilih file dengan ekstensi selain .pdf	Sistem menolak file dan menampilkan pesan bahwa hanya PDF yang diperbolehkan	Sistem menampilkan pesan validasi format file	Pass
TC-01-04	Upload file melebihi batas ukuran	Pengguna memilih file PDF melebihi batas maksimal	Sistem menolak file dan menampilkan pesan batas ukuran file	Sistem menampilkan pesan ukuran file tidak valid	Pass
TC-01-05	Simpan konfigurasi kuis dan suara	Pengguna memilih difficulty, jenis soal, dan suara TTS sebelum upload	Sistem menyimpan konfigurasi tersebut bersama data dokumen	Konfigurasi tersimpan pada data dokumen	Pass
TC-01-06	Ekstraksi isi dokumen	Pengguna mengunggah PDF berisi materi	Sistem mengekstraksi isi dokumen dan menyimpan teks hasil ekstraksi	Teks hasil ekstraksi tersimpan pada dokumen	Pass
TC-01-07	Fallback ekstraksi PDF ketika Gemini gagal	Pengujian dilakukan dengan kondisi Gemini extraction gagal atau mengembalikan teks tidak mencukupi	Sistem menjalankan fallback menggunakan unpdf untuk mengekstraksi teks digital dari PDF	Sistem mencoba fallback unpdf dan tetap melanjutkan proses apabila teks berhasil diekstraksi	Pass
TC-01-08	Redirect setelah upload berhasil	Upload dokumen berhasil	Sistem mengarahkan pengguna ke halaman daftar dokumen	Pengguna diarahkan ke halaman dokumen	Pass

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.9, fitur unggah dokumen PDF telah berjalan sesuai dengan kebutuhan. Sistem dapat melakukan validasi file, menyimpan dokumen, mengekstraksi isi PDF menggunakan Gemini, menjalankan fallback menggunakan unpdf apabila proses ekstraksi utama gagal, serta memulai proses pembuatan konten pembelajaran.

5.4.2 Pengujian UC-02 Lihat Teks Imersif

Pengujian UC-02 dilakukan untuk memastikan bahwa pengguna dapat membuka hasil teks imersif dari dokumen yang telah diproses. Pengujian juga mencakup tampilan section, ringkasan, poin penting, pertanyaan reflektif, tabel, dan formula apabila tersedia.

Tabel 5.10 Pengujian UC-02 Lihat Teks Imersif

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-02-01	Membuka halaman teks imersif	Pengguna memilih menu teks imersif pada dokumen yang telah selesai diproses	Sistem menampilkan halaman teks imersif	Halaman teks imersif tampil	Pass
TC-02-02	Menampilkan judul dan estimasi baca	Pengguna membuka teks imersif	Sistem menampilkan judul materi dan estimasi waktu baca	Judul dan estimasi baca tampil	Pass
TC-02-03	Menampilkan section materi	Pengguna membaca konten teks imersif	Sistem menampilkan section materi secara terstruktur	Section materi tampil sesuai hasil generasi	Pass
TC-02-04	Menampilkan poin penting	Pengguna membuka salah satu section	Sistem menampilkan key points dari section tersebut	Point penting tampil	Pass
TC-02-05	Menampilkan pertanyaan reflektif	Section memiliki <i>reflection question</i>	Sistem menampilkan pertanyaan reflektif	Pertanyaan reflektif tampil	Pass
TC-02-06	Render markdown dan tabel	Konten memiliki markdown, tabel, atau formula	Sistem menampilkan markdown, tabel multi-baris, dan formula secara rapi tanpa berubah menjadi teks inline	Markdown, tabel, dan formula tampil sesuai format	Pass
TC-02-07	Navigasi antar-section	Pengguna menekan tombol next atau previous	Sistem berpindah ke section berikutnya atau sebelumnya	Navigasi antar-section berjalan	Pass

Berdasarkan pengujian UC-02, fitur teks imersif telah berjalan sesuai dengan skenario. Sistem dapat menampilkan konten pembelajaran dalam bentuk section yang terstruktur dan mudah dibaca.

5.4.3 Pengujian UC-03 Kerjakan Kuis Interaktif

Pengujian UC-03 dilakukan untuk memastikan bahwa pengguna dapat mengerjakan kuis interaktif berdasarkan materi yang telah diunggah. Pengujian mencakup jenis soal pilihan ganda, benar/salah, esai, perhitungan skor, feedback jawaban, dan penyimpanan hasil kuis.

Tabel 5.11 Pengujian UC-03 Kerjakan Kuis Interaktif

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-03-01	Membuka halaman kuis	1. Login sebagai mahasiswa 2. Buka halaman learning hub 3. Pilih menu kuis interaktif.	Sistem menampilkan halaman kuis interaktif berisi soal, pilihan jawaban atau kolom jawaban, indikator nomor soal, dan tombol aksi.	Menampilkan halaman kuis interaktif sesuai dokumen yang dipilih.	Pass
TC-03-02	Menjawab soal pilihan ganda dengan benar	1. Buka soal pilihan ganda 2. Pilih jawaban yang sesuai dengan kunci jawaban. 3. Klik tombol cek jawaban.	Sistem menampilkan status jawaban benar dan pembahasan soal	Sistem menampilkan indikator jawaban benar dan pembahasan soal	Pass

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-03-03	Menjawab soal pilihan ganda dengan salah	1. Buka soal pilihan ganda. 2. Pilih jawaban yang tidak sesuai dengan kunci jawaban. 3. Klik tombol cek jawaban	Sistem menampilkan status jawaban salah, jawaban benar, dan pembahasan soal	Sistem menampilkan indikator jawaban salah serta jawaban benar	Pass
TC-03-04	Menjawab soal benar/salah	1. Buka soal bertipe benar/salah. 2. Pilih jawaban benar atau salah. 3. Klik tombol cek jawaban	Sistem membandingkan jawaban pengguna dengan kunci jawaban dan menampilkan hasil pemeriksaan.	Sistem menampilkan hasil pemeriksaan jawaban benar/salah.	Pass
TC-03-05	Tombol cek jawaban tidak aktif saat jawaban kosong	1. Buka salah satu soal. 2. Jangan memilih atau mengisi jawaban. 3. Perhatikan tombol cek jawaban.	Tombol cek jawaban tidak dapat digunakan sampai pengguna memilih atau mengisi jawaban.	Tombol cek jawaban berada dalam kondisi tidak aktif.	Pass
TC-03-06	Menjawab soal esai dengan jawaban memadai	1. Buka soal esai. 2. Isi jawaban yang mengandung poin utama sesuai rubrik. 3. Klik tombol cek jawaban.	Sistem mengirim jawaban ke endpoint /api/quiz/grade-essay, lalu menampilkan status jawaban memadai, skor, feedback, dan poin yang sudah sesuai.	Sistem menampilkan status jawaban memadai beserta feedback penilaian.	Pass
TC-03-07	Menjawab soal esai dengan jawaban kurang lengkap	1. Buka soal esai. 2. Isi jawaban yang hanya memuat sebagian poin jawaban. 3. Klik tombol cek jawaban.	Sistem menampilkan status perlu dilengkapi, skor, feedback perbaikan, dan poin yang masih kurang.	Sistem menampilkan status perlu dilengkapi serta arahan perbaikan jawaban.	Pass
TC-03-08	Menjawab soal esai dengan jawaban tidak relevan	1. Buka soal esai. 2. Isi jawaban yang tidak sesuai dengan pertanyaan. 3. Klik tombol cek jawaban.	Sistem menampilkan status perlu dilengkapi dengan skor rendah dan feedback perbaikan.	Sistem menampilkan feedback bahwa jawaban belum sesuai dengan pertanyaan.	Pass
TC-03-09	Fallback penilaian esai ketika AI gagal	1. Simulasikan kegagalan layanan Gemini. 2. Isi jawaban esai. 3. Klik tombol cek jawaban.	Sistem tetap memberikan hasil penilaian menggunakan fallback lokal dan kuis tetap dapat dilanjutkan.	Sistem menampilkan hasil penilaian fallback tanpa menghentikan proses kuis.	Pass
TC-03-10	Menyimpan draft jawaban saat halaman di-refresh	1. Jawab beberapa soal. 2. Refresh halaman sebelum kuis selesai. 3. Buka kembali halaman kuis.	Sistem memuat kembali soal aktif, jawaban yang sudah dipilih, dan status pengerjaan dari localStorage.	Sistem menampilkan kembali progress pengerjaan kuis sebelum halaman di-refresh.	Pass
TC-03-11	Melanjutkan ke soal berikutnya setelah jawaban diperiksa	1. Jawab satu soal. 2. Klik tombol cek jawaban. 3. Klik tombol lanjut.	Sistem berpindah ke soal berikutnya.	Sistem menampilkan soal berikutnya setelah tombol lanjut ditekan.	Pass
TC-03-12	Mengirim hasil akhir kuis	1. Kerjakan seluruh soal. 2. Klik tombol selesai pada soal terakhir.	Sistem mengirim hasil kuis ke endpoint /api/quiz/submit.	Sistem berhasil mengirim hasil kuis dan menampilkan halaman hasil akhir.	Pass
TC-03-13	Menyimpan feedback esai ke database	1. Kerjakan kuis yang memiliki soal esai. 2. Selesaikan kuis. 3. Periksa data pada tabel quiz_responses.	Kolom feedback pada tabel quiz_responses terisi data JSON berisi skor, status, feedback, strengths, missingPoints, dan source.	Feedback esai tersimpan pada kolom feedback di tabel quiz_responses.	Pass

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-03-14	Menampilkan hasil akhir kuis	1. Selesaikan seluruh soal kuis. 2. Perhatikan halaman hasil akhir.	Sistem menampilkan skor akhir, jumlah jawaban benar, dan ringkasan hasil pengerjaan.	Sistem menampilkan skor akhir dan ringkasan hasil kuis.	Pass
TC-03-15	Menampilkan review hasil kuis	1. Buka halaman review kuis. 2. Pilih dokumen yang sudah pernah dikerjakan kuisnya.	Sistem menampilkan jawaban pengguna, jawaban benar atau contoh jawaban, status jawaban, pembahasan, dan feedback esai jika tersedia.	Sistem menampilkan halaman review kuis beserta feedback untuk soal esai.	Pass
TC-03-16	Mengulang kuis	1. Selesaikan kuis. 2. Klik tombol ulangi kuis.	Sistem menghapus draft pengerjaan dari localStorage dan memulai kuis dari soal pertama.	Sistem memulai ulang kuis dari soal pertama.	Pass

Berdasarkan pengujian UC-03, fitur kuis interaktif telah dapat digunakan untuk mengevaluasi pemahaman mahasiswa terhadap materi. Sistem juga mampu memberikan feedback dan menyimpan hasil pengerjaan kuis.

5.4.4 Pengujian UC-04 Lihat Slide Materi

Pengujian UC-04 dilakukan untuk memastikan bahwa pengguna dapat melihat materi dalam bentuk slide pembelajaran. Pengujian mencakup tampilan slide, navigasi, keyboard shortcut, dan pembuatan gambar pendukung apabila slide memiliki image prompt.

Tabel 5.12 Pengujian UC-04 Lihat Slide Materi

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-04-01	Membuka halaman slide	Pengguna memilih menu slide materi	Sistem menampilkan halaman slide	Halaman slide tampil	Pass
TC-04-02	Menampilkan slide pertama	Halaman slide dibuka	Sistem menampilkan slide pertama beserta judul dan konten	Slide pertama tampil	Pass
TC-04-03	Navigasi ke slide berikutnya	Pengguna menekan tombol next	Sistem menampilkan slide berikutnya	Slide berikutnya tampil	Pass
TC-04-04	Navigasi ke slide sebelumnya	Pengguna menekan tombol previous	Sistem menampilkan slide sebelumnya	Slide sebelumnya tampil	Pass
TC-04-05	Navigasi menggunakan keyboard	Pengguna menekan tombol panah kanan/kiri	Sistem berpindah slide sesuai tombol yang ditekan	Navigasi keyboard berjalan	Pass
TC-04-06	Menampilkan bullet point	Slide memiliki bullet point	Sistem menampilkan bullet point	Bullet point tampil	Pass
TC-04-07	Menampilkan contoh kode	Slide bertipe kode	Sistem menampilkan contoh kode	Contoh kode tampil	Pass
TC-04-08	Generate gambar pendukung	Slide memiliki imagePrompt dan belum memiliki imageUrl	Sistem memanggil endpoint generate image dan menampilkan gambar	Gambar pendukung berhasil tampil	Pass

Berdasarkan pengujian UC-04, fitur slide materi dapat menampilkan konten pembelajaran dalam bentuk presentasi. Sistem juga mendukung navigasi interaktif dan pembuatan gambar pendukung berdasarkan kebutuhan slide.

5.4.5 Pengujian UC-05 Generate dan Putar Audio

Pengujian UC-05 dilakukan untuk memastikan bahwa pengguna dapat menghasilkan dan memutar audio pembelajaran. Pengujian mencakup pembuatan audio dari script, proses background job, pemantauan progres, pemutaran audio, kontrol volume, dan navigasi segment.

Tabel 5.13 Pengujian UC-05 Generate dan Putar Audio

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-05-01	Membuka halaman audio	Pengguna memilih menu audio lesson	Sistem menampilkan halaman audio lesson	Halaman audio tampil	Pass
TC-05-02	Generate audio pertama kali	Pengguna menekan tombol play saat audio belum tersedia	Sistem memulai proses generate audio	Proses generate audio berjalan	Pass
TC-05-03	Menampilkan progres generate audio	Proses audio berjalan di background	Sistem menampilkan progres pembuatan audio	Progres audio tampil	Pass
TC-05-04	Menyimpan audio hasil generate	Generate audio selesai	Sistem menyimpan audioUrl pada segment audio	AudioUrl tersimpan	Pass
TC-05-05	Memutar audio	Audio sudah tersedia, pengguna menekan tombol play	Sistem memutar audio pembelajaran	Audio berhasil diputar	Pass
TC-05-06	Pause audio	Pengguna menekan tombol pause	Sistem menghentikan sementara audio	Audio berhenti sementara	Pass
TC-05-07	Mengatur volume	Pengguna mengubah kontrol volume	Sistem mengubah volume audio	Volume berubah sesuai input	Pass
TC-05-08	Navigasi antar-segment	Pengguna memilih segment audio tertentu	Sistem memutar segment yang dipilih	Segment audio diputar	Pass
TC-05-09	Menampilkan key takeaways	Halaman audio dibuka	Sistem menampilkan poin penting pembelajaran	Key takeaways tampil	Pass

Berdasarkan pengujian UC-05, fitur audio lesson telah berjalan sesuai kebutuhan. Sistem dapat menghasilkan audio dari script, menampilkan progres, menyimpan hasil audio, dan memutar audio melalui player.

5.4.6 Pengujian UC-06 Lihat Peta Konsep

Pengujian UC-06 dilakukan untuk memastikan bahwa pengguna dapat melihat dan mengeksplorasi peta konsep yang dihasilkan dari materi PDF. Pengujian mencakup tampilan root node, node turunan, edge, fitur zoom, drag, fullscreen, detail node, dan pencatatan progres.

Tabel 5.14 Pengujian UC-06 Lihat Peta Konsep

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-06-01	Membuka halaman peta konsep	Pengguna memilih menu peta konsep	Sistem menampilkan halaman visual map	Halaman peta konsep tampil	Pass
TC-06-02	Menampilkan root node	Halaman peta konsep dibuka	Sistem menampilkan konsep utama di tengah peta	Root node tampil	Pass
TC-06-03	Menampilkan node turunan	Peta konsep memiliki nodes	Sistem menampilkan node level 1, level 2, dan level 3	Nodde turunan tampil	Pass
TC-06-04	Menampilkan edge antar node	Peta konsep memiliki relasi antar node	Sistem menampilkan garis hubungan antar konsep	Edge tampil	Pass
TC-06-05	Zoom dan drag canvas	Pengguna melakukan zoom atau drag	Sistem mengubah tampilan canvas sesuai interaksi	Zoom dan drag berjalan	Pass
TC-06-06	Fullscreen peta konsep	Pengguna menekan tombol fullscreen	Sistem menampilkan peta konsep dalam mode layar penuh	Fullscreen berjalan	Pass
TC-06-07	Klik node	Pengguna memilih salah satu nodde	Sistem menampilkan modal detail node	Detail node tampil	Pass
TC-06-08	Menyimpan progres eksplorasi	Pengguna membuka beberapa node	Sistem menyimpan progres berdasarkan node yang dikunjungi	Progres tersimpan	Pass
TC-06-09	Menampilkan sintesis visual	Halaman peta konsep dibuka	Sistem menampilkan summary peta konsep	Sistesis visual tampil	Pass

Berdasarkan pengujian UC-06, fitur peta konsep dapat digunakan untuk mengeksplorasi struktur materi secara visual. Sistem juga mampu mencatat progres pengguna berdasarkan node yang telah dikunjungi.

5.4.7 Pengujian UC-07 Tonton Video Bernarasi

Pengujian UC-07 dilakukan untuk memastikan bahwa pengguna dapat membuat dan menonton video pembelajaran bernarasi. Pengujian mencakup proses generate struktur video, pembuatan aset visual, pembuatan audio narasi, sinkronisasi audio-visual, pemutaran video, dan kuis per slide.

Tabel 5.15 Pengujian UC-07 Tonton Video Bernarasi

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-07-01	Membuka halaman video bernarasi	Pengguna memilih menu video bernarasi	Sistem menampilkan halaman generate video	Halaman video bernarasi tampil	Pass
TC-07-02	Generate struktur video	Pengguna menekan tombol buat video narasi	Sistem membuat narrated slides dan menyimpan contentId	Struktur video berhasil dibuat	Pass
TC-07-03	Mencegah generate ulang jika sudah ada	Pengguna membuka kembali video yang sudah dibuat	Sistem menggunakan konten yang sudah tersedia	Konten video digunakan kembali	Pass

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-07-04	Generate gambar slide	Pengguna memulai proses render video	Sistem membuat gambar berdasarkan imagePrompt	Gambar slide berhasil dibuat	Pass
TC-07-05	Generate audio narasi	Sistem membuat audio per slide	Audio narasi berhasil dibuat dan disimpan	Audio slide berhasil dibuat	Pass
TC-07-06	Sinkronisasi audio dan visual	Audio slide selesai dibuat	Sistem menggunakan timestamp untuk mengatur kemunculan elemen visual	Elemen visual tersinkronisasi	Pass
TC-07-07	Menampilkan progres render video	Proses render berjalan	Sistem menampilkan progres pembuatan aset video	Progres render tampil	Pass
TC-07-08	Memutar video	Video sudah memiliki audio dan visual	Sistem memutar video menggunakan Remotion Player	Video berhasil diputar	Pass
TC-07-09	Menampilkan kuis per slide	Slide memiliki quizQuestion	Sistem menampilkan kuis pada slide terkait	Kuis slide tampil	Pass
TC-07-10	Mencegah melewati kuis yang belum dijawab	Pengguna mencoba melewati slide yang memiliki kuis	Sistem menghentikan video sampai kuis dijawab	Video berhenti pada kuis	Pass
TC-07-11	Menyimpan jawaban kuis video	Pengguna menjawab kuis pada video	Sistem menyimpan jawaban pada progress pengguna	Jawaban tersimpan	Pass

Berdasarkan pengujian UC-07, fitur video bernarasi telah berjalan sesuai skenario. Sistem dapat membuat struktur video, menghasilkan visual dan audio, melakukan sinkronisasi audio-visual, serta menampilkan video dengan kuis interaktif.

5.4.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian Black Box

Rekapitulasi hasil pengujian dilakukan untuk melihat jumlah skenario yang berhasil dijalankan pada setiap use case.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Black Box

No	Use Case	Rentang Test Case	Jumlah Test Case	Berhasil	Gagal	Presentase Keberhasilan
1	UC-01 Unggah Dokumen Materi PDF	TC-01-01 s.d. TC-01-07	7	7	0	100%
2	UC-02 Lihat Teks lmersif	TC-02-01 s.d. TC-02-07	7	7	0	100%
3	UC-03 Kerjakan Kuis Interaktif	TC-03-01 s.d. TC-03-16	16	16	0	100%
4	UC-04 Lihat Slide Materi	TC-04-01 s.d. TC-04-09	9	9	0	100%
5	UC-05 Generate dan Putar Audio	TC-05-01 s.d. TC-05-09	9	9	0	100%
6	UC-06 Lihat Peta Konsep	TC-06-01 s.d. TC-06-09	9	9	0	100%
7	UC-07 Tonton Video Bernarasi	TC-07-01 s.d. TC-07-11	11	11	0	100%

No	Use Case	Rentang Case	Test	Jumlah Test Case	Berhasil	Gagal	Presentase Keberhasilan
Total				68	68	0	100%

Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel 5.16, seluruh skenario pengujian fungsional berhasil dijalankan dengan persentase keberhasilan sebesar 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa fitur utama pada platform MangMicro telah berjalan sesuai dengan use case dan kebutuhan fungsional yang telah dirancang pada Bab 4.

5.5 Pengujian Integrasi AI

Pengujian integrasi AI dilakukan untuk memastikan bahwa sistem MangMicro dapat berkomunikasi dengan layanan AI yang digunakan dalam proses ekstraksi dokumen, generasi konten pembelajaran, penilaian jawaban esai, pembuatan audio, dan pembuatan video bernarasi. Pengujian ini berfokus pada keberhasilan integrasi antara sistem dengan model AI, format data yang dikirim dan diterima, serta kemampuan sistem dalam menangani kegagalan proses AI.

Pada sistem MangMicro, layanan AI digunakan pada beberapa fitur utama, yaitu ekstraksi isi dokumen PDF, generasi teks imersif, kuis interaktif, slide materi, peta konsep, skrip audio, penilaian jawaban esai, text-to-speech, pembuatan gambar pendukung, serta sinkronisasi elemen visual pada video bernarasi. Pengujian dilakukan dengan memberikan input dokumen PDF dan jawaban pengguna, kemudian mengamati apakah sistem mampu menghasilkan output sesuai format yang dibutuhkan oleh aplikasi.

Tabel 5.17 Pengujian Integrasi AI

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-AI-01	Integrasi Gemini untuk ekstraksi dokumen PDF	1. Login sebagai mahasiswa. 2. Unggah dokumen PDF berisi teks dan gambar/tabel. 3. Jalankan proses upload.	Sistem mengirim file PDF ke Gemini untuk diproses dan menghasilkan teks hasil ekstraksi yang dapat digunakan sebagai bahan generasi konten.	Sistem berhasil mengekstraksi isi dokumen PDF dan menyimpan hasil ekstraksi ke database.	Pass
TC-AI-02	Fallback ekstraksi PDDF ketika Gemini gagal	1. Simulasikan kegagalan proses ekstraksi menggunakan Gemini. 2. Unggah dokumen PDF. 3. Amati proses ekstraksi.	Sistem menggunakan unpdf sebagai fallback agar proses ekstraksi tetap dapat berjalan.	Sistem tetap menghasilkan teks hasil ekstraksi menggunakan fallback unpdf.	Pass
TC-AI-03	Integrasi Gemini untuk generasi teks imersif	1. Unggah dokumen PDF. 2. Jalankan	Sistem menghasilkan teks imersif dalam format terstruktur yang dapat ditampilkan pada antarmuka.	Sistem berhasil menampilkan teks	Pass

