

**PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL AKSES
BERBASIS PENGENALAN WAJAH UNTUK
MANAJEMEN TAMU PADA BANGUNAN
CERDAS**

Proposal Tugas Akhir

Oleh

**Natanael Steven Simangunsong
18222054**



**PROGRAM STUDI SISTEM DAN TEKNOLOGI INFORMASI
SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG**

5 Desember 2025

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL AKSES BERBASIS PENGENALAN WAJAH UNTUK MANAJEMEN TAMU PADA BANGUNAN CERDAS

Proposal Tugas Akhir

Oleh

Natanael Steven Simangunsong
18222054

Program Studi Sistem dan Teknologi Informasi
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung

Proposal Tugas Akhir ini telah disetujui dan disahkan
di Bandung, pada tanggal 5 Desember 2025

Pembimbing

Dr. Fadhil Hidayat, S.Kom., M.T.

NIP. 198609252012121002

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR KODE	vi
I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan	3
I.4 Batasan Masalah	3
I.5 Metodologi	4
II STUDI LITERATUR	6
II.1 Tinjauan Regulasi Bangunan Gedung Cerdas	6
II.2 Kontrol Akses	7
II.3 Gerbang sebagai Kontrol Akses	7
II.4 Pengenalan Wajah	8
II.4.0.1 Parameter Evaluasi Kinerja Biometrik	9
II.5 Keamanan Data dan Privasi	9
II.6 Pengembangan Sistem Gerbang Otomatis pada KAI	10
II.7 Metodologi Design Thinking	10
III ANALISIS MASALAH	12
III.1 Analisis Kondisi Saat Ini	12
III.1.1 Alur Masuk Tamu Saat Ini	12
III.1.2 Kondisi Lobby Saat Ini	13
III.2 Analisis Kebutuhan	13
III.2.1 Identifikasi Masalah Pengguna	14
III.2.2 Kebutuhan Fungsional	14
III.2.3 Kebutuhan Nonfungsional	15
III.3 Analisis Pemilihan Solusi	16
III.3.1 Alternatif Solusi	16
III.3.2 Analisis Penentuan Solusi	18
III.3.2.1 KF-1: Kontrol Akses	18
III.3.2.2 KF-2: Deteksi Wajah	20

III.3.2.3	KF-3: Pengenalan Wajah	21
III.3.2.4	KF-4: Manajemen Pendaftaran	23
III.3.2.5	KF-5: Integrasi Sistem	25
III.3.2.6	KF-6: Keselamatan/safety	26
IV	DESAIN KONSEP SOLUSI	27
IV.1	Diagram Konseptual	27
IV.2	Penjelasan Desain	30
IV.2.1	Spesifikasi Perangkat Keras	30
IV.2.2	Diagram Komponen	31
IV.2.3	Logika Autentikasi	32
IV.2.4	Alur Sistem Pendaftaran	33
IV.2.5	33
V	RENCANA SELANJUTNYA	35
V.1	Rencana Implementasi	35
V.1.1	Linimasa Pengerjaan	35
V.1.2	Implementasi Prototipe	37
V.2	Rencana Pengujian dan Evaluasi	38
V.3	Analisis Risiko dan Mitigasi	40

DAFTAR GAMBAR

II.1	Contoh penerapan desain pada pintu akses (<i>turnstile</i>)	8
III.1	Kondisi lapangan dari lobi Gedung IIP	13
IV.1	Alur kontrol akses sebelum penerapan sistem gerbang	27
IV.2	Alur kontrol akses sesudah penerapan sistem gerbang untuk karya- wan gedung	28
IV.3	Alur kontrol akses sesudah penerapan sistem gerbang untuk tamu gedung	28
IV.4	Alur kontrol akses sesudah penerapan sistem gerbang saat kondisi darurat	29
IV.5	Denah lobi sebelum pemasangan sistem gerbang	29
IV.6	Denah lobi setelah pemasangan sistem gerbang	30
IV.7	Topologi fisik dari gerbang normal	31
IV.8	Diagram komponen dari rancangan sistem	32
IV.9	Logika autentikasi dari rancangan sistem	34

DAFTAR TABEL

III.1	Kebutuhan Fungsional Sistem	15
III.2	Kebutuhan Nonfungsional Sistem	16
III.3	Kriteria Evaluasi Kontrol Akses Fisik	19
III.4	Analisis Penentuan Solusi Perangkat Gerbang Menggunakan Wei- ghted Scoring Model	20
III.5	Kriteria Evaluasi Pendeteksi Wajah	20
III.6	Analisis Penentuan Solusi Model Pendeteksi Wajah Menggunakan Weighted Scoring Model	21
III.7	Bobot penilaian untuk solusi pengenalan wajah	22
III.8	Analisis Penentuan Solusi Model Pengenalan Wajah Menggunakan Weighted Scoring Model	23
III.9	Kriteria Evaluasi Proses Pendaftaran Mandiri	24
III.10	Analisis Penentuan Solusi Pendaftaran Mandiri Menggunakan Wei- ghted Scoring Model	24
III.11	Kriteria Penilaian Metode Integrasi Data	25
III.12	Analisis Penentuan Solusi Integrasi Sistem Menggunakan Weighted Scoring Model	25
III.13	Kriteria Penilaian KF-6: Mekanisme Keselamatan	26
III.14	Analisis Penentuan Mekanisme Keselamatan Menggunakan Wei- ghted Scoring Model	26
V.1	Gantt chart rencana pengerjaan tugas akhir	35
V.2	Rencana implementasi prototipe	37
V.2	Rencana implementasi prototipe (lanjutan)	38
V.3	Desain pengujian dan evaluasi sistem	38
V.4	Analisis risiko dan mitigasi proyek	41

DAFTAR KODE

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pengelolaan keamanan pada bangunan cerdas merupakan aspek yang penting untuk memastikan aktivitas di dalam gedung berlangsung dengan aman, tertib, dan efisien. Sistem kontrol digunakan akses oleh karyawan sebagai pengguna tetap gedung dan bagi tamu atau pengunjung yang memiliki tujuan dan durasi kunjungan yang beragam. Sistem kontrol akses yang baik harus mampu mengidentifikasi pengguna gedung secara tepat, mencatat aktivitas keluar-masuk secara otomatis, serta mengelola akses antar-area di dalam gedung dengan aman.

Science Techno Park (STP) Gedebage, yang juga dikenal sebagai ITB Innovation Park (IIP) Bandung Technopolis, merupakan fasilitas yang dibangun untuk mendukung inovasi serta komersialisasi berbagai produk teknologi milik Institut Teknologi Bandung (ITB). Saat ini, proses kontrol akses bagi tamu pada gedung ITB Innovation Park (IIP) masih dilakukan secara manual oleh petugas keamanan. Tamu yang datang akan diminta memberikan informasi mengenai tujuan kunjungan dan kemudian diarahkan untuk masuk ke gedung. Proses ini memiliki beberapa kelemahan. Pertama, pencatatan identitas dan aktivitas kunjungan masih bersifat manual dan tidak terdokumentasi secara otomatis. Kedua, keputusan pemberian akses bergantung pada penilaian petugas sehingga rawan subjektivitas. Ketiga, sistem akses tamu saat ini belum terintegrasi dengan sistem manajemen gedung secara menyeluruh. Kondisi ini belum memenuhi kriteria bangunan cerdas yang mengutamakan sistem kontrol akses yang otomatis dan terintegrasi.

Kebutuhan akan kontrol akses sebagai salah satu elemen utama bangunan cerdas telah tertuang dalam regulasi pemerintah. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2023 menetapkan bahwa kontrol akses merupakan salah satu komponen wajib dalam konsep Bangunan Gedung Cerdas (BGC).

Selain itu, Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22/SE/M/2024 tentang Pedoman Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Cerdas Tahap Pemanfaatan dan Pemeriksaan Kinerja Bangunan Gedung Cerdas Tahap Pembongkaran menyebutkan bahwa keandalan sistem kontrol akses menjadi salah satu parameter kinerja yang wajib dipenuhi dalam evaluasi bangunan cerdas. Regulasi tersebut menekankan bahwa sistem kontrol akses harus mampu memberikan pencatatan dan pengelolaan data pergerakan orang di dalam gedung secara aman dan terintegrasi dengan sistem manajemen gedung lainnya.

Berbagai institusi dan organisasi telah menerapkan solusi teknologi kontrol akses menggunakan RFID, QR code, hingga pengenalan wajah (*face recognition*). Teknologi pengenalan wajah menawarkan keunggulan berupa otomatisasi, peningkatan keamanan, pengurangan interaksi fisik, dan kecepatan verifikasi pengguna. Namun dalam konteks tamu, penerapan pengenalan wajah memiliki pertimbangan tambahan seperti aspek privasi dan risiko penggunaan data biometrik. Hal ini selaras dengan prinsip perlindungan data pribadi sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Perlindungan Data Pribadi di Indonesia, yang mengatur bahwa pengumpulan dan pemrosesan data biometrik membutuhkan persetujuan dari pemilik data. Oleh karena itu, sistem kontrol akses pada bangunan cerdas perlu menyediakan alternatif metode autentikasi bagi tamu yang tidak bersedia atau tidak memungkinkan untuk memberikan data biometriknya.

Untuk menjawab kebutuhan tersebut, diperlukan sistem kontrol akses tamu yang fleksibel dan dapat mengakomodasi dua metode autentikasi, yaitu pengenalan wajah dan peminjaman kartu akses RFID melalui proses verifikasi identitas di resepsionis. Dengan pendekatan ini, proses kontrol akses tamu dapat dilakukan secara lebih aman, otomatis, terdokumentasi dengan baik, serta tetap menghormati pilihan dan privasi tamu. Pengembangan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan dan efisiensi operasional gedung, sekaligus selaras dengan regulasi mengenai standar bangunan gedung cerdas.

1.2 Rumusan Masalah

Saat ini, proses kontrol akses bagi tamu yang memasuki Gedung ITB Innovation Park belum dilakukan secara otomatis dan belum terintegrasi dengan sistem manajemen gedung. Pencatatan identitas dan aktivitas kunjungan masih dilakukan secara manual oleh petugas keamanan atau resepsionis sehingga berpotensi menimbulkan ketidaktepatan pencatatan, risiko keamanan, dan ketidakefisienan dalam pengelola-

an arus tamu. Proses pemberian akses masih bertumpu pada subjektivitas petugas dan belum memenuhi standar sistem kontrol akses pada bangunan cerdas.

Jika masalah tersebut tidak diatasi, maka risiko keamanan, ketidakteraturan alur kunjungan, serta ketidakpatuhan terhadap standar bangunan cerdas akan tetap terjadi. Selain itu, proses verifikasi tamu yang tidak otomatis dapat menyebabkan antrean, ketidakefisienan waktu, serta kurangnya dokumentasi aktivitas kunjungan sebagai bagian dari pengelolaan bangunan cerdas.

Oleh karena itu, diperlukan sistem kontrol akses yang mampu melakukan identifikasi dan pencatatan tamu secara otomatis serta tetap memperhatikan aspek keamanan dan perlindungan data pribadi. Masalah tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem kontrol akses berbasis pengenalan wajah pada Gedung ITB Innovation Park?
2. Bagaimana menyediakan mekanisme autentikasi alternatif bagi tamu tanpa mengabaikan aspek keamanan dan perlindungan data pribadi?

I.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mengembangkan sistem kontrol akses untuk mendukung pengelolaan tamu pada bangunan cerdas. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan dan efisiensi pengelolaan kunjungan tamu serta menyediakan opsi autentikasi yang sesuai dengan kebutuhan operasional gedung.

Secara khusus, tujuan tugas akhir ini adalah:

1. Mengembangkan sistem kontrol akses tamu yang mampu melakukan identifikasi dan pencatatan kunjungan secara otomatis pada bangunan cerdas.
2. Merancang mekanisme autentikasi alternatif bagi tamu tanpa mengabaikan aspek keamanan dan perlindungan data pribadi.

Tugas akhir ini dinyatakan berhasil apabila memenuhi kriteria berikut:

1. XX
2. XX

I.4 Batasan Masalah

Untuk menjaga ruang lingkup pembahasan dan memastikan solusi yang dikembangkan tetap fokus serta dapat dicapai dalam rentang waktu pengerjaan tugas akhir, maka diperlukan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Tugas akhir ini dikerjakan secara berkelompok yang terdiri dari 3 orang mahasiswa, yaitu Axelius Davin dengan NIM 18222016, Muhammad Rifa Ansyari dengan NIM 18222004, dan Natanael Steven dengan NIM 18222054. Penulis dalam hal ini berfokus pada pengembangan sistem kontrol akses untuk manajemen tamu.
2. Pengguna sistem yang dilibatkan adalah pihak pengelola gedung IIP beserta salah satu perusahaan yang menggunakan gedung IIP.
3. Sistem yang dikembangkan hanya mencakup satu unit gerbang sesuai ketersediaan sumber daya, namun dirancang dan dikembangkan sebagai representasi dari keseluruhan sistem.
4. Sistem akan dikembangkan menggunakan basis data independen yang tidak terintegrasi langsung dengan data yang dimiliki gedung.

I.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini mengacu pada pendekatan *design thinking*. *Design thinking* merupakan metode pengembangan sistem yang bersifat iteratif, berpusat pada pengguna (*human-centered*), serta menekankan proses kolaborasi dengan pihak yang terlibat. Pendekatan ini membantu menghasilkan solusi yang relevan dengan kebutuhan operasional gedung dan perilaku pengguna dalam proses kontrol akses tamu. *Design thinking* terdiri atas lima tahapan utama, yaitu *Empathize*, *Define*, *Ideate*, *Prototype*, dan *Test*.

1. *Empathize*

Tahap ini bertujuan memahami kebutuhan pengguna dan permasalahan yang terjadi pada proses kontrol akses tamu. Informasi dikumpulkan melalui observasi langsung ke gedung IIP, wawancara, dan interaksi langsung dengan pengguna sistem seperti pengelola harian gedung. Data yang diperoleh menjadi dasar untuk merumuskan kasus nyata di lapangan.

2. *Define*

Pada tahap ini, temuan dari proses *empathize* dianalisis untuk mengidentifikasi kendala utama dan karakteristik pengguna. Data yang diperoleh diolah untuk membangun *problem statement* yang spesifik dan terukur sebagai dasar dalam merancang sistem kontrol akses tamu yang akan dikembangkan.

3. *Ideate*

Tahap ini berfokus pada eksplorasi ide-ide solusi berdasarkan masalah yang telah didefinisikan. Pengembang dapat menggunakan teknik seperti *brainstorming*, *sketching*, atau simulasi alur sistem untuk menghasilkan berbagai alternatif solusi dalam pengelolaan akses tamu.

4. *Prototype*

Tahap ini bertujuan mewujudkan ide menjadi bentuk nyata menggunakan komponen perangkat keras maupun perangkat lunak. Prototipe dirancang untuk mengevaluasi solusi yang diusulkan dan melihat bagaimana sistem kontrol akses bekerja dalam skenario operasional. Tujuan utama bukan menghasilkan produk final, tetapi sebagai sarana evaluasi awal dan eksplorasi desain.

5. *Test*

Tahap ini dilakukan untuk mengevaluasi prototipe melalui uji coba, pengamatan, serta penerimaan umpan balik dari pengguna sistem. Hasil evaluasi kemudian digunakan untuk menyempurnakan solusi, merumuskan ulang kebutuhan, atau memperbaiki desain sistem agar lebih sesuai dengan kondisi operasional gedung.

Selain itu, metode penelusuran literatur juga digunakan dalam pengembangan sistem ini, yang mencakup:

1. Literatur ilmiah seperti buku dan artikel untuk mempelajari konsep dasar kontrol akses.
2. Regulasi pemerintah terkait Bangunan Gedung Cerdas, kontrol akses, serta perlindungan data pribadi.
3. Jurnal ilmiah dalam lima tahun terakhir untuk mengidentifikasi solusi dan celah penelitian yang relevan dengan sistem kontrol akses tamu.

Dokumentasi data yang digunakan meliputi foto, data kunjungan, serta catatan hasil observasi dan wawancara.

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1 Tinjauan Regulasi Bangunan Gedung Cerdas

Penerapan sistem kontrol akses pada bangunan cerdas di Indonesia tidak dapat dilepaskan dari kerangka regulasi yang telah ditetapkan pemerintah. Regulasi tersebut berfungsi sebagai pedoman agar setiap sistem yang dibangun mampu mendukung keamanan, efisiensi, serta keberlanjutan operasional gedung. Salah satu regulasi utama yang menjadi dasar adalah Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2023. Dalam peraturan ini, bangunan gedung cerdas didefinisikan sebagai bangunan yang memanfaatkan sistem pengelolaan terpadu yang mampu merespons kebutuhan pengguna dan lingkungan secara otomatis (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2023). Definisi tersebut menegaskan pentingnya integrasi teknologi dalam menunjang fungsi bangunan modern.

Ketentuan mengenai bagaimana kinerja sebuah bangunan cerdas dinilai dijelaskan lebih detail pada Surat Edaran Menteri PUPR Nomor 22/SE/M/2024. Dalam pedoman ini, sistem kontrol akses termasuk dalam unsur yang dievaluasi sebagai bagian dari parameter kemampuan sistem. Penilaian yang dilakukan tidak hanya berfokus pada fungsi dasar pembatasan akses, tetapi juga mencakup kemampuan sistem untuk memberikan pemantauan status perangkat secara langsung, pengaturan hak akses yang dapat disesuaikan menurut lokasi serta waktu, serta keandalan dalam menghadapi kondisi darurat melalui penerapan mekanisme *fail-safe* (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2024).

Dengan adanya standar tersebut, setiap sistem kontrol akses pada bangunan cerdas perlu dirancang agar mampu memenuhi berbagai kebutuhan operasional gedung, termasuk akurasi identifikasi pengguna, integrasi dengan infrastruktur keselamatan, dan kemampuan melakukan pengelolaan akses yang terstruktur. Kepatuhan terhadap regulasi ini menjadi dasar penting dalam pengembangan sistem kontrol akses

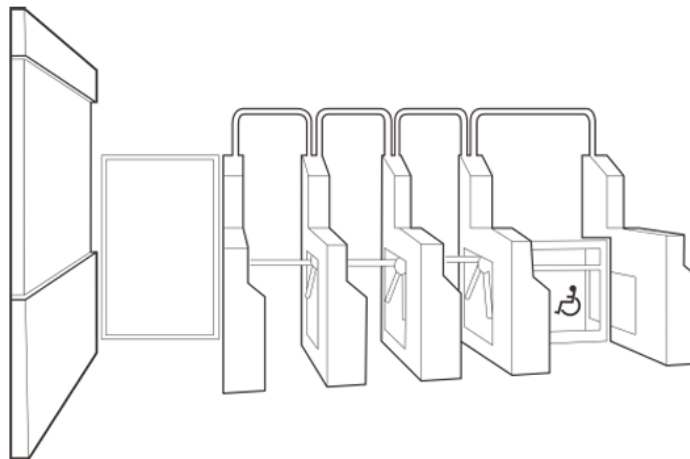
yang aman, adaptif, dan sesuai dengan praktik terbaik bangunan cerdas.

II.2 Kontrol Akses

Sistem kontrol akses merupakan rangkaian mekanisme teknis dan kebijakan yang dirancang untuk mengatur hak masuk ke suatu area, sehingga hanya individu yang berwenang dapat memasuki area tersebut. Sistem ini biasanya melibatkan kredensial (misalnya kartu, token, biometrik), perangkat pembaca, aktuator pintu/gerbang, serta perangkat lunak manajemen identitas dan otorisasi. Dengan demikian, kontrol akses tidak hanya berfungsi sebagai pintu fisik, tetapi juga sebagai sistem audit yang merekam aktivitas masuk-keluar, memelihara catatan akses, dan mendukung keamanan serta manajemen operasional bangunan. Dalam literatur terbaru, sistem ini digambarkan sebagai bagian dari manajemen identitas dan akses (Identity and Access Management - IAM) yang menjadi fondasi keamanan dalam lingkungan IoT dan bangunan cerdas. (Wang, Ragothaman, dan Rimal 2023)

II.3 Gerbang sebagai Kontrol Akses

Gerbang sebagai elemen kontrol akses fisik harus memenuhi standar keselamatan dan kenyamanan pengguna sesuai ketentuan bangunan gedung. Regulasi nasional menekankan bahwa pintu atau portal yang digunakan pada area dengan pergerakan manusia dalam jumlah besar harus dapat terbuka mengikuti arah evakuasi, agar alur keluar lebih aman dan tidak menimbulkan hambatan. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2017) menetapkan bahwa *turnstile* atau pintu akses wajib memiliki lebar bukaan efektif minimal 60 cm, sedangkan akses untuk pengguna disabilitas harus memiliki lebar minimal 80 cm. Ketentuan tersebut menjadi acuan penting dalam menentukan spesifikasi dan dimensi gerbang yang akan digunakan dalam sistem kontrol akses berbasis otomasi. Gambar II.1 menunjukkan contoh implementasi desain pintu akses tersebut sebagaimana tercantum pada lampiran Peraturan Menteri PUPR 14/PRT/M/2017.



Gambar II.1 Contoh penerapan desain pada pintu akses (*turnstile*)

Selain ketentuan regulatif, hasil kajian teknis turut memberikan dasar dalam pemilihan desain gerbang. (Ding 2021) menemukan bahwa gerbang tipe *wing* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan tipe *flat*, baik dari sisi pengaturan aliran pengguna maupun kemampuan mendukung proses evakuasi. Temuan tersebut menegaskan bahwa desain gerbang tidak hanya berkaitan dengan estetika atau mekanisme mekanik, tetapi juga berkontribusi terhadap keselamatan dan efisiensi operasional bangunan dalam skenario penggunaan normal maupun keadaan darurat.

II.4 Pengenalan Wajah

Pengenalan wajah merupakan salah satu teknologi dalam bidang visi komputer yang berfungsi untuk mengidentifikasi atau memverifikasi identitas seseorang berdasarkan citra atau rekaman video. Pada dasarnya, teknologi ini memecahkan persoalan pengenalan pola visual, di mana sistem harus mampu mengenali wajah sebagai objek tiga dimensi yang ditangkap dalam bentuk gambar dua dimensi, meskipun terdapat variasi pencahayaan, sudut pandang, maupun ekspresi wajah. Li, Jain, dan Deng (2024) menjelaskan bahwa sebuah sistem pengenalan wajah umumnya terdiri dari empat komponen utama: *face detection*, *alignment*, *feature extraction*, dan *matching*. Proses lokalisasi dan normalisasi wajah melalui dua tahapan awal tersebut menjadi prasyarat sebelum fitur wajah dapat diekstraksi dan dibandingkan dalam proses pengenalan.

Penggunaan teknologi pengenalan wajah sebagai metode autentikasi biometrik semakin meluas di berbagai sektor, mulai dari pertahanan dan keamanan, layanan finansial, hingga aplikasi sehari-hari seperti kontrol akses pada perangkat dan bangun-

an. Tren adopsi biometrik ini juga tercermin dalam laporan HID Global yang dikutip oleh Jadhav (2024), yang menunjukkan peningkatan penggunaan biometrik untuk kontrol akses dari 30 persen menjadi 39 persen dalam dua tahun terakhir. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengenalan wajah semakin diandalkan sebagai solusi autentikasi yang cepat, praktis, dan aman bagi berbagai kebutuhan operasional.

II.4.0.1 Parameter Evaluasi Kinerja Biometrik

Untuk menilai tingkat keandalan sistem pengenalan wajah, standar internasional ISO/IEC 19795-1 menetapkan sejumlah metrik utama yang digunakan dalam proses pengujian (International Organization for Standardization 2021).

1. *Accuracy*, yaitu perbandingan antara jumlah prediksi yang benar dengan total keseluruhan percobaan.
2. *False Acceptance Rate (FAR)*, yaitu tingkat kesalahan ketika sistem justru menerima atau mengenali individu yang tidak dikenal atau tidak terdaftar sebagai pengguna sah. Dalam sistem keamanan gedung, nilai FAR harus dijaga se-rendah mungkin.
3. *False Rejection Rate (FRR)*, yaitu tingkat kesalahan ketika sistem menolak pengguna yang sebenarnya terdaftar dan memiliki izin akses. FRR yang tinggi dapat mengurangi kenyamanan pengguna.
4. Waktu Respons atau *Latency*, yaitu waktu yang dibutuhkan sistem mulai dari saat wajah terdeteksi oleh kamera hingga perintah kontrol dikirim ke aktuator.

II.5 Keamanan Data dan Privasi

Pengelolaan data biometrik, termasuk data wajah, membutuhkan standar perlindungan yang tinggi karena sifatnya yang sensitif dan tidak dapat diganti apabila bocor atau disalahgunakan. Dalam kerangka regulasi nasional, seluruh kegiatan yang melibatkan pengumpulan, penyimpanan, maupun pemrosesan data pribadi wajib mengikuti ketentuan yang tercantum dalam Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi. Salah satu prinsip penting yang diatur dalam Pasal 20 UU PDP adalah kewajiban memperoleh persetujuan eksplisit dari pemilik data sebelum data tersebut diproses. Ketentuan ini memastikan bahwa penggunaan data biometrik dilakukan secara transparan dan berdasarkan persetujuan sadar dari subjek data.

Dari sisi teknis, keamanan data biometrik menuntut penerapan mekanisme perlindungan yang kuat, terutama saat data disimpan dalam basis data. Abusham dkk.

(2023) merekomendasikan penggunaan algoritma enkripsi seperti *Advanced Encryption Standard* (AES) sebagai lapisan perlindungan pada data saat disimpan. Melalui enkripsi, representasi numerik dari wajah (misalnya vektor fitur) akan disimpan dalam bentuk terenkripsi sehingga tidak dapat diakses ataupun dikonversi kembali menjadi citra wajah asli tanpa kunci dekripsi yang valid. Pendekatan ini berfungsi sebagai mitigasi penting apabila terjadi pencurian perangkat atau serangan terhadap basis data, karena data biometrik tetap tidak dapat digunakan tanpa kunci yang sah.

II.6 Pengembangan Sistem Gerbang Otomatis pada KAI

PT Kereta Api Indonesia (KAI) telah mengimplementasikan layanan *Face Recognition Boarding* sebagai bagian dari transformasi digital untuk mempercepat proses keberangkatan kereta api jarak jauh. Layanan ini memungkinkan penumpang melakukan verifikasi identitas secara otomatis melalui kamera berbasis pengenalan wajah, sehingga tidak perlu lagi menunjukkan KTP maupun mencetak *boarding pass*. Sistem ini mulai digunakan di beberapa stasiun besar, seperti Stasiun Gambir sejak September 2023, dan akan diperluas ke stasiun lainnya. Untuk dapat memanfaatkannya, penumpang harus mendaftarkan identitas dan foto wajah melalui aplikasi Access by KAI, yang kemudian diverifikasi dan dikaitkan dengan data tiket elektronik. Saat melakukan *boarding*, wajah penumpang dicocokkan dengan data yang telah terdaftar, dan jika valid, gerbang terbuka secara otomatis. Pendekatan ini diklaim meningkatkan efisiensi, keamanan, serta mengurangi potensi penyalahgunaan identitas atau tiket. Meskipun demikian, KAI tidak menetapkan layanan ini sebagai satu-satunya jalur akses; alternatif tetap disediakan guna memenuhi prinsip perlindungan data pribadi sebagaimana diatur dalam UU No. 27 Tahun 2022.

II.7 Metodologi Design Thinking

Pendekatan pengembangan sistem pada penelitian ini menggunakan metodologi *Design Thinking*, yaitu kerangka kerja iteratif yang berfokus pada pemahaman mendalam terhadap pengguna sebagai dasar pengembangan solusi. Plattner (2010) menyatakan bahwa proses ini dimulai dari tahap *Empathize*, yaitu pengumpulan wawasan mengenai perilaku, kebutuhan, dan tantangan pengguna melalui observasi maupun interaksi langsung. Selanjutnya, tahap *Define* digunakan untuk menyusun dan merumuskan inti permasalahan berdasarkan temuan yang telah terkumpul. Pada tahap *Ideate*, berbagai kemungkinan solusi dieksplorasi dan dikembangkan melalui teknik kreatif seperti *brainstorming* atau pemetaan ide. Tahap berikutnya adalah *Prototype*, yaitu pembuatan representasi awal dari solusi agar dapat diuji dan divalidasi secara

cepat. Terakhir, tahap *Test* dilakukan untuk mengumpulkan umpan balik pengguna, yang kemudian menjadi dasar untuk penyempurnaan solusi secara berulang (Plattner 2010).

BAB III

ANALISIS MASALAH

III.1 Analisis Kondisi Saat Ini

Tahap ini bertujuan untuk memahami kondisi aktual terkait alur kedatangan tamu di Gedung ITB Innovation Park serta kendala yang muncul dalam proses operasionalnya. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan wawancara dengan petugas keamanan dan resepsionis, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol akses untuk tamu saat ini masih sepenuhnya manual dan belum terintegrasi dengan sistem manajemen gedung.

III.1.1 Alur Masuk Tamu Saat Ini

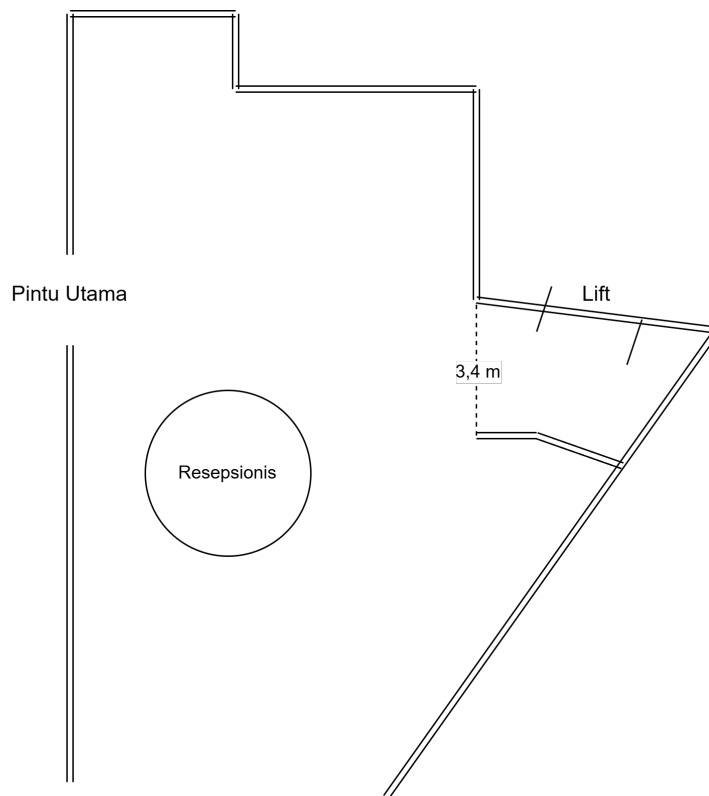
Proses penerimaan tamu saat ini mengandalkan interaksi langsung dengan petugas resepsionis atau petugas keamanan. Alur yang berlangsung di lapangan adalah sebagai berikut:

1. Tamu memasuki lobi dan langsung berinteraksi dengan petugas keamanan. Petugas menanyakan keperluan tamu, identitas, serta pihak yang ingin ditemui. Proses verifikasi dilakukan secara verbal tanpa pencocokan dokumen atau identitas digital apa pun
2. Tidak ada sistem registrasi atau pencatatan tamu yang terpusat. Petugas keamanan hanya melakukan konfirmasi secara manual kepada tenant atau staf terkait melalui pesan singkat atau panggilan telepon untuk memastikan bahwa tamu tersebut memang memiliki janji atau terdapat kebutuhan kunjungan.
3. Tamu diperbolehkan melanjutkan ke area lift tanpa mekanisme autentikasi tambahan. Seluruh tamu dapat mengakses area lift setelah mendapatkan persetujuan verbal dari petugas keamanan.
4. Tidak ada pencatatan waktu masuk dan keluar. Aktivitas tamu tidak terdokumentasi, sehingga tidak ada data historis yang dapat digunakan untuk kebutuhan audit keamanan, monitoring, atau analisis operasional.

Alur ini menunjukkan bahwa seluruh proses penerimaan tamu sangat bergantung pada komunikasi informal dan pengawasan manual oleh resepsionis. Ketergantungan pada proses manual ini menimbulkan sejumlah risiko, antara lain keterbatasan akurasi verifikasi identitas, potensi akses tanpa izin saat petugas lengah, serta tidak tersedianya data kunjungan untuk evaluasi keamanan gedung.

III.1.2 Kondisi Lobby Saat Ini

Hasil peninjauan area lobi menunjukkan bahwa gedung belum dilengkapi dengan perangkat pendukung sistem kontrol akses apa pun. Akses menuju lift terbuka secara langsung dari area lobi, hanya diawasi oleh petugas keamanan. Tidak adanya sistem kontrol akses mengakibatkan seluruh proses penyaringan tamu harus dilakukan secara manual dan tidak memiliki *backup* apabila petugas tidak berada di tempat. Gambar III.1 menunjukkan gambaran dari lobi Gedung ITB Innovation Park saat ini.



Gambar III.1 Kondisi lapangan dari lobi Gedung IIP

III.2 Analisis Kebutuhan

Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan yang harus dipenuhi dalam pengembangan sistem kontrol akses di Gedung ITB Innovation Park. Analisis di-

lakukan dengan memperhatikan kondisi operasional saat ini, pola interaksi antara tamu dan petugas, serta kebutuhan pengelola gedung terhadap keamanan dan efisiensi. Hasil analisis kebutuhan ini menjadi dasar dalam menentukan fitur, komponen, dan alur sistem yang akan dikembangkan.

III.2.1 Identifikasi Masalah Pengguna

Berdasarkan hasil observasi di lobi Gedung ITB Innovation Park, proses pengaturan tamu yang berkunjung menunjukkan sejumlah permasalahan yang memengaruhi efisiensi dan keamanan operasional. Tamu yang datang belum memiliki alur registrasi yang jelas dan terstruktur, sehingga verifikasi identitas sangat bergantung pada percakapan langsung dengan resepsionis. Kondisi ini menyebabkan alur masuk yang tidak konsisten dan rentan menimbulkan antrean pada jam sibuk. Selain itu, ketiadaan sistem pencatatan kunjungan membuat aktivitas tamu tidak terdokumentasi, sehingga menyulitkan pengelola gedung dalam melakukan penelusuran dan audit keamanan. Pengguna gedung, baik resepsionis maupun pengelola, juga tidak memiliki alat bantu untuk mengontrol area mana saja yang boleh diakses tamu maupun jangka waktu kunjungannya. Permasalahan tersebut menunjukkan perlunya sistem yang dapat mengatur proses kunjungan tamu secara lebih tertib, aman, dan terdigitalisasi.

III.2.2 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional merupakan fitur atau fungsi utama yang harus dimiliki oleh sistem agar dapat memenuhi kebutuhan pengguna dan menyelesaikan permasalahan yang telah diidentifikasi pada subbab sebelumnya. Rincian kebutuhan nonfungsional disajikan pada tabel III.1.

Tabel III.1 Kebutuhan Fungsional Sistem

Nama Kebutuhan	Penjelasan
KF-01: Kontrol Akses	Sistem harus mampu mengoperasikan pembukaan dan penutupan gerbang fisik secara otomatis berdasarkan hasil validasi, sehingga akses ke area gedung dapat dibatasi sesuai izin yang diberikan.
KF-02: Pendeteksi Wajah	Sistem harus mampu
KF-03: Pengenalan Wajah	Sistem harus dapat mengenali dan memberikan akses kepada pengguna yang memiliki hak akses memasuki gedung.
KF-04: Manajemen Data	Pengguna sistem harus dapat mengakses sistem untuk menambahkan, mengubah atau menghapus data mereka yang digunakan dalam sistem.
KF-05: Integrasi Sistem	Sistem harus dapat melakukan sinkronasi data yang mereka miliki dengan Sistem Manajemen Gedung, dengan tetap memperhatikan regulasi yang berlaku.
KF-06: Keselamatan/safety	Sistem wajib memiliki fitur <i>fail-safe</i> yang menjamin gerbang terbuka secara otomatis pada situasi darurat atau saat terjadi pemadaman daya.

III.2.3 Kebutuhan Nonfungsional

Kebutuhan nonfungsional menentukan batasan kualitas yang harus dipenuhi sistem, seperti target akurasi, kapasitas basis data, waktu respons, keamanan data, serta keandalan operasi. Rincian kebutuhan nonfungsional ditampilkan pada tabel III.2.

Tabel III.2 Kebutuhan Nonfungsional Sistem

Nama Kebutuhan	Penjelasan
KNF-01: Akurasi	Sistem dapat mengetahui dan memberikan akses kepada pengguna dengan akurasi 90%
KNF-02: Kapasitas	Sistem harus dapat menjalankan fungsi kontrol akses dengan baik untuk kapasitas 1200 pengguna.
KNF-03: Waktu Respon	Sistem harus dapat memberikan keputusan tentang kontrol akses dalam waktu tiga detik.
KNF-04: Keamanan	Sistem harus dapat memastikan keamanan data tersimpan sehingga hanya dapat diakses oleh pemilik data ataupun orang yang berwenang.
KNF-03: Keandalan	Sistem harus dapat beroperasi secara penuh selama 24 jam selama hari kerja (senin s.d jumat).

III.3 Analisis Pemilihan Solusi

Setelah kebutuhan sistem ditetapkan, tahap berikutnya adalah mengevaluasi berbagai pilihan solusi yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Setiap alternatif akan dianalisis dan dibandingkan melalui pendekatan *trade-off* untuk menentukan opsi yang paling sesuai dengan tujuan pengembangan sistem.

III.3.1 Alternatif Solusi

Berikut merupakan rangkuman alternatif solusi yang dapat digunakan untuk memenuhi masing-masing kebutuhan fungsional dari sistem.

1. KF-1 Kontrol Akses
 - a. *Swing Barrier*, yaitu tipe gerbang yang membuka dan menutup ke arah dalam atau luar.
 - b. *Flap Barrier*, yaitu tipe gerbang yang membuka dan menutup dengan menggeser penghalang ke arah samping.
 - c. *Tripod Gate*, yaitu tipe gerbang dengan 3 batang besi yang dapat berputar searah saat kunci terbuka.
2. KF-2 Deteksi Wajah
 - a. *RetinaFace*, merupakan detektor wajah satu tahap dengan akurasi tinggi yang mampu mendeteksi wajah dalam berbagai kondisi pose dan pencahayaan. Model ini memanfaatkan landmark detection untuk meningkatkan stabilitas proses alignment pada tahap selanjutnya.

- b. YOLO-face adalah pendekatan deteksi wajah berbasis arsitektur YOLO yang berorientasi pada kecepatan dan kemampuan real-time. Metode ini memperlakukan wajah sebagai objek yang dideteksi melalui bounding box secara langsung, sehingga cocok untuk implementasi sistem kontrol akses yang memerlukan respons cepat. Model YOLO-based face detector telah banyak digunakan dalam sistem deteksi wajah pada perangkat edge dan aplikasi absensi otomatis.
- c. Blazeface adalah detektor wajah yang dirancang untuk efisiensi tinggi pada perangkat mobile dengan sumber daya terbatas. Dengan ukuran model yang kecil dan latensi sangat rendah, BlazeFace dapat digunakan untuk prototipe sistem atau perangkat kontrol akses dengan komputasi ringan tanpa mengorbankan performa secara signifikan.

3. KF-03 Pengenalan Wajah

Alternatif Solusi untuk pengenalan wajah adalah kombinasi dari alternatif solusi untuk *Feature Extraction* dan *Matching Feature Extraction*:

- a. ResNet-50, yaitu arsitektur CNN dengan 50 layer yang menggunakan mekanisme residual learning, menjadi backbone umum untuk pengenalan wajah karena mampu mengekstraksi fitur wajah yang kuat dan stabil.
- b. MobileFaceNet, yaitu model CNN ringan yang cocok digunakan pada perangkat kecil, tetapi masih cukup baik dalam menangkap ciri penting dari wajah.

Loss Function:

- a. ArcFace, metode pelatihan yang membedakan wajah dengan ‘menjauhkan’ jarak antar wajah yang berbeda dan ‘mendekatkan’ wajah dari orang yang sama.
- b. MagFace, metode pelatihan yang tidak hanya membuat model mengenali wajah, tapi juga bisa menilai kualitas foto wajah, sehingga hasil pengenalannya lebih stabil.

4. KF-4 Manajemen Pendaftaran

- a. Aplikasi Web, menggunakan website yang dapat diakses melalui browser untuk pendaftaran.
- b. Aplikasi Desktop, menggunakan aplikasi berbasis desktop untuk perangkat PC resepsionis.
- c. Aplikasi Mobile, menggunakan aplikasi berbasis mobile untuk ponsel pengguna.

5. KF-5 Integrasi Sistem

- a. Integrasi berbasis API, memungkinkan sistem saling bertukar data secara

ra langsung melalui HTTP *request* dan *response*.

- b. Integrasi berbasis *Message Queue*, mengirim dan memproses pesan secara asinkron melalui antrian.
 - c. Integrasi berbasis *Webhook*, mengirimkan notifikasi otomatis ke sistem lain setiap adanya peristiwa (*event*) tertentu.
6. KF-6 Keselamatan/*safety*
- a. Gerbang *fail-safe*, yaitu gerbang yang memiliki kondisi terbuka saat tidak mendapatkan aliran listrik.
 - b. Tombol Darurat, yaitu tombol yang dapat membuka gerbang tanpa autentikasi.
 - c. Gerbang *fail-safe* + Tombol Darurat, yaitu penggabungan solusi yang memungkinkan gerbang terbuka saat listrik padam atau tombol ditekan.

III.3.2 Analisis Penentuan Solusi

Untuk menentukan pemilihan solusi terbaik, dilakukan analisis kuantitatif untuk memilih solusi terbaik. Analisis kuantitatif dilakukan dengan metode *Weighted Scoring Model* (WSM) untuk membandingkan setiap alternatif solusi. berikut merupakan analisis WSM dari setiap alternatif solusi setiap kebutuhan.

III.3.2.1 KF-1: Kontrol Akses

Berikut merupakan kriteria penilaian dari fungsionalitas kontrol akses.

Tabel III.3 Kriteria Evaluasi Kontrol Akses Fisik

Kriteria	Bobot (%)	Alasan
Keamanan Fisik	35%	Berdasarkan ISO/IEC 21964:2021, pengamanan fisik harus mencegah akses tidak sah dan meminimalkan risiko pelanggaran keamanan, sehingga menjadi aspek terpenting dalam evaluasi sistem kontrol akses.
Kecepatan Melalui Gerbang (Throughput)	25%	Tingkat throughput berpengaruh langsung pada kelancaran arus pengguna. Sistem kontrol akses perlu mempertahankan flow rate yang tinggi untuk menghindari penumpukan dan meningkatkan efisiensi operasional bangunan.
Kenyamanan dan Aksesibilitas	15%	Peraturan Menteri PUPR No. 14/PR-T/M/2017 menekankan pentingnya kemudahan penggunaan, termasuk aksesibilitas bagi penyandang disabilitas, sehingga gerbang harus aman namun tetap nyaman.
Efisiensi Energi dan Perawatan	15%	perangkat fisik yang hemat energi dan mudah dipelihara dapat mengurangi total biaya kepemilikan (total cost of ownership) pada sistem gedung.
Keandalan Operasional	10%	Perangkat kontrol akses harus dapat beroperasi stabil dalam kondisi normal maupun darurat, serta mendukung keamanan evakuasi.

Berdasarkan kriteria tersebut, berikut merupakan *Weighted Scoring Model* dari setiap alternatif solusi.

Tabel III.4 Analisis Penentuan Solusi Perangkat Gerbang Menggunakan Weighted Scoring Model

Kriteria Penilaian	Bobot	Swing Barrier	Flap Barrier	Tripod
Keamanan Fisik	35%	4	3	2
Kecepatan Melalui Gerbang (Throughput)	25%	4	5	3
Kenyamanan & Aksesibilitas	15%	5	3	2
Efisiensi Energi & Perawatan	15%	3	4	4
Keandalan Operasional	10%	4	3	3
Total Skor	100%	4.00	3.65	2.65

Analisis menunjukkan bahwa swing barrier merupakan solusi terbaik yang menawarkan keseimbangan antara keamanan, kecepatan, dan aksesibilitas yang baik dibandingkan dengan alternatif solusi lainnya.

III.3.2.2 KF-2: Deteksi Wajah

Berikut merupakan kriteria penilaian dari fungsionalitas deteksi wajah.

Tabel III.5 Kriteria Evaluasi Pendeteksi Wajah

Kriteria	Bobot(%)	Alasan
Akurasi Deteksi	40%	Pada sistem kontrol akses, akurasi deteksi wajah sangat penting karena kesalahan deteksi (<i>missed detection</i> atau <i>false detection</i>) dapat menghambat proses autentikasi.
Kecepatan (<i>Latency</i> / FPS)	25%	Sistem gerbang membutuhkan respons <i>real-time</i> agar tidak terjadi antrean.
Efisiensi Perangkat (Resource Usage)	15%	Model deteksi yang efisien dapat berjalan pada edge device tanpa memerlukan perangkat keras mahal.
Robustness Kondisi Lapangan	10%	Detektor harus tahan terhadap variasi pose, pencahayaan, dan occlusion.
Kompleksitas Implementasi	10%	Kompleksitas memengaruhi waktu integrasi dan risiko bug. Model dengan arsitektur sederhana lebih mudah di-deploy pada sistem pintu otomatis tanpa modifikasi pipeline besar.

Berdasarkan kriteria tersebut, berikut merupakan *Weighted Scoring Model* dari setiap alternatif solusi.

Tabel III.6 Analisis Penentuan Solusi Model Pendeteksi Wajah Menggunakan Weighted Scoring Model

Kriteria Penilaian	Bobot	RetinaFace	YOLO-Face	BlazeFace
Akurasi	40%	5	4	3
Kecepatan	25%	3	5	5
Efisiensi HW	15%	2	4	5
Robustness	10%	5	4	3
Kompleksitas	10%	3	4	5
Total Skor	100%	3.85	4.25	4.00

III.3.2.3 KF-3: Pengenalan Wajah

Berikut merupakan kriteria penilaian dari fungsionalitas pengenalan wajah.

Tabel III.7 Bobot penilaian untuk solusi pengenalan wajah

Kriteria	Bobot (%)	Alasan
Akurasi	40%	ISO/IEC 19795-1:2021 menyatakan bahwa akurasi merupakan aspek utama untuk penilaian sistem biometrik, serta memastikan keamanan pada sistem akses kontrol.
Kecepatan	20%	Li, Jain, dan Deng (2024) dalam bukunya membahas bahwa kecepatan sistem melakukan pengenalan penting untuk menghindari antrean.
Efisiensi perangkat keras	15%	Efisiensi perangkat keras dapat menekan biaya yang diperlukan untuk pengembangan sistem.
Skalabilitas dan Pemeliharaan (<i>maintainability</i>)	15%	pressman2014software <empty citation> membahas tentang kualitas perangkat lunak dapat diukur dengan berbagai kriteria, diantaranya adalah skalabilitas dan pemeliharaan. Skalabilitas dan pemeliharaan yang baik dapat menekan biaya operasional sistem.
Kompleksitas implementasi	10%	Kompleksitas yang rendah mempercepat pengembangan sistem dan menghindari risiko bug.

Berdasarkan kriteria tersebut, berikut merupakan *Weighted Scoring Model* dari setiap alternatif solusi berikut :

1. Solusi 1: ResNet-50 + ArcFace
2. Solusi 2: ResNet-50 + MagFace
3. Solusi 3: MobileFaceNet + ArcFace
4. Solusi 4: MobileFaceNet + MagFace

Tabel III.8 Analisis Penentuan Solusi Model Pengenalan Wajah Menggunakan Weighted Scoring Model

Kriteria Penilaian	Bobot	Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3	Solusi 4
Akurasi	40%	4 (1.60)	5 (2.00)	3 (1.20)	4 (1.60)
Kecepatan	20%	3 (0.60)	3 (0.60)	5 (1.00)	5 (1.00)
Efisiensi Perangkat Keras	15%	3 (0.45)	3 (0.45)	5 (0.75)	5 (0.75)
Skalabilitas dan Maintainability	15%	4 (0.60)	4 (0.60)	4 (0.60)	4 (0.60)
Kompleksitas Implementasi	10%	3 (0.30)	2 (0.20)	4 (0.40)	3 (0.30)
Total Skor	100%	3.55	3.85	3.95	4.25

Berdasarkan analisis, terlihat bahwa solusi terbaik adalah MobileFaceNet + MagFace, dimana kombinasi ini menawarkan solusi pengenalan wajah yang ringan secara komputasi namun tetap tangguh terhadap citra gambar yang bervariasi, sehingga sangat cocok digunakan pada perangkat terbatas seperti kontroler Raspberry Pi. MobileFaceNet memberikan keunggulan sebagai model yang sangat efisien dengan jumlah parameter yang rendah, memungkinkan inferensi cepat dan akurasi yang memadai. Sementara itu, MagFace merupakan *loss function* yang peka terhadap kualitas citra gambar, sehingga sistem dapat mengurangi kesalahan pada saat mendeteksi dalam pencahayaan rendah, pose yang bervariasi, atau gangguan (*noise*).

III.3.2.4 KF-4: Manajemen Pendaftaran

Berikut merupakan kriteria penilaian dari fungsionalitas pengenalan wajah.

Tabel III.9 Kriteria Evaluasi Proses Pendaftaran Mandiri

Kriteria	Bobot(%)	Alasan
Efisiensi Waktu	35%	Proses pendaftaran yang cepat mengurangi usaha dan waktu pengguna, sesuai dengan heuristic <i>Efficiency of Use / Flexibility and Efficiency</i> (nielsen1994usability).
Kemudahan Penggunaan	30%	Antarmuka yang intuitif dan rendah beban kognitif memungkinkan pengguna menyelesaikan pendaftaran tanpa kebingungan, sejalan dengan heuristics <i>Match between system and the real world</i> dan <i>Recognition rather than recall</i> (nielsen1994usability).
Kompatibilitas Perangkat	20%	Sistem harus konsisten dan berjalan pada berbagai perangkat agar akses lebih luas, sesuai dengan heuristic <i>Consistency and Standards</i> (nielsen1994usability).
Persepsi Privasi	15%	Pengguna merasa aman ketika data pribadi tidak disalahgunakan, sesuai dengan prinsip keamanan dalam <i>usability</i> (nielsen1994usability).

Berdasarkan kriteria tersebut, berikut merupakan *Weighted Scoring Model* dari setiap alternatif solusi.

Tabel III.10 Analisis Penentuan Solusi Pendaftaran Mandiri Menggunakan *Weighted Scoring Model*

Kriteria Penilaian	Bobot	Web	Mobile	Desktop
Efisiensi Waktu	35%	4 (1.40)	5 (1.75)	3 (1.05)
Kemudahan Penggunaan	30%	4 (1.20)	4 (1.20)	3 (0.90)
Kompatibilitas Perangkat	20%	5 (1.00)	3 (0.60)	4 (0.80)
Persepsi Privasi	15%	5 (0.75)	3 (0.45)	4 (0.60)
Total Skor	100%	4.35	4.00	3.35

Berdasarkan analisis, terlihat bahwa Aplikasi *web* menawarkan efisiensi waktu, kemudahan, kompatibilitas, dan privasi yang lebih baik dibandingkan dengan *mobile*

dan *desktop*.

III.3.2.5 KF-5: Integrasi Sistem

Berikut merupakan kriteria penilaian dari fungsionalitas integrasi sistem.

Tabel III.11 Kriteria Penilaian Metode Integrasi Data

Kriteria	Bobot(%)	Alasan
Standarisasi	40%	Metode integrasi data yang memiliki tingkat standarisasi tinggi umumnya didukung oleh dokumentasi lengkap dan ekosistem pustaka pemrograman yang matang, sehingga memudahkan implementasi dan interoperabilitas antarsistem.
Kemudahan Debug	30%	Kemudahan dalam melakukan pelacakan dan penanganan kesalahan (<i>debugging</i>) penting untuk mempercepat proses pengembangan dan mengurangi risiko kegagalan integrasi saat sistem berjalan.
Real-time	30%	Kemampuan sinkronisasi data secara real-time memastikan informasi antar sistem selalu mutakhir, sehingga mendukung proses operasional yang memerlukan respons cepat dan konsistensi data.

Berdasarkan kriteria tersebut, berikut merupakan *Weighted Scoring Model* dari setiap alternatif solusi.

Tabel III.12 Analisis Penentuan Solusi Integrasi Sistem Menggunakan Weighted Scoring Model

Kriteria Penilaian	Bobot	REST API	Webhook	Manual
Standarisasi	40%	5 (2.0)	4 (1.6)	1 (0.4)
Kemudahan Debug	30%	5 (1.5)	3 (0.9)	2 (0.6)
Real-time	30%	3 (0.9)	5 (1.5)	1 (0.3)
Total Skor	100%	4.4	4.0	1.3

Analisis penilaian menunjukkan bahwa REST API merupakan solusi terbaik diban-

dingkan alternatif solusi lainnya, dimana REST API lebih unggul dalam standarisasi kemudahan dalam melakukan *debugging*.

III.3.2.6 KF-6: Keselamatan/safety

Berikut merupakan kriteria penilaian dari fungsionalitas integrasi sistem.

Tabel III.13 Kriteria Penilaian KF-6: Mekanisme Keselamatan

Kriteria	Bobot(%)	Alasan
Keandalan	50%	Sistem keselamatan harus tetap berfungsi dalam kondisi kritis seperti kebakaran atau pemadaman listrik untuk menjamin proses evakuasi berjalan tanpa hambatan.
Kepatuhan	30%	Pemenuhan standar keselamatan bangunan dan evakuasi menjadi syarat utama agar mekanisme keselamatan sesuai regulasi yang berlaku.
Kecepatan Respon	20%	Respons cepat dalam membuka kunci setelah sinyal darurat diterima memastikan tidak ada keterlambatan pada proses evakuasi.

Berdasarkan kriteria tersebut, berikut merupakan *Weighted Scoring Model* dari setiap alternatif solusi.

Tabel III.14 Analisis Penentuan Mekanisme Keselamatan Menggunakan Weighted Scoring Model

Kriteria Penilaian	Bobot	Otomatis (Fail-Safe)	Manual	Kombinasi
Keandalan	50%	4	3	5
Kepatuhan	30%	5	2	5
Kecepatan Respon	20%	5	2	5
Total Skor	100%	4.5	2.5	5.0

Solusi kombinasi, yaitu gabungan dengan solusi otomatis(*fail-safe*) dan tombol manual merupakan solusi terbaik pada sistem. Solusi ini memastikan aspek keselamatan yang mumpuni dengan keandalan, kepatuhan dan kecepatan respon yang tinggi.

