

**PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL AKSES
BERBASIS PENGENALAN WAJAH UNTUK
KONDISI DARURAT PADA BANGUNAN CERDAS**

Proposal Tugas Akhir

Oleh

**Muhammad Rifa Ansyari
18222004**



**PROGRAM STUDI SISTEM DAN TEKNOLOGI INFORMASI
SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
Desember 2025**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL AKSES BERBASIS PENGENALAN WAJAH UNTUK KONDISI DARURAT PADA BANGUNAN CERDAS

Proposal Tugas Akhir

Oleh

Muhammad Rifa Ansyari
18222004

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	3
I.3 Tujuan	3
I.4 Batasan Masalah	4
I.5 Metodologi	4
II STUDI LITERATUR	7
II.1 Regulasi Bangunan Gedung Cerdas	7
II.2 Regulasi tentang keselamatan Bangunan Gedung	7
II.3 Sistem Kontrol Akses	8
II.4 Gerbang pada Bangunan Gedung sebagai Kontrol Akses	8
II.5 Sistem Pengenalan Wajah	9
II.6 Parameter Evaluasi Kinerja Biometrik	9
II.7 Keamanan Data dan Privasi	10
II.8 Integrasi Sistem	10
II.9 <i>Design Thinking</i>	11
III ANALISIS MASALAH	12
III.1 Analisis Kondisi Saat Ini (<i>Emphatize</i>)	12
III.2 Perumusan Masalah (<i>Define</i>)	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 (<i>Ideate</i>)	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	25
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 Pendaftaran pada Sistem Kontrol Akses	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	39

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	Dimensi dari <i>swing barrier</i>	31
IV.8	Diagram komponen dari rancangan sistem	32
IV.9	Logika autentikasi dari rancangan sistem	33
IV.10	Alur pendaftaran pada sistem kontrol akses	34

DAFTAR TABEL

II.1	Peraturan terkait pengenalan wajah	10
III.1	Kebutuhan fungsional sistem	15
III.2	Kebutuhan nonfungsional sistem	16
III.3	Kriteria penilaian kontrol akses fisik	19
III.4	Analisis penentuan solusi perangkat gerbang	20
III.5	Kriteria penilaian solusi pendeteksi wajah	20
III.6	Analisis penentuan solusi model pendeteksi wajah	21
III.7	Kriteria penilaian solusi pengenalan wajah	22
III.8	Analisis penentuan solusi model pengenalan wajah	23
III.9	Kriteria penilaian solusi sistem pendaftaran	24
III.10	Analisis penentuan solusi sistem pendaftaran	24
III.11	Kriteria penilaian metode integrasi sistem	25
III.12	Analisis penentuan solusi integrasi sistem	25
III.13	Kriteria penilaian solusi mekanisme keselamatan	26
III.14	Analisis penentuan solusi mekanisme keselamatan	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	40

DAFTAR KODE

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dalam pengelolaan gedung cerdas, aspek keamanan dan keselamatan dalam gedung yang terintegrasi merupakan salah satu aspek yang sangat penting untuk segera diimplementasikan dengan baik. Aktivitas perusahaan, karyawan maupun pengunjung yang beragam dan kompleks membutuhkan adanya suatu sistem kontrol akses yang bukan hanya mengatur keluar masuknya karyawan dan pengunjung, tetapi juga dapat mendukung dan membantu saat terjadinya keadaan darurat atau bencana. Sistem yang dapat membantu mengontrol dan mengenali karyawan atau pengunjung secara tepat dan cepat menjadi salah satu elemen penting dalam mewujudkan hal tersebut.

Kebutuhan sistem ini juga disebutkan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Nomor 10 Tahun 2023 tentang Bangunan Gedung Cerdas. Regulasi ini menyebutkan pada Pasal 4 ayat (2) bahwa prinsip Bangunan Gedung Cerdas (BGC) harus memiliki sistem-sistem yang bekerja otomatis dan terintegrasi satu sama lain. Peraturan ini juga menyebutkan pada Pasal 5 bahwa elemen BGC harus terintegrasi dalam Sistem Manajemen Bangunan Gedung (*building management system*), dengan elemen tersebut diantaranya adalah sistem kontrol akses gedung.

Science Techno Park (STP) Gedebage, atau biasa disebut juga ITB Innovation Park (IIP) Bandung Technopolis, merupakan infrastruktur yang dibangun untuk mendorong inovasi dan komersialisasi produk-produk teknologi milik Institut Teknologi Bandung (ITB) (Institut Teknologi Bandung 2024). Saat ini, Gedung IIP masih belum menerapkan sistem kontrol akses yang otomatis dan dapat diintegrasikan dengan sistem-sistem lain yang ada pada gedung. Hal ini dapat menyebabkan inefisiensi dalam pengelolaan akses karyawan dan penghuni yang diestimasi dapat menampung hingga 1200 orang. Gedung IIP membutuhkan sistem kontrol akses yang

mampu memverifikasi identitas karyawan dan penghuni secara cepat dan tepat tanpa menyebabkan antrian, serta memberikan karyawan kemudahan dalam menggunakannya. Namun, penerapan kontrol akses otomatis tersebut tetap harus dilakukan dengan pertimbangan keselamatan penghuni dan karyawan gedung saat keadaan darurat dan bencana.

Kebutuhan akan sistem yang mempertimbangkan keselamatan dibahas dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung. Peraturan ini menyebutkan pada Pasal 28 ayat (1) bahwa setiap Bangunan Gedung harus memenuhi ketentuan aspek keselamatan Bangunan gedung. Berdasarkan peraturan ini, dapat disimpulkan bahwa pengembangan fasilitas gedung harus dilakukan dengan keselamatan sebagai pertimbangan. Aspek keselamatan juga dibahas pada 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. Surat edaran ini menyebutkan bahwa sistem kontrol akses membutuhkan panduan operasional terkait titik kumpul yang berisi prosedur evakuasi dan pengumpulan titik aman dalam keadaan darurat.

Teknologi gerbang *fail-safe* otomatis dengan pengenalan wajah dan mekanisme darurat hadir sebagai solusi yang relevan untuk menjawab kebutuhan tersebut. Dibandingkan metode lain seperti password ataupun *Radio Frequency Identifier* (RFID), teknologi autentikasi menggunakan biometrik termasuk pengenalan wajah menawarkan metode yang lebih efisien dan lebih aman (Vásquez dkk. 2021). Penerapan teknologi ini memungkinkan adanya sistem kontrol akses yang efisien tanpa hambatan fisik yang berarti. Penggunaan gerbang yang terbuka dalam kondisi tanpa listrik (*fail-safe*) dan mekanisme darurat sangat relevan sebagai langkah untuk mencegah sistem kontrol akses menjadi hambatan dalam penerapan keselamatan Bangunan Gedung saat keadaan darurat.

Namun, terlepas dengan segala kelebihan yang dimiliki teknologi pengenalan wajah, regulasi pemerintah dalam UU No. 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi (UU PDP) membuat teknologi gerbang *fail-safe* otomatis dengan pengenalan wajah saja memiliki kelemahan yang krusial. Berdasarkan Undang-Undang PDP, pengguna sistem dapat memilih untuk tidak memberikan data wajah mereka sebagai bagian dari privasi data dan keamanan data pribadi, yang menjadikan orang-orang tersebut tidak dapat melakukan akses ke dalam gedung jika diperlukan. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi tambahan yang mampu memberikan fungsionalitas

kontrol akses tanpa membutuhkan data biometrik dari penggunanya.

Berdasarkan analisis tersebut, tugas akhir ini mengusulkan perancangan sistem kontrol akses berbasis gerbang otomatis dengan pengenalan wajah dan RFID untuk kondisi darurat dan bencana pada bangunan cerdas. Sistem ini dirancang sebagai solusi menyeluruh yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak sistem. Sistem akan diwujudkan dalam bentuk prototipe fungsional yang menintegrasikan komponen-komponen tertentu yang dapat berperan sebagai kontrol akses pada gedung dengan tetap mempertimbangkan aspek keselamatan.

I.2 Rumusan Masalah

Saat ini, Gedung IIP belum memiliki sistem kontrol akses yang bekerja secara otomatis dan terintegrasi dalam Sistem Manajemen Bangunan Gedung dan hanya memiliki sistem kontrol akses secara manual. Kondisi ini menimbulkan kerentanan keamanan akibat akses keluar masuk gedung yang cukup bebas. Selain itu, kontrol akses yang belum otomatis tidak dapat memenuhi persyaratan Gedung IIP untuk menjadi Bangunan Gedung Cerdas. Namun, Pemasangan kontrol akses yang dilakukan tanpa pertimbangan keselamatan yang matang akan berakibat fatal jika terjadi situasi darurat pada gedung.

Masalah yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengembangkan sistem kontrol akses yang bekerja secara otomatis berbasis pengenalan wajah pada Gedung IIP?

Untuk dapat memenuhi persyaratan gedung cerdas serta meningkatkan keamanan dan keselamatan, gedung IIP membutuhkan sistem kontrol akses otomatis yang mampu mengatur dan mengetahui setiap pengunjung gedung, serta memiliki aspek keselamatan yang mumpuni dalam keadaan darurat. Sistem juga harus dapat terintegrasi dengan *Building Management System* yang dimiliki gedung sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Nomor 10 Tahun 2023 tentang Bangunan Gedung Cerdas.

I.3 Tujuan

Tujuan dari pelaksanaan tugas akhir ini adalah:

1. Mengembangkan sistem kontrol akses berupa gerbang berbasis pengenalan wajah yang mampu membatasi dan mengenali orang-orang yang memasuki gedung secara otomatis.

2. Mengembangkan sistem kontrol akses yang terintegrasi dengan sistem keselamatan yang ada pada gedung saat terjadi keadaan darurat.

Kriteria keberhasilan tugas akhir ini meliputi:

1. Sistem dapat melakukan fungsi kontrol akses secara otomatis menggunakan pengenalan wajah.
2. Sistem dapat terhubung dengan mekanisme keselamatan gedung dan memberikan akses tanpa hambatan saat terjadi keadaan darurat.

I.4 Batasan Masalah

Untuk memastikan pengembangan sistem terarah dan sejalan dengan kebutuhan, dirumuskan batasan masalah sebagai pedoman dalam pelaksanaan tugas akhir ini. batasan masalah tersebut meliputi:

1. Tugas akhir ini dikerjakan secara berkelompok yang terdiri dari tiga orang mahasiswa, yaitu Muhammad Rifa Ansyari dengan NIM 18222004, Axelius Davin dengan NIM 18222016, dan Natanael Steven Simangunsong dengan NIM 18222054. Penulis dalam hal ini berfokus pada sistem kontrol akses untuk kondisi darurat dan bencana.
2. Sistem yang dikembangkan hanya mencakup satu unit gerbang sesuai ketersediaan sumber daya, namun dirancang dan dikembangkan sebagai representasi dari keseluruhan sistem.
3. Sistem akan dikembangkan menggunakan basis data independen yang tidak terintegrasi langsung dengan data yang dimiliki gedung.

I.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini adalah *design thinking* yang akan dilakukan sebanyak dua kali pengulangan. *Design thinking* adalah proses iteratif yang berorientasi pada manusia (*human-centered approach*) dan kolaborasi antara pengembang sistem dan penggunanya. Metodologi ini menghadirkan solusi inovatif berdasarkan bagaimana pengguna berfikir, bertindak, dan merasakan sesuatu. *Design thinking* memiliki lima tahapan utama, yaitu *Empathize*, *Define*, *Ideate*, *Prototype*, dan *Test*.

1. *Empathize*

Tahap ini bertujuan untuk memahami pengguna, baik permasalahan yang dialami, pemahaman dan pengalaman yang mereka miliki di dalam konteks desain sistem. Dalam melakukan *empathize*, pengembang dapat mengumpulkan data secara aktif dengan melakukan *observation* (*observe*), wawancara, su-

rvei, dan percakapan langsung (*engage*), ataupun kombinasi antara *observe* dan *engage*.

2. *Define*

Tahap ini menggunakan hasil yang didapatkan pada tahap *empathize* untuk menemukan dan merumuskan masalah pengguna. Data yang dikumpulkan dapat diolah menjadi pemahaman atau *insight* dan digunakan untuk membentuk *problem statement* atau *point-of-view*. *Problem statement* berperan menjadi petunjuk dalam membuat sistem yang menyelesaikan masalah pengguna. Rumusan masalah yang baik harus spesifik, terukur, dan mampu memicu inspirasi dan kreativitas dalam pencarian solusi.

3. *Ideate*

Tahap ini berfokus pada eksplorasi ide dan solusi yang dapat digunakan sebagai solusi dalam menyelesaikan masalah yang dirumuskan. Pengembang dapat melakukan beragam cara seperti *brainstorming*, *mindmapping*, *sketching*, hingga bahkan *prototyping* untuk mendapatkan solusi-solusi potensial dalam menyelesaikan masalah pengguna.

4. *Prototype*

Tahap ini merupakan proses mewujudkan ide menjadi bentuk nyata yang dapat digunakan untuk mendapatkan jawaban tentang apakah ide yang telah dipilih dapat menyelesaikan permasalahan yang dialami pengguna. *Prototype* yang dihasilkan dapat berupa model fisik, simulasi, sketsa, ataupun wujud lain yang dapat merepresentasikan ide yang dipilih. Tujuan utama dari tahapan ini bukanlah membuat produk akhir, melainkan sebagai langkah dalam mencoba berbagai macam ide dan kemungkinan untuk mendapatkan data dan pemahaman lebih lanjut mengenai permasalahan dan solusi.

5. *Test*

Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan umpan balik menggunakan *prototype* yang telah dihasilkan untuk mendapatkan informasi dan data baru dari pengguna sistem yang akan dibuat. Tahap *test* berperan dalam menyempurnakan *prototype* dan solusi, mengenali pengguna lebih lanjut, hingga menyempurnakan *point-of-view* atau *problem statement*.

Metode pencarian dan penapisan literatur yang digunakan mencakup hal-hal sebagai berikut:

1. Literatur ilmiah berupa buku ataupun artikel digunakan sebagai definisi ataupun dasar teori yang relevan dengan sistem kontrol akses otomatis.
2. Regulasi pemerintah yang terkait dengan Bangunan Gedung, kontrol akses, Bangunan Gedung Cerdas serta perlindungan data.

3. Literatur ilmiah berupa jurnal penelitian selama lima tahun terakhir yang digunakan sebagai pertimbangan solusi atau kesenjangan penelitian.

Dokumentasi data yang digunakan mencakup penangkapan citra gambar, citra suara, beserta catatan hasil pengambilan informasi.

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1 Regulasi Bangunan Gedung Cerdas

Perancangan sistem kontrol akses pada gedung cerdas tentunya memiliki regulasi dan standar yang berlaku. Di Indonesia, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2023) telah menetapkan standar bangunan cerdas dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2023 tentang Bangunan Gedung Cerdas, dimana pada Pasal 5 ayat (3) disebutkan bahwa sistem kontrol akses merupakan salah satu elemen bangunan gedung cerdas (BGC) yang harus menggunakan teknologi tinggi dan terintegrasi untuk mewujudkan BGC. Regulasi ini juga digunakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2024) dalam Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22/SE/M/2024, yang merupakan landasan utama dalam penilaian kinerja bangunan gedung cerdas.

II.2 Regulasi tentang keselamatan Bangunan Gedung

Regulasi tentang keselamatan Bangunan Gedung dibahas dalam Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung. Peraturan ini menyebutkan pada Pasal 28 ayat (1) bahwa setiap Bangunan Gedung harus memenuhi ketentuan aspek keselamatan gedung, dimana salah satu nya adalah keadaan darurat berupa kebakaran.

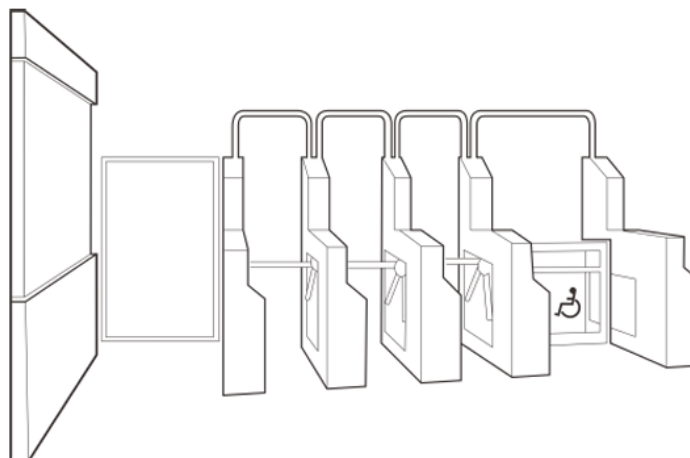
Aspek keselamatan bangunan gedung juga disebutkan pada salah satu kriteria penilaian sistem pada Bangunan Gedung Cerdas. Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22/SE/M/2024 menyebutkan bahwa salah satu Kinerja Unjuk Kerja (KUK) untuk kontrol akses adalah panduan operasional terkait titik kumpul yang penting berisi prosedur evakuasi dan pengumpulan titik aman dalam keadaan darurat, yang merupakan salah satu aspek keselamatan dalam gedung.

II.3 Sistem Kontrol Akses

Sistem kontrol akses adalah metode otomatis yang mengizinkan pihak yang diasumsikan teman untuk memasuki area yang dikontrol, dibatasi atau diamankan dengan penyaringan di portal akses kontrol yang disediakan. Sistem kontrol akses dirancang untuk memastikan bahwa hanya orang yang berwenang atau memenuhi syarat saja yang diizinkan untuk memasuki area eksklusif tersebut (Norman 2011). Lebih lanjut, Norman (2011) menyebut tentang Sistem kontrol akses elektronik yang memanfaatkan komputer, kredensial, pembaca kredensial, dan pintu kunci untuk mengontrol akses secara elektronik. Elemen pada pintu juga termasuk pada alarm dan sensor keluar yang digunakan untuk keadaan tertentu.

II.4 Gerbang pada Bangunan Gedung sebagai Kontrol Akses

Terdapat beberapa ketentuan dan rekomendasi tentang bagaimana spesifikasi dari gerbang yang digunakan sebagai kontrol akses dalam bangunan gedung. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2017) menyebutkan bahwa arah bukaan pintu terpasang pada ruang yang digunakan oleh pengguna dalam jumlah besar harus terbuka searah dengan arah ke luar Bangunan Gedung/ruang. Kemudian dalam lampiran teknisnya, peraturan ini juga menyebutkan bahwa pintu akses (*turnstile*) memiliki lebar efektif bukaan paling sedikit 60 cm dan untuk disabilitas pintu harus memiliki lebar efektif paling sedikit 80 cm. Peraturan ini dapat kita adopsi sebagai referensi menentukan dimensi gerbang yang digunakan pada sistem kontrol akses. Gambar II.1 menunjukkan contoh penerapan pada pintu akses pada lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 14/PR-T/M/2017 Tahun 2017 tentang Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung.



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

Sebagai rekomendasi, Ding (2021) menyebutkan bahwa gerbang bertipe wing lebih baik digunakan dibandingkan dengan gerbang bertipe flat. Pada jurnal tersebut, hasil eksperimen menunjukkan bahwa gerbang bertipe *wing* memiliki kontrol evakuasi dan keramaian yang lebih baik dibandingkan dengan gerbang bertipe *flat*.

II.5 Sistem Pengenalan Wajah

Pengenalan wajah adalah teknologi dalam visi komputer yang digunakan untuk mengidentifikasi seseorang atau suatu objek dari gambar atau video. Pengenalan wajah adalah masalah pengenalan pola visual, dimana wajah sebagai objek tiga dimensi sebagai subjek yang memiliki pencahayaan, pose, dan ekspresi yang bervariasi untuk diidentifikasi berdasarkan gambar dua dimensi yang diambil (Li, Jain, dan Deng 2024). Berdasarkan Li, Jain, dan Deng (2024) dalam bukunya *Handbook of Face Recognition*, sistem pengenalan wajah terdiri atas empat modul utama, yaitu *detection*, *alignment*, *feature extraction*, dan *matching*, dimana lokalisasi dan normalisasi (tahapan *face detection* dan *alignment*) adalah langkah proses yang dilakukan sebelum pengenalan wajah (*facial feature extraction* dan *matching*).

Pengenalan wajah sudah menjadi biometrik untuk melakukan autentikasi yang digunakan secara luas di berbagai bidang, seperti militer, keuangan, keamanan publik, hingga kehidupan sehari-hari. Jadhav (2024) menyebutkan bahwa berdasarkan survey dari HID Global pada tahun 2024, jumlah bisnis yang menggunakan biometrik sebagai kontrol akses mereka naik dari 30 persen menjadi 39 persen pada dua tahun terakhir, yang menunjukkan bahwa penggunaan biometrik, termasuk pengenalan wajah sudah mulai diadopsi secara cepat oleh pelaku bisnis.

II.6 Parameter Evaluasi Kinerja Biometrik

Untuk mengukur keandalan sistem pengenalan wajah, standar internasional ISO/IEC 19795-1 menetapkan beberapa metrik utama yang digunakan dalam pengujian (International Organization for Standardization 2021):

1. Akurasi atau *Accuracy*, yaitu rasio total prediksi yang benar terhadap total seluruh percobaan.
2. *False Acceptance Rate* (FAR), yaitu tingkat kesalahan sistem dalam mengenali orang asing atau tidak terdaftar sebagai pengguna yang sah. Dalam konteks keamanan gedung, nilai FAR harus ditekan serendah mungkin.
3. *False Rejection Rate* (FRR), yaitu tingkat kesalahan sistem dalam menolak pengguna yang sebenarnya sudah terdaftar dan memiliki hak akses. Nilai FRR

yang tinggi dapat mengganggu kenyamanan pengguna.

4. Waktu Respons atau *Latency*, yaitu waktu yang dibutuhkan sistem mulai dari wajah terdeteksi kamera hingga sinyal kontrol dikirimkan ke aktuator.

II.7 Keamanan Data dan Privasi

Sistem pengenalan wajah atau biometrik memiliki beberapa landasan hukum di Indonesia, terutama terkait dengan beberapa aturan tentang keamanan dan privasi data yang akan dijelaskan sebagai berikut.

Tabel II.1 Peraturan terkait pengenalan wajah

Nama Aturan	Keterangan
UU No. 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi (UU PDP)	Mengatur data pribadi, termasuk data spesifik/biometrik; mengharuskan persetujuan, hak subjek data, keamanan penyimpanan, hak koreksi/hapus data, dan sanksi jika disalahgunakan.
UU No. 19 Tahun 2016 tentang Informasi dan Transaksi Elektronik (UU ITE)	Mengatur informasi elektronik, penyebaran data, penyalahgunaan data, distribusi konten, dan hukum atas tindakan-tindakan berbasis elektronik; termasuk perlindungan data pribadi.
Peraturan Menteri Komunikasi dan Digital nomor 7 Tahun 2025	Mengenai Pemanfaatan Teknologi Modul Identitas Pelanggan Melekat (eSIM) dalam Telekomunikasi. Termasuk penggunaan data biometrik (wajah atau sidik jari) untuk registrasi. Berlaku penuh mulai 2027.

Berdasarkan studi terbaru di Indonesia, beberapa isu hukum dan etika yang muncul bila menerapkan pengenalan wajah diantaranya adalah Persetujuan dan Kesadaran Subjek Data, Privasi dan Pengamanan Data, Kesalahan Identifikasi dan Risiko Penyalahgunaan, hingga Transparansi dan Akuntabilitas.

II.8 Integrasi Sistem

Integrasi antara sistem perangkat lunak cerdas dan aktuator fisik atau gerbang umumnya dilakukan melalui mekanisme kontak kering atau *dry contact* menggunakan modul relay. Kainz dkk. (2019) mendemonstrasikan skema di mana pin GPIO pada mikrokontroler atau minikomputer digunakan untuk memicu relay, yang kemudian bertindak sebagai saklar elektronik untuk sirkuit pengunci pintu (Kainz dkk. 2019).

Selain itu, Wu dkk. (2020) dalam studinya mengenai sistem kontrol akses menekankan pentingnya integrasi sensor keamanan untuk mencegah gerbang menutup saat pengguna masih berada di jalur lintasan. Prinsip-prinsip ini diadopsi dalam perancangan untuk memastikan sistem tidak hanya aman secara digital, tetapi juga aman secara fisik bagi pengguna (Wu dkk. 2020).

II.9 *Design Thinking*

Metodologi *Design Thinking* adalah sebuah 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 (*Emphatize*)

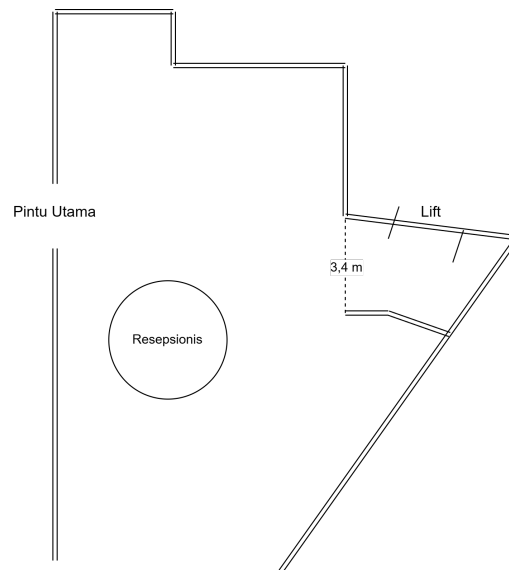
Berdasarkan hasil observasi lapangan dan wawancara terhadap pengurus lapangan di Gedung ITB Innovation Park, alur masuk pengunjung maupun tamu pada saat ini masih dilakukan secara manual dan belum terintegrasi. Alur kontrol akses yang ada saat ini adalah sebagai berikut:

1. Setiap orang yang hendak memasuki gedung akan ditanyakan oleh petugas pertanyaan berupa asal lembaga atau perusahaan beserta tujuan memasuki gedung. Petugas akan menilai dan memutuskan sendiri apakah pengunjung diperbolehkan masuk.
2. Setelah diperbolehkan masuk, pengunjung akan diarahkan langsung ke lobi untuk bertemu resepsionis atau petugas yang sedang berjaga di lobi.
3. Resepsionis ataupun petugas keamanan yang berjaga kemudian akan menanyakan tujuan pengunjung, dan terkadang akan memandu pengunjung dalam menggunakan lift ke area tersebut.

Berdasarkan alur, terlihat bahwa kondisi saat ini memiliki kelemahan yang penting, terutama pada proses dokumentasi informasi dari pengunjung gedung yang hanya dilakukan di area parkir. Selain itu, sistem saat ini memiliki kerentanan pada keputusan memberikan akses yang sepenuhnya dilakukan oleh petugas keamanan serta parameter pemberian akses yang subjektif. Selain itu, sistem kontrol akses saat ini belum terintegrasi dengan Sistem Manajemen Bangunan Gedung. Mengingat fungsi gedung sebagai pusat inovasi yang menyimpan aset bernilai tinggi, sistem saat ini tidak lagi layak untuk diterapkan dan membutuhkan perubahan baik infrastruktur maupun regulasinya.

Selain alur kontrol akses yang masih manual, kondisi lobi pada Gedung IIP saat ini belum memiliki infrastruktur kontrol akses yang memadai, dengan hanya resepsio-

nis dan petugas penjaga sebagai bagian dari kontrol akses manual. Gambar III.1 menunjukkan gambaran kondisi saat ini dari lobi Gedung IIP.



Gambar III.1 Kondisi lapangan dari lobi Gedung IIP

Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa belum ada infrastruktur yang dapat memungkinkan sistem untuk melakukan kontrol akses secara otomatis. Saat ini, jika tidak ada penjaga ataupun resepsionis, siapa saja dapat mengakses lift pada lobi yang menuju area lain pada gedung.

Hasil observasi yang dilakukan pada gedung IIP menunjukkan bahwa saat ini, terdapat beberapa sistem keselamatan yang sudah terpasang pada gedung, yaitu:

1. Sistem pemantauan, terdiri atas CCTV yang terpasang di berbagai titik pada gedung.
2. Sistem kebakaran, terdiri atas pendeteksi asap/api, penyiram air, alat pemadam api, dan alarm darurat.

III.2 Perumusan Masalah (*Define*)

Pada tahap ini, informasi yang telah dikumpulkan pada tahap *emphasize* akan dianalisis untuk menemukan dan merumuskan masalah pengguna. Berikut merupakan tahapan *define* yang terdiri atas analisis kebutuhan pengguna, kebutuhan fungsional dan kebutuhan nonfungsional dari sistem yang akan dikembangkan.

III.2.1 Identifikasi Masalah Pengguna

Berdasarkan analisis kondisi saat ini, terdapat dua kelompok pengguna utama dari sistem dengan masalah sebagai berikut:

1. Penghuni gedung, yaitu para karyawan dari perusahaan yang menyewa tempat pada gedung. Kelompok ini membutuhkan sistem yang dapat mengontrol akses masuk ke dalam gedung dengan tingkat keamanan yang tinggi, sehingga orang-orang yang memasuki kawasan mereka hanyalah orang yang telah dikenali secara pasti oleh sistem.
2. Pengelola gedung, yaitu tim keamanan dan pengurus gedung yang merupakan karyawan dari Departemen Kawasan Sains dan Teknologi. Kelompok ini membutuhkan sistem kontrol akses yang otomatis dan terintegrasi dengan Sistem Manajemen Bangunan Gedung untuk dapat memenuhi regulasi yang ditetapkan pada Bangunan Gedung Cerdas. Kelompok pengguna ini juga membutuhkan sistem yang tetap sejalan dengan prosedur keselamatan gedung saat terjadi keadaan darurat atau bencana.

Dari kebutuhan yang dimiliki oleh kedua kelompok pengguna ini, dapat dirumuskan sebuah pernyataan kebutuhan atau *problem statement* yaitu "Dibutuhkannya sistem Kontrol akses otomatis dengan keamanan tinggi, dapat terintegrasi dengan Sistem Manajemen Bangunan Gedung, serta tetap sejalan dengan prosedur keselamatan gedung saat terjadi keadaan darurat".

III.2.2 Kebutuhan Fungsional

Berdasarkan perumusan masalah, berikut merupakan analisis kebutuhan fungsional dari sistem yang akan dikembangkan.

Tabel III.1 Kebutuhan fungsional sistem

Nama Kebutuhan	Penjelasan
KF-1: Kontrol Akses	Sistem harus dapat membatasi dan mengontrol arus akses keluar masuk lift pada lobi gedung.
KF-2: Deteksi Wajah	Sistem harus dapat mendeteksi apakah terdapat wajah manusia di depan input kamera yang dimiliki sistem.
KF-3: Pengenalan Wajah	Sistem harus dapat mengekstrak dan mengenali wajah yang terdeteksi dan memberikan akses kepada pengguna dikenali sistem, serta menolak akses pengguna yang belum dikenali sistem.
KF-4: Manajemen Pendaftaran	Pengguna sistem harus dapat mengakses sistem untuk menambahkan, mengubah atau menghapus data mereka yang digunakan dalam sistem.
KF-5: Integrasi Sistem	Sistem harus dapat melakukan sinkronasi data yang mereka miliki dengan Sistem Manajemen Gedung, dengan tetap memperhatikan regulasi yang berlaku.
KF-6: Keselamatan/safety	Sistem harus memiliki mode darurat, yaitu fitur yang dapat membantu pengguna untuk menyelamatkan diri mereka saat terjadi keadaan darurat.

III.2.3 Kebutuhan Nonfungsional

Berdasarkan perumusan masalah, berikut merupakan analisis kebutuhan nonfungsional dari sistem yang akan dikembangkan.

Tabel III.2 Kebutuhan nonfungsional sistem

Nama Kebutuhan	Penjelasan
KNF-1: Akurasi	Sistem harus dapat mengetahui dan memberikan akses kepada pengguna yang tepat dengan akurasi minimal 90%
KNF-2: Kapasitas	Sistem harus dapat menjalankan fungsi kontrol akses dengan baik untuk kapasitas 1200 pengguna.
KNF-3: Waktu Respon	Sistem harus dapat memberikan keputusan tentang kontrol akses dalam waktu tiga detik.
KNF-4: Keamanan	Sistem harus dapat memastikan keamanan data tersimpan sehingga hanya dapat diakses oleh pemilik data ataupun orang yang berwenang.
KNF-5: Keandalan	Sistem harus dapat beroperasi secara penuh selama 24 jam selama hari kerja (senin s.d jumat).

III.3 Analisis Pemilihan Solusi (*Ideate*)

Setelah merumuskan kebutuhan sistem, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dan pencarian terkait berbagai alternatif solusi yang dapat memenuhi kebutuhan sistem. Kemudian setiap alternatif solusi akan dibandingkan dengan analisis kualitatif dan kuantitatif untuk mendapatkan solusi terbaik.

III.3.1 Alternatif Solusi

Berikut merupakan alternatif solusi yang didapatkan untuk setiap kebutuhan fungsional yang ada pada 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. *Face recognition*, yaitu teknologi autentikasi dengan mendeteksi dan mengenali wajah pengguna.
 - b. *RFID (Radio Frequency Identifier)*, yaitu teknologi autentikasi yang menggunakan kartu yang memancarkan radio frekuensi tertentu.

- c. Sidik jari, yaitu teknologi autentikasi yang memanfaatkan keunikan pola jari manusia untuk mengenali pengguna.
- d. RFID + Pengenalan Wajah, gabungan dari teknologi pengenalan wajah dan RFID untuk melengkapi kelebihan dan kekurangan masing-masing.

3. KF-3 Pengenalan Wajah

Alternatif Solusi untuk pengenalan wajah adalah kombinasi dari alternatif solusi untuk *Feature Extraction* dan *Loss Function*.

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 (He dkk. 2015).
- b. MobileFaceNet, yaitu model CNN ringan yang cocok digunakan pada perangkat kecil, tetapi masih cukup baik dalam menangkap ciri penting dari wajah (Chen dkk. 2018).

Loss Function:

- a. ArcFace, metode pelatihan yang membedakan wajah dengan ‘menjauhkan’ jarak antar wajah yang berbeda dan ‘mendekatkan’ wajah dari orang yang sama (Deng dkk. 2018).
- b. MagFace, metode pelatihan yang tidak hanya membuat model mengenali wajah, tapi juga bisa menilai kualitas foto wajah, sehingga hasil pengenalannya lebih stabil (Meng dkk. 2021).

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 langsung melalui HTTP *request* dan *response*.
- b. Integrasi berbasis Manual, dimana sinkronisasi atau pertukaran data dilakukan dengan bantuan manusia.
- c. Integrasi berbasis *Webhook*, mengirimkan notifikasi otomatis ke sistem lain setiap adanya peristiwa (*event*) tertentu.

6. KF-6 Keselamatan/*safety*

- a. Gerbang otomatis *fail-safe*, yaitu gerbang yang memiliki kondisi terbuka saat tidak mendapatkan aliran listrik.
- b. Tombol manual darurat, yaitu tombol yang dapat membuka gerbang tanpa autentikasi.
- c. Kombinasi Gerbang otomatis *fail-safe* + Tombol manual darurat, yaitu penggabungan solusi yang memungkinkan gerbang terbuka saat listrik padam atau saat tombol ditekan, memastikan aspek keselamatan jika salah satu gagal berfungsi.

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 penilaian 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

Kriteria Penilaian	Bobot	Swing Barrier	Flap Barrier	Tripod
Keamanan Fisik	35%	4	3	2
<i>Throughput</i> Gerbang	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 penilaian solusi 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

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 Kriteria penilaian 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%	Pressman dan Maxim (2014) 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

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 manajemen pendaftaran.

Tabel III.9 Kriteria penilaian solusi sistem pendaftaran

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> (Nielsen 1994).
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> (Nielsen 1994).
Kompatibilitas Perangkat	20%	Sistem harus konsisten dan berjalan pada berbagai perangkat agar akses lebih luas, sesuai dengan heuristic <i>Consistency and Standards</i> (Nielsen 1994).
Persepsi Privasi	15%	Pengguna merasa aman ketika data pribadi tidak disalahgunakan, sesuai dengan prinsip keamanan dalam <i>usability</i> (Nielsen 1994).

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

Tabel III.10 Analisis penentuan solusi sistem pendaftaran

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 sistem

Kriteria	Bobot	Alasan dan Referensi
Standarisasi	40%	Ketersediaan dokumentasi dan dukungan pustaka pemrograman yang luas.
Kemudahan Debug	30%	Kemudahan melacak kesalahan (<i>error</i>) selama pengembangan.
Real-time	30%	Kecepatan sinkronisasi data antar sistem.

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

Tabel III.12 Analisis penentuan solusi integrasi sistem

Kriteria	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 dibandingkan 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 solusi mekanisme keselamatan

Kriteria	Bobot	Alasan dan Referensi
Keandalan	50%	Jaminan sistem bekerja saat kondisi darurat kritis (listrik mati/kebakaran).
Kepatuhan	30%	Kesesuaian dengan standar keselamatan evakuasi gedung (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2024).
Kecepatan Respon	20%	Waktu yang dibutuhkan untuk membuka kunci sejak sinyal darurat diterima.

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

Tabel III.14 Analisis penentuan solusi mekanisme keselamatan

Kriteria	Bobot	Otomatis (Fail-Safe)	Manual	Kombinasi
Keandalan	50%	4 (2,0)	3 (1,5)	5 (2,5)
Kepatuhan	30%	5 (1,5)	2 (0,6)	5 (1,5)
Kecepatan Respon	20%	5 (1,0)	2 (0,4)	5 (1,0)
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.

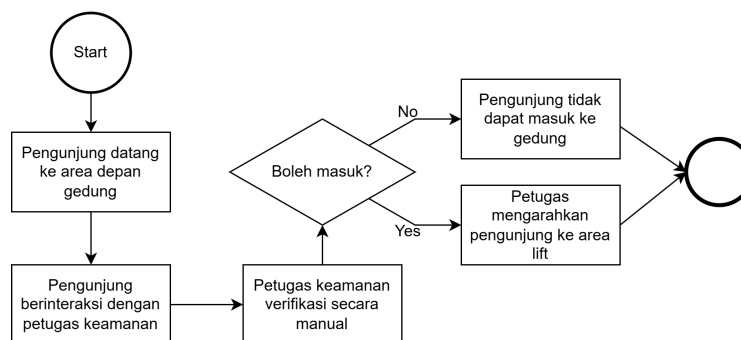
BAB IV

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.

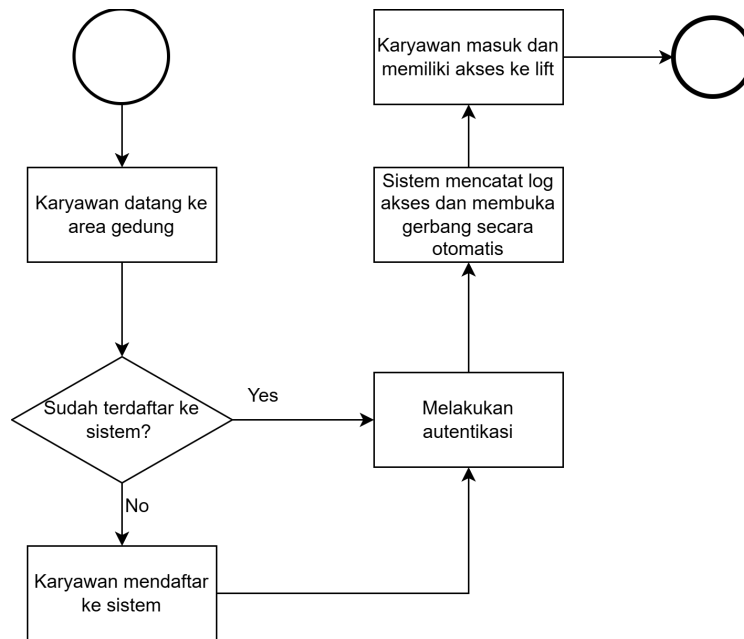
IV.1 Diagram Konseptual

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.

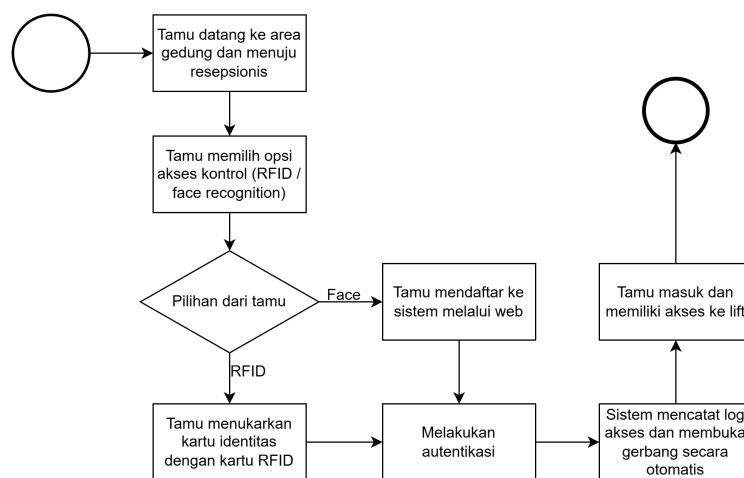


Gambar IV.1 Alur kontrol akses sebelum penerapan sistem gerbang

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.

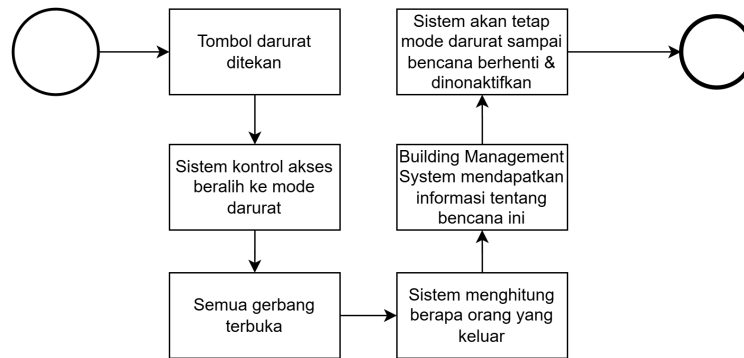


Gambar IV.2 Alur kontrol akses sesudah penerapan sistem gerbang untuk karyawan gedung



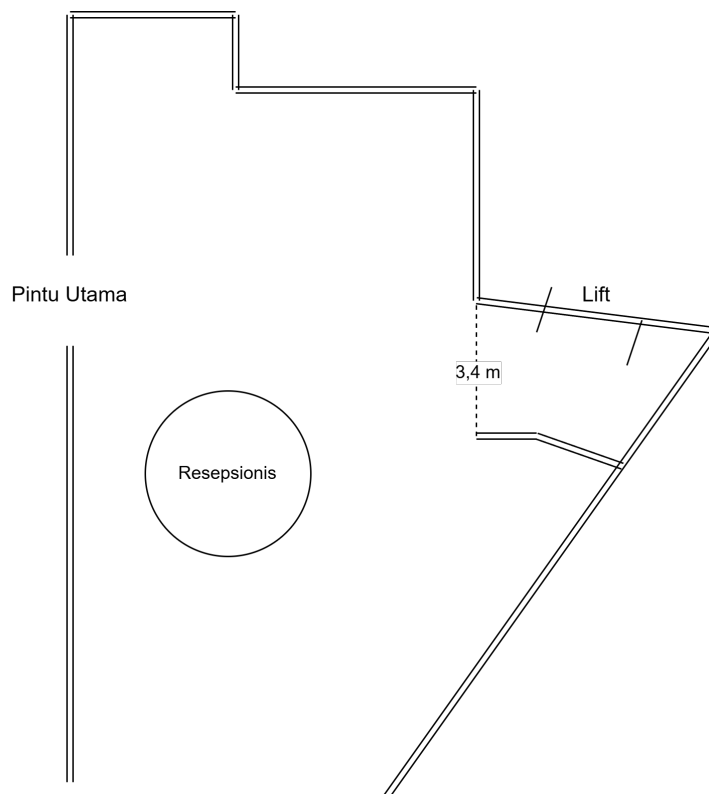
Gambar IV.3 Alur kontrol akses sesudah penerapan sistem gerbang untuk tamu gedung

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.

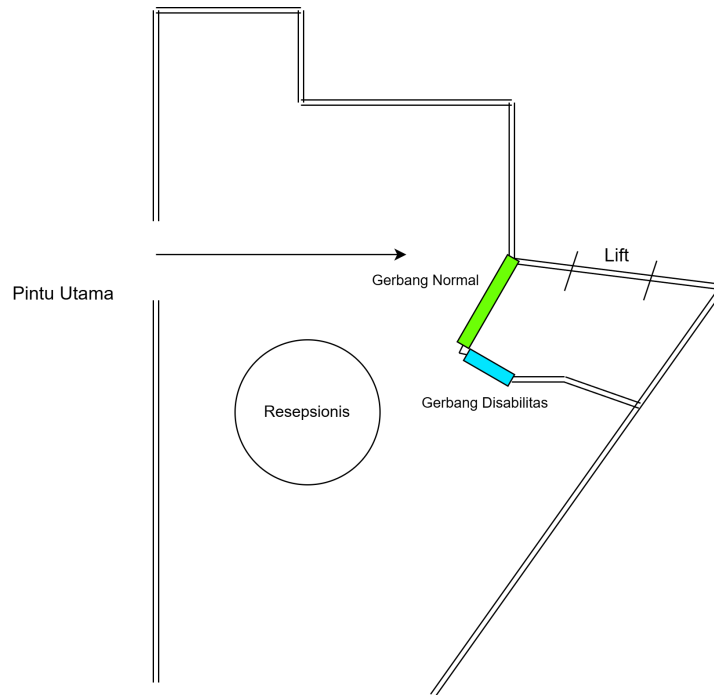


Gambar IV.4 Alur kontrol akses sesudah penerapan sistem gerbang saat kondisi darurat

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



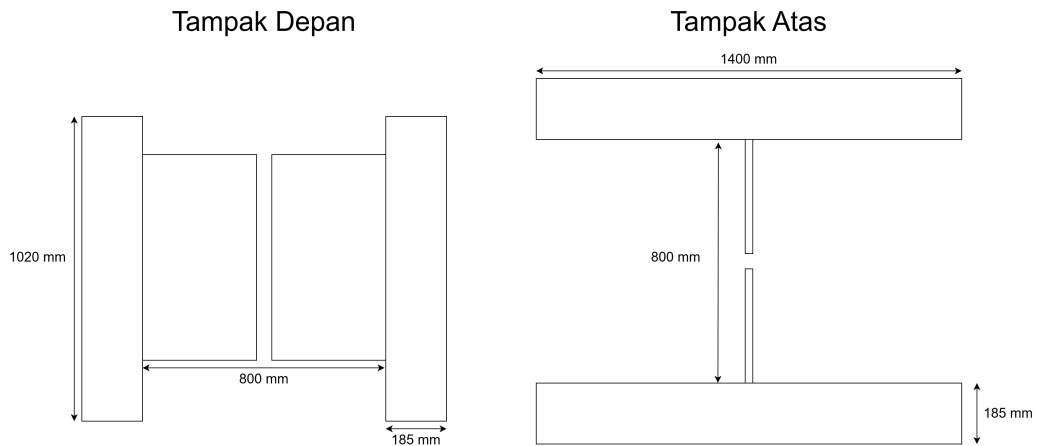
Gambar IV.6 Denah lobi setelah pemasangan sistem gerbang

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, logika proses autentikasi serta logika proses pendaftaran.

IV.2.1 Spesifikasi Perangkat Keras

Gerbang bertipe *swing barrier* dipilih untuk mendukung aksesibilitas yang luas, sesuai dengan standar keselamatan (Simarmata, Gunawan, dan Sari 2021). Dalam implementasinya, Sistem dirancang akan memiliki tiga gerbang normal pada satu sisi dan satu gerbang disabilitas untuk sisi lainnya, dengan gerbang disabilitas akan memiliki jalur minimal yang lebih lebar (80 cm) dibandingkan dengan gerbang normal (60 cm). Gambar IV.7 menunjukkan dimensi dari gerbang yang akan digunakan.



Gambar IV.7 Dimensi dari *swing barrier*.

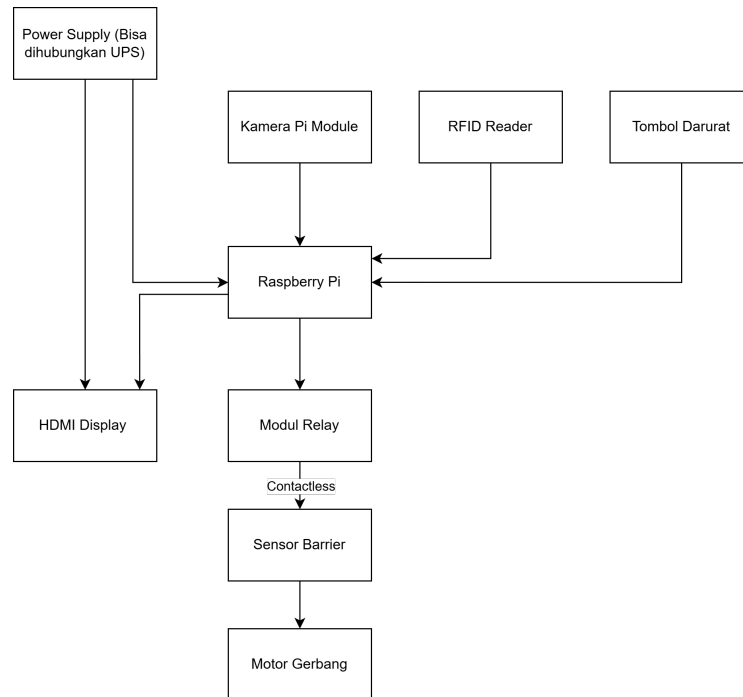
Gerbang yang akan digunakan kemudian akan terhubung langsung dengan sistem pengenalan wajah dan RFID, Berdasarkan analisis kebutuhan pada Bab III, spesifikasi perangkat keras yang dipilih meliputi:

1. **Unit Pemrosesan:** Raspberry Pi 4 Model B (4GB) dipilih karena kemampuan *edge computing* yang memadai untuk menjalankan algoritma *Deep Learning* (Raspberry Pi Foundation 2023).
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*) (Kainz dkk. 2019).

Mekanisme fisik gerbang menggunakan *Swing Barrier* untuk mendukung aksesibilitas yang luas, sesuai dengan standar keselamatan (Simarmata, Gunawan, dan Sari 2021).

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.



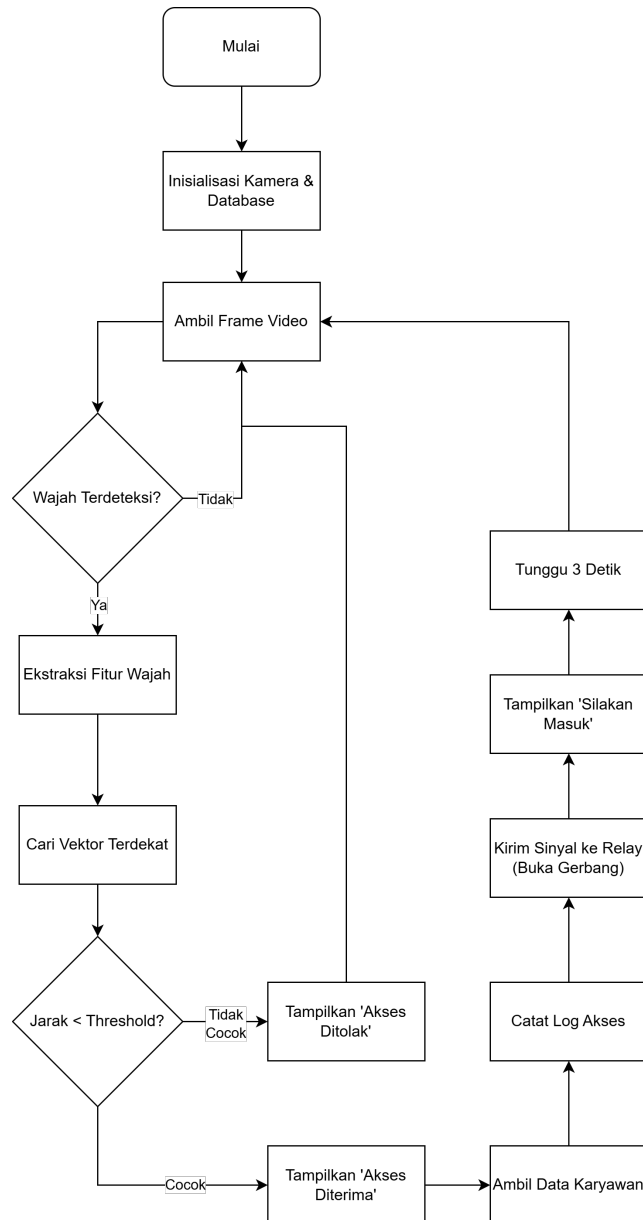
Gambar IV.8 Diagram komponen dari rancangan sistem

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.



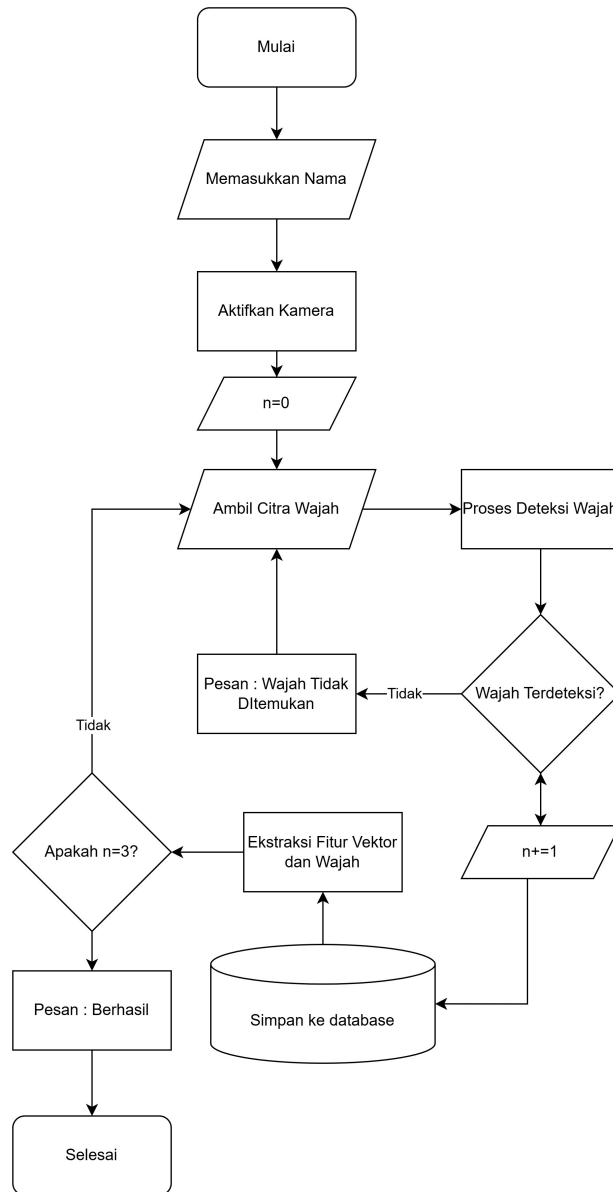
Gambar IV.9 Logika autentikasi dari rancangan sistem

Jika 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 Pendaftaran pada Sistem Kontrol Akses

Sistem pendaftaran digunakan oleh pengguna untuk mendaftarkan wajah mereka, sehingga pengguna dapat dikenali dan diberikan akses masuk. Berikut merupakan

alur pendaftaran dari sistem kontrol akses yang akan dikembangkan.



Gambar IV.10 Alur pendaftaran pada sistem kontrol akses

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-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.
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>		

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

Kriteria	Metode Verifikasi atau Validasi	Parameter Keberhasilan
KNF-3 (Waktu Respon)	Pengujian dengan menghitung waktu dari pengguna menampilkan wajah sampai gerbang dibuka.	Waktu sampai gerbang terbuka kurang dari tiga detik.
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

- Chen, Sheng, Yang Liu, Xiang Gao, dan Zhen Han. 2018. “MobileFaceNets: Efficient CNNs for Accurate Real-Time Face Verification on Mobile Devices”. Diakses 4 Desember 2025, *arXiv preprint arXiv:1804.07573*, <https://arxiv.org/abs/1804.07573>.
- Deng, Jiankang, Jia Guo, Jing Yang, Niannan Xue, Irene Kotsia, dan Stefanos Zafeiriou. 2018. “ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition”. Diakses 4 Desember 2025, *arXiv preprint arXiv:1801.07698*, <https://arxiv.org/abs/1801.07698>.
- 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>.
- He, Kaiming, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, dan Jian Sun. 2015. “Deep Residual Learning for Image Recognition”. Diakses 4 Desember 2025, *arXiv preprint arXiv:1512.03385*, <https://arxiv.org/abs/1512.03385>.
- Institut Teknologi Bandung. 2024. *ITB Innovation Park Bandung Technopolis, Model Pengembangan Ekosistem Inovasi Dan Hilirisasi Yang Berkelanjutan*. <https://itb.ac.id/berita/itb-innovation-park-bandung-technopolis-model-pengembangan-ekosistem-inovasi-dan-hilirisasi-yang-berkelanjutan/61042>. Diakses pada 18 November 2025.
- 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 18 November 2025.
- Kainz, Ondrej, Jan Drozd, Miroslav Michalko, dan Frantisek Jakab. 2019. "Raspberry Pi-Based Access Control Using Face Recognition". Dalam *Proceedings of the International Conference on Engineering and Information Technology*. https://www.researchgate.net/publication/338598684_RASPBERRY_PI-BASED_ACCESS_CONTROL_USING_FACE_RECOGNITION.
- 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*. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/271011/permen-pupr-no-10-tahun-2023>. Diakses pada 4 November 2025.
- . 2024. *SE Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22/SEM/2024 Tahun 2024: Pedoman Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Cerdas — Tahap Pemanfaatan dan Pemeriksaan Kinerja Bangunan Gedung Cerdas Tahap Pembongkaran*. <https://jdih.pu.go.id/detail-dokumen/SEMenteriPU-nomor-22SEM2024-tahun-2024-Pedoman-Penilaian-Kinerja-Bangunan-Gedung-Cerdas-Tahap-Pemanfaatan-Dan-Pemeriksaan-Kinerja-Bangunan-Gedung-Cerdas-Tahap-Pembongkaran>. Diakses pada 30 November 2025.
- 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>.
- Meng, Qiang, Shichao Zhao, Zhida Huang, dan Feng Zhou. 2021. "MagFace: A Universal Representation for Face Recognition and Quality Assessment". Diakses 4 Desember 2025, *arXiv preprint arXiv:2103.06627*, <https://arxiv.org/abs/2103.06627>.
- Nielsen, Jakob. 1994. *Usability Engineering*. San Francisco: Morgan Kaufmann.

- Norman, Thomas L. 2011. *Electronic Access Control*. Diakses 1 Desember 2025. Elsevier / Butterworth-Heinemann. ISBN: 9780123820280. <https://nibmehub.com/opac-service/pdf/read/Electronic%20Access%20Control%20by%20Thomas%20L.%20Norman.pdf>.
- Plattner, Hasso. 2010. *An Introduction to Design Thinking Process Guide*. <https://web.stanford.edu/~mshanks/MichaelShanks/files/509554.pdf>. Diakses pada 18 November 2025.
- Pressman, Roger S., dan Bruce R. Maxim. 2014. *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. 8th edisi. New York: McGraw-Hill.
- Raspberry Pi Foundation. 2023. "Raspberry Pi 4 Model B Specifications". Diakses pada November 24, 2025. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>.
- Simarmata, S. D., I. Gunawan, dan I. P. Sari. 2021. "Sistem Kendali Pintu Gerbang Otomatis Menggunakan Koneksi Wireless Module Wifi Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno". *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI)* 1 (7): 297–308. <https://jpti.journals.id/index.php/jpti/article/view/67>.
- Vásquez, Edison, Mónica Karel Huerta, Roger Clotet Martinez, dan José-Ignacio Castillo-Velázquez. 2021. "Facial Recognition System for Access Control through the Application of Convolutional Neural Networks". Dalam *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Monterrey, Mexico, November 3–5, 2021*. Diakses 1 Desember 2025. <https://ieomsociety.org/proceedings/2021monterrey/492.pdf>.
- Wu, Qiong, Qiang Wang, Yuhao Zhang, Bin Jiang, Yongcheng Cao, dan Fang Liu. 2020. "Design of an Access Control System Based on Face Recognition". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 719 (1): 012066. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/719/1/012066>. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/719/1/012066/pdf>.

LAMPIRAN A. HASIL WAWANCARA PENGGUNA-1

LAMPIRAN B. HASIL WAWANCARA PENGGUNA-2

LAMPIRAN C: DOKUMENTASI