

Rancang Bangun Aplikasi Web Preventif Computer Vision Syndrome Berbasis Monitoring Postur Leher Real-Time Dengan Metode Personalized Baseline

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/progresif.v22i3.4055>

Creative Commons License 4.0 (CC BY –NC)



M Rizal Saputra^{1*}, Khairi Budayawan², Syafrijon³, Delvi Asmara⁴

Infomatika, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

*e-mail Corresponding Author: mrizalsaputra100@gmail.com

Abstract

Prolonged use of digital devices triggers the risk of Computer Vision Syndrome (CVS) and neck posture abnormalities such as Forward Head Posture. Conventional detection systems with static thresholds often trigger false alarms due to differences in individuals' natural postures. This study aims to develop a real-time neck posture monitoring web application to prevent CVS adaptively. The system was developed using the Prototyping method based on a Progressive Web App (PWA). Visual processing is executed entirely on the client-side using MediaPipe Pose Landmarker and WebRTC, while dynamic threshold calibration utilizes the Personalized Baseline method. Monitoring data and gamification history are managed locally through Local Storage. The test results indicate that the system is capable of extracting neck coordinates, monitoring posture inclination, and providing ergonomic notifications accurately without data transmission to a server. The Personalized Baseline method proved effective in reducing the false alarm rate, making this system an adaptive, lightweight CVS preventive solution capable of ensuring user privacy.

Keywords: Computer Vision Syndrome; Forward Head Posture; Local Storage; MediaPipe; Personalized Baseline.

Abstrak

Penggunaan perangkat digital yang berkepanjangan memicu risiko *Computer Vision Syndrome* (CVS) dan kelainan postur leher seperti Forward Head Posture. Sistem deteksi konvensional dengan ambang batas statis sering memicu peringatan palsu akibat perbedaan postur alami individu. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi web pemantau postur leher real-time untuk mencegah CVS secara adaptif. Sistem dikembangkan menggunakan metode Prototyping berbasis *Progressive Web App* (PWA). Pemrosesan visual dieksekusi sepenuhnya di sisi klien menggunakan MediaPipe Pose Landmarker dan WebRTC, sedangkan kalibrasi ambang batas dinamis menggunakan metode Personalized Baseline. Data pemantauan dan riwayat gamifikasi dikelola secara lokal melalui Local Storage. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mengekstrak koordinat leher, memantau kemiringan postur, dan memberikan notifikasi ergonomi secara akurat tanpa transmisi data ke peladen. Metode Personalized Baseline terbukti efektif menekan tingkat peringatan palsu, menjadikan sistem ini sebagai solusi preventif CVS yang adaptif, ringan, dan mampu menjamin privasi pengguna.

Kata kunci: Computer Vision Syndrome; Forward Head Posture; Local Storage; MediaPipe; Personalized Baseline

1. Pendahuluan

Ketergantungan individu yang semakin tinggi terhadap perangkat digital dan interaksi dengan layar komputasi dalam durasi yang sangat panjang telah memicu risiko kesehatan okupasional yang serius, salah satunya adalah *Computer Vision Syndrome* (CVS) [12]. Sindrom ini melibatkan sekumpulan masalah kompleks yang tidak hanya bermanifestasi pada kelelahan

visual, tetapi juga memicu disfungsi muskuloskeletal pada area ekstraokular, khususnya kelainan postur leher yang disebut *Forward Head Posture* (FHP) [9]. FHP secara biomekanik ditandai dengan bergesernya posisi kepala ke depan melampaui garis netral bahu, yang pada akhirnya memberikan tekanan asimetris pada tulang belakang bagian servikal [4]. Tema penelitian ini menjadi sangat krusial dan mendesak untuk diteliti mengingat insidensi gejala CVS di Indonesia telah menyentuh angka prevalensi yang sangat tinggi, yakni mencapai 66,4% pada kelompok pekerja perkantoran [22] dan tingkat keluhan yang masif juga melanda kalangan akademisi atau mahasiswa akibat keterpaparan layar yang terus-menerus [15].