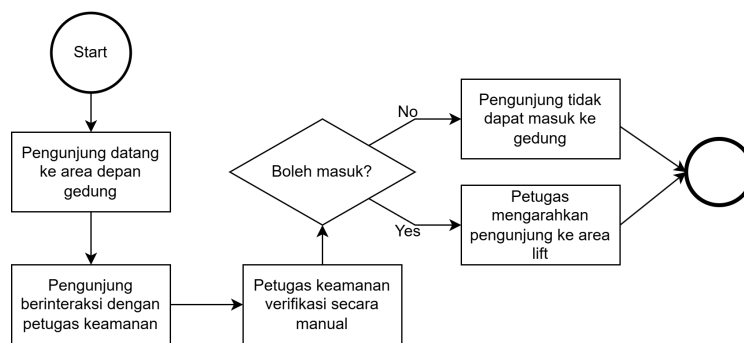
BAB IV

DESAIN KONSEP SOLUSI

Fokus utama pada desain konsep solusi adalah menjelaskan model konseptual dan penjelasan desain yang dipilih pada bab sebelumnya mengenai pengenalan wajah untuk kontrol akses di lobi ITB Innovation Park.

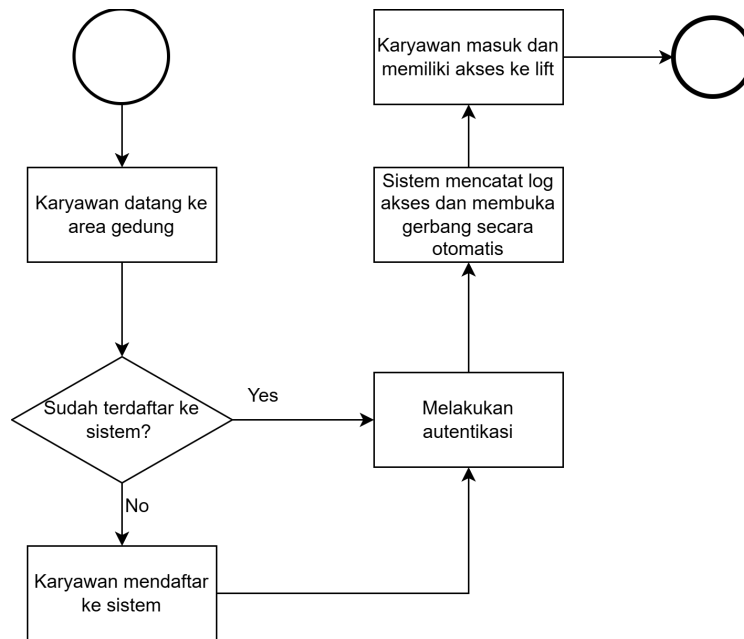
IV.1 Diagram Konseptual

Penerapan desain solusi yang dipilih akan mempengaruhi alur kontrol akses yang telah ada sebelumnya. Gambar IV.1 adalah diagram alur kontrol akses sebelum penerapan sistem gerbang.

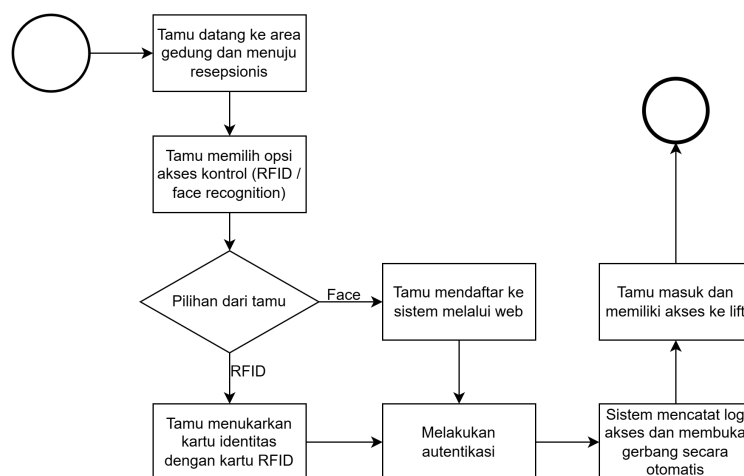


Gambar IV.1 Alur kontrol akses sebelum penerapan sistem gerbang

Gambar IV.2 dan IV.3 merupakan alur kontrol akses sesudah penerapan sistem pada Gedung IIP. Dari gambar, dapat dilihat dengan jelas perubahan alur yang terjadi, dimana setelah melewati petugas keamanan luar gedung, karyawan dan tamu harus melewati sistem gerbang terlebih dahulu sebelum akhirnya dapat mengakses lift pada lobi gedung.

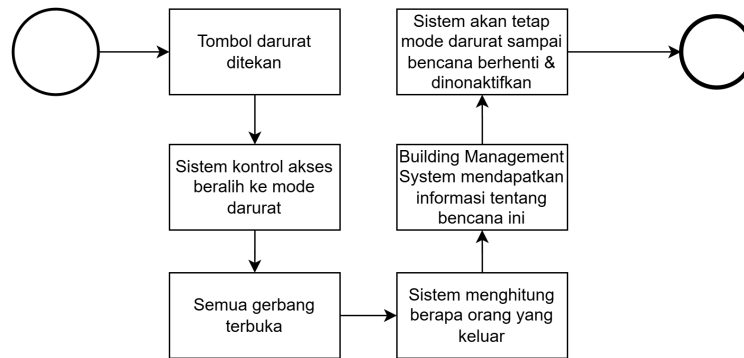


Gambar IV.2 Alur kontrol akses sesudah penerapan sistem gerbang untuk karyawan gedung



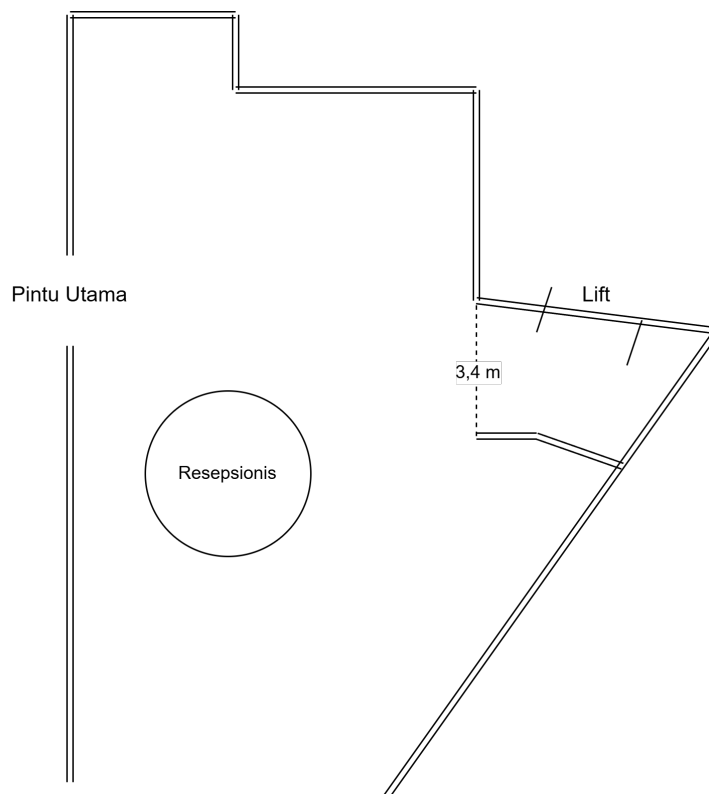
Gambar IV.3 Alur kontrol akses sesudah penerapan sistem gerbang untuk tamu gedung

Selain itu, sistem yang akan dikembangkan juga memiliki alur tambahan yang terjadi saat terjadi bencana. Gambar IV.4 menunjukkan bagaimana alur sistem saat terjadi keadaan darurat.

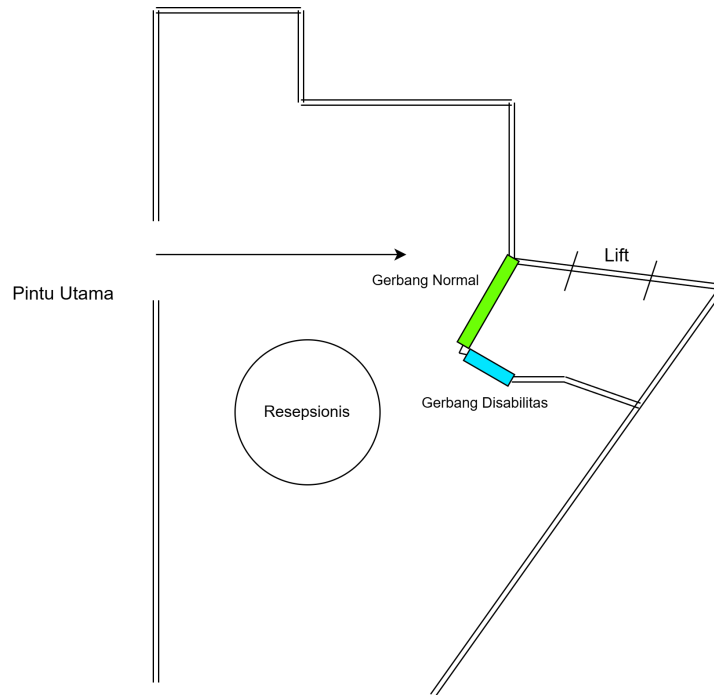


Gambar IV.4 Alur kontrol akses sesudah penerapan sistem gerbang saat kondisi darurat

Selain perubahan alur, terdapat juga perubahan pada lobi gedung secara langsung akibat pemasangan sistem gerbang. Berikut merupakan gambaran denah dari lobi Gedung IIP sebelum dan sesudah pemasangan gerbang. Pemasangan gerbang direncanakan akan berbentuk siku, dengan pemasangan tiga buah gerbang normal (hijau) dan satu gerbang disabilitas (biru).



Gambar IV.5 Denah lobi sebelum pemasangan sistem gerbang



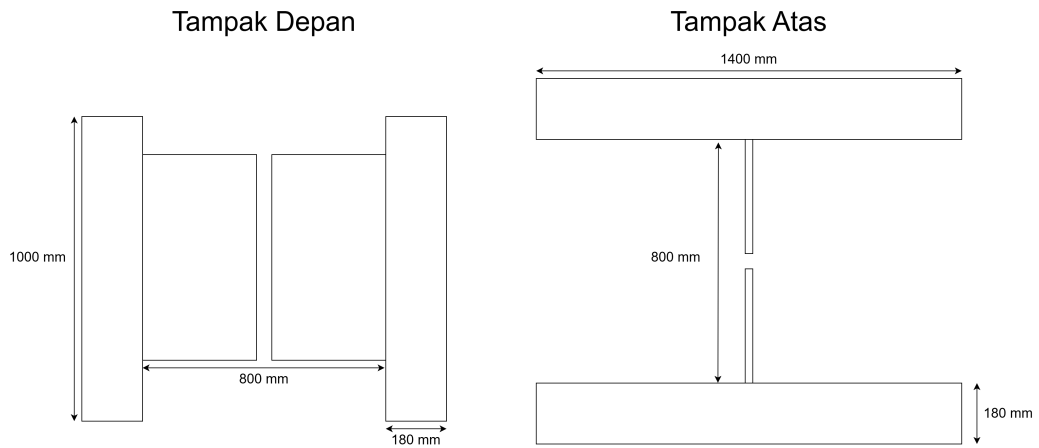
Gambar IV.6 Denah lobi setelah pemasangan sistem gerbang

IV.2 Penjelasan Desain

Bagian ini akan menjelaskan secara ringkas bagaimana rancangan sistem kontrol akses akan diimplementasikan. Penjelasan desain ini meliputi keterhubungan antar-komponen, penjelasan tentang komponen yang dipilih secara ringkas serta logika proses autentikasi.

IV.2.1 Spesifikasi Perangkat Keras

Secara fisik, sistem gerbang dirancang untuk memiliki tiga gerbang normal pada satu sisi dan satu gerbang disabilitas untuk sisi lainnya, dengan gerbang disabilitas akan memiliki lebar gerbang yang lebih lebar (80 cm) dibandingkan dengan gerbang normal (60 cm). Gambar IV.7 menunjukkan Topologi fisik dari gerbang normal yang akan dirancang.



Gambar IV.7 Topologi fisik dari gerbang normal

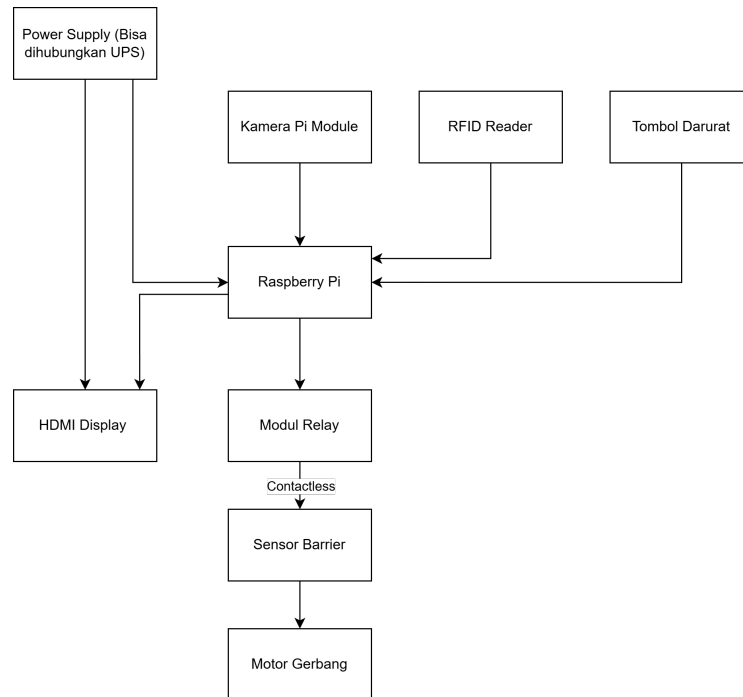
Berdasarkan analisis kebutuhan pada Bab III dan diagram hubungan komponen di atas, spesifikasi perangkat keras yang dipilih meliputi:

1. **Unit Pemrosesan:** Raspberry Pi 4 Model B (4GB) dipilih karena kemampuan *edge computing* yang memadai untuk menjalankan algoritma *Deep Learning* (**raspberrypi**).
2. **Visual:** Raspberry Pi Camera Module v3 dengan fitur HDR untuk mengatasi kondisi pencahayaan lobi.
3. **Antarmuka:** Layar LCD 5 inci HDMI untuk menampilkan status akses kepada pengguna.
4. **Autentikasi Sekunder:** Modul RFID Reader sebagai opsi akses cadangan.
5. **Kontrol Akses:** Modul Relay 5V untuk memicu pembukaan gerbang melalui mekanisme kontak kering (*dry contact*) (**kainz2019raspberrypi**).

Selain itu, mekanisme fisik gerbang menggunakan *Swing Barrier* untuk mendukung aksesibilitas yang luas, sesuai dengan standar keselamatan (**simarmata2021gerbang**).

IV.2.2 Diagram Komponen

Rancangan sistem kontrol akses ini akan terdiri dari beberapa komponen yang saling terhubung. Gambar IV.8 Menunjukkan diagram komponen dari sistem.



Gambar IV.8 Diagram komponen dari rancangan sistem

Berdasarkan gambar, terlihat bahwa sistem kontrol akses dengan gerbang otomatis terdiri dari komponen yang ada pada pemilihan solusi yaitu gerbang, sistem pengenalan wajah (kamera, kontroler, display), sistem RFID (RFID Reader, Kontroler), Tombol darurat, serta komponen-komponen seperti sumber listrik untuk memastikan sistem bekerja sesuai dengan kebutuhan.

IV.2.3 Logika Autentikasi

Logika autentikasi menjelaskan proses pengenalan pengguna yang dilakukan oleh sistem pengenalan wajah. Gambar IV.9 adalah alur proses dari proses pengenalan wajah untuk autentikasi pengguna.

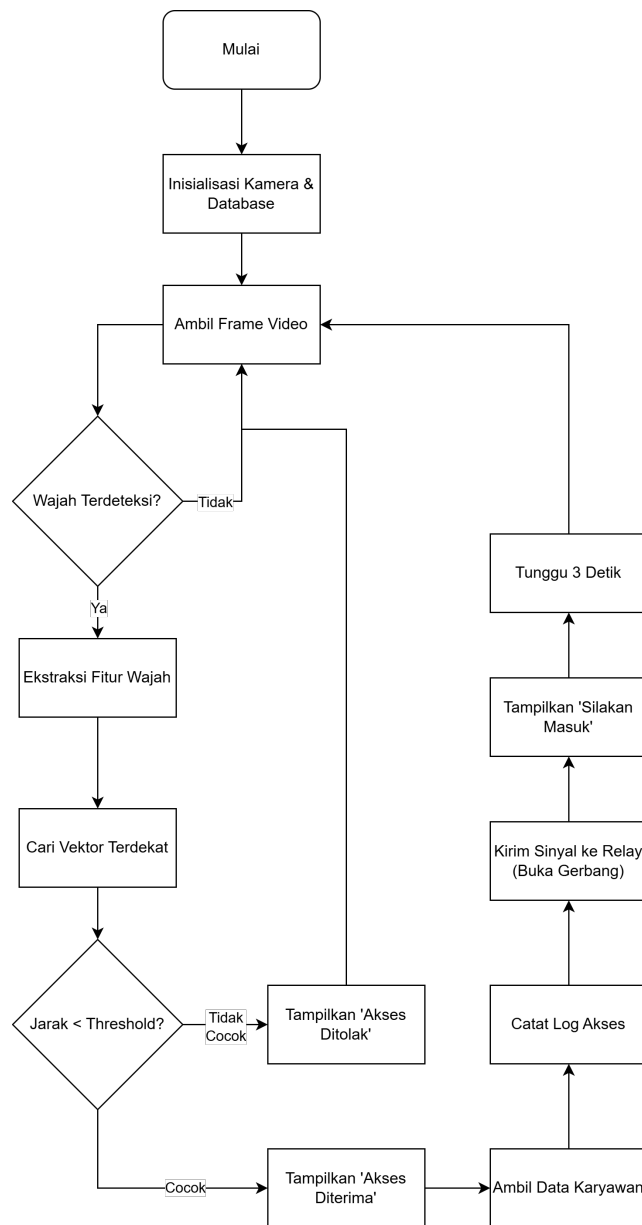
Setiap beberapa waktu, sistem akan mengambil frame video melalui kamera, jika mendeteksi adanya wajah pada frame, sistem kemudian akan melakukan proses ekstraksi dari fitur wajah menjadi sebuah vektor. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan data tersimpan untuk mencari vektor terdekat. Jika tidak ditemukan, sistem akan menunjukkan bahwa akses masuk ditolak.

Jika sistem menemukan jarak vektor yang dibawah treshold, sistem akan menampilkan akses diterima. Setelah itu, sistem akan mengambil data pengguna yang dikenali tersebut, lalu mencatat log akses dan membuka gerbang. Sistem kemudian

akan menunggu beberapa saat sebelum akhirnya kembali mengambil frame Video untuk mendeteksi pengguna berikutnya.

IV.2.4 Alur Sistem Pendaftaran

IV.2.5



Gambar IV.9 Logika autentikasi dari rancangan sistem

BAB V

RENCANA SELANJUTNYA

Bab ini menjelaskan langkah implementasi sistem yang akan dilakukan kedepannya. Rencana ini dijabarkan dalam bentuk linimasa pekerjaan, yang kemudian dilanjutkan dengan rencana implementasi, desain pengujian, serta analisis risiko.

V.1 Rencana Implementasi

V.1.1 Linimasa Pengerjaan

Pengerjaan tugas akhir direncanakan berlangsung selama 14 bulan, dimulai dari September 2025 untuk tahap studi awal dan proposal hingga Desember 2026. Implementasi sistem fisik akan dimulai pada Januari 2026. Linimasa pengerjaan disajikan dalam bentuk bagan Gantt pada Tabel V.1.

Tabel V.1 Gantt chart rencana pengerjaan tugas akhir

Tahapan Kegiatan	Sep–Okt '25	Nov–Des '25	Jan–Mar '26	Apr–Jun '26	Jul–Sep '26	Okt '26
1. Perencanaan dan Persiapan	■	■				
Penyusunan Proposal (Studi Awal)	■					
Studi Lanjut dan Persiapan Perangkat		■				
2. Implementasi dan Pengembangan			■	■		
Pengembangan Perangkat Keras			■	■		
Pengembangan Perangkat Lunak			■	■		
Integrasi Sistem				■		
3. Pengujian dan Evaluasi					■	
Pengujian dan Analisis Hasil					■	
4. Penulisan dan Finalisasi				■	■	■
Penulisan Laporan (Bab 1–5)				■	■	
Penulisan Bab 6 dan Finalisasi						■

Rencana linimasa pengerjaan untuk implementasi dan pengembangan sistem untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan dan Perakitan Perangkat Keras

Tahap awal berfokus pada penyiapan fisik sistem agar siap dipasang pada gerbang.

- a. Perakitan Unit Pemrosesan: Menyiapkan unit mikrokontroler (Raspberry Pi) dan menghubungkannya dengan modul pendukung seperti kamera dan layar antarmuka.
- b. Instalasi Modul Kontrol: Merangkai modul relay elektronik yang berfungsi sebagai jembatan penghubung antara sinyal digital dari sistem dengan kunci fisik pada gerbang.
- c. Pemasangan Fisik (Mounting): Menempatkan seluruh komponen elektronik ke dalam casing pelindung dan memasangnya pada tiang gerbang dengan posisi sudut pandang kamera yang optimal untuk menangkap wajah pengguna.

2. Pengembangan Logika Perangkat Lunak

Pada tahap ini, logika kecerdasan buatan dan kontrol sistem dibangun.

- a. Implementasi Algoritma: Menanamkan algoritma deteksi dan pengenalan wajah ke dalam unit pemrosesan agar mampu mengidentifikasi pengguna secara real-time.
- b. Pemrograman Logika Kontrol: Membuat program pengendali yang bertugas mengirimkan sinyal pembukaan gerbang hanya jika hasil verifikasi wajah dinyatakan valid (cocok dengan database).
- c. Mekanisme Sinkronisasi: Mengembangkan skrip otomatis untuk memastikan perangkat gerbang selalu memiliki data karyawan terbaru yang tersinkronisasi dari server pusat.

3. Pengembangan Platform Pendaftaran (Web)

Tahap ini bertujuan menyediakan antarmuka bagi pengguna untuk mendaftarkan diri.

- a. Pembuatan Portal Web: Membangun aplikasi berbasis web yang mudah diakses oleh karyawan melalui perangkat pribadi (laptop/ponsel).
- b. Sistem Validasi Otomatis: Mengimplementasikan fitur cerdas pada web yang mampu menolak foto buram atau gelap secara otomatis saat pendaftaran, guna menjamin kualitas data dalam sistem.

4. Integrasi dan Kalibrasi Sistem

Tahap akhir adalah menyatukan perangkat lunak dan perangkat keras dalam satu lingkungan kerja.

- a. Pengujian Integrasi: Menghubungkan sistem wajah dengan mekanisme gerbang fisik untuk memastikan perintah "buka kunci" dari perangkat

lunak benar-benar menggerakkan lengan gerbang.

- b. Kalibrasi Lapangan: Melakukan penyesuaian sensitivitas kamera dan ambang batas (threshold) algoritma berdasarkan kondisi pencahayaan di lokasi pemasangan untuk meminimalkan kesalahan deteksi.

V.1.2 Implementasi Prototipe

Lingkup implementasi pada tahap ini difokuskan pada satu gerbang akses dengan kemampuan dua arah, yaitu masuk dan keluar. Oleh karena itu, dibutuhkan total dua set perangkat pengenalan wajah. Tabel V.2 merincikan kebutuhan perangkat keras dan estimasi biaya untuk implementasi tersebut.

Tabel V.2 Rencana implementasi prototipe

Komponen atau Aspek	Deskripsi dan Spesifikasi
<i>Perangkat Keras (x2 Set)</i>	
Unit Pemrosesan	2 unit Raspberry Pi 4 Model B (4GB RAM). Dipilih karena keseimbangan antara performa untuk <i>edge computing</i> dan ketersediaan <i>port</i> GPIO.
Sensor Kamera	2 unit Raspberry Pi Camera Module v3. Digunakan untuk akuisisi citra wajah dengan fitur HDR.
Layar Display	2 unit LCD 5 inch HDMI. Untuk antarmuka visual pengguna.
Aktuator Kunci	Solenoid Door Lock 12V yang dikontrol melalui 5V Relay Module (Simulasi).
Pendukung	Power Supply 5V 3A, Fan Cooling, SSD Eksternal 128GB, dan kabel <i>jumper</i> .
<i>Perangkat Lunak</i>	
Sistem Operasi	Raspberry Pi OS berbasis Debian.
Bahasa	Python 3.
Pustaka Utama	OpenCV, Dlib, RPi.GPIO.
<i>Lingkungan</i>	
Lokasi	Prototipe akan diuji pada simulasi pintu masuk di Laboratorium X, Gedung IIP.
Konfigurasi	Perangkat akan dipasang pada ketinggian rata-rata wajah orang berdiri, yaitu sekitar 160 cm sampai 170 cm.
<i>Estimasi Biaya</i>	

Tabel V.2 Rencana implementasi prototipe (lanjutan)

Komponen atau Aspek	Deskripsi dan Spesifikasi
Perangkat Keras Utama	Rp 5.000.000 (untuk 2 unit sistem wajah)
Komponen Pendukung	Rp 500.000
<i>Total Estimasi</i>	Rp 5.500.000

V.2 Rencana Pengujian dan Evaluasi

Pengujian dan evaluasi akan dilakukan untuk memverifikasi kebutuhan fungsional dan memvalidasi kebutuhan nonfungsional. Metode pengujian dirangkum pada Tabel V.3.

Tabel V.3 Desain pengujian dan evaluasi sistem

Kriteria	Metode Verifikasi atau Validasi	Parameter Keberhasilan
<i>Verifikasi Fungsional</i>		
KF-1 (Kontrol Akses)	Melakukan simulasi autentikasi berhasil dan gagal pada karyawan dan tamu untuk memeriksa apakah gerbang merespons sesuai sinyal yang diberikan.	Gerbang selalu terbuka ketika autentikasi valid dan tetap tertutup ketika autentikasi tidak valid, dengan tingkat keberhasilan 100% selama pengujian.
KF-2 (Pendeteksi Wajah)	Menguji sistem menggunakan 5 pengguna terdaftar dan 5 pengguna tidak terdaftar untuk memastikan deteksi keberadaan wajah sebelum proses pengenalan dilakukan.	Sistem mendeteksi seluruh wajah pengguna yang muncul di kamera, dan tidak memberikan deteksi ketika objek bukan wajah manusia.
KF-3 (Pengenalan Wajah)	Uji 5 pengguna yang belum terdaftar dan 5 orang yang sudah terdaftar untuk menggunakan sistem pengenalan wajah.	Sistem dapat dengan benar mengenali seluruh pengguna yang terdaftar dan dapat dengan benar tidak mengenali seluruh pengguna yang tidak terdaftar.

Tabel V.3 Desain pengujian dan evaluasi sistem (lanjutan)

Kriteria	Metode Verifikasi atau Validasi	Parameter Keberhasilan
KF-4 (Pendaftaran)	Uji pengguna menggunakan aplikasi untuk mendaftarkan wajah mereka.	Pengguna berhasil mendaftarkan wajahnya ke sistem tanpa arahan.
KF-5 (API)	Pengujian <i>endpoint</i> API menggunakan Postman.	API mengembalikan respon kode 200 OK dan format JSON yang valid.
KF-6 (Safety)	Simulasi pemutusan daya listrik dan penekanan tombol darurat.	Kunci gerbang terlepas (mode bebas dorong) secara instan.
<i>Validasi Nonfungsional</i>		
KNF-1 (Akurasi)	Pengujian dilakukan dengan 20 sampel pengguna (10 terdaftar dan 10 tidak terdaftar) untuk menghitung jumlah prediksi benar (true positive + true negative) dan prediksi salah (false positive + false negative).	Tingkat akurasi $\geq 90\%$, dihitung dari total prediksi benar dibandingkan seluruh percobaan.
KNF-2 (Kapasitas Sistem)	Pengujian beban dilakukan dengan mensimulasikan proses pendaftaran dan penyimpanan data hingga mencapai 1200 pengguna, serta melakukan uji akses bergantian oleh beberapa pengguna.	Sistem mampu beroperasi normal pada jumlah 1200 pengguna tanpa error penyimpanan dan seluruh pengguna tetap dapat dilayani.
KNF-3 (Waktu Respon)	Pengujian dengan menghitung waktu dari pengguna menampilkan wajah sampai gerbang dibuka.	Waktu sampai gerbang terbuka kurang dari tiga detik.

Tabel V.3 Desain pengujian dan evaluasi sistem (lanjutan)

Kriteria	Metode Verifikasi atau Validasi	Parameter Keberhasilan
KNF-4 (Keamanan)	a. Pengujian enkripsi data wajah b. Pengujian akses kontrol database c. Pengujian integritas data d. Pengujian Audit dan Logging	a. Semua file template dan foto harus terenkripsi. b. Pengguna tidak sah tidak bisa melihat, mengubah, atau menghapus data wajah. c. Sistem menolak autentikasi jika data wajah rusak atau dimanipulasi. d. Semua log akses tercatat dan tidak bisa diubah.
KNF-5 (Keandalan)	Uji operasional (<i>stress test</i>) selama sehari.	Tidak terjadi <i>crash</i> , <i>overheat</i> , atau kegagalan fungsi selama pengujian.

V.3 Analisis Risiko dan Mitigasi

Analisis risiko dilakukan untuk mengidentifikasi potensi masalah selama implementasi dan pengujian, beserta tindakan mitigasi yang disiapkan sebagaimana tercantum pada Tabel V.4.

Tabel V.4 Analisis risiko dan mitigasi proyek

No.	Risiko	Dampak	Tindakan Mitigasi
1.	Risiko Teknis: Akurasi pengenalan wajah rendah di bawah 90%.	Gagal memenuhi KNF-2. Pengguna terdaftar ditolak.	1. Melakukan <i>data augmentation</i> . 2. Menggunakan lampu tambahan (<i>fill light</i>).
2.	Risiko Teknis: Waktu respon lambat lebih dari 3 detik.	Gagal memenuhi KNF-1. Menyebabkan antrian.	1. Optimasi kode. 2. Menggunakan algoritma pencarian vektor cepat (Annoy).
3.	Risiko Operasional: Kegagalan fungsi akibat <i>backlight</i> .	Akurasi menurun drastis pada jam tertentu.	1. Menggunakan kamera HDR. 2. Mengatur posisi kamera.
4.	Risiko Keamanan: <i>Spoofing attack</i> menggunakan foto HP.	Akses ilegal.	1. Implementasi deteksi kedipan mata. 2. Pengawasan oleh sekuriti (mitigasi prosedural).
5.	Risiko Pengembangan: Jadwal aktual tidak sesuai dengan estimasi yang ditetapkan	Keterlambatan Waktu Penyelesaian	1. Prioritisasi Fitur 2. Penjadwalan Ulang yang lebih realistis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abusham, Eimad Abdu, Basil Ibrahim, Kashif Zia, dan Muhammad Zubair Rehman. 2023. "Facial Image Encryption for Secure Face Recognition System". *Electronics* 12 (3): 774. <https://doi.org/10.3390/electronics12030774>. <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/3/774>.
- Ding, Y. 2021. "Influences of wing gate turnstiles' characteristics on pedestrian evacuation performance". Diakses pada 1 Desember 2025, *Science and Technology for the Built Environment* 27 (10): 1309–1321. <https://doi.org/10.1177/00368504211018058>. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/00368504211018058>.
- International Organization for Standardization. 2021. *ISO/IEC 19795-1:2021 Information technology – Biometric performance testing and reporting – Part 1: Principles and framework*. Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/73515.html>.
- Jadhav, Abhishek. 2024. *2 in 5 Businesses Now Use Biometrics for Physical Access Control: HID*. <https://www.biometricupdate.com/202407/2-in-5-businesses-now-use-biometrics-for-physical-access-control-hid>. Diakses pada 30 November 2025.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 14/PRT/M/2017 Tahun 2017 tentang Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung*. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/104477/permen-pupr-no-14prtm2017-tahun-2017>. Diakses pada 01 Desember 2025.
- . 2023. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2023 tentang Bangunan Gedung Cerdas*. Peraturan Menteri. Jakarta.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2024. *Surat Edaran Menteri PUPR Nomor 22/SE/M/2024 tentang Pedoman Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Cerdas*. Surat Edaran Menteri. Jakarta.

Li, Stan Z., Anil K. Jain, dan Jiankang Deng, penyunting. 2024. *Handbook of Face Recognition*. 3rd edisi. Springer Cham. ISBN: 978-3-031-43567-6. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-43567-6>.

Plattner, Hasso. 2010. *An Introduction to Design Thinking Process Guide*. <https://web.stanford.edu/~mshanks/MichaelShanks/files/509554.pdf>. Diakses pada 3 Desember 2025.

Wang, Y., K. Ragothaman, dan B. Rimal. 2023. “Access Control for IoT: A Survey of Existing Research, Dynamic Policies and Future Directions”. Diakses pada 1 Desember 2025, *Sensors* 23 (4): 1805. <https://doi.org/10.3390/s23041805>.