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
		proses generasi konten. 3. Buka menu Teks Imersif.		imersif dari hasil generasi Gemini.	
TC-AI-04	Integrasi Gemini untuk generasi tabel pada teks imersif	1. Gunakan dokumen yang memiliki materi perbandingan atau klasifikasi. 2. Jalankan generasi teks imersif. 3. Periksa bagian teks yang mengandung tabel.	Sistem menghasilkan tabel dalam format markdown yang dapat dirender sebagai tabel pada frontend.	Sistem berhasil ditampilkan dalam bentuk tabel, bukan teks markdown mentah.	Pass
TC-AI-05	Integrasi Gemini untuk generasi kuis interaktif	1. Unggah dokumen PDF. 2. Pilih konfigurasi kuis. 3. Jalankan proses generasi konten. 4. Buka menu Kuis Interaktif.	Sistem menghasilkan kuis dalam format JSON berisi pertanyaan, tipe soal, pilihan jawaban, kunci jawaban, penjelasan, rubrik, dan kata kunci untuk soal esai.	Sistem berhasil menampilkan kuis interaktif sesuai hasil generasi AI.	Pass
TC-AI-06	Integrasi Gemini untuk penilaian jawaban esai	1. Buka kuis interaktif. 2. Isi jawaban pada soal esai. 3. Klik tombol cek jawaban.	Sistem mengirim jawaban ke Gemini melalui endpoint /api/quiz/grade-essay dan menerima hasil penilaian berupa skor, status, feedback, strengths, dan missingPoints.	Sistem berhasil menampilkan feedback esai berdasarkan hasil penilaian AI.	Pass
TC-AI-07	Fallback penilaian esai ketika Gemini gagal	1. Simulasikan kegagalan layanan Gemini. 2. Isi jawaban esai. 3. Klik tombol cek jawaban.	Sistem menggunakan fungsi fallback localGradeEssayAnswer() agar pengguna tetap mendapatkan hasil penilaian.	Sistem tetap menampilkan feedback esai menggunakan fallback lokal.	Pass
TC-AI-08	Integrasi Gemini untuk generasi slide materi	1. Jalankan proses generasi konten dari dokumen. 2. Buka menu Slide Materi.	Sistem menghasilkan struktur slide dalam format JSON yang dapat ditampilkan pada antarmuka slide.	Sistem berhasil menampilkan slide materi hasil generasi Gemini.	Pass
TC-AI-09	Integrasi Gemini untuk generasi peta konsep	1. Jalankan proses generasi konten dari dokumen. 2. Buka menu Peta Konsep	Sistem menghasilkan data mindmap yang berisi node dan hubungan antar konsep.	Sistem berhasil menampilkan peta konsep dari hasil generasi AI.	Pass
TC-AI-10	Integrasi Gemini untuk generasi skrip audio	1. Jalankan proses generasi	Sistem menghasilkan skrip audio pembelajaran yang dapat digunakan untuk proses text-to-speech.	Sistem berhasil menghasilkan dan	Pass

Test Case ID	Skenario Pengujian	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
		konten dari dokumen. 2. Buka menu Audio Lesson.		menampilkan skrip audio lesson.	
TC-AI-11	Integrasi Gemini TTS untuk pembuatan audio	1. Buka konten audio lesson. 2. Jalankan proses pembuatan audio.	Sistem mengubah teks skrip audio menjadi file audio menggunakan model TTS.	Sistem berhasil menghasilkan audio lesson yang dapat diputar.	Pass
TC-AI-12	Integrasi AI untuk video bernarasi	1. Buka menu video bernarasi. 2. Jalankan proses generate atau render video.	Sistem menghasilkan slide bernarasi, aset visual, audio, sinkronisasi elemen, dan file video akhir.	Sistem berhasil memproses video bernarasi hingga dapat ditampilkan/diputar.	Pass
TC-AI-13	Integrasi Deepgram untuk sinkronisasi audio dan elemen visual	1. Jalankan proses rendering video bernarasi. 2. Amati proses sinkronisasi elemen visual dengan audio.	Sistem mendapatkan timestamp kata dari audio dan menggunakannya untuk menyelaraskan kemunculan elemen visual.	Sistem berhasil melakukan sinkronisasi elemen visual berdasarkan audio.	Pass
TC-AI-14	Validasi format JSON hasil AI	1. Jalankan proses generasi konten. 2. Periksa hasil respons AI yang disimpan.	Sistem hanya menyimpan hasil AI yang berhasil diproses ke format JSON sesuai struktur yang dibutuhkan aplikasi.	Hasil generasi AI tersimpan dalam format JSON dan dapat digunakan oleh frontend.	Pass
TC-AI-15	Penanganan kegagalan format respons AI	1. Simulasikan respons AI tidak sesuai format. 2. Jalankan proses generasi konten.	Sistem menampilkan pesan kesalahan atau melakukan fallback sesuai fitur yang diuji tanpa merusak data yang sudah ada	Sistem tidak berhenti secara tidak terkendali dan memberikan informasi kegagalan proses	Pass

Berdasarkan hasil pengujian integrasi AI, sistem MangMicro mampu memanfaatkan layanan AI untuk mendukung proses pembelajaran berbasis microlearning. Integrasi Gemini digunakan untuk ekstraksi dokumen, generasi konten, penilaian jawaban esai, pembuatan audio, dan pembuatan elemen visual. Selain itu, sistem juga menerapkan mekanisme fallback pada proses tertentu, seperti ekstraksi PDF dan penilaian jawaban esai, sehingga aplikasi tetap dapat berjalan ketika terjadi kegagalan pada layanan AI. Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi AI telah berjalan sesuai kebutuhan fungsional sistem.

BAB 6

KESIMPULAN & SARAN

Bab ini berisi mengenai hasil penelitian serta pernyataan yang didapat berdasarkan identifikasi masalah yang dikemukakan, serta keterkaitan dari semua tahap yang dilakukan dalam penelitian. Di dalamnya terdapat pula saran yang diusulkan untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa platform MangMicro berhasil dikembangkan sebagai platform microlearning berbasis web yang mampu mentransformasi dokumen PDF akademik menjadi beberapa format pembelajaran yang lebih ringkas, interaktif, dan adaptif.

Platform MangMicro telah berhasil mengimplementasikan enam format pembelajaran, yaitu teks imersif, kuis interaktif, slide materi, peta konsep, audio lesson, dan video bernarasi. Keenam format tersebut dirancang agar materi dapat dipelajari dalam sesi singkat sesuai prinsip microlearning, sehingga mahasiswa memiliki alternatif cara belajar yang lebih fleksibel sesuai kebutuhan dan preferensi masing-masing.

Integrasi kecerdasan buatan pada platform MangMicro juga berhasil diterapkan untuk mendukung proses ekstraksi dokumen, generasi konten pembelajaran, pembuatan kuis, penilaian jawaban esai, pembuatan audio, pembuatan aset visual, serta sinkronisasi elemen visual pada video bernarasi. Penggunaan layanan AI seperti Gemini dan Deepgram memungkinkan sistem menghasilkan konten pembelajaran secara otomatis dari sumber materi PDF yang diunggah pengguna.

Berdasarkan hasil pengujian fungsional menggunakan metode Black Box Testing, seluruh skenario pengujian pada tujuh use case utama berhasil dijalankan dengan tingkat keberhasilan 100%, yaitu sebanyak 68 test case berhasil dan tidak terdapat test case yang gagal. Hasil ini menunjukkan bahwa fitur utama platform MangMicro telah berjalan sesuai dengan kebutuhan fungsional yang dirancang pada tahap perancangan sistem.

Selain itu, hasil pengujian integrasi AI menunjukkan bahwa sistem mampu berkomunikasi dengan layanan AI dan menghasilkan keluaran sesuai format yang dibutuhkan aplikasi. Sistem juga telah menerapkan mekanisme fallback pada proses tertentu, seperti ekstraksi PDF dan penilaian jawaban esai, sehingga aplikasi tetap dapat berjalan ketika terjadi kendala pada layanan AI.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya. Pertama, penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian langsung kepada mahasiswa menggunakan metode *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur perubahan tingkat pemahaman dan retensi untuk mengetahui apakah masih ada masalah

mahasiswa yang bosan dan kurang fokus sebelum dan setelah menggunakan platform MangMicro. Pengujian tersebut diperlukan karena penelitian ini masih terbatas pada pengujian fungsional menggunakan metode *Black Box Testing* dan pengujian integrasi AI sehingga efektivitas MangMicro terhadap hasil pembelajaran belum dapat dibuktikan secara empiris.

Kedua, penelitian selanjutnya disarankan melakukan validasi terhadap konten pembelajaran yang dihasilkan oleh kecerdasan buatan dengan melibatkan dosen atau ahli materi. Validasi dapat dilakukan untuk menilai ketepatan informasi, relevansi konten terhadap dokumen PDF sumber, kesesuaian tingkat kesulitan, serta kualitas pedagogis pada setiap format pembelajaran. Pengujian integrasi AI dalam penelitian ini masih berfokus pada keberhasilan komunikasi dengan layanan AI, kesesuaian struktur keluaran, dan kemampuan aplikasi menampilkan hasil generasi sehingga kualitas dan kebenaran isi konten belum dinilai secara khusus.

DAFTAR PUSTAKA

- [AGAR24] Agarwal, S., et al. (2024). LearnLM: Personalizing instruction with generative AI. Google AI for Developers Documentation. Diakses dari <https://ai.google.dev/gemini-api/docs/learnlm>
- [APJII24] APJII. (2024). Profil pengguna internet Indonesia 2024. Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia.
- [BECK01] Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., ... & Thomas, D. (2001). Manifesto for agile software development.
- [BON98] Bonk, C. J., & Cunningham, D. J. (1998). Searching for learner-centered, constructivist, and sociocultural components of collaborative educational learning tools. In C. J. Bonk & K. S. King (Eds.), *Electronic*
- [CHE25] Chen, X., et al. (2025). Effect of generative artificial intelligence on university students' learning outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Educational Technology Research and Development*, 73(1), 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.etr.2025.01.074>
- [DEW25] Dewantara, B. A. (2025). Generative AI dalam pembelajaran mahasiswa: Studi dampak dan tantangan integrasi GenAI dalam pendidikan tinggi Indonesia. *Jurnal Inovasi dan Inkubasi Pembelajaran*, 8(2), 145–162. Diakses dari <http://jiip.stkipyapisdompau.ac.id/jiip/index.php/JIIP/article/view/8680>
- [DIN25] Dinihari, Y. (2025). Trends in microlearning and literacy integration in digital learning environments. *International Seminar on Higher Education and Learning*, 3 (1) . <https://doi.org/10.21009/ishel.v1i1.57109>
- [DRIZ24] Drizzle Team. (2024). Drizzle ORM documentation.
- [FIR25] Firdaus, A., et al. (2025). Microlearning effectiveness in higher education: A systematic review and meta-analysis (2020–2025). *Mathema: Jurnal Pendidikan Matematika*, 7(1), 42–58.
- [FRAM24] Framer B.V. (2024). Framer Motion documentation.
- [GIU17] Giurgiu, L. (2017). Microlearning — An evolving e-learning approach. *Scientific Bulletin – Nicolae Bălcescu Land Forces Academy*, 22(1), 18–23.

[GCLLOUD24] Google Cloud. (2024). Gemini API documentation.

[GDEEPM24] Google DeepMind. (2024). Gemini: A family of highly capable multimodal models.

[GFE24] Google for Education. (2024). How generative AI expands curiosity and understanding with LearnLM. Google Blog. Diakses dari <https://blog.google/outreach-initiatives/education/google-learnlm-gemini-generative-ai/>

[HAR24] Haryati, S., & Nugroho, A. (2024). Pengaruh kecanduan konten digital pendek terhadap kemampuan konsentrasi mahasiswa calon guru ekonomi. *IndoJurnal Pendidikan Ekonomi*, 3(2), 145–158.

[KEMDIK23] Kemendikbudristek. (2023). Survei pembelajaran daring di Indonesia 2023. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia.

[KNO75] Knowles, M. S. (1975). Self-directed learning: A guide for learners and teachers.

[LAR03] Larman, C., & Basili, V. R. (2003). Iterative and incremental developments

[LEARNLM24] LearnLM Team. (2024). LearnLM: Improving Gemini for Learning. <https://arxiv.org/pdf/2412.16429>

[LEO21] Leong, K., et al. (2021). Conversation technology with micro-learning: The impact of chatbot-based learning on students' learning motivation and performance. *Journal of Educational Computing Research*, 59(1), 154–177.

[LIK32] Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140), 1-55.

[META24] Meta Platforms. (2024). React documentation.

[MSFT24] Microsoft Corporation. (2024). TypeScript documentation.

[NEON24] Neon Inc. (2024). Neon serverless Postgres documentation.

[PGSQL24] PostgreSQL Global Development Group. (2024). PostgreSQL 16 documentation.

[PUT24] Putra, F. H. R. (2024). Penerapan cognitive load theory dalam pengembangan konten edukatif di Instagram oleh PPSDM ANRI. *Jurnal Konten dan Komunikasi Digital*. Diakses dari <https://media.neliti.com/media/publications/618946-penerapan-cognitive-load-theory-dalam-pe-92b74c71.pdf>

[RAM24] Ramadhan, F., & Santoso, B. (2024). Cognitive load theory: Implications for instructional design in digital classrooms. *Indonesian Journal of Educational Research*, 5(4), 112–127.

[REMO24] Remotion Team. (2024). Remotion documentation.

- [SUG19] Sugiyono. (2019). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- [SUP25] Suparyono, E. I. (2025). Literasi digital, self-efficacy, dan persepsi teknologi sebagai katalis adaptasi terhadap teknologi dalam pembelajaran berbasis teknologi. Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia.
- [SWEL88] Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.
- [SWEL11] Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. Dalam J. P. Mestre & B. H. Ross (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 55, hlm. 37–76). Academic Press.
- [TAIL24] Tailwind Labs. (2024). Tailwind CSS documentation.
- [VER24] Vercel Inc. (2024). Next.js documentation.
- [WESOC24] We Are Social & Hootsuite. (2024). Digital 2024: Indonesia. We Are Social Report.
- [WEI02] Weimer, M. (2002). Learner-centered teaching: Five key changes to practice.
- [XYFLO24] xyflow. (2024). React Flow documentation.

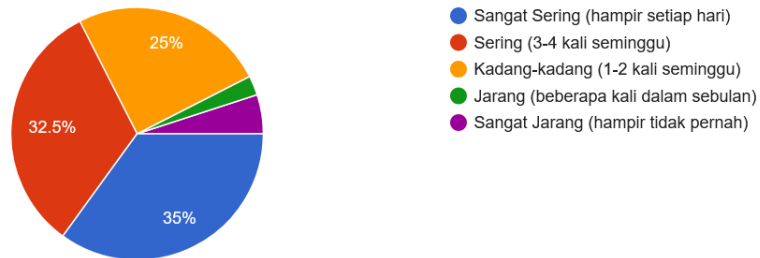
LAMPIRAN

Lampiran A Data Hasil Kuesioner

4. Seberapa sering Anda menggunakan dokumen PDF sebagai sumber belajar utama dalam perkuliahan?

[Copy chart](#)

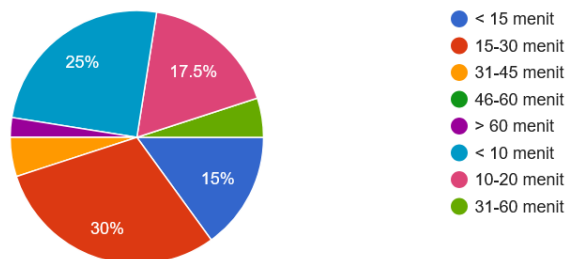
40 responses



5. Berapa lama rata-rata Anda membaca materi PDF dalam satu sesi belajar?

[Copy chart](#)

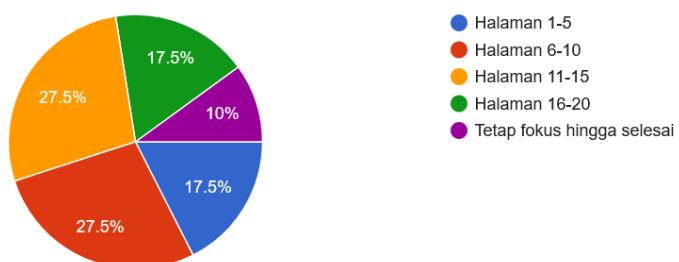
40 responses



6. Pada halaman ke berapa biasanya Anda mulai kehilangan fokus saat membaca dokumen PDF panjang (>20 halaman)?

[Copy chart](#)

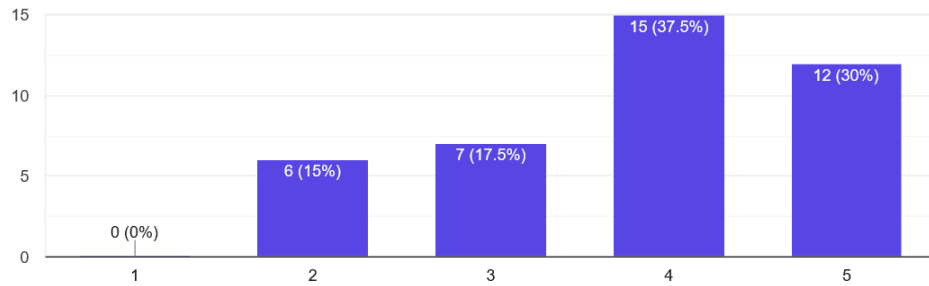
40 responses



7. Saya kesulitan mempertahankan fokus ketika membaca materi teknis dalam format PDF panjang

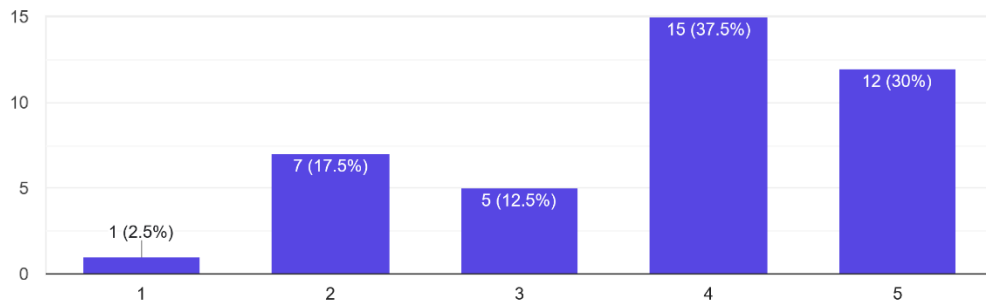
 [Copy chart](#)

40 responses



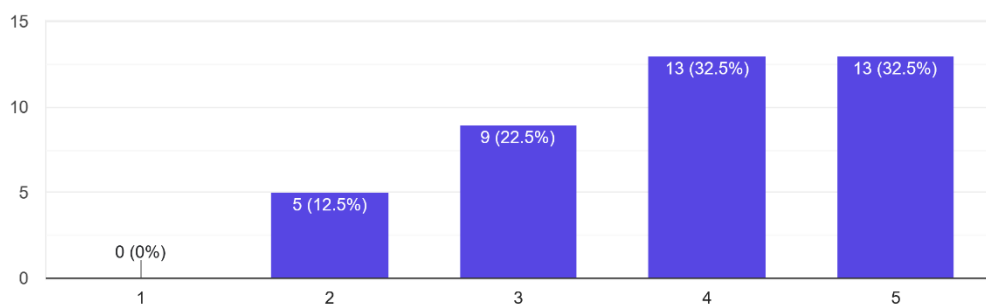
8. Saya merasa cepat lelah (mental) saat mempelajari materi PDF yang padat informasi

40 responses



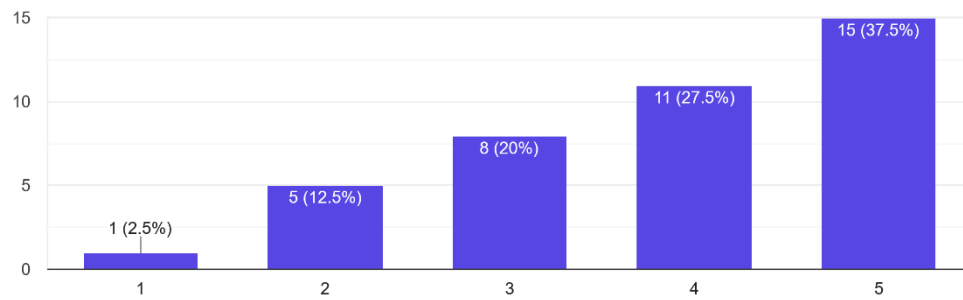
9. Saya sering lupa informasi yang sudah saya baca dari dokumen PDF setelah beberapa hari

40 responses



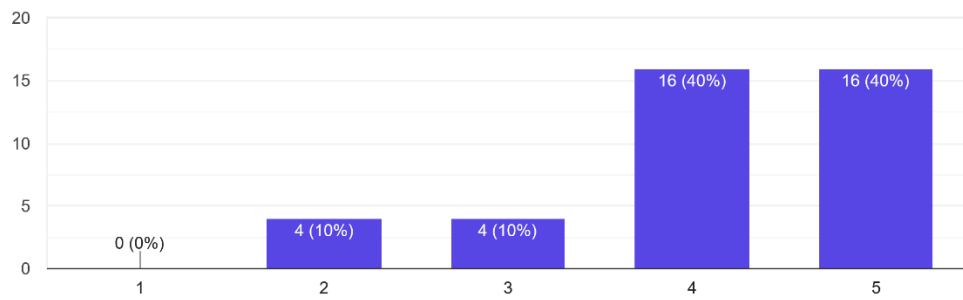
10. Format PDF teks panjang membuat saya kurang termotivasi untuk belajar

40 responses



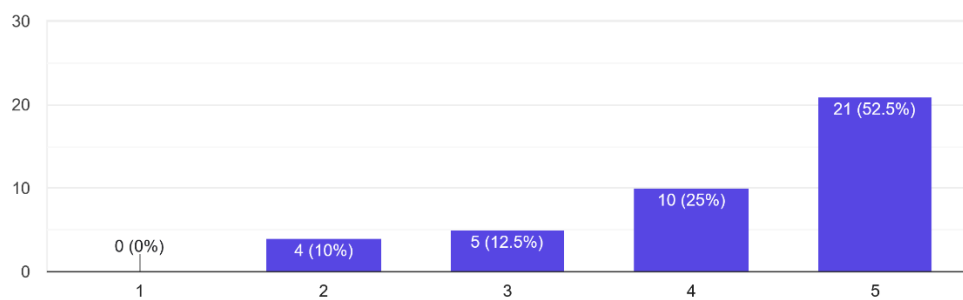
11. Saya kesulitan memahami konsep kompleks yang dijelaskan dalam format teks panjang tanpa visualisasi

40 responses



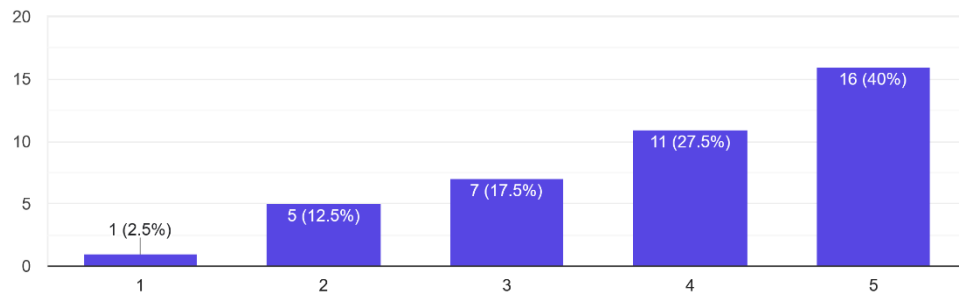
12. Saya lebih suka belajar dalam sesi-sesi singkat (3-15 menit) dibanding membaca panjang

40 responses



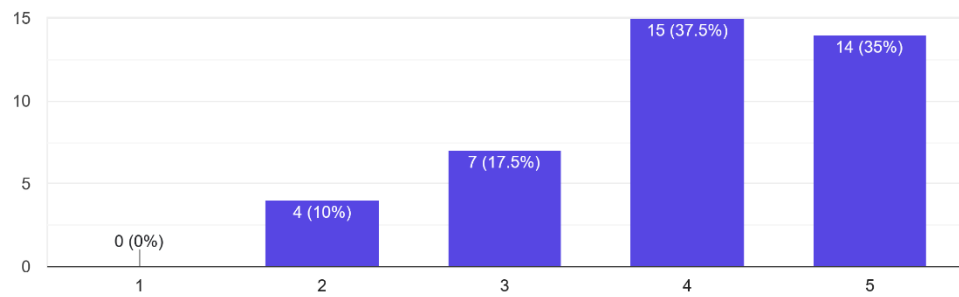
13. Saya kesulitan menemukan bagian penting dari materi PDF yang panjang

40 responses



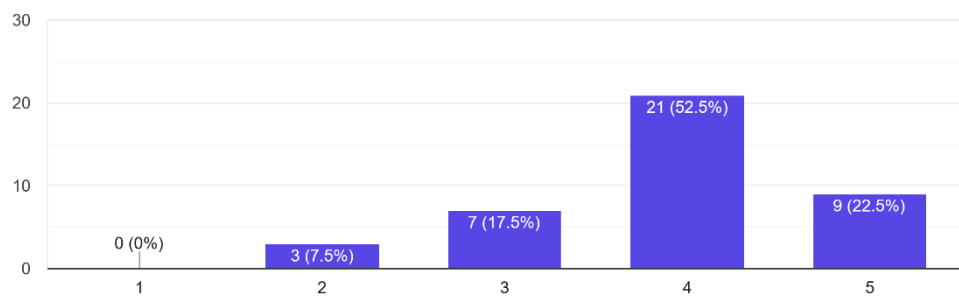
14. Materi PDF statis kurang interaktif dan membosankan bagi saya

40 responses



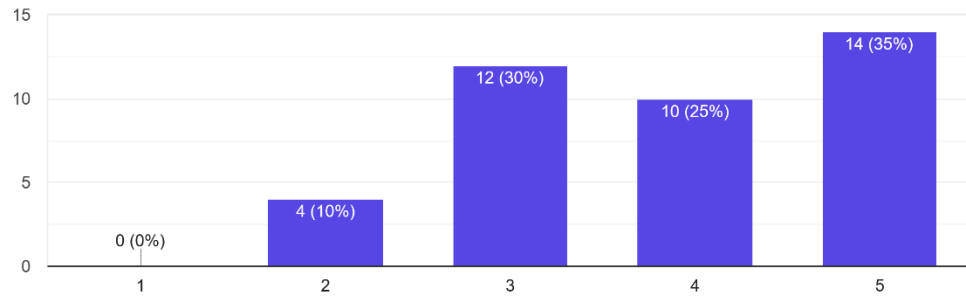
Teks Immersif: Materi terstruktur dalam 5-10 bagian singkat yang dapat dibaca dalam 3-5 menit

40 responses



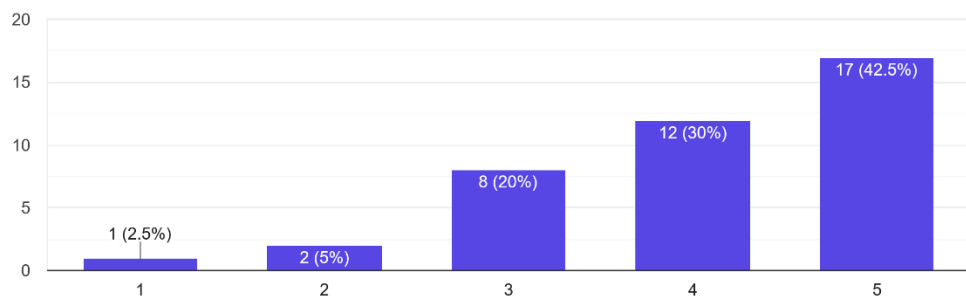
Kuis Interaktif: 10 pertanyaan pilihan ganda untuk menguji pemahaman

40 responses



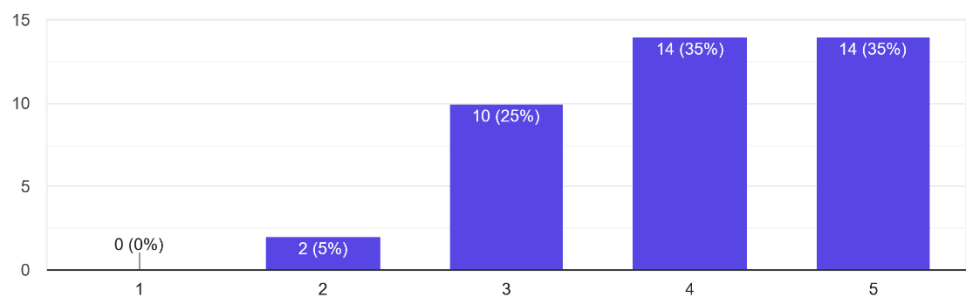
Slide Deck: 8-12 slide visual dengan ilustrasi untuk menjelaskan konsep

40 responses



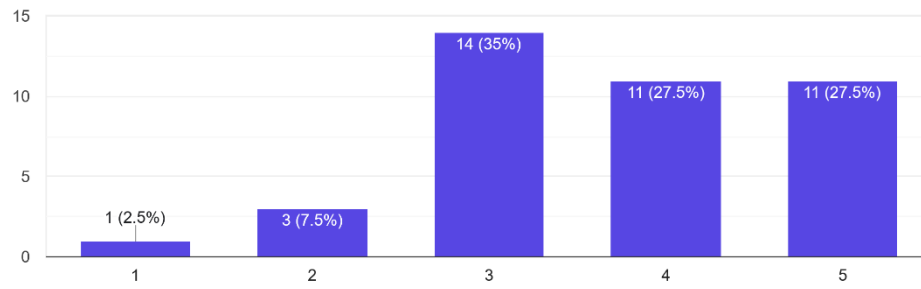
Peta Konsep (Mindmap): Diagram interaktif yang menunjukkan hubungan antar konsep

40 responses



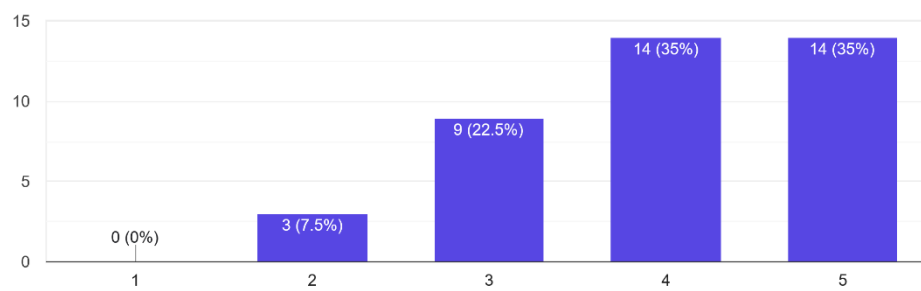
Audio Lesson: Penjelasan materi dalam format audio bergaya podcast

40 responses



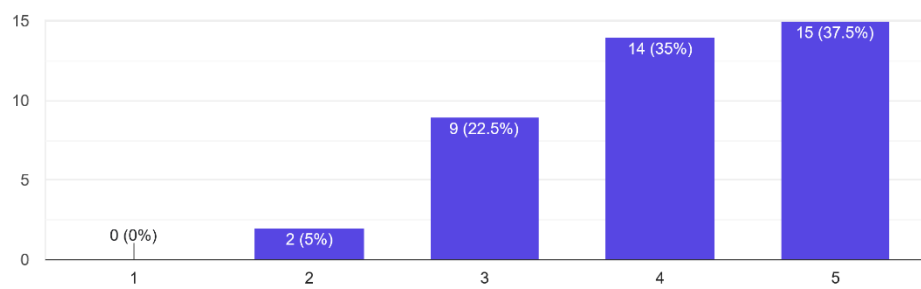
Video Bernarasi: Video dengan sinkronisasi visual dan narasi audio

40 responses



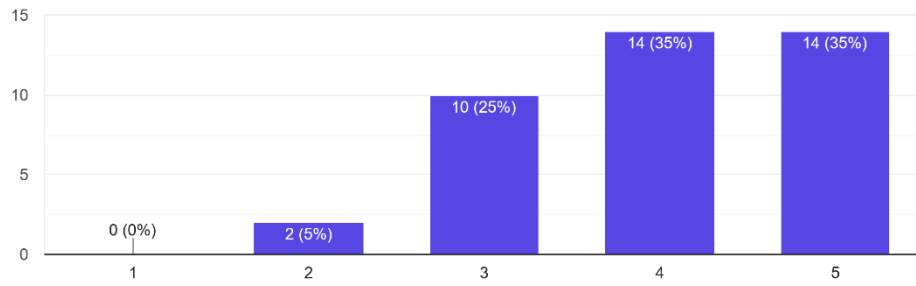
Transformasi otomatis dokumen PDF menjadi berbagai format pembelajaran

40 responses



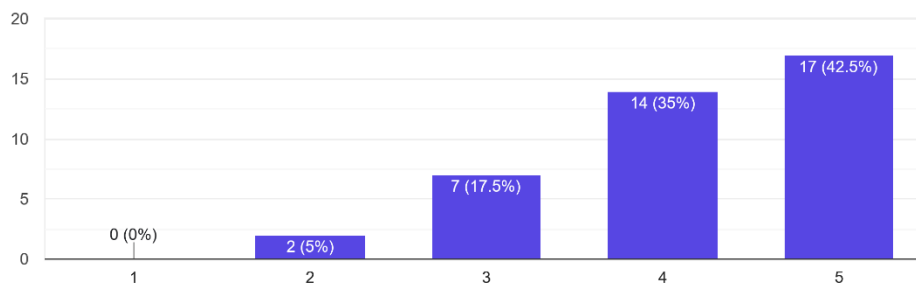
Durasi pembelajaran yang singkat dan terfokus (3-15 menit per sesi)

40 responses



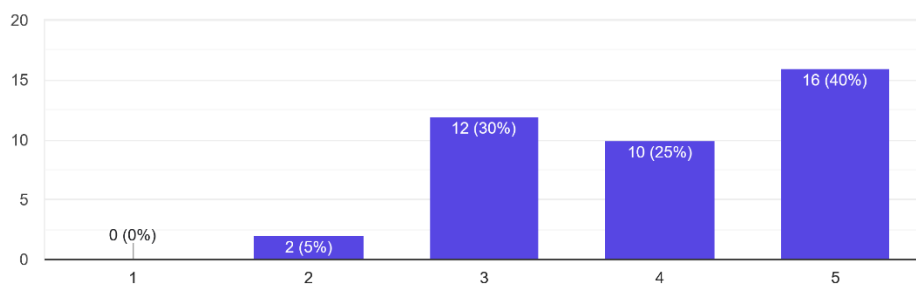
Pilihan berbagai format sesuai gaya belajar saya (visual, audio, teks, interaktif)

40 responses



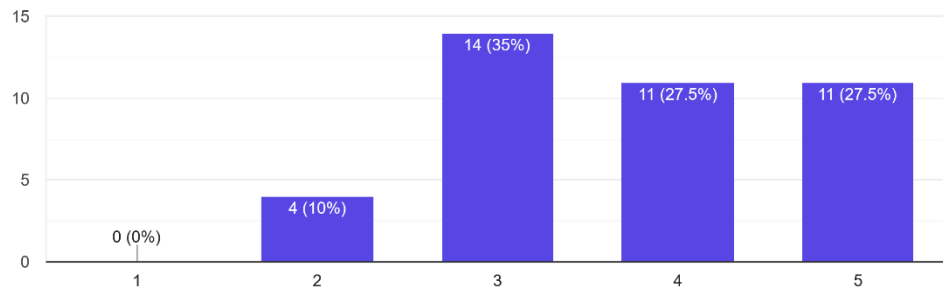
Pelacakan progres belajar untuk setiap format pembelajaran

40 responses



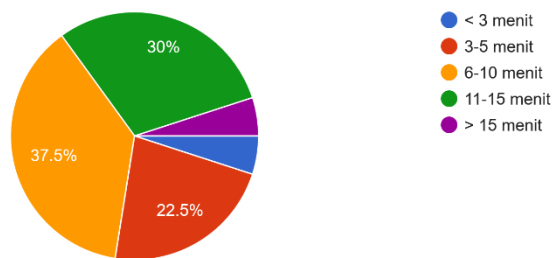
Konten yang dihasilkan AI dan disesuaikan dengan materi PDF

40 responses



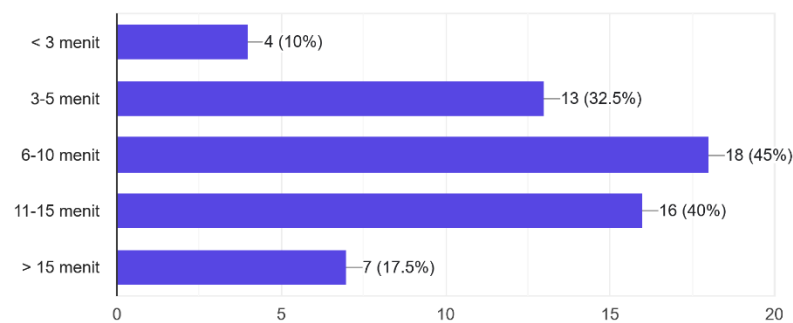
Menurut Anda, berapa durasi ideal untuk satu sesi pembelajaran microlearning?

40 responses



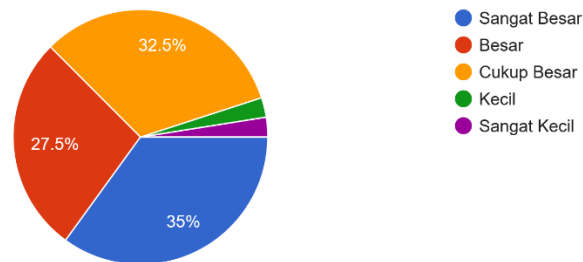
Format pembelajaran mana yang paling Anda butuhkan untuk memahami materi teknis Teknik Informatika? (pilih maksimal 3)

40 responses



Seberapa besar Anda berharap platform microlearning dapat membantu meningkatkan pemahaman dan retensi materi kuliah?

40 responses



Apa kesulitan terbesar yang Anda hadapi saat mempelajari materi dari dokumen PDF panjang?

40 responses

Response Summary

- **Fokus dan Motivasi:** Kesulitan menjaga konsentrasi, merasa cepat bosan, dan kehilangan motivasi saat dihadapkan dengan dokumen PDF yang statis, panjang, dan monoton.
- **Kepadatan Informasi:** Kesulitan menemukan inti sari atau poin-poin penting karena teks yang terlalu padat, bertele-tele, dan tidak disusun secara ringkas.
- **Hambatan Pemahaman:** Teks yang sulit dimengerti, kurangnya visualisasi untuk menjelaskan konsep kompleks, serta penggunaan bahasa yang terkadang sulit dipahami.
- **Efisiensi Waktu dan Teknis:** Membutuhkan waktu lama untuk membaca, kelelahan mata akibat teks yang panjang, serta kendala teknis pada format PDF yang mengganggu proses belajar.

Gemini for Workspace can make mistakes, including about people, so double-check it. [Learn more](#)

See theme percentages

Retry

Copy

Susah fokus dan terkadang terasa bosan jika hanya membaca teks panjang

sudah cukup

klo kebanyakan slide dan isinya kebanyakan tulisan

kesulitannya terlalu bertele tele penjelasan yang di sampaikan dan tidak to the point

Pdf panjang itu cenderung informasi nya terlalu padat dan juga sulit menemukan poin utama nya

malas

kada ada beberapa bahasa yang sedikit susah di mengerti atau saya belum tahu bahasanya

Kurang interaktif jadi mudah bosan untuk dibaca

susah untuk fokus dalam membaca materi pdf