Analisis situasi terhadap lingkungan kerja digital modern menunjukkan bahwa upaya mitigasi manual terhadap penyimpangan FHP dan CVS sering kali menemui kegagalan akibat keterbatasan kognitif manusia berupa fenomena pemblokiran kesadaran kinestetik (*cognitive blocking*) [5]. Beban kognitif yang tinggi saat pengguna berkonsentrasi penuh menatap layar digital menyebabkan postur tubuh yang menyimpang (membungkuk) sering kali dipertahankan tanpa disadari, sehingga pendekatan ergonomi pasif tidak akan cukup efektif tanpa adanya intervensi pengingat proaktif [18]. Lebih lanjut, realitas alur kerja digital saat ini sangat didominasi oleh fenomena *multitasking*, yang memunculkan masalah teknis yang signifikan pada lingkungan peramban (*browser environment*) berupa kendala *browser throttling* [2]. Fenomena operasional ini mengakibatkan performa dan kesinambungan sistem deteksi yang berjalan di latar belakang akan dihentikan atau menurun drastis manakala pengguna berpindah *tab* atau menjalankan aktivitas *multitasking*, sehingga kontinuitas intervensi terputus [2]. Di samping itu, masalah mendasar yang kerap muncul pada sistem pendeteksi konvensional adalah membludaknya tingkat peringatan palsu (*false alarm*) akibat pengklasifikasian postur netral alami milik individu sebagai postur yang keliru [18].

Berbagai riset terdahulu telah berupaya mengembangkan model aplikasi pemantau untuk mengintervensi masalah ergonomi visual, namun masih menyisakan keterbatasan dan kesenjangan (*gap*) yang nyata [12]. Penelitian terdahulu telah mencoba merancang model pendeteksi berbasis pengolahan citra digital [13], namun sistem tersebut memiliki keterbatasan karena hanya berfokus pada area wajah dan mengabaikan parameter biomekanik tegangan servikal (sudut kemiringan leher) [9]. Selanjutnya, riset dari February et al. [8] mengusulkan model aplikasi *Computer Vision* menggunakan kerangka kerja MediaPipe yang berhasil melacak persendian tubuh. *Gap* dari model ini adalah masih digunakannya sistem evaluasi ambang batas statis (*fixed/static threshold*), sehingga rentan menghasilkan peringatan palsu (*false alarm*) pada pengguna dengan proporsi antropometri yang berbeda [18]. Pada aspek arsitektur pemrosesan, Prasatya et al. [19] mengusulkan model pelacakan 3D berbasis peramban, serta Abelard et al. [1] mengembangkan model pelacakan biometrik medis *client-side* [19]. Keterbatasan dari kedua riset web ini adalah model Prasatya et al. difokuskan untuk animasi karakter 3D, sedangkan model Abelard et al. belum mengintegrasikan modul pemantauan postur leher *Computer Vision* [1]. Dari tinjauan tersebut, *gap* yang tersisa adalah belum adanya model aplikasi web pemantau postur *real-time* yang mampu menggabungkan adaptabilitas anatomi individu guna menekan *false alarm*, menjaga keamanan privasi pemrosesan tanpa peladen, serta memiliki ketahanan di latar belakang saat menghadapi restriksi peramban di tengah alur *multitasking* [6].

Untuk menyelesaikan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan rancang bangun aplikasi web preventif pemantau postur leher *real-time* yang mengintegrasikan kecerdasan buatan MediaPipe Pose Landmarker dengan metode *Personalized Baseline* dan *Adaptive Background Monitoring* pada format *Progressive Web App* (PWA) [2]. Konsep metode *Personalized Baseline* dipandang sangat efektif untuk mengeliminasi *false alarm* karena sistem membuang standar derajat statis populasi, dan menggantinya dengan mekanisme kalibrasi awal untuk menetapkan ambang batas dinamis yang secara spesifik disesuaikan (Odesola et al. [18]) dengan proporsi anatomi serta postur tegak ideal alami masing-masing pengguna [18]. Penerapan arsitektur *Client-Side Processing* yang didukung protokol WebRTC juga menjadi pilar pemecahan masalah karena selain mampu mengeksekusi komputasi visual murni pada perangkat lokal untuk menjamin privasi absolut (konsep *Privacy by Design* [1]), protokol ini membuat sistem pemantauan adaptif mampu berkelit dari pengekangan waktu peramban (*throttling*) saat pengguna berpindah *tab* kerja [1]. *State of the art* (kebaruan) dari penelitian ini terletak pada integrasi metodologi yang dipersonalisasi (*user-tailored methodology*) secara otonom di lingkungan web klien, menghasilkan sebuah intervensi mitigasi risiko CVS nirsentuh yang sangat presisi, aman secara privasi data, dan terbukti sanggup beroperasi senyap mendukung kesinambungan beban alur kerja *multitasking* pengguna secara nyata [18].

2. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam perancangan dan pengembangan perangkat lunak ini adalah *Software Development Life Cycle* (SDLC) dengan model *Prototyping*. Model ini dipilih karena memfasilitasi iterasi yang cepat untuk menyetel tingkat sensitivitas algoritma deteksi postur dan menguji kemampuan adaptasi sistem di berbagai lingkungan peramban pengguna. Pengembangan dijalankan melalui lima tahapan utama yang diuraikan sebagai berikut:

2.1. Tahap Komunikasi (*Communication*)

Tahap awal difokuskan untuk merumuskan masalah CVS dan mengumpulkan kebutuhan sistem secara komprehensif melalui observasi kondisi kerja *multitasking*. Berdasarkan analisis situasi, sistem harus dirancang dalam format *Progressive Web App* (PWA) yang menggunakan pendekatan arsitektur *Client-Side Processing*. Hal ini mengisyaratkan bahwa sistem harus mampu mengisolasi seluruh pemrosesan visi komputer secara luring (*offline*) di perangkat lokal pengguna, menjamin privasi pengguna secara absolut (konsep *Privacy by Design*). Pada aspek fungsionalitas utama, sistem dituntut untuk mampu menginisialisasi *baseline* postur personal, mendeteksi jarak wajah, menghitung frekuensi kedipan, mengekstraksi kemiringan kepala (*Forward Head Posture*), dan memicu notifikasi *pop-up* berbasis *adaptive threshold*. Sistem juga wajib memberikan poin gamifikasi dan menyediakan dasbor riwayat harian secara lokal.

2.2. Tahap Perencanaan (*Planning*)

Tahap ini berfokus pada penyusunan cetak biru teknis dan arsitektur sistem yang dirancang secara eksklusif menggunakan pendekatan *Client-Side Processing* dalam format PWA yang ringan. Perencanaan ini menetapkan bahwa seluruh data kalibrasi *Personalized Baseline* dan riwayat pemantauan dikelola murni menggunakan *Local Storage* atau *IndexedDB* bawaan peramban. Direncanakan pula integrasi gamifikasi berbasis kerangka *Octalysis* untuk menjaga motivasi pengguna.

2.3. Tahap Pemodelan (*Modeling*)

Tahap perancangan logika dan antarmuka sistem dituangkan secara visual menggunakan *Unified Modeling Language* (UML) dan *Wireframe*. Interaksi antara pengguna dan sistem dipetakan melalui *Use Case Diagram*, sementara arsitektur pemrosesan klien dipetakan untuk memperlihatkan alur data yang tidak melibatkan peladen eksternal. Logika komputasional dijabarkan menggunakan *Flowchart*, yang menguraikan proses ekstraksi koordinat matriks (Sumbu X, Y, Z) dan pengambilan keputusan.

Untuk meminimalisasi peringatan palsu (*false alarm*), algoritma tidak menetapkan derajat statis, melainkan mengekstraksi koordinat Sumbu Y dari *landmark* daun telinga dan bahu. Pada saat kalibrasi, perhitungan rata-rata jarak dikunci sebagai titik nol (*baseline* ideal) dengan persamaan matematis:

$$Baseline = \frac{(Y_{ear, left} - Y_{shoulder, left}) + (Y_{ear, right} - Y_{shoulder, right})}{2} \quad (1)$$

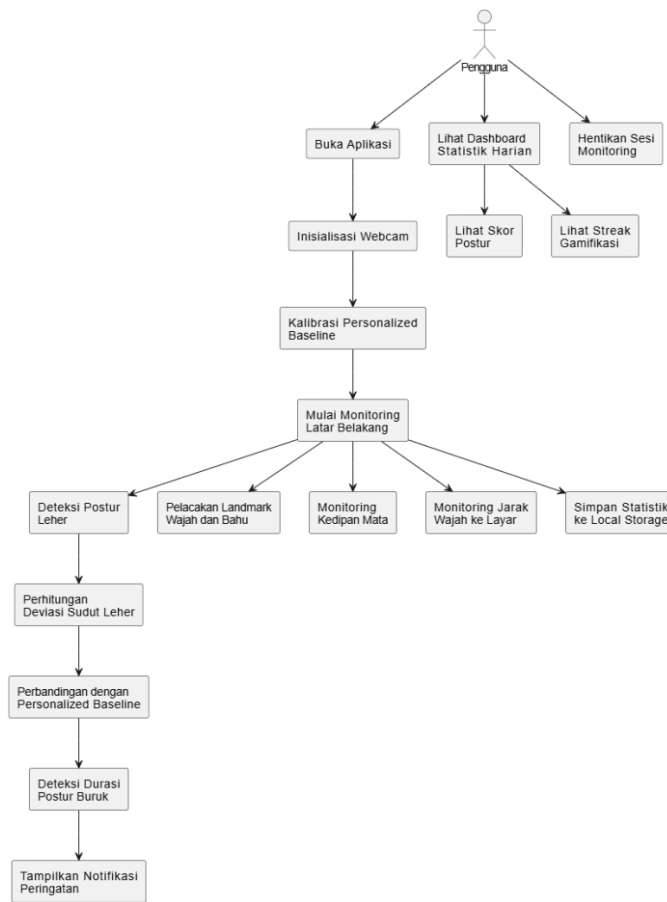
Keterangan:

- Y_{ear} = koordinat vertikal *landmark* telinga
- $Y_{shoulder}$ = koordinat vertikal *landmark* bahu
- *left* dan *right* = sisi kiri dan kanan tubuh pengguna

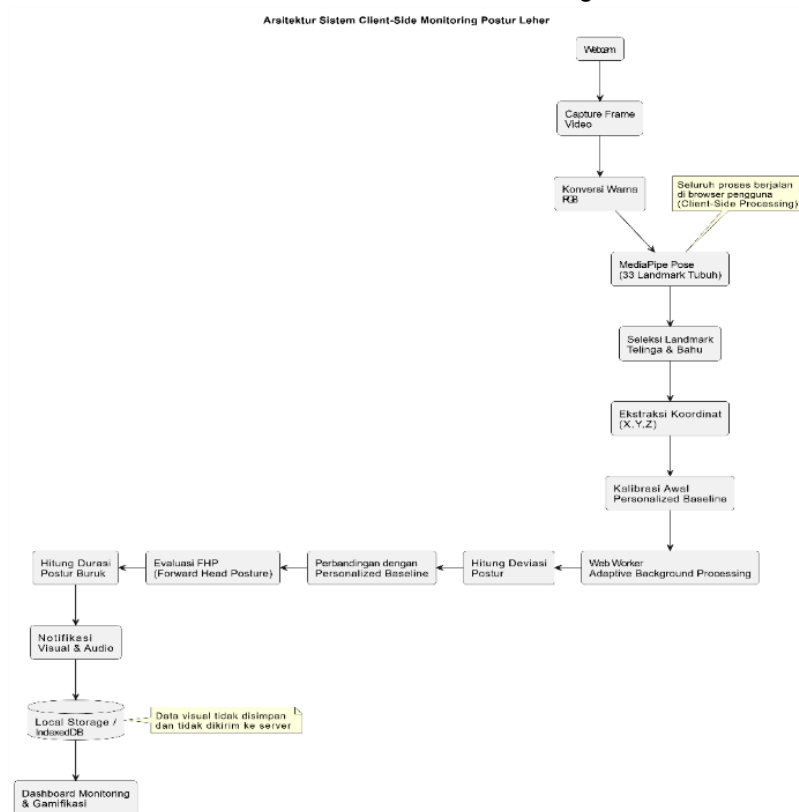
Selama fase pemantauan *real-time*, sistem akan secara kontinu menghitung persentase deviasi (D) antara posisi postur pengguna saat ini (*Current*) terhadap titik nol (*Baseline*) menggunakan pendekatan ambang batas dinamis (*Dynamic Thresholding*) dengan persamaan:

$$D = \left| \frac{Current - Baseline}{Baseline} \right| \times 100\% \quad (2)$$

Apabila persentase deviasi (D) melewati ambang batas yang ditoleransi (15%) selama durasi *buffer time* lebih dari 15 detik, algoritma akan menetapkan status *Forward Head Posture* (FHP) dan mengaktifkan notifikasi peringatan.



Gambar 1. Use Case Diagram



Gambar 2. Arsitektur Sistem Client-Side

2.4. Tahap Konstruksi (*Construction*)

Pada fase ini, rancangan pemodelan diterjemahkan menjadi perangkat lunak menggunakan standar HTML5, CSS3, dan JavaScript. Tangkapan aliran video dari *webcam* diinisialisasi secara stabil melalui protokol *Web Real-Time Communication* (WebRTC). Pustaka kecerdasan buatan dari *MediaPipe Pose Landmarker* diintegrasikan ke dalam JavaScript untuk mengekstraksi koordinat anatomi secara *real-time*. Sistem mengimplementasikan *Web Worker* sebagai mekanisme *Adaptive Background Processing* agar pemantauan tetap berjalan secara efisien di latar belakang menghindari *browser throttling*.

2.5. Tahap Pengujian dan Penerapan (*Deployment*)

Tahap akhir melibatkan pengujian purwarupa pada lingkungan kerja nyata sebelum didistribusikan. Untuk meminimalkan kompleksitas pengujian pada hal-hal yang di luar fokus pokok, evaluasi pada penelitian ini secara eksklusif dititikberatkan pada pengujian fungsionalitas sistem (validasi persyaratan fungsional utama). Pengujian dieksekusi menggunakan teknik eksperimen, di mana setiap fungsionalitas diuji melalui beberapa perlakuan (*treatment*) yang berbeda.

Skenario eksperimen dirancang untuk mengevaluasi bagaimana sistem merespons perubahan kondisi fisik dan durasi kerja pengguna. Skenario ini memetakan variabel yang diset (perlakuan) dan variabel yang diamati (hasil yang diharapkan), yang nantinya data hasil eksperimen tersebut akan diekstraksi dan dimaknai secara mendalam pada bagian hasil dan pembahasan.

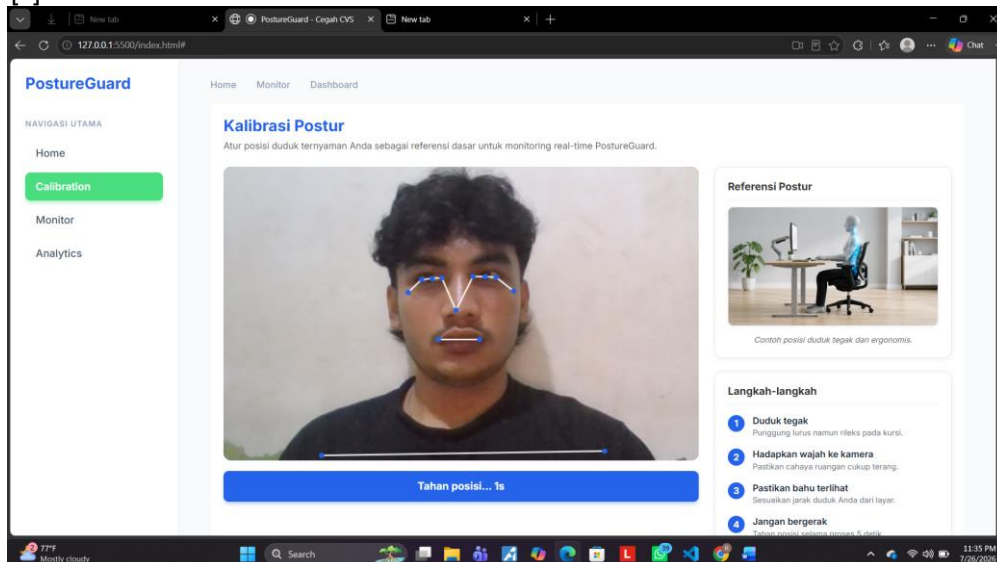
Table 1. Skenario Pengujian Fungsionalitas Sistem (Rancangan Eksperimen)

Skenario Pengujian (Fungsionalitas)	Variabel yang Diset (Perlakuan)	Variabel yang Diamati (Hasil yang Diharapkan)
Akurasi <i>Personalized Baseline</i>	Variasi postur alami saat kalibrasi: 1.Subjek dengan postur ideal (tegak). 2.Subjek dengan postur alami dengan bahu melengkung.	Ekstraksi Sumbu Y:Sistem berhasil menghitung rata-rata sudut leher absolut dan menguncinya sebagai titik nol yang spesifik untuk setiap subjek tanpa memicu <i>false alarm</i> .
Deteksi <i>Forward Head Posture</i>	Variasi derajat dan durasi menunduk: 1.Kepala menunduk ringan (10%) selama 20 detik. 2.Kepala menunduk tajam (>15%) selama 10 detik. 3.Kepala menunduk tajam (>15%) selama >15 detik.	Respons Peringatan:MediaPipe mencatat persentase deviasi secara akurat, mengaktifkan <i>timer</i> pelanggaran, serta memicu <i>pop-up</i> dan alarm audio hanya ketika batas toleransi terlewati.
<i>Adaptive Threshold Monitoring</i>	Variasi durasi sesi kerja pengguna: 1.Sesi kerja awal (<30 menit). 2.Sesi kerja panjang tanpa jeda (>2 jam).	Sensitivitas Batas Waktu:Sistem secara otomatis menyesuaikan (<i>adaptive</i>) batas waktu toleransi peringatan menjadi lebih singkat pada sesi kerja yang panjang.
Integrasi Gamifikasi & Dasbor	Variasi kepatuhan postur (siklus penilaian): 1.Sesi dengan banyak pelanggaran postur. 2.Sesi ideal tanpa pelanggaran <i>timer</i> .	Kalkulasi Rekam Jejak Lokal:Skor kesehatan bertambah atau berkurang secara proporsional, lencana (<i>badge</i>) terbuka untuk postur ideal, dan data tersimpan di <i>Local Storage</i> .

3. Hasil dan Pembahasan

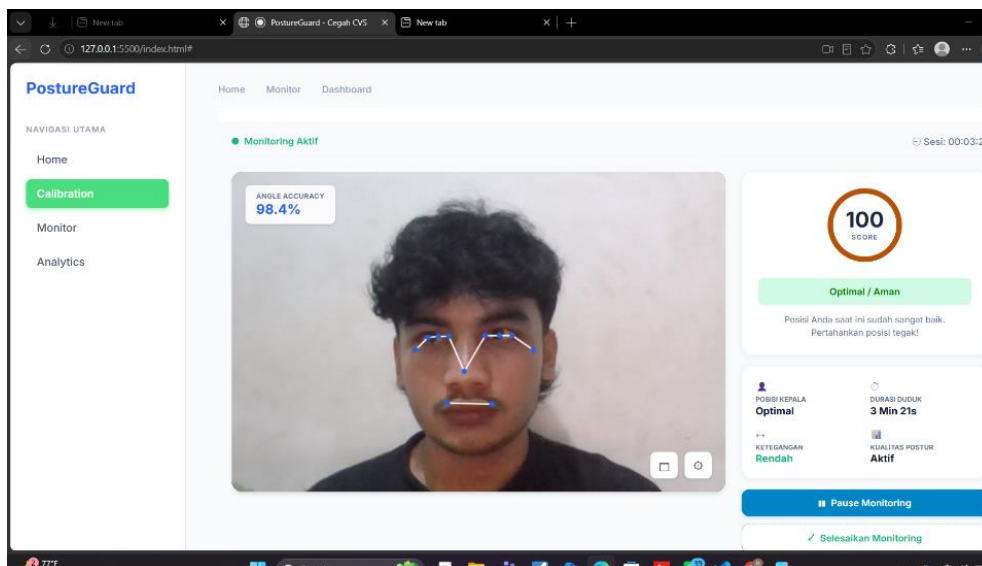
3.1. Implementasi Sistem

Aplikasi web preventif *Computer Vision Syndrome* (CVS) dibangun menggunakan pendekatan *Progressive Web App* (PWA) dengan pemrosesan visi komputer yang dieksekusi murni pada sisi klien (*Client-Side Processing*) [1]. Antarmuka aplikasi menerapkan konsep *Single Page Application* (SPA) yang memungkinkan transisi halaman yang mulus tanpa menginterupsi akses *webcam* dan hilangnya memori *cache* [2].



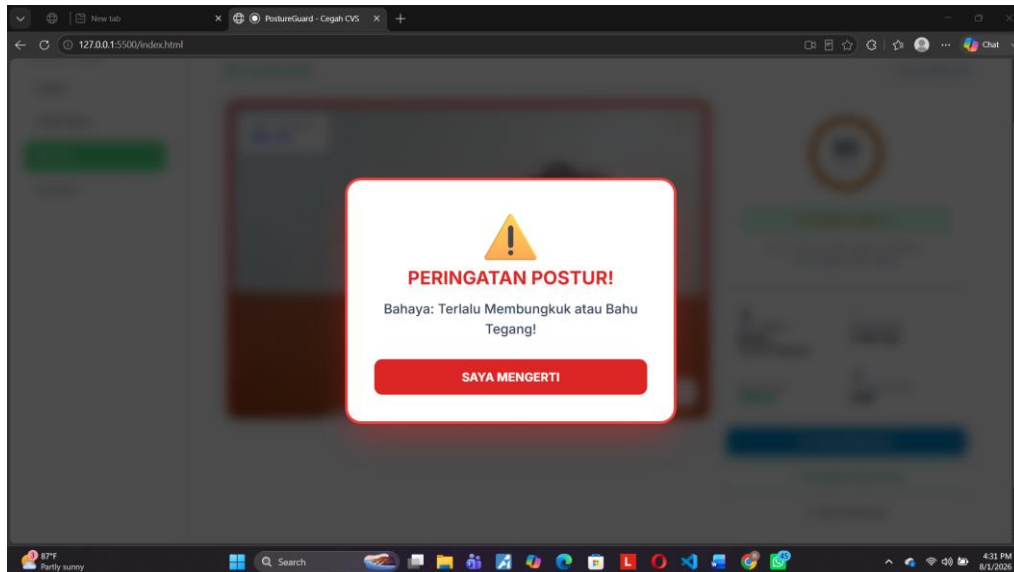
Gambar 1. Tampilan Halaman Kalibrasi Personalized Baseline

Halaman kalibrasi (Gambar 3) memandu pengguna untuk menetapkan posisi duduk ideal. Sistem akan merekam jarak vertikal antara *landmark* telinga dan bahu sebagai *baseline* personal [18].



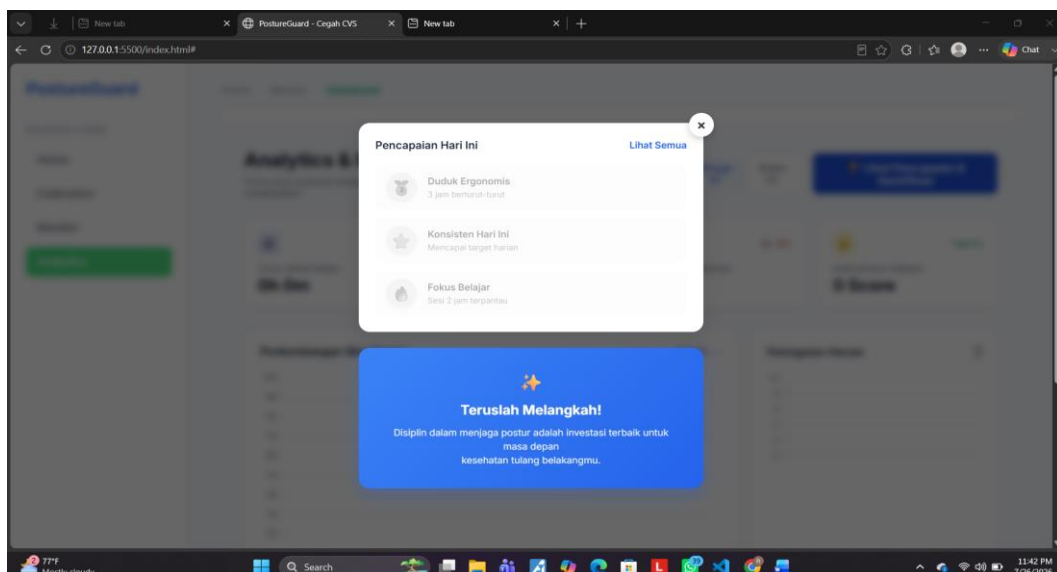
Gambar 2. Monitoring *Real-time*

Pada saat pemantauan berjalan (Gambar 4), sistem menggunakan algoritma MediaPipe Pose Landmarker untuk melacak koordinat wajah dan bahu secara terus-menerus di latar belakang. Jika sistem mendeteksi deviasi postur yang menyusut ke arah layar, perhitungan akumulasi durasi pelanggaran akan dimulai [19].



Gambar 5. Tampilan Notifikasi Peringatan Di Web

Apabila postur bertahan melampaui batas toleransi (15 detik), notifikasi peringatan akan muncul. Mekanisme ini terdiri dari peringatan visual (*pop-up*), peringatan audio (*chime*), dan peringatan sistem operasi (*Native Browser Notification*) yang tetap tampil meskipun pengguna sedang membuka *tab* atau perangkat lunak lain [6].



Gambar 6. Tampilan Dasbor Gamifikasi dan Pencapaian

Sistem juga dilengkapi dasbor gamifikasi dan analitik. Antarmuka ini menampilkan representasi visual dari riwayat postur harian, rekor hari beruntun (*streak*), serta lencana (*badge*) pencapaian guna mendorong retensi perilaku duduk ergonomis [14].

3.2. Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian (testing) dieksekusi pada lingkungan peramban Google Chrome dan Microsoft Edge menggunakan perangkat keras berstandar operasional pekerja digital, yakni prosesor setara Intel Core i3, RAM 8 GB, dan *webcam* bawaan dengan resolusi minimal 720p pada kecepatan 30 *frames per second* (fps). Untuk meminimalkan kompleksitas dan berfokus pada kebutuhan pokok, pengujian ini secara khusus memvalidasi fungsionalitas sistem melalui teknik eksperimen.

Setiap fungsionalitas diuji melalui beberapa perlakuan (*treatment*) yang berbeda untuk mengamati keandalan sistem. Data eksperimen dipetakan berdasarkan variabel yang diset (perlakuan fisik pengguna/kondisi sistem) dan variabel yang diamati (respons atau keluaran sistem).

Tabel 2. Hasil Eksperimen Pengujian Fungsionalitas Sistem

No.	Fungsionalitas Utama	Variabel yang Diset (Perlakuan)	Variabel yang Diamati (Hasil Sistem)	Status
1	Akurasi Personalized Baseline	Perlakuan 1: Subjek A dengan postur alami tegak dan leher panjang melakukan kalibrasi selama 5 detik. Perlakuan 2: Subjek B dengan postur alami dan bahu sedikit melengkung melakukan kalibrasi selama 5 detik.	Hasil 1: Sistem mengunci nilai referensi deviasi sumbu Y (jarak telinga–bahu) yang spesifik untuk Subjek A. Hasil 2: Sistem mengunci nilai referensi deviasi sumbu Y yang spesifik untuk Subjek B dan tidak memicu <i>false alarm</i> .	Valid
2	Deteksi Forward Head Posture	Perlakuan 1: Kepala menunduk dengan deviasi 10% selama 20 detik. Perlakuan 2: Kepala menunduk tajam dengan deviasi >15% selama 10 detik. Perlakuan 3: Kepala menunduk tajam dengan deviasi >15% selama lebih dari 15 detik.	Hasil 1: Sistem melacak deviasi dan mempertahankan status “Aman” karena belum melampaui <i>threshold</i> . Hasil 2: <i>Timer</i> pelanggaran aktif dan status UI berubah menjadi oranye, tetapi <i>pop-up</i> belum terpicu. Hasil 3: Peringatan visual berupa <i>pop-up</i> dan audio tereksekusi secara <i>real-time</i> .	Valid
3	Adaptive Threