

**Pengembangan Sistem Deteksi Aktivitas
Mencurigakan Menggunakan Kamera Pengawas
Berbasis Machine Learning Pada Building
Management System**

Proposal Tugas Akhir

Oleh

**Chairul Nur Wahid
18222132**



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

LEMBAR PENGESAHAN

Pengembangan Sistem Deteksi Aktivitas Mencurigakan Menggunakan Kamera Pengawas Berbasis Machine Learning Pada Building Management System

Proposal Tugas Akhir

Oleh

Chairul Nur Wahid

18222132

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 Building Management System (BMS)	6
II.2 Sistem Keamanan Berbasis CCTV	7
II.3 Computer Vision	7
II.3.1 Object Detection	7
II.3.2 Object Tracking	8
II.3.3 Pose Estimation	8
II.4 Aktivitas Mencurigakan	8
II.5 Metrik Evaluasi	9
II.5.1 Confusion Matrix	9
II.5.2 Precision	9
II.5.3 Recall	9
II.5.4 F1-score	10
II.5.5 mean Average Precision (mAP)	10
II.6 Penelitian Terkait	10
III ANALISIS MASALAH	11
III.1 Analisis Kondisi Saat Ini	11
III.2 Analisis Kebutuhan	13
III.2.1 Identifikasi Masalah Pengguna	13
III.2.2 Kebutuhan Fungsional	14
III.2.3 Kebutuhan Nonfungsional	15
III.3 Analisis Pemilihan Solusi	17

III.3.1 Alternatif Solusi	17
III.3.2 Analisis Penentuan Solusi	18
IV DESAIN KONSEP SOLUSI	20
IV.1 Arsitektur Konsep Solusi	20
IV.2 Pembuatan dan Penggunaan Model	21
IV.2.1 Alur Pembuatan	21
IV.2.2 Penggunaan Model	22
IV.3 Perbandingan	22
V RENCANA SELANJUTNYA	24
V.1 Rencana Implementasi	24
V.2 Desain Pengujian dan Evaluasi	24
V.3 Analisis Risiko dan Mitigasi	24

DAFTAR GAMBAR

III.1	Proses Bisnis Sistem Pengawasan Saat Ini (As-Is)	12
IV.1	Alur Pembuatan Sistem	21
IV.2	Proses Bisnis Sistem Pengawasan yang Diusulkan (To-Be)	22

DAFTAR TABEL

III.1 Kebutuhan Fungsional	14
III.1 Kebutuhan Fungsional	15
III.2 Kebutuhan Nonfungsional	16
III.3 Alternatif Solusi	17
III.4 Weighted Scoring Matrix	18
V.1 Lini Masa Rencana Implementasi	24

DAFTAR KODE

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Building Management System (BMS) merupakan sistem terpadu yang berfungsi memantau dan mengendalikan berbagai subsistem gedung, seperti kelistrikan, ventilasi, pencahayaan, hingga keamanan, dengan tujuan meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas layanan gedung. Melalui BMS, data dari beragam perangkat dan sensor dikumpulkan dalam satu platform sehingga pengelola gedung dapat memantau kondisi secara real-time, mengambil keputusan berbasis data, dan melakukan tindakan korektif dengan lebih cepat.

Secara regulasi, Permen PUPR No. 10 Tahun 2023 tentang Bangunan Gedung Cerdas mendorong pengelola gedung untuk mengimplementasikan sistem manajemen yang terintegrasi, adaptif, dan memanfaatkan teknologi digital untuk mendukung operasi, termasuk aspek pemantauan dan keamanan. Regulasi tersebut menegaskan bahwa bangunan gedung cerdas diharapkan mengintegrasikan berbagai subsistem, menyediakan pemantauan terpusat, serta memungkinkan respons yang lebih cepat dan terukur terhadap kondisi lingkungan gedung.

Salah satu aspek penting pada sistem tersebut adalah aspek keamanan karena di dalam gedung terdapat jumlah orang yang tinggi serta menyimpan aset bernilai, sehingga kejadian seperti kehilangan barang, akses tidak sah, atau gangguan aktivitas dapat menimbulkan kerugian material maupun mengganggu operasional. Sistem keamanan sendiri tidak hanya terdiri dari CCTV, tetapi juga mencakup access control, prosedur patroli, alarm, dan sistem keselamatan lain. Namun, CCTV menjadi salah satu komponen yang paling kaya informasi karena merekam perilaku dan pergerakan di area gedung.

Komponen CCTV umumnya hanya merekam dan menampilkan video ke ruang ken-

dali dengan petugas keamanan harus mengamati beberapa tampilan dalam waktu lama untuk mendeteksi kejadian penting. Pendekatan ini memiliki keterbatasan karena kapasitas perhatian manusia terbatas, terlebih ketika jumlah kamera bertambah dan durasi pemantauan panjang, sehingga aktivitas yang berpotensi merugikan dapat terlewat atau terlambat disadari. Keterbatasan tersebut menimbulkan kebutuhan akan sistem yang dapat membantu mengidentifikasi aktivitas tertentu secara otomatis dan memberikan peringatan ke petugas sehingga proses pengawasan menjadi lebih konsisten.

Perkembangan teknologi computer vision dan machine learning membuka peluang untuk menjadikan kamera pengawas sebagai sensor cerdas yang mampu menganalisis video untuk mendeteksi pola perilaku yang berpotensi menimbulkan kerugian. Melalui integrasi modul ini ke dalam BMS mengubah informasi dari CCTV dari sekadar rekaman visual menjadi sesuatu yang dapat mendeteksi aktivitas mencurigakan secara otomatis.

Kebutuhan akan modul tersebut muncul di lingkungan ITB Innovation Park, yang saat ini aspek keamanannya masih lemah, masih sepenuhnya bergantung pada petugas keamanan serta CCTV biasa. Kondisi ini menjadi semakin krusial mengingat gedung tersebut berada di kawasan yang dikelilingi area ramai seperti masjid, mall, dan stadion sepak bola, sehingga mobilitas orang dari luar relatif tinggi. Oleh karena itu, diperlukan suatu Building Management System yang dapat mengintegrasikan hasil analisis aktivitas mencurigakan dan mendukung terhadap proses pengawasan keamanan secara efisien.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang muncul adalah belum adanya sistem yang dapat membantu proses pengawasan dengan melakukan analisis otomatis terhadap aktivitas yang terekam CCTV. Saat ini, pengawasan masih sepenuhnya mengandalkan petugas keamanan yang harus memantau dalam waktu lama, sementara jumlah kamera yang diawasi cukup banyak. Kondisi ini membuat beberapa aktivitas yang berpotensi mencurigakan dapat terlewatkan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dirumuskan beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem deteksi aktivitas mencurigakan berbasis computer vision yang mampu menganalisis video secara otomatis?
2. Bagaimana mendefinisikan pola perilaku yang dapat dikategorikan sebagai aktivitas mencurigakan?

3. Bagaimana merancang dashboard yang dapat menampilkan hasil analisis dan memberikan peringatan yang membantu petugas keamanan dalam proses pemantauan?
4. Bagaimana mengevaluasi performa dan efektivitas sistem yang dikembangkan ketika diterapkan?

I.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengembangkan sebuah sistem yang dapat membantu proses pengawasan keamanan gedung melalui analisis video otomatis. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengembangkan sistem deteksi aktivitas mencurigakan berbasis computer vision yang mampu melakukan analisis video secara otomatis sebagai pendukung pemantauan CCTV.
2. Menyusun definisi dan model pola perilaku yang dianggap mencurigakan
3. Merancang dashboard yang menampilkan hasil analitik dan memberikan peringatan sederhana yang dapat membantu petugas keamanan dalam memantau kondisi area secara lebih efisien
4. Melakukan evaluasi terhadap performa dan efektivitas sistem melalui pengujian pada kondisi nyata untuk melihat tingkat keandalan, keterbatasan, serta manfaat sistem dalam membantu proses pengawasan

I.4 Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah yang diambil untuk memfokuskan ruang lingkup penelitian dalam pengerjaan tugas akhir ini meliputi:

1. Penelitian hanya berfokus pada area koridor lantai 9 ITB Innovation Park
2. Sistem hanya memanfaatkan delapan kamera CCTV existing yang sudah terpasang pada lantai 9, tanpa melakukan pemasangan kamera tambahan
3. Deteksi aktivitas mencurigakan dibatasi pada pola perilaku yang telah ditentukan. Penelitian tidak mencakup identifikasi wajah, identifikasi individu, maupun analisis biometrik
4. Model yang dikembangkan hanya menganalisis perilaku berdasarkan informasi visual, tanpa menggabungkan data dari sensor lain
5. Sistem yang dibangun berfungsi sebagai alat bantu untuk mendukung tugas pengawasan, sehingga tidak menggantikan peran dari petugas keamanan

I.5 Metodologi

Tugas akhir ini menggunakan pendekatan Design Thinking sebagai metodologi pengembangan sistem. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan untuk menemukan solusi terbaik sesuai kebutuhan pengguna. Dalam pekerjaan ini, Design Thinking direncanakan dilakukan dalam minimal dua iterasi agar sistem yang dikembangkan dapat dievaluasi dan diperbaiki

1. Empathize

Tahap ini dilakukan untuk memahami kebutuhan dan kondisi lapangan melalui observasi pada area lantai 9 ITB Innovation Park dengan observasi langsung terhadap tata letak koridor, posisi kamera CCTV. Selain itu juga dilakukan wawancara dengan penghuni, petugas keamanan. Serta building management untuk mengetahui operasional gedung secara menyeluruh.

2. Define

Dari informasi didapat pada tahap sebelumnya, dilakukan penentuan masalah yang perlu diselesaikan. Selanjutnya dilakukan identifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional berdasarkan temuan sebelumnya. Dari kebutuhan-kebutuhan tersebut dapat diidentifikasi spesifikasi sistem yang akan digunakan sebagai acuan dalam merancang dan mengevaluasi solusi.

3. Ideate

Tahap ini berfokus pada eksplorasi pengembangan berbagai ide solusi yang dapat menjawab masalah dan memenuhi kebutuhan yang telah ditetapkan sebelumnya. Setelah ide terkumpul, dilakukan pemilihan solusi terbaik menggunakan beberapa pertimbangan seperti kelayakan teknis, kesesuaian dengan requirement, ketersediaan infrastruktur, dan efektivitas. Hasil pada tahap ini adalah konsep solusi untuk diwujudkan.

4. Prototype

Pada tahap ini, konsep solusi diimplementasikan dalam bentuk prototipe awal. Prototipe dibuat dengan fokus pada fungsi inti agar dapat didemonstrasikan, namun tetap sederhana dan tidak mencakup seluruh fitur akhir. Komponen yang dikembangkan meliputi model deteksi aktivitas mencurigakan, alur pemrosesan video, serta tampilan dasar untuk memvisualisasikan hasil deteksi. Tujuan dari prototipe adalah menyediakan gambaran konkret mengenai cara kerja sistem.

5. Evaluate

Pada tahap ini dilakukan demonstrasi pada prototipe yang telah dikembangkan sebelumnya. Dari prototipe tersebut dilakukan evaluasi untuk menilai apakah sistem bekerja sesuai spesifikasi, apakah deteksi perilaku berjalan dengan

baik, dan apakah informasi yang dihasilkan bermanfaat bagi proses pemantauan. Jika ditemukan kekurangan, ketidaksesuaian, atau kebutuhan baru, proses kembali ke tahap Empathize untuk memulai iterasi berikutnya hingga sistem mencapai bentuk yang lebih sesuai dengan kebutuhan.

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1 Building Management System (BMS)

Building Management System (BMS) merupakan sistem terpusat yang mengintegrasikan pemantauan dan pengendalian berbagai subsistem gedung seperti HVAC, pencahayaan, energi, dan keamanan dalam satu platform untuk meningkatkan kenyamanan penghuni sekaligus efisiensi energi dan biaya operasional (Hussain dkk. 2025).

Secara arsitektural, BMS umumnya dibangun dalam tiga lapisan, yaitu low layer yang terdiri atas perangkat seperti sensor, aktuator, dan kontroler. Kemudian ada middle layer yang berisi pengolah data dari perangkat low layer seperti Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) atau Direct Digital Control (DDC). Terakhir adalah top layer yang berisi tampilan penyajian dashboard, analitik, dan pelaporan, yang diolah dari middle layer (Domingues dkk. 2015).

BMS sering diposisikan sebagai pondasi bangunan cerdas (smart building), karena integrasi teknologi informasi, sensor, dan otomasi yang memungkinkan gedung beroperasi secara efisien berdasarkan data real-time, sekaligus mengelola kinerja energi, kenyamanan, keamanan, dan keselamatan dalam satu kerangka manajemen terintegrasi (Eini dkk. 2022).

Di Indonesia, Bangunan Gedung Cerdas diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2023 yang menekankan bahwa bangunan cerdas harus memanfaatkan teknologi otomasi, sensor, dan sistem manajemen terintegrasi untuk mencapai efisiensi energi, keselamatan, kenyamanan, dan keberlanjutan. Regulasi tersebut menempatkan BMS sebagai komponen wajib dalam arsitektur bangunan cerdas karena fungsinya tersebut. Permen ini juga menegaskan bahwa BGC harus memiliki sistem manajemen keamanan dan kesela-

matan yang terhubung dengan platform pengelolaan gedung, sehingga memastikan kemampuan monitoring, respons, dan pengelolaan risiko yang lebih baik.

II.2 Sistem Keamanan Berbasis CCTV

Sistem kamera pengawas atau closed-circuit television (CCTV) merupakan bagian penting dari sistem keamanan dan keselamatan Bangunan Gedung. Sistem ini berfungsi merekam dan memantau aktivitas pada area-area tertentu melalui kamera yang dipasang secara strategis. Dengan pemantauan yang berlangsung terus-menerus, CCTV memungkinkan petugas keamanan untuk mengidentifikasi aktivitas mencurigakan dan mengambil tindakan secara cepat.

Menurut ketentuan paparan teknis Permen PUPR Nomor 10 Tahun 2023, sistem kamera pengawas terdiri atas tujuh komponen utama, yaitu kamera, stasiun pemantauan, perekam video, jaringan kabel atau router, perangkat penyimpanan rekaman, catu daya utama dan cadangan, serta sistem manajemen video. Kamera yang digunakan dapat berupa kamera IP atau kamera analog, dengan beragam bentuk seperti bullet, dome, dan pan-tilt-zoom (PTZ) yang dipilih sesuai kebutuhan pemantauan di area gedung.

Dalam konteks Bangunan Gedung Cerdas, CCTV bekerja secara terintegrasi dengan sistem keamanan lainnya seperti sistem kontrol akses dan sistem alarm. Integrasi ini menghasilkan mekanisme pengawasan yang lebih komprehensif dan responsif.

II.3 Computer Vision

Computer vision merupakan cabang dari kecerdasan buatan yang berfokus pada bagaimana mesin dapat memahami data visual sehingga mampu mengekstrak informasi untuk pengambilan keputusan (Szeliski 2022). Bidang ini memiliki banyak aplikasinya seperti object detection, object tracking, pose estimation, dan masih banyak lagi.

II.3.1 Object Detection

Object detection merupakan metode untuk mengenali sekaligus menemukan keberadaan suatu objek pada video dan gambar digital (kumar 2024). Menurut Aslam (2020) terdapat dua tipe object detector, yaitu two-stage detector dan one-stage detector.

Pada two-stage detector, seperti Faster R-CNN, proses deteksi dilakukan dalam dua

tahap, yaitu menghasilkan kandidat region proposal, kemudian mengklasifikasikan dan menyempurnakan bounding box pada tiap region tersebut. Pendekatan ini biasanya memberikan akurasi tinggi, tetapi memiliki kecepatan inferensi yang lebih lambat karena prosesnya yang bertingkat.

Sedangkan one-stage detector, seperti Single Shot MultiBox Detector (SSD) dan YOLO memproses seluruh gambar secara langsung tanpa tahap terpisah, sehingga klasifikasi dan regresi bounding box dilakukan dalam satu langkah terpadu. Pendekatan ini memberikan hasil yang lebih cepat, meskipun akurasinya lebih rendah dibandingkan two-stage detector sehingga pendekatan ini lebih cocok untuk aplikasi real-time.

II.3.2 Object Tracking

Object tracking merupakan proses yang bertujuan untuk menentukan posisi suatu objek secara konsisten di setiap frame dalam sebuah video (praveen 2023). Tujuan utamanya adalah membentuk lintasan (trajectory) pergerakan setiap objek sehingga sistem tidak hanya mengetahui di mana objek muncul pada satu frame, tetapi juga bagaimana objek tersebut bergerak sepanjang waktu.

II.3.3 Pose Estimation

Pose estimation merupakan proses yang bertujuan untuk menemukan lokasi bagian tubuh manusia dan membangun representasi kerangka tubuh (skeleton) dari data masukan seperti gambar atau video. Teknik ini mendeteksi titik-titik kunci (keypoints) seperti sendi bahu, siku, lutut, dan pergelangan tangan, kemudian menghubungkannya menjadi struktur rangka dua dimensi (2D) atau tiga dimensi (3D) (Zheng dkk. 2023).

II.4 Aktivitas Mencurigakan

Aktivitas mencurigakan merujuk pada perilaku yang menyimpang dari pola normal suatu lingkungan dan berpotensi menimbulkan dampak merugikan jika tidak segera ditangani, seperti berlari di area yang seharusnya tenang, berkelahi, berkeliaran terlalu lama, atau membawa objek berbahaya. Dalam literatur, topik ini umumnya dibahas sebagai suspicious human activity recognition, abnormal event detection, atau video anomaly detection dalam konteks sistem pemantauan (Anoopa 2022). Pendekatan deteksi aktivitas mencurigakan telah berkembang dari metode rule-based menjadi pendekatan berbasis deep learning seiring meningkatnya kemampuan kom-

putasi dan ketersediaan dataset video beranotasi.

II.5 Metrik Evaluasi

Evaluasi kinerja model deteksi objek dan aktivitas diperlukan untuk memastikan bahwa sistem mampu menghasilkan prediksi yang akurat dan konsisten dalam lingkungan operasional nyata. Pada sistem pengawasan berbasis CCTV, metrik evaluasi harus mampu mengukur kemampuan model dalam mengidentifikasi objek melalui *bounding box* dan kelas, serta kemampuan dalam mengenali aktivitas atau kejadian tertentu. metrik evaluasi yang sering digunakan meliputi confusion matrix, precision, recall, F1-score, dan mean Average Precision (mAP) (Zvereva 2025).

II.5.1 Confusion Matrix

Confusion matrix adalah representasi performa model dalam bentuk tabel yang membandingkan hasil prediksi dengan label sebenarnya. Matriks ini terdiri atas empat komponen utama, yaitu True Positive (TP), False Positive (FP), False Negative (FN), dan True Negative (TN). Struktur ini memungkinkan analisis terhadap pola kesalahan model, seperti kecenderungan menghasilkan alarm palsu atau gagal mendeteksi kejadian penting.

II.5.2 Precision

Precision mengukur proporsi prediksi positif yang benar. Nilai precision yang tinggi menunjukkan bahwa model jarang memberikan deteksi positif yang keliru.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

II.5.3 Recall

Recall mengukur kemampuan model dalam mendeteksi seluruh kejadian positif yang benar.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

Dalam konteks sistem keamanan, nilai recall yang tinggi sangat penting untuk meminimalkan risiko aktivitas mencurigakan yang tidak terdeteksi.

II.5.4 F1-score

F1-score merupakan rata-rata harmonik dari precision dan recall, memberikan penilaian yang seimbang pada kedua aspek tersebut.

$$F1 = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

Metrik ini ideal untuk kondisi dengan distribusi kelas yang tidak seimbang.

II.5.5 mean Average Precision (mAP)

Mean Average Precision (mAP) merupakan metrik evaluasi utama pada deteksi objek. Metrik ini menghitung rata-rata presisi pada berbagai nilai ambang Intersection over Union (IoU). mAP menilai kemampuan model dalam memprediksi kelas objek sekaligus menghasilkan *bounding box* yang akurat. Penggunaan mAP relevan dalam penelitian ini karena performa deteksi objek menjadi komponen dasar dalam analisis perilaku dan aktivitas mencurigakan.

II.6 Penelitian Terkait

Nulla non mauris vitae wisi posuere convallis. Sed eu nulla nec eros scelerisque pharetra. Nullam varius. Etiam dignissim elementum metus. Vestibulum faucibus, metus sit amet mattis rhoncus, sapien dui laoreet odio, nec ultricies nibh augue a enim. Fusce in ligula. Quisque at magna et nulla commodo consequat. Proin accumsan imperdiet sem. Nunc porta. Donec feugiat mi at justo. Phasellus facilisis ipsum quis ante. In ac elit eget ipsum pharetra faucibus. Maecenas viverra nulla in massa.

Nulla ac nisl. Nullam urna nulla, ullamcorper in, interdum sit amet, gravida ut, risus. Aenean ac enim. In luctus. Phasellus eu quam vitae turpis viverra pellentesque. Duis feugiat felis ut enim. Phasellus pharetra, sem id porttitor sodales, magna nunc aliquet nibh, nec blandit nisl mauris at pede. Suspendisse risus risus, lobortis eget, semper at, imperdiet sit amet, quam. Quisque scelerisque dapibus nibh. Nam enim. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc ut metus. Ut metus justo, auctor at, ultrices eu, sagittis ut, purus. Aliquam aliquam.

BAB III

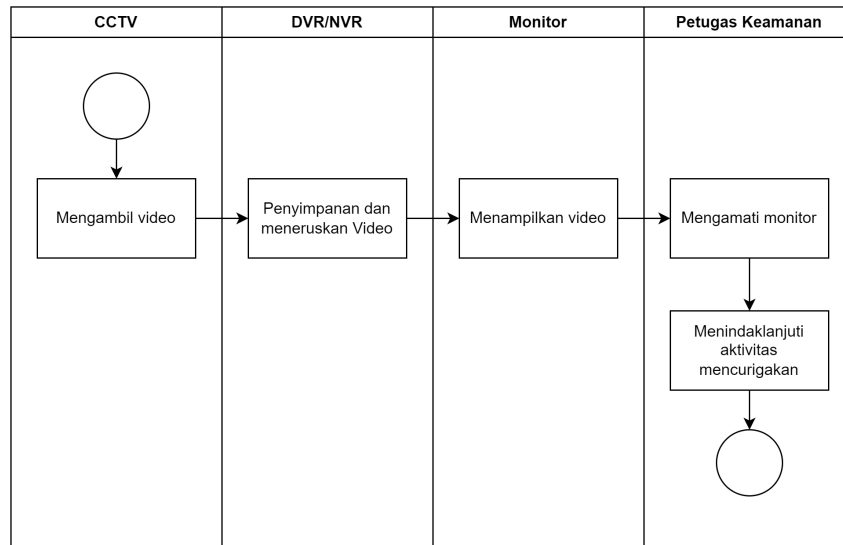
ANALISIS MASALAH

III.1 Analisis Kondisi Saat Ini

Kondisi keamanan di ITB Innovation Park saat ini masih hanya bergantung pada petugas keamanan yang berjaga selama 24 jam dengan sistem pergantian shift, tanpa adanya sistem access control untuk membatasi akses keluar masuk area. Infrastruktur pemantauan yang tersedia pada lantai 9 berupa delapan kamera CCTV konvensional yang terpasang di sepanjang koridor lantai 9 dan tidak mencakup area di dalam ruangan, sehingga cakupan pengawasannya terbatas.

Proses pemantauan rekaman CCTV dilakukan secara manual melalui layar monitor oleh petugas keamanan, di mana kamera hanya berfungsi sebagai perangkat perekam tanpa kemampuan analitik, deteksi otomatis, ataupun sistem peringatan dini. Dari sisi operasional, petugas yang memperhatikan delapan tampilan kamera secara simultan dalam durasi yang panjang, secara manusiawi berpotensi melewatkan kejadian penting akibat kelelahan dan penurunan fokus. Kondisi ini sistem keamanan yang seperti ini berpotensi tidak terdeteksinya kegiatan yang merugikan.

Berdasarkan wawancara dengan penghuni lantai 9, terdapat kekhawatiran terhadap keamanan barang-barang berharga seperti laptop dan perangkat elektronik lainnya, sehingga muncul kebutuhan agar sistem keamanan mampu memberikan deteksi dini terhadap potensi pencurian. Namun, sistem CCTV saat ini tidak memiliki fitur analitik yang dapat secara otomatis menandai pola perilaku mencurigakan.



Gambar III.1 Proses Bisnis Sistem Pengawasan Saat Ini (As-Is)

Diagram pada Gambar 3.1 menggambarkan alur kerja sistem pengawasan yang saat ini diterapkan di ITB Innovation Park. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu kamera CCTV, perangkat DVR/NVR, monitor, dan petugas keamanan.

Pertama, kamera CCTV yang terpasang di sepanjang lorong merekam aktivitas secara terus menerus dan mengirimkan video ke perangkat DVR/NVR. Perangkat tersebut berfungsi sebagai penyimpan rekaman sekaligus penghubung yang meneruskan tampilan video ke monitor di ruang keamanan.

Video yang ditampilkan pada monitor kemudian diamati oleh petugas keamanan. Proses ini dilakukan dengan cara memantau secara manual dan bergantung pada tingkat kewaspadaan serta konsentrasi petugas. Identifikasi suatu aktivitas yang dianggap tidak biasa sepenuhnya ditentukan oleh persepsi petugas terhadap tampilan video yang berlangsung. Tidak terdapat sistem peringatan otomatis yang dapat membantu menyoroti potensi kejadian tertentu.

Apabila petugas mencurigai adanya aktivitas yang tidak wajar, petugas akan menindaklanjuti secara manual, seperti mendatangi lokasi kejadian. Seluruh proses respons dilakukan tanpa dukungan sistem pendeteksi atau pencatat kejadian otomatis.

Berdasarkan diagram tersebut, dapat disimpulkan bahwa alur pengawasan bersifat linear dan sepenuhnya manual. Seluruh proses mulai dari pemantauan, identifikasi aktivitas, hingga tindakan lanjutan bergantung pada kemampuan dan perhatian

petugas. Kondisi ini menunjukkan belum adanya dukungan teknologi yang dapat membantu mengurangi beban pengawasan, meningkatkan konsistensi pemantauan, atau mempercepat deteksi aktivitas mencurigakan

III.2 Analisis Kebutuhan

Berdasarkan kondisi pengawasan yang telah dijelaskan sebelumnya, terdapat beberapa kesenjangan antara kebutuhan keamanan gedung dan kemampuan sistem yang tersedia saat ini. Kesenjangan utama terletak pada tidak adanya mekanisme analitik yang mampu membantu petugas dalam mengidentifikasi aktivitas yang berpotensi mencurigakan. Seluruh proses pemantauan dan pengenalan kejadian masih sepenuhnya bergantung pada pengamatan visual manusia, sehingga efektivitasnya dipengaruhi oleh faktor kelelahan, keterbatasan atensi, dan kemampuan individu. Situasi ini membuat potensi aktivitas tertentu tidak terdeteksi secara konsisten, terutama ketika beberapa tampilan kamera harus diamati secara simultan.

Selain ketiadaan kemampuan analisis otomatis, sistem saat ini juga tidak dilengkapi dengan fitur peringatan dini yang dapat menyoroti aktivitas tertentu sebelum berkembang menjadi insiden. Padahal, pola perilaku seperti keberadaan seseorang dalam durasi lama, pergerakan berulang pada satu area, atau aktivitas di luar jam operasional merupakan indikator umum dari perilaku mencurigakan yang seharusnya dapat dideteksi lebih awal. Tanpa mekanisme yang menandai pola tersebut, petugas hanya dapat bertindak setelah aktivitas teramati secara jelas, sehingga respons lebih bersifat reaktif.

III.2.1 Identifikasi Masalah Pengguna

Adapun pengguna sistem ini adalah petugas keamanan, pengelola gedung, dan penghuni lantai 9 ITB Innovation Park. Ketiga kelompok ini berinteraksi dengan lingkungan gedung dan memiliki kebutuhan yang berbeda terkait keamanan. Masalah yang dihadapi oleh masing-masing kelompok pengguna adalah sebagai berikut:

1. Petugas keamanan

Petugas harus memantau banyak kamera CCTV secara terus menerus dalam durasi panjang sehingga berisiko mengalami kehilangan fokus dan terlewatkan kejadian penting

2. Pengelola gedung

Pengelola gedung tidak memiliki dokumentasi aktivitas keamanan yang terpusat, sehingga evaluasi rutin terhadap potensi risiko atau kejadian tertentu

menjadi sulit dilakukan. Minimnya data terstruktur juga menghambat proses investigasi apabila terjadi laporan kehilangan atau insiden

3. Pengguna gedung

Penghuni merasa khawatir atas keamanan barang-barang berharga seperti laptop karena tidak adanya sistem keamanan lain selain mengandalkan petugas keamanan dan tidak adanya sistem yang dapat memberi deteksi dini terhadap aktivitas mencurigakan di lingkungan mereka untuk mencegah hal yang merugikan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu dirumuskan kebutuhan fungsional dan nonfungsional yang dapat memenuhi kebutuhan ketiga kelompok pengguna. Subbab selanjutnya menjelaskan kebutuhan tersebut secara lebih rinci

III.2.2 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional menggambarkan fitur dan kemampuan yang harus dimiliki oleh sistem yang dirancang untuk menyelesaikan permasalahan yang telah diidentifikasi. Kebutuhan ini mencakup kemampuan sistem dalam menerima data, melakukan analisis perilaku, menampilkan hasil, serta mendukung proses pemantauan oleh petugas keamanan. Tabel berikut merangkum kebutuhan fungsional dari modul deteksi aktivitas mencurigakan yang akan dikembangkan

Tabel III.1 Kebutuhan Fungsional

Kode	Kebutuhan Fungsional	Deskripsi
FR-01	Input video	Sistem harus mampu menerima input berupa rekaman dari kamera CCTV yang telah terpasang pada ITB Innovation Park.
FR-02	Deteksi perilaku	Sistem harus mampu melakukan analisis terhadap video untuk mengenali pola aktivitas yang dikategorikan sebagai aktivitas mencurigakan.
FR-03	Visualisasi deteksi	Sistem harus mampu menampilkan hasil deteksi melalui dashboard dalam bentuk visualisasi sederhana yang mudah dipahami petugas.

Tabel III.1 Kebutuhan Fungsional

Kode	Kebutuhan Fungsional	Deskripsi
FR-04	Pencatatan Aktivitas	Sistem harus dapat mencatat dan menyimpan aktivitas yang terdeteksi dalam bentuk log agar dapat ditinjau kembali.
FR-05	Notifikasi peringatan	Sistem harus dapat memberikan notifikasi sederhana kepada petugas ketika terdeteksi aktivitas yang memerlukan perhatian.
FR-06	Akses Dashboard oleh Petugas	Sistem harus menyediakan dashboard yang dapat diakses oleh petugas keamanan untuk memantau hasil analitik secara real-time.

Dengan ini, diharapkan sistem yang dikembangkan mampu melakukan analisis terhadap rekaman CCTV dan mendeteksi pola perilaku yang dikategorikan sebagai aktivitas mencurigakan secara otomatis. Sistem juga diharapkan dapat menampilkan hasil deteksi melalui dashboard yang mudah dipahami, serta menyediakan pencatatan aktivitas dalam bentuk log untuk mendukung proses pelacakan dan evaluasi oleh petugas keamanan. Selain itu, kemampuan memberikan notifikasi sederhana diharapkan dapat membantu mengarahkan perhatian petugas terhadap kejadian tertentu sehingga proses pengawasan dapat berjalan lebih mudah

III.2.3 Kebutuhan Nonfungsional

Kebutuhan non-fungsional menjelaskan karakteristik kualitas yang harus dimiliki oleh sistem agar dapat berjalan secara optimal dan dapat digunakan secara efektif oleh petugas keamanan. Kebutuhan ini mencakup aspek kinerja, kemudahan penggunaan, keamanan data, serta keandalan deteksi yang dihasilkan. Tabel berikut merangkum kebutuhan non-fungsional tersebut.

Tabel III.2 Kebutuhan Nonfungsional

Kode	Kebutuhan Nonfungsional	Deskripsi
NFR-01	Ketersediaan sistem	Sistem harus memiliki uptime minimal 99,5% per bulan selama operasi 24 jam.
NFR-02	Waktu respon deteksi	Latency antara kejadian terekam kamera dan alert muncul di dashboard tidak boleh lebih dari 5 detik untuk 95% kasus.
NFR-03	Performa pemrosesan	Sistem harus mampu memproses stream dari 8 kamera secara paralel dengan penggunaan CPU di bawah 80%.
NFR-04	Akurasi deteksi	Sistem harus mencapai minimal 85% detection rate terhadap skenario aktivitas mencurigakan terdefinisi, dengan false positive rate tidak lebih dari 10% dari total alert harian.
NFR-05	Keamanan data video	Akses dashboard dibatasi dengan autentikasi dan role-based access control, dan hanya metadata penting (ID kamera, jenis event, timestamp) yang disimpan dalam database.
NFR-06	Kemudahan penggunaan	Dashboard harus memiliki tampilan yang sederhana, dengan tata letak elemen yang jelas dan mudah dipahami oleh petugas keamanan.

Dengan kebutuhan non-fungsional tersebut, sistem diharapkan dapat memberikan pemantauan yang stabil, cepat, dan aman, sekaligus menjaga akurasi serta efisien

III.3 Analisis Pemilihan Solusi

Sebelum menentukan pendekatan yang digunakan, diperlukan analisis terhadap beberapa alternatif metode analisis yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi aktivitas pada video CCTV. Pemilihan metode ini penting karena setiap pendekatan memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Oleh karena itu, subbab berikut membahas alternatif solusi serta dasar penentuan solusi terbaik.

III.3.1 Alternatif Solusi

Dalam merancang modul deteksi aktivitas mencurigakan, diperlukan pemilihan metode analisis video yang mampu mengenali perilaku tidak wajar. Berikut beberapa alternatif solusi yang dapat dipertimbangkan untuk mendeteksi aktivitas mencurigakan pada area yang dipantau CCTV

Tabel III.3 Alternatif Solusi

Metode	Kelebihan	Kelemahan
Rule-based video analytics	Bekerja dengan cepat karena ringan secara komputasi, mudah diterapkan	Tidak mampu memahami konteks perilaku, tidak cocok untuk aktivitas kompleks
Model ML single object detection	Mampu mengenali keberadaan orang, kendaraan, atau objek berbahaya	Tidak dapat memahami hubungan antar gerakan
Machine Learning Multi-event Recognition	Dapat mengenali berbagai jenis aktivitas mencurigakan berbasis pola gerakan, lebih robust untuk perilaku kompleks	Membutuhkan dataset lebih besar, komputasi lebih tinggi, model lebih kompleks
Pendekatan Hybrid (Rule-based + ML)	Mengurangi false alarm, dapat memahami konteks perilaku	Membutuhkan integrasi pipeline yang lebih rumit, membutuhkan tuning parameter lebih teliti

III.3.2 Analisis Penentuan Solusi

Dalam menentukan pendekatan terbaik, penelitian ini menggunakan metode Weighted Scoring Matrix (WSM). WSM merupakan teknik pengambilan keputusan yang membandingkan beberapa alternatif solusi berdasarkan sejumlah parameter yang diberi bobot sesuai tingkat kepentingannya. Metode ini dipilih karena sederhana dan cocok untuk mengambil keputusan yang mengharuskan mempertimbangkan banyak faktor.

Parameter yang digunakan pada WSM meliputi Akurasi, yang menilai sejauh mana setiap pendekatan mampu mengenali aktivitas mencurigakan dengan benar. Efisiensi digunakan untuk menilai seberapa optimal penggunaan komputasi pada masing-masing pendekatan. Kemudahan Implementasi dievaluasi berdasarkan tingkat kompleksitas integrasi solusi ke dalam lingkungan sistem yang sudah ada. Terakhir, Skalabilitas mencerminkan kemampuan pendekatan untuk diterapkan pada banyak kamera tanpa memerlukan perubahan besar pada konfigurasi atau pipeline proses. Hasil skor masing-masing pendekatan pada tiap parameter dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel III.4 Weighted Scoring Matrix

Parameter	Rule-based	ML De-teksi Objek	ML Multi-event Recognition	Hybrid (Rule-based + ML)
Akurasi (0.35)	2	2	4	4
Efisiensi (0.25)	5	4	3	3
Kemudahan Implementasi (0.25)	4	4	3	4
Skalabilitas (0.15)	3	4	4	3
Total	3.4	3.05	3.5	3.6

Setiap pendekatan diberi skor pada rentang 1 hingga 5, di mana nilai 1 menunjukkan kemampuan terendah dan nilai 5 menunjukkan kemampuan paling memenuhi kebutuhan parameter. Skor tersebut ditentukan secara kualitatif berdasarkan pemahaman teknis penulis terhadap karakteristik masing-masing pendekatan. Selanjutnya, skor dikalikan dengan bobot setiap parameter yang ditetapkan sesuai kebutuhan sistem di lapangan.

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel, pendekatan Hybrid (Rule-based + ML) memperoleh skor total tertinggi yaitu 3.60. Pendekatan ini dinilai paling seimbang karena mampu memberikan akurasi yang lebih baik dibanding rule-based, namun tetap mempertahankan efisiensi komputasi, kemudahan implementasi, dan skalabilitas yang tidak terlalu rumit.

BAB IV

DESAIN KONSEP SOLUSI

Bab ini menjelaskan rancangan konsep solusi yang diusulkan berdasarkan pendekatan yang telah dipilih pada Bab sebelumnya. Desain ini menggambarkan bagaimana modul deteksi aktivitas mencurigakan diintegrasikan ke dalam alur kerja CCTV dan Building Management System (BMS) melalui kombinasi pemodelan machine learning dan rule-based.

IV.1 Arsitektur Konsep Solusi

Arsitektur konsep solusi dirancang untuk mengintegrasikan modul deteksi aktivitas mencurigakan berbasis machine learning ke dalam alur kerja CCTV yang telah tersedia pada ITB Innovation Park. Arsitektur ini terdiri dari empat lapisan utama, yaitu perangkat akuisisi video, pemrosesan video, integrasi sistem, dan antarmuka pengguna.

Pada lapisan perangkat, terdapat kamera CCTV untuk menangkap dan NVR/DVR berfungsi sebagai pengelola stream video yang kemudian diteruskan ke modul pemrosesan. Lapisan pemrosesan terdiri dari komponen Video Stream Handler, Machine Learning (menggunakan model YOLO), dan Activity Analysis. Pada komponen Activity Analysis, sistem mengekstraksi pola pergerakan dan interaksi objek untuk mengidentifikasi perilaku yang didefinisikan sebagai mencurigakan, seperti loitering, masuk ke area terbatas, atau membawa objek yang berpotensi berbahaya. Hasil pemrosesan kemudian diteruskan ke lapisan selanjutnya.

Lapisan selanjutnya adalah integrasi sistem, di mana hasil pendeteksian aktivitas mencurigakan dikirimkan ke Building Management System (BMS) melalui API. Terakhir, lapisan aplikasi menyediakan dashboard pemantauan real-time serta mekanisme notifikasi kepada operator keamanan.

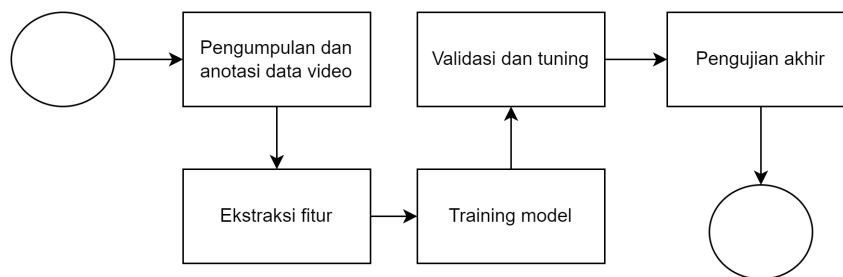
IV.2 Pembuatan dan Penggunaan Model

IV.2.1 Alur Pembuatan

Model dibangun dengan pendekatan supervised learning menggunakan arsitektur object detection sebagai fondasi utama. Sistem memanfaatkan model YOLO untuk mendeteksi objek manusia dan perilaku dasar pada setiap frame video. Hasil deteksi kemudian digunakan sebagai input bagi modul activity analysis yang bertugas menafsirkan pola gerak dan interaksi objek.

Untuk keperluan penelitian ini, aktivitas mencurigakan didefinisikan sebagai perilaku yang menyimpang dari pola aktivitas normal area, antara lain:

- Loitering
- Masuk area terbatas
- Gerakan agresif seperti berkelahi atau mendorong
- Membawa objek berbahaya
- Berlari di area yang seharusnya tenang



Gambar IV.1 Alur Pembuatan Sistem

Setiap aktivitas tersebut direpresentasikan dalam bentuk fitur yang diekstraksi dari video, seperti posisi objek, durasi keberadaan, perubahan kecepatan, atau jarak antar individu. Model kemudian mempelajari pola ini melalui data pelatihan dan menghasilkan klasifikasi "normal" atau "mencurigakan".

Proses pembuatan model dimulai dengan mengumpulkan dan memberi anotasi pada data video yang memuat contoh aktivitas normal dan mencurigakan. Dari data tersebut, sistem mengekstraksi berbagai fitur seperti bounding box sebagai dasar pembelajaran model. Model kemudian dilatih menggunakan dataset berlabel agar mampu mengenali pola perilaku yang dianggap mencurigakan. Setelah itu dilakukan proses validasi dan tuning, termasuk pengaturan threshold deteksi dan evaluasi kinerja menggunakan metrik seperti precision, recall, dan F1-score. Tahap akhir berupa pengujian langsung pada rekaman CCTV ITB Innovation Park untuk me-

mastikan bahwa model mampu berfungsi pada kondisi lingkungan nyata.

IV.2.2 Penggunaan Model

Setelah model mencapai performa yang memadai pada data uji, model diintegrasikan ke dalam pipeline pemrosesan video yang berjalan berdampingan dengan sistem CCTV yang sudah ada. Setiap alur video yang diterima dari NVR akan diproses melalui tiga tahapan:

1. Object Detection

Model mendeteksi manusia dan objek relevan pada setiap frame menggunakan YOLO. Output berupa bounding box, label objek, dan confidence score.

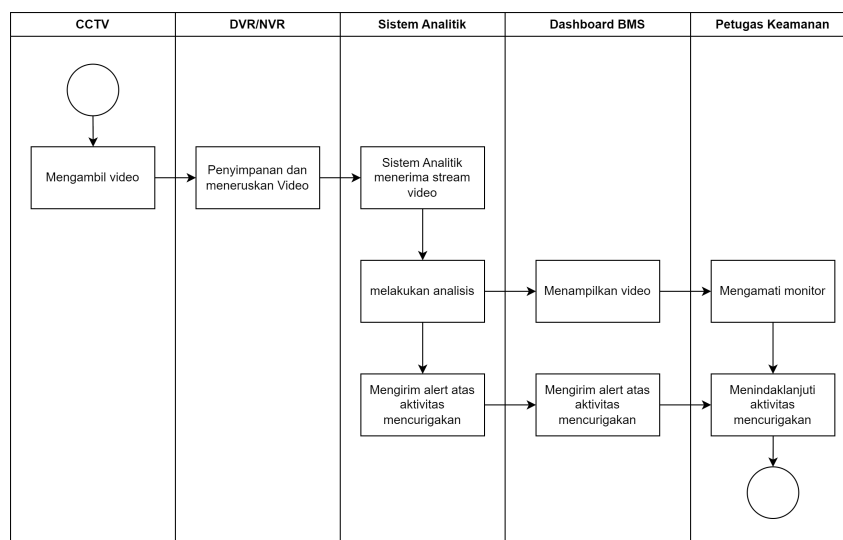
2. Activity Interpretation

Sistem melacak pergerakan objek dari waktu ke waktu dan mengidentifikasi pola yang sesuai dengan kriteria aktivitas mencurigakan. Sebagai contoh, jika seseorang berada di area yang sama lebih dari batas durasi tertentu, sistem menandainya sebagai loitering.

3. Decision Engine dan Pengiriman Alert

Jika sebuah aktivitas memenuhi kriteria mencurigakan, sistem menghasilkan alert yang memuat jenis aktivitas, waktu kejadian, dan potongan frame (snapshot). Informasi ini dikirimkan melalui API ke BMS.

IV.3 Perbandingan



Gambar IV.2 Proses Bisnis Sistem Pengawasan yang Diusulkan (To-Be)

Pada sistem yang diusulkan, alur kerja dimulai dengan CCTV merekam video kemudian DVR atau NVR meneruskan stream video ke modul analitik yang telah terintegrasi dengan Building Management System (BMS). Modul ini secara otomatis menerima stream video dan menjalankan analisis menggunakan model deteksi objek dan aktivitas mencurigakan. Proses analitik berlangsung secara real-time, sehingga setiap aktivitas mencurigakan dapat teridentifikasi secara terus menerus. Ketika sebuah aktivitas dikategorikan sebagai mencurigakan, sistem langsung menghasilkan alert dan mengirimkannya ke dashboard BMS. Petugas keamanan hanya perlu memverifikasi notifikasi yang muncul dan menindaklanjuti kejadian tersebut.

Kondisi ini berbeda dengan proses as-is yang berjalan saat ini, di mana observasi diserahkan sepenuhnya kepada petugas keamanan. CCTV hanya berfungsi sebagai perangkat pengambil gambar, sedangkan DVR atau NVR sebatas menyimpan dan menampilkan video ke monitor. Petugas harus mengamati banyak layar secara terus-menerus untuk mengenali potensi ancaman. Ketergantungan pada kemampuan manusia dalam memantau video secara terus menerus membuat risiko terjadinya kelalaian cukup tinggi. Tidak adanya pendeteksi otomatis menyebabkan efisiensi pengawasan bergantung sepenuhnya pada konsentrasi petugas.

Berdasarkan perbandingan tersebut, sistem usulan menawarkan peningkatan dalam membantu petugas keamanan mendeteksi aktivitas mencurigakan dengan menghadirkan pendekatan pengawasan yang lebih adaptif dibandingkan sistem as-is yang bersifat pasif dan reaktif.

BAB V

RENCANA SELANJUTNYA

V.1 Rencana Implementasi

<inserttable>

V.2 Desain Pengujian dan Evaluasi

V.3 Analisis Risiko dan Mitigasi