



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM *COMPUTER VISION*
UNTUK ANALISIS PERILAKU MULTIMODAL
MENGUNAKAN ARSITEKTUR *HYBRID YOLO* DAN
FACE-API.JS DENGAN *TRACKING MANHATTAN*
*DISTANCE***

SKRIPSI

**RICO MESIAS TAMBA
2207412038**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

DEPOK

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM *COMPUTER VISION*
UNTUK ANALISIS PERILAKU MULTIMODAL
MENGUNAKAN ARSITEKTUR *HYBRID YOLO* DAN
FACE-API.JS DENGAN *TRACKING MANHATTAN*
*DISTANCE***

SKRIPSI

**Dibuat untuk melengkapi Syarat – Syarat yang Diperlukan
untuk Memperoleh Diploma Empat Politeknik**

**POLITEKNIK
NEGERI
RICO MESIAS TAMBA
2207412038
JAKARTA**

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

DEPOK

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rico Mesias Tamba
NIM : 2207412038
Jurusan/Program Studi : T. Informatika dan Komputer/Teknik Informatika
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Computer Vision Untuk Analisis Perilaku Multimodal Menggunakan Arsitektur Hybrid YOLO dan Face-API.js Dengan Tracking Manhattan Distance

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bebas dari peniruan terhadap karya dari orang lain. Kutipan pendapat dan tulisan orang lain ditunjuk sesuai dengan cara-cara penulisan karya ilmiah yang berlaku.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa dalam skripsi ini terkandung cirri-ciri plagiat dan bentuk-bentuk peniruan lain yang dianggap melanggar peraturan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Depok, 04 Juni 2026

Yang membuat pernyataan

Rico Mesias Tamba

NIM.2207412038



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Rico Mesias Tamba

NIM : 2207412038

Program Studi : Teknik Informatika

Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Computer Vision Untuk Analisis Perilaku Multimodal Menggunakan Arsitektur Hybrid YOLO dan Face-API.js Dengan Tracking Manhattan Distance

Pada hari ini **Rabu** Tanggal **17**, bulan **Juni** tahun **2026**, telah diadakan Sidang Skripsi untuk saudara Rico Mesias Tamba dan dinyatakan **LULUS**

Disahkan oleh

Pembimbing I : Dr. Dewi Yanti Liliana, S.Kom., M.Kom. (.....)

Penguji I: Mera Kartika Delimayanti, S.Si., M.T., Ph.D (.....)

Penguji II: Euis Oktavianti, S.Si., M.T.I. (.....)

Penguji III: Iik Muhamad Malik Matin, S.Kom. M.T. (.....)

Mengetahui:

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer

Ketua



Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.

NIP. 19790832003122003



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kata Pengantar

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa. Atas segala berkat dan karunia-Nya, penulis berhasil merampungkan penyusunan skripsi dengan judul “Rancang Bangun Sistem Computer Vision Untuk Analisis Perilaku Multimodal Menggunakan Arsitektur Hybrid YOLO dan Face-API.js Dengan Tracking Manhattan Distance”.

Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari peran serta dan kontribusi berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada:

- a. Dr. Dewi Yanti Liliana S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing, atas dedikasi, waktu, pemikiran, dan tenaga yang telah dicurahkan dalam memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang esensial.
- b. Orang tua tercinta, atas dukungan material, moral, dan untaian doa yang tak henti-hentinya. Kasih sayang dan kesabaran yang senantiasa diberikan.
- c. Seluruh keluarga besar, atas dukungan moral, semangat, dan doa yang selalu menyertai saya sepanjang proses penyusunan skripsi ini.
- d. Seluruh teman dan rekan, atas dukungan moral, semangat, dan motivasi dalam berbagai bentuk yang tak ternilai harganya selama penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan laporan ini. Besar harapan penulis, semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik secara teoretis maupun praktis, bagi penulis pribadi dan pihak lain yang berkepentingan.

Depok, 04 Juni 2026

Rico Mesias Tamba



SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rico Mesias Tamba

NIM : 2207412038

Jurusan/Program Studi : T. Informatika dan Komputer/Teknik Informatika

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Rancang Bangun Sistem Computer Vision Untuk Analisis Perilaku Multimodal Menggunakan Arsitektur Hybrid YOLO dan Face-API.js Dengan Tracking Manhattan Distance

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Politeknik Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencatumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilih Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 04 Juni 2026

Yang membuat pernyataan



Rico Mesias Tamba

NIM.2207412038

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

RANCANG BANGUN SISTEM *COMPUTER VISION* UNTUK ANALISIS PERILAKU MULTIMODAL MENGGUNAKAN ARSITEKTUR *HYBRID* YOLO DAN *FACE-API.JS* DENGAN *TRACKING MANHATTAN DISTANCE*

ABSTRAK

Analisis perilaku manusia secara manual rentan terhadap bias subjektivitas dan kelelahan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem *Computer Vision* berbasis web untuk memantau perilaku multimodal (aksi, atensi, dan emosi) secara *real-time*. Sistem ini menerapkan arsitektur *hybrid* yang membagi beban komputasi secara efisien: model YOLOv11 dieksekusi pada *server* untuk deteksi aksi fisik, sedangkan Face-API.js dijalankan pada sisi klien untuk ekstraksi fitur wajah. Selain itu, algoritma *Manhattan Distance* diimplementasikan untuk pelacakan objek (*object tracking*) antar-frame dengan beban komputasi yang ringan. Berdasarkan hasil evaluasi, model YOLOv11 mencapai akurasi mAP@50 sebesar 0,607 dan Face-API.js memperoleh *Macro Average F1-score* 58,93%. Distribusi beban komputasi terbukti optimal dengan rata-rata kecepatan pemrosesan mencapai 18 FPS. Kualitas transmisi jaringan (QoS) melalui *WebSocket* berjalan sangat stabil dengan *packet loss* 0%, *Round-Trip Time* (RTT) 679 ms, dan *jitter* 12,45 ms. Pengujian *User Acceptance Test* (UAT) menghasilkan tingkat efektivitas 88,9%, efisiensi 97,8%, dan kepuasan 100%. Kesimpulannya, sistem arsitektur hibrida ini berhasil beroperasi secara stabil, responsif, dan sangat layak digunakan sebagai solusi pemantauan perilaku multimodal yang efisien.

Kata Kunci: Analisis Multimodal, *Computer Vision*, YOLOv11, Face-API.js, Pelacakan Objek.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
Kata Pengantar.....	iii
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan dan Manfaat	5
1.4.1 Tujuan.....	5
1.4.2 Manfaat	5
1.5 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Penelitian Terdahulu	8
2.2 Analisis Perilaku	9
2.3 <i>Deep Learning</i>	10
2.4 <i>Computer Vision</i>	10
2.5 YOLO (<i>You Only Look Once</i>).....	11
2.6 Face API.js	12
2.6 <i>Manhattan Distance Object Tracking</i>	12
BAB III METODE PENELITIAN	14
3.1 Rancangan Penelitian.....	14
3.1.1 Identifikasi Kebutuhan	14



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.2	Pengumpulan Data	15
3.1.3	Pemrosesan Data.....	15
3.1.4	Pengembangan dan Pelatihan Model	16
3.1.5	Implementasi Sistem	16
3.1.6	Pengujian dan Evaluasi	16
3.2	Objek Penelitian	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		18
4.1	Identifikasi Kebutuhan.....	18
4.1.1	Identifikasi Kebutuhan Pengembangan Model.....	18
4.1.2	Identifikasi Kebutuhan Perangkat Keras.....	21
4.1.3	Identifikasi Kebutuhan Perangkat Lunak.....	24
4.1.4	Identifikasi Kebutuhan <i>Library</i> dan Framework.....	25
4.1.5	Identifikasi Kebutuhan Fungsional Sistem	26
4.1.6	Identifikasi Kebutuhan Non-Fungsional Sistem.....	28
4.2	Perancangan Sistem	29
4.2.1	Perancangan Model	29
4.2.2	Perancangan Antarmuka Grafis.....	36
4.3	Implementasi Sistem	54
4.3.1	Implementasi Model.....	55
4.3.2	Implementasi Antarmuka Pengguna	72
4.4	Pengujian Sistem	80
4.4.1	Analisis Hasil Pengujian Model	83
4.4.2	Analisis Hasil Pengujian Sistem	92
BAB V		118
PENUTUP		118
5.1	Kesimpulan.....	118
5.2	Saran	119
DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS		123
LAMPIRAN		124



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Human Behaviour Analytics Applications.....	2
Gambar 2. 1 Proses Klasifikasi Computer Vision.....	11
Gambar 2.1 Proses Klasifikasi <i>Computer Vision</i>	11
Gambar 3. 1 Development Phase Pipeline.....	14
Gambar 3. 1 Development Phase Pipeline.....	14
Gambar 4. 1 Diagram Alur Pelatihan Model YOLOv11.....	31
Gambar 4. 2 Diagram Alur Pemrosesan Face-API.js pada Sisi Klien.....	34
Gambar 4. 3 Arsitektur Sistem Multimodal behaviour analytics.....	37
Gambar 4. 4 Use Case Diagram Sistem.....	39
Gambar 4. 5 Activity Diagram Live Detection.....	41
Gambar 4. 6 Activity Diagram Daily Analytics.....	42
Gambar 4. 7 Activity Diagram Monthly Report.....	43
Gambar 4. 8 Sequence Diagram Sistem Multimodal behaviour analytics.....	44
Gambar 4. 9 Entity Relationship Diagram.....	46
Gambar 4. 10 Desain Menu Live Detection.....	47
Gambar 4. 11 Desain Panel Indikator Utama (KPI & Insights).....	48
Gambar 4. 12 Desain Tab Overview (Ringkasan Harian).....	49
Gambar 4. 13 Desain Panel Action Analysis (Analisis Aksi Fisiologis).....	50
Gambar 4. 14 Desain Panel Attention Analysis (Analisis Atensi & Gaze).....	51
Gambar 4. 15 Desain Panel Emotion Analysis (Analisis Emosi Ekspresif).....	52
Gambar 4. 16 Desain Panel Cross-Modal (Analisis Lintas Modalitas).....	53
Gambar 4. 17 Desain Antarmuka Monthly Reports.....	53
Gambar 4. 18 Diagram Arsitektur Model Deteksi Manusia.....	58
Gambar 4. 19 Diagram Arsitektur Model Klasifikasi Aksi.....	59
Gambar 4. 20 Diagram Arsitektur Model Analisis Wajah.....	60
Gambar 4. 21 Diagram Arsitektur Pelacakan Objek.....	66
Gambar 4. 22 Diagram Arsitektur Metrik Agregasi.....	69
Gambar 4. 23 Diagram Arsitektur Komputasi Analitik Lanjutan.....	70
Gambar 4. 24 Tampilan Live Detection.....	73
Gambar 4. 25 Menampilkan Proses Deteksi.....	74
Gambar 4. 26 Halaman Daily Analytics (Panel Indikator Utama).....	76
Gambar 4. 27 Halaman Daily Analytics (Tab Overview).....	77
Gambar 4. 28 Halaman Monthly Reports.....	79
Gambar 4. 29 Menampilkan Tabel Detail Daily Breakdown.....	80
Gambar 4. 30 Confusion matrix Model YOLOv11.....	86
Gambar 4. 31 Confusion matrix Evaluasi Model TinyFD.....	89
Gambar 4. 32 Hasil Visualisasi Pengujian Deteksi Objek dan Aktivitas.....	90
Gambar 4. 33 Hasil Verifikasi Visual Klasifikasi Emosi.....	91
Gambar 4. 34 Hasil Pengujian di Lingkungan Ritel Bagian Ruang Terbuka.....	107
Gambar 4. 35 Hasil Pengujian di Lingkungan Ritel Bagian Lorong.....	108

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sejenis	8
Tabel 4. 1 Kebutuhan Dataset.....	18
Tabel 4. 2 Kebutuhan Perangkat Keras Pelatihan Model	20
Tabel 4. 3 Kebutuhan Perangkat Keras Pengembangan Antarmuka	21
Tabel 4. 4 Kebutuhan Perangkat Lunak.....	23
Tabel 4. 5 Kebutuhan Library dan Framework	24
Tabel 4. 6 Kebutuhan Fungsional.....	25
Tabel 4. 7 Kebutuhan Non-Fungsional	27
Tabel 4. 8 Konfigurasi Hyperparameter	56
Tabel 4. 9 Model Face-API.js	61
Tabel 4. 10 Fitur Analisis Wajah.....	62
Tabel 4. 11 Komponen Visualisasi	64
Tabel 4. 12 Parameter Tracking	66
Tabel 4. 13 Parameter Skenario Pengujian.....	80
Tabel 4. 14 Hasil Evaluasi Pengujian Model YOLOv11.....	84
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Model TinyFD.....	87
Tabel 4. 16 Hasil Pengamatan Performa Throughput.....	93
Tabel 4. 17 Hasil Pencatatan Sampel Nilai Kerapatan FPS	93
Tabel 4. 20 Hasil Pengamatan Performa Latency	99
Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan Numerik Latency	100
Tabel 4. 22 Hasil Pengamatan Performa Jitter	102
Tabel 4. 23 Hasil Ekstraksi Perhitungan Metrik Jitter	103
Tabel 4. 24 Daftar Pertanyaan User Acceptance Test.....	105
Tabel 4. 25 Hasil Pengujian User Acceptance Test	109

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Ekstraksi Log Waktu Kedatangan Paket (Timestamp)	124
Lampiran 2 Data Ekstraksi Waktu Pemrosesan Hulu-ke-Hilir (End-to-End <i>Latency</i>)	124
Lampiran 3 Hasil Ekstraksi Status Sesi <i>Backend</i> dan <i>Throughput</i> FPS <i>Real-time</i> ...	124
Lampiran 4 Hasil Ekstraksi Log Jaringan Klien untuk Validasi Kegagalan Paket Data	125
Lampiran 5 Bukti Pencatatan Fluktuasi Waktu Transmisi Jaringan Sistem <i>Real-time</i>	125
Lampiran 6 Proses Evaluasi Model Face-API.js	126
Lampiran 7 Hasil UAT	126
Lampiran 8 Profile Klien	130



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) di mana salah satu cabangnya Visi Komputer (*Computer Vision*) telah mentransformasi cara sistem komputer memahami manusia, bergeser dari sekadar pengenalan objek visual menjadi analisis perilaku yang mendalam (*Human Behavior Analysis*). Teknologi ini mengintegrasikan berbagai modalitas data untuk menafsirkan tindakan dan kondisi emosional manusia secara otomatis. Implementasi analisis perilaku kini menjadi instrumen vital di berbagai sektor industri untuk menciptakan sistem yang responsif dan mampu memitigasi risiko secara *real-time*.

Urgensi penerapan teknologi ini menjadi sangat nyata dalam konteks lingkungan publik yang dinamis seperti ritel dan pusat perbelanjaan. Di dalam ekosistem ini, pemahaman mendalam terhadap respons konsumen menjadi krusial karena respons bawah sadar sering kali mendominasi proses pengambilan keputusan dibandingkan respons sadar (Alsharif *et al.*, 2022). Implementasi analisis perilaku di area ritel kini tidak hanya terbatas pada keamanan, tetapi juga mampu mengukur fiksasi visual di titik pembelian (*point of purchase*) untuk memprediksi sikap konsumen, baik itu berupa perilaku mendekat (*approach*) maupun menghindar (*withdrawal*) terhadap suatu produk (Alsharif *et al.*, 2022).

Berdasarkan tinjauan komprehensif terhadap lanskap aplikasi analisis perilaku manusia saat ini, teknologi ini telah didiversifikasi ke dalam berbagai domain krusial (Essahraui, 2025). Berbagai sektor telah memanfaatkan teknologi ini untuk kebutuhan spesifik, mulai dari keselamatan, peningkatan kualitas pembelajaran, hingga produktivitas kerja. Rincian implementasi pada domain yang relevan dapat dilihat pada Gambar 1.1.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 1 1 Human Behaviour Analytics Applications

Penelitian ini memiliki fokus pada pengembangan sistem yang mampu menganalisis beberapa atribut perilaku, di antaranya Aksi (gerakan tubuh), Atensi (arah pandangan), dan Emosi (ekspresi wajah) secara simultan. Selain itu, penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan *hybrid architecture*, mengombinasikan beberapa teknologi, seperti arsitektur *You Only Look Once (YOLO)* dan *library Face-api.js*. Penggunaan gabungan teknologi ini bertujuan untuk mencapai tujuan penelitian, YOLO diterapkan untuk mendeteksi objek tubuh manusia dan mengklasifikasi aksi secara *real-time*, sedangkan Face-api.js digunakan untuk melakukan ekstraksi fitur wajah yang lebih mendetail guna menentukan emosi dan atensi. Proses analisis kontinuitas objek dilakukan dengan menerapkan algoritma *Manhattan Distance*, yang menghitung jarak perpindahan objek antar-*frame* untuk menjaga konsistensi identitas setiap individu yang terdeteksi.

Penelitian mengenai deteksi aktivitas sebelumnya telah dibahas secara mendalam dalam penelitian “YOLO-Act: Unified Spatiotemporal Detection of Human Actions Across Multi-Frame Sequences” (Alzahrani, Bchir and Ismail, 2025). Meskipun penelitian tersebut berhasil mengembangkan metode deteksi aksi yang presisi menggunakan modifikasi YOLOv11 dan strategi *three-keyframes*, terdapat



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

keterbatasan yang menjadi fokus pengembangan pada penelitian ini. Penelitian (Alzahrani, Bchir and Ismail, 2025) memiliki fokus tunggal (*single-modality*) pada pengenalan aksi fisik dan interaksi objek secara *spatiotemporal* tanpa mempertimbangkan aspek kondisi internal subjek seperti ekspresi wajah dan fokus atensi.

Selain itu, pendekatan tersebut memiliki keterbatasan signifikan dari sisi beban komputasi. Metode *spatiotemporal* yang digunakan memproses korelasi fitur antar-frame secara volumetrik, yang menuntut sumber daya besar dan berpotensi meningkatkan latensi pada perangkat terbatas. Merespons kendala tersebut, algoritma *Manhattan Distance* diterapkan sebagai solusi strategis untuk mereduksi kompleksitas komputasi. *Manhattan Distance (L1 Norm)* hanya menggunakan operasi penjumlahan selisih absolut. Efisiensi matematis ini memungkinkan sistem mempertahankan *frame rate* (FPS) yang stabil untuk analisis *real-time* tanpa mengorbankan kontinuitas pelacakan objek.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam implementasi analisis perilaku yang bersifat multimodal (menggabungkan aksi dan ekspresi wajah), masih terdapat beberapa tantangan teknis terkait integrasi model dan efisiensi komputasi, seperti:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem *Computer Vision* berbasis web yang dapat menganalisis perilaku multimodal (aksi, atensi, dan emosi) secara simultan dan otomatis?
2. Bagaimana menerapkan arsitektur *hybrid* yang mengombinasikan YOLO untuk deteksi aksi tubuh dan Face-api.js untuk ekstraksi fitur wajah dalam satu kesatuan sistem?
3. Bagaimana melakukan pelacakan (*tracking*) identitas objek manusia yang bergerak antar-frame menggunakan algoritma *Manhattan Distance* untuk menjaga konsistensi analisis secara efisien?
4. Bagaimana hasil kinerja sistem yang diperoleh dari pendekatan *hybrid* ini dalam hal akurasi klasifikasi dan kecepatan pemrosesan (*frame rate*) pada skenario *real-time*?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian dan memastikan kelayakan implementasi sistem dalam kerangka waktu yang ditentukan, penulis menetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dibatasi pada studi kasus lingkungan dalam ruangan (*indoor environment*) dengan kondisi pencahayaan yang stabil dan merata (tidak *backlight* atau terlalu gelap). Objek pengamatan difokuskan pada manusia tunggal maupun jamak (*multiple subjects*) dalam jarak pandang kamera yang wajar (2–5 meter).
2. Lingkup kasus penggunaan secara spesifik dilakukan pada konteks pusat perbelanjaan dan area ritel. Dalam skenario ini, sistem difokuskan untuk menganalisis pola interaksi pengunjung terhadap area atau produk (seperti mengamati etalase), yang bertujuan untuk menghasilkan wawasan perilaku konsumen dasar, dan bukan ditujukan untuk sistem keamanan forensik tingkat lanjut (seperti deteksi gerak-gerik pengutikan yang kompleks).
3. Sistem dirancang untuk mengenali atribut perilaku yang dibatasi pada tiga modalitas visual (Aksi, Atensi, Emosi), tanpa mengukur sinyal fisiologis atau kognitif internal
4. Deteksi dan klasifikasi dilakukan menggunakan pendekatan *hybrid*. Deteksi tubuh dan aksi menggunakan model YOLO untuk performa *real-time*, sedangkan ekstraksi fitur wajah (emosi dan atensi) menggunakan *library* Face-api.js. Mekanisme pelacakan objek (*tracking*) untuk mempertahankan ID subjek antar-*frame* dibatasi menggunakan algoritma jarak *Manhattan Distance* pada ruang koordinat piksel 2D, tanpa penerapan pelacakan 3D yang kompleks.
5. Implementasi sistem pada penelitian ini dilakukan melalui simulasi pada lingkungan lokal berbasis Web. Sistem tidak dirancang sebagai aplikasi *cloud* berskala besar atau berbasis *edge computing*, melainkan sebagai aplikasi peramban (*browser-based*) yang memanfaatkan akselerasi perangkat keras lokal (CPU/GPU *Client*) dan *cloud* skala kecil untuk inferensi model.
6. Hasil akhir dari penelitian ini adalah sebuah purwarupa (*prototype*) *dashboard* pemantauan berbasis web. *Dashboard* ini menyajikan visualisasi *bounding box*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dengan label perilaku pada video *stream* dan menampilkan statistik aktivitas secara *real-time*, tanpa fitur manajemen basis data pengguna yang mendalam.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

1. Mengembangkan sistem *Computer Vision* berbasis web yang mampu mengenali dan menganalisis perilaku manusia secara multimodal (Aksi, Atensi, dan Emosi) secara langsung (*real-time*).
2. Mengimplementasikan arsitektur *hybrid* yang menggabungkan YOLO untuk deteksi aksi tubuh global dan Face-api.js untuk ekstraksi fitur wajah (emosi dan atensi) dalam satu sistem terpadu.
3. Menerapkan algoritma *Manhattan Distance* sebagai metode pelacakan objek (*object tracking*) untuk menjaga konsistensi identitas subjek antar-*frame* dengan beban komputasi yang lebih ringan.
4. Mengevaluasi kinerja sistem yang dibangun dengan mengukur tingkat akurasi klasifikasi perilaku serta kecepatan pemrosesan (*Frames Per Second/FPS*) pada lingkungan peramban (*browser*).

1.4.2 Manfaat

1. Menghasilkan purwarupa sistem pemantauan perilaku otomatis yang dapat diterapkan dalam berbagai bidang.
2. Meningkatkan efisiensi dalam analisis visual perilaku manusia yang kompleks (multimodal) dibandingkan dengan metode pengamatan manual yang rentan terhadap subjektivitas dan kelelahan pengamat.
3. Menambah wawasan dalam bidang *Computer Vision*, khususnya mengenai efektivitas penggabungan dua model *Deep Learning* berbeda (YOLO dan Face-api) dalam lingkungan berbasis web yang memiliki keterbatasan sumber daya.
4. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan sistem kecerdasan buatan yang ringan (*lightweight*) dan efisien tanpa ketergantungan penuh pada infrastruktur perangkat keras (*GPU*) tingkat tinggi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan ini dibagi ke dalam tiga bab utama dengan rincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah mengenai urgensi analisis perilaku manusia secara multimodal (aksi, atensi, dan emosi) pada platform berbasis web. Pada bab ini penulis memaparkan rumusan masalah terkait integrasi arsitektur *hybrid*, batasan masalah untuk memperjelas ruang lingkup sistem, tujuan yang ingin dicapai, serta manfaat yang diharapkan dari penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab II penulis menguraikan teori-teori dasar dan kajian teknologi yang digunakan dalam penelitian analisis perilaku multimodal. Pembahasan mencakup konsep *Computer Vision*, arsitektur *You Only Look Once (YOLO)* untuk deteksi aksi, pustaka *Face-api.js* untuk ekstraksi fitur wajah, serta algoritma *Manhattan Distance* sebagai metode pelacakan objek yang efisien.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab III penulis menguraikan metode penelitian yang diterapkan, meliputi perancangan arsitektur sistem *hybrid*, tahapan pengembangan perangkat lunak, skenario pengumpulan data, serta prosedur pengujian yang akan dilakukan terhadap objek penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV penulis menguraikan hasil implementasi sistem analisis perilaku multimodal berbasis web yang telah dirancang pada tahap sebelumnya. Pembahasan mencakup hasil integrasi arsitektur *hybrid* untuk deteksi aksi, pelacakan atensi, dan pengenalan emosi, serta analisis performa masing-masing komponen sistem. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap aspek fungsionalitas, akurasi, efisiensi pemrosesan, dan evaluasi hasil untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam mendukung analisis perilaku manusia secara multimodal.

BAB V PENUTUP

Pada bab V penulis menyajikan kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Kesimpulan memuat pencapaian tujuan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

penelitian serta gambaran umum mengenai kinerja sistem yang dikembangkan. Selain itu, pada bab ini juga disampaikan saran yang dapat digunakan sebagai bahan pengembangan lebih lanjut guna meningkatkan performa, cakupan fitur, dan implementasi sistem pada penelitian berikutnya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan membangun sebuah purwarupa sistem *Computer Vision* berbasis web untuk menganalisis perilaku manusia secara multimodal (Aksi, Atensi, dan Emosi) secara simultan. Berangkat dari urgensi kebutuhan pemantauan perilaku konsumen yang otomatis dan objektif di area seperti pusat perbelanjaan atau ritel, sistem ini sukses mengimplementasikan pendekatan arsitektur hybrid. Arsitektur ini secara cerdas mendistribusikan beban komputasi dengan memanfaatkan model YOLOv11 di sisi *server* untuk mendeteksi postur tubuh dan aksi secara global, yang kemudian digabungkan dengan *library* Face-API.js pada sisi *browser* pengguna untuk mengekstraksi fitur wajah, emosi, dan arah pandangan secara mendetail. Keberhasilan integrasi ini membuktikan bahwa pemrosesan visual multimodal yang kompleks dapat direalisasikan menjadi sebuah sistem yang ringan (*lightweight*) tanpa ketergantungan penuh pada infrastruktur GPU berspesifikasi tinggi. Untuk memastikan analisis perilaku berjalan berkesinambungan, sistem ini juga telah berhasil menerapkan algoritma *Manhattan Distance* sebagai metode pelacakan objek (*object tracking*). Berbeda dengan pendekatan pelacakan spatiotemporal pada penelitian terdahulu yang menuntut sumber daya komputasi besar dan rentan terhadap latensi, perhitungan matematis *Manhattan Distance* terbukti sangat efisien. Algoritma ini mampu menjaga konsistensi identitas subjek antar-frame dengan akurat tanpa memberikan beban berlebih pada memori lokal perangkat. Hal ini menjadikan sistem pemantauan dapat beroperasi dengan sangat stabil.

Secara keseluruhan, kinerja dari pendekatan hybrid ini telah tervalidasi dan berhasil menjawab tantangan kecepatan pemrosesan pada skenario *real-time*. Distribusi beban kerja yang optimal menghasilkan rata-rata kecepatan pemrosesan sebesar 18 FPS, sebuah angka yang memenuhi standar ideal untuk pelacakan objek dinamis. Komunikasi data dua arah via protokol *WebSocket* juga berjalan tangguh dengan 0% *packet loss*, serta latensi dan *jitter* yang berada jauh di bawah batas maksimal toleransi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

jaringan. Didukung oleh hasil *User Acceptance Test* (UAT) yang menyentuh tingkat kepuasan hingga 100%, sistem pemantauan melalui fitur *Live Detection* dan *Daily Analytics* ini terbukti tidak hanya andal secara teknis, tetapi juga secara praktis sukses meningkatkan efisiensi analisis visual. Sistem ini secara efektif mampu mengatasi kelemahan metode pengamatan manual yang rentan terhadap bias subjektivitas dan kelelahan pengamat, menjadikannya referensi yang berharga bagi pengembangan kecerdasan buatan yang efisien di masa depan.

5.2 Saran

Berdasarkan keberhasilan implementasi dan performa sistem yang telah dicapai, terdapat beberapa arah penelitian baru yang dapat dieksplorasi untuk memperluas fungsionalitas sistem pada pengembangan selanjutnya, antara lain:

1. Implementasi pada Infrastruktur Cloud Skala Besar dengan Akselerasi GPU
 Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan arsitektur sistem ini ke arah implementasi cloud computing berskala besar yang didukung oleh sumber daya komputasi *Graphics Processing Unit* (GPU) berkinerja tinggi. Dengan memigrasikan beban kerja inferensi ke lingkungan cloud terdistribusi, sistem akan memiliki tingkat elastisitas dan skalabilitas yang jauh lebih tinggi untuk memproses aliran video dari puluhan hingga ratusan kamera secara serentak (*concurrent processing*). Pengembangan ini akan mengatasi batasan komputasi pada sisi klien secara absolut, sehingga sistem menjadi sangat ideal untuk diterapkan pada skenario pengawasan berskala industri, pusat perbelanjaan, atau fasilitas publik yang membutuhkan analitik data masif tanpa latensi.
2. Ekspansi Sistem ke Skala Multi-Kamera (MTMCT)
 Pengujian saat ini berfokus pada pelacakan objek dalam satu bidang pandang kamera. Penelitian baru dapat mengangkat topik *Multi-Target Multi-Camera Tracking* (MTMCT). Pengembangan ini akan memungkinkan sistem melacak histori perilaku dan mempertahankan identitas subjek yang sama meskipun ia berpindah dari pantauan satu kamera ke kamera lainnya di area yang lebih luas.
3. Integrasi *Large Language Model* untuk Laporan Analisis Otomatis



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Dasbor analitik saat ini menyajikan metrik dan grafik kuantitatif yang sangat komprehensif. Pengembangan selanjutnya dapat mengintegrasikan *pipeline* LLM untuk membaca data agregasi harian, lalu menerjemahkannya menjadi laporan naratif deskriptif yang langsung siap dibaca oleh pihak manajerial.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Allouzi, J. T. et al. (2026). An Analytical Field Study on Occupational Health and Safety Compliance in Small and Medium Enterprises in Ha'il City, Saudi Arabia. *JENER Journal of Empirical and Non-Empirical Research*, 2(5), 131-136. Available at: <https://doi.org/10.4898/jener.v2i5.a12>.
- Alsharif, A.H. et al. (2022) 'Consumer Behaviour to Be Considered in Advertising: A Systematic Analysis and Future Agenda', *Behavioral Sciences*, 12(12). Available at: <https://doi.org/10.3390/bs12120472>.
- Alzahrani, N., Bchir, O. and Ismail, M.M. Ben (2025) 'YOLO-Act: Unified Spatiotemporal Detection of Human Actions Across Multi-Frame Sequences', *Sensors*, 25(10), pp. 1–24. Available at: <https://doi.org/10.3390/s25103013>.
- Alzubaidi, L. et al. (2021) *Review of Deep Learning : concepts , CNN architectures , challenges , applications , future directions*, *Journal of Big Data*. Springer International Publishing. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00444-8>.
- Chai, J. et al. (2021) 'Deep Learning in Computer Vision: A critical review of emerging techniques and application scenarios', *Machine Learning with Applications*, 6(August), p. 100134. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100134>.
- Chun, S. et al. (2024) 'Bidirectional Regression for Monocular 6DoF Head Pose Estimation and Reference System Alignment', *arXiv preprint arXiv:2407.14136* [Preprint].
- Emanuel, A.W.R., Mudjihartono, P. and Nugraha, J.A.M. (2021) 'Snapshot-Based Human Action Recognition using OpenPose and Deep Learning', *IAENG International Journal of Computer Science*, 48(4), pp. 2–7.
- Essahraui (2025) 'Human Behavior Analysis : A Comprehensive Survey on Techniques , Applications , Challenges , and Future Directions', *IEEE Access*, PP, p. 1. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3589938>.
- Garcia, B., Gallego, F., & Gortázar, F. (2020). Assessment of QoE for Video and Audio in WebRTC Applications Using Full-Reference Models. *Electronics*, 9(3), 462. MDPI.
- Goldberg, P. et al. (2021) 'Multimodal Engagement Analysis from Facial Videos in the Classroom', *IEEE TRANSACTION ON AFFECTIVE COMPUTING*, 3045(c), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2021.3127692>.
- Kisa, T., et al. (2023). "Impact of Packet loss Rate on Quality of Compressed High Resolution Videos". *Sensors*, 23(5), 2744. MDPI.
- Liliana, D.Y. et al. (2022) 'Emotion Intelligent Application for Independent Wellbeing Management using Certainty Factor', *2021 4th International Conference on Computer and Informatics Engineering (IC2IE)* [Preprint].
- Pabba, C., Bhardwaj, V. and Kumar, P. (2024) 'A visual intelligent system for students ' behavior classification using body pose and facial features in a smart classroom', *Multimedia Tools and Applications* (2024), pp. 36975–37005. Available at:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<https://doi.org/10.1007/s11042-023-16388-5>.

Razzok, M. *et al.* (2023) 'Pedestrian Detection and Tracking System Based on Deep-SORT , YOLOv5 , and New Data Association Metrics', *Information* 2023, pp. 1–16.

Reddy, P. C. M., Yadav, N. S. K., Goud, P. A. K., Rekha, K. K., & Kumar, A. V. (2025). Real Time Object and Tracking Using *Deep Learning* and Opencv. *International Journal on Science and Technology (IJSAT)*, 16(1), 1-9.

Terven, J., Córdova-Esparza, D.M. and Romero-González, J.A. (2023) 'A Comprehensive Review of YOLO Architectures in *Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS*', *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 5(4), pp. 1680–1716. Available at: <https://doi.org/10.3390/make5040083>.

Torrens, P. M. (2023). Agent models of customer journeys on retail high streets. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 18, 87-128. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11403-022-00350-z>.

Tu, N. D., Muthanna, A., Khakimov, A., Kochetkova, I., Samouylov, K., Ateya, A. A., & Koucheryavy, A. (2025). SHARP-AODV: An Intelligent Adaptive Routing Protocol for Highly Mobile Autonomous Aerial Vehicle (AAV) Networks. *Sensors*, 25(24), 7522. MDPI.

Wang, J., *et al.* (2023). "Latency Optimization in Edge-Cloud Collaborative Architecture for Real-time Video Analytics". *Sensors*, 23(11), 5120. MDPI.

Warsuta, B. *et al.* (2024) 'Sistem Pengendalian Akses Berbasis Face-Recognition dengan Face-API . js dan Algoritma *Manhattan Distance*', *MULTINETICS*, 10(2), pp. 113–120.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

Rico Mesias Tamba



Lahir di Jakarta, 10 April 2004. Lulus dari SDN Cikupa 2 pada 2016, SMPN 1 Cikupa pada tahun 2019, SMAN 3 Kabupaten Tangerang pada tahun 2022. Saat ini menempuh Program Studi Diploma Empat Teknik Informatika di Politeknik Negeri Jakarta. Memiliki keahlian pada bidang *Machine Learning*, *Backend Development*.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Ekstraksi Log Waktu Kedatangan Paket (Timestamp)

I ["detections": [{"x1": 24, "y1": 18, "x2": 630, "y2": 480, "conf": 0.5121018886566162, "class_name": "sitting"}]]	113	20:50:20.313
I ["detections": [{"x1": 68, "y1": 20, "x2": 630, "y2": 480, "conf": 0.5034001469612122, "class_name": "sitting"}]]	113	20:50:20.830
I ["detections": [{"x1": 17, "y1": 19, "x2": 631, "y2": 480, "conf": 0.6322202086448669, "class_name": "sitting"}]]	113	20:50:21.932
I ["detections": [{"x1": 68, "y1": 20, "x2": 627, "y2": 480, "conf": 0.567223072052002, "class_name": "sitting"}]]	112	20:50:22.185
I ["detections": [{"x1": 73, "y1": 20, "x2": 627, "y2": 480, "conf": 0.5947907567024231, "class_name": "sitting"}]]	113	20:50:22.488
I ["detections": [{"x1": 74, "y1": 19, "x2": 627, "y2": 480, "conf": 0.5032938122749329, "class_name": "sitting"}]]	113	20:50:22.779
I ["detections": [{"x1": 22, "y1": 18, "x2": 631, "y2": 480, "conf": 0.566292941570282, "class_name": "sitting"}]]	112	20:50:23.065
I ["detections": [{"x1": 28, "y1": 20, "x2": 630, "y2": 480, "conf": 0.5652916431427002, "class_name": "sitting"}]]	113	20:50:23.378
I ["detections": [{"x1": 24, "y1": 19, "x2": 630, "y2": 480, "conf": 0.6105216145515442, "class_name": "sitting"}]]	113	20:50:23.679
I ["detections": [{"x1": 14, "y1": 19, "x2": 630, "y2": 479, "conf": 0.6249240040779114, "class_name": "sitting"}]]	113	20:50:23.964

Lampiran 2 Data Ekstraksi Waktu Pemrosesan Hulu-ke-Hilir (End-to-End Latency)

I dataimage/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAQ/4gHYSUNDX1BStOZJTEUAAQEAHIAAAAAQwAABtbnRyUkdCfHhZWIAH4AABAAEAAAAAAAAABhY3NwAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA...	24431	20:50:24.943
I dataimage/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAQ/4gHYSUNDX1BStOZJTEUAAQEAHIAAAAAQwAABtbnRyUkdCfHhZWIAH4AABAAEAAAAAAAAABhY3NwAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA...	24499	20:50:25.424
I ["type": "SAVE_TRACKING", "data": [{"tracking_id": 5, "camera_id": "cam-01", "emotion": "Neutral", "is_attentive": true, "yaw": "CENTER", "pitch": "CENTER", "yolo_action": "Sitting", "action_conf": 0.5034001...}],	347	20:50:25.622
I dataimage/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAQ/4gHYSUNDX1BStOZJTEUAAQEAHIAAAAAQwAABtbnRyUkdCfHhZWIAH4AABAAEAAAAAAAAABhY3NwAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA...	24379	20:50:25.842
I ["type": "SAVE_TRACKING", "data": [{"tracking_id": 5, "camera_id": "cam-01", "emotion": "Neutral", "is_attentive": true, "yaw": "CENTER", "pitch": "CENTER", "yolo_action": "None", "action_conf": 0.53898036...}],	344	20:50:26.774
I dataimage/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAQ/4gHYSUNDX1BStOZJTEUAAQEAHIAAAAAQwAABtbnRyUkdCfHhZWIAH4AABAAEAAAAAAAAABhY3NwAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA...	24431	20:50:26.976
I ["type": "SAVE_TRACKING", "data": [{"tracking_id": 5, "camera_id": "cam-01", "emotion": "Neutral", "is_attentive": true, "yaw": "CENTER", "pitch": "CENTER", "yolo_action": "Sitting", "action_conf": 0, "startTim...}],	330	20:50:27.829
I dataimage/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAQ/4gHYSUNDX1BStOZJTEUAAQEAHIAAAAAQwAABtbnRyUkdCfHhZWIAH4AABAAEAAAAAAAAABhY3NwAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA...	24379	20:50:28.005
I ["type": "SAVE_TRACKING", "data": [{"tracking_id": 5, "camera_id": "cam-01", "emotion": "Neutral", "is_attentive": true, "yaw": "CENTER", "pitch": "CENTER", "yolo_action": "None", "action_conf": 0.51628029...}],	344	20:50:28.575
I dataimage/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAQ/4gHYSUNDX1BStOZJTEUAAQEAHIAAAAAQwAABtbnRyUkdCfHhZWIAH4AABAAEAAAAAAAAABhY3NwAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA...	23219	20:50:29.243

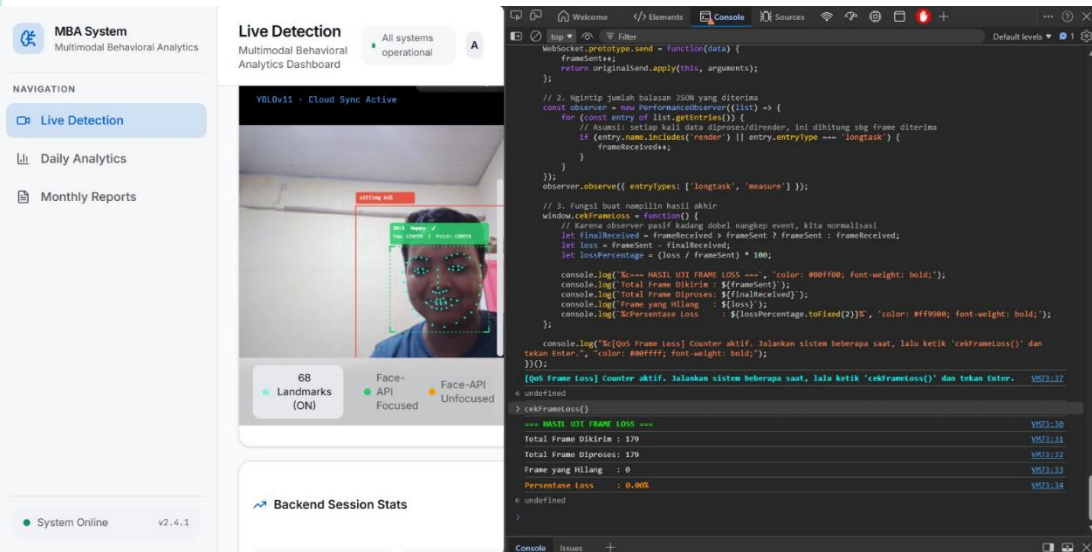
Lampiran 3 Hasil Ekstraksi Status Sesi *Backend* dan *Throughput FPS Real-time*

The screenshot displays a web interface for a face detection system. At the top, it shows 'Face-API Active' and 'Camera 01 - Main Area'. A URL 'https://17f5-35-240-162-38.ngrok' is visible, along with a 'Disconnect' button. Below this, there are status indicators: 'WS Backend Connected', 'FPS 14', 'Faces 1', and 'YOLO 1'. The main content area is divided into two sections. The left section, titled 'Face-API · TinyFD · LM68', shows a live video feed with the text 'LIVE · 5/17/2026' and 'YOLOv11 · Cloud Sync Active'. The right section, titled 'Backend Session Stats', displays 'Total YOLO Frames: 696 Frames' and 'Total Detections: 467 objects'.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4 Hasil Ekstraksi Log Jaringan Klien untuk Validasi Kegagalan Paket Data



Lampiran 5 Bukti Pencatatan Fluktuasi Waktu Transmisi Jaringan Sistem *Real-time*

[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 516.40ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 0.10ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 124.80ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 605.00ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 312.90ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 56.60ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 319.20ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 388.20ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 343.70ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 634.00ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 388.20ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 412.30ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 216.50ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 96.80ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 150.00ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 374.80ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 498.00ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 94.80ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 832.60ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 137.40ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 113.30ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 353.50ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 752.50ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 479.00ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 164.30ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 539.50ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 527.70ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 150.20ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 316.80ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 784.30ms	VM597:14
[Interval Pengiriman] Selisih antar frame: 148.90ms	VM597:14

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 6 Proses Evaluasi Model Face-API.js

```
[10] !node --expose-gc evaluate_complete.js
✓ 34m
... 2026-05-18 07:13:05.945846: I tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:193] This TensorFlow binary is optimized
To enable them in other operations, rebuild TensorFlow with the appropriate compiler flags.
Memuat bobot model face-api.js...
Model siap! Memulai proses evaluasi...

Sedang memproses kelas: [ANGRY] | Total: 958 gambar
-> Progress: 958 / 958 gambar diproses...

Sedang memproses kelas: [DISGUST] | Total: 111 gambar
-> Progress: 111 / 111 gambar diproses...

Sedang memproses kelas: [FEAR] | Total: 1024 gambar
-> Progress: 1024 / 1024 gambar diproses...

Sedang memproses kelas: [HAPPY] | Total: 1774 gambar
-> Progress: 1774 / 1774 gambar diproses...

Sedang memproses kelas: [NEUTRAL] | Total: 1233 gambar
-> Progress: 1233 / 1233 gambar diproses...

Sedang memproses kelas: [SAD] | Total: 1247 gambar
-> Progress: 1247 / 1247 gambar diproses...

Sedang memproses kelas: [SURPRISE] | Total: 831 gambar
-> Progress: 831 / 831 gambar diproses...
```

Lampiran 7 Hasil UAT

User Acceptance Testing "Multimodal Behavioural Analy" ☆

Pertanyaan Jawaban 3 Setelan

Ringkasan

Nama

3 jawaban

Riyanti marjuki

Syifa Nurlita

Adilla Cahya

Tempat Usaha Ritel

3 jawaban

guardian

Guardian

Alfamart

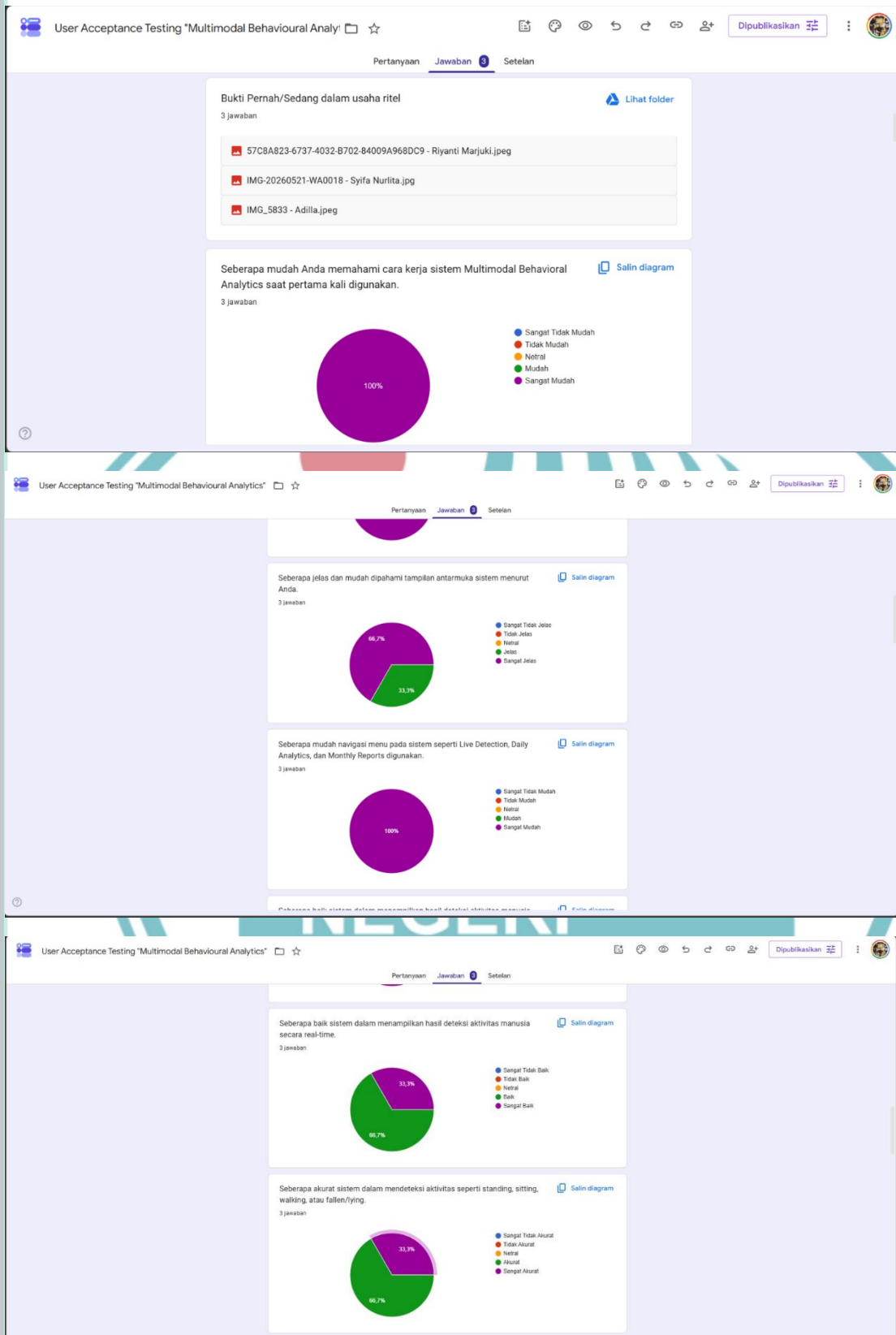
- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

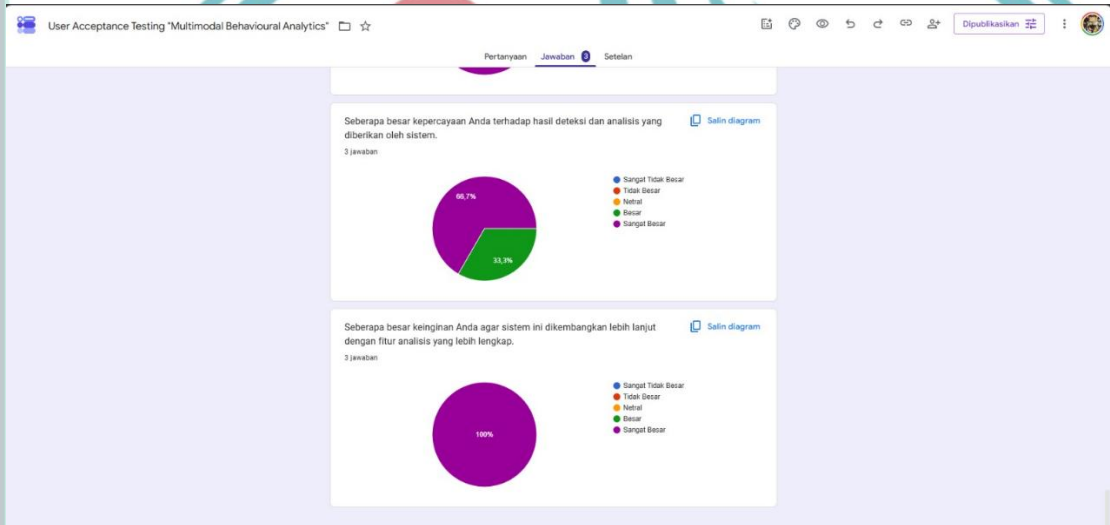
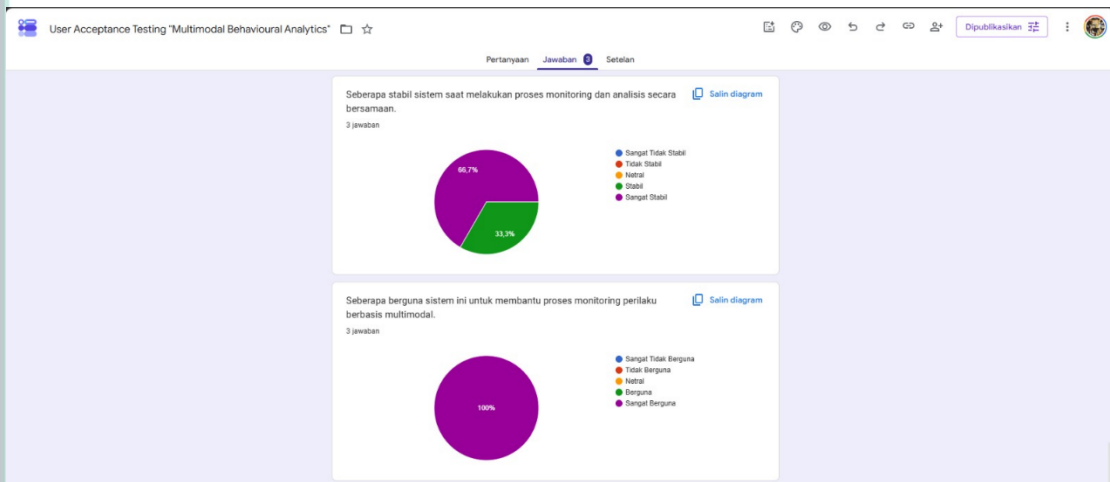




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 8 Profile Klien



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



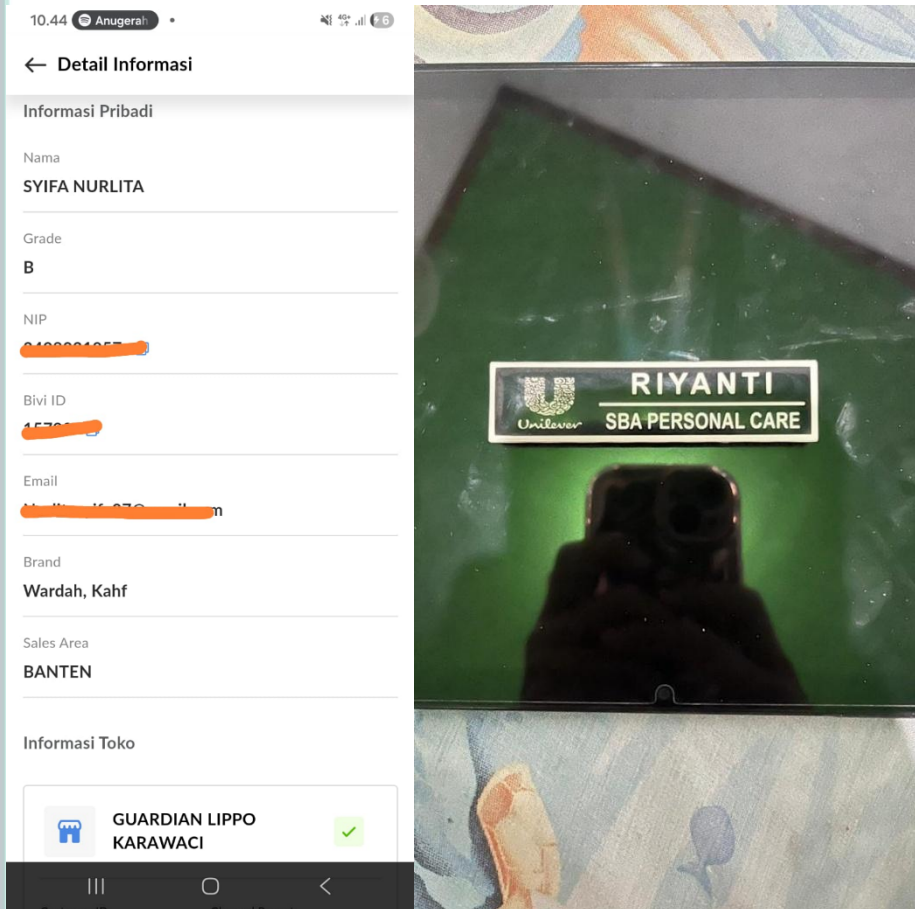
**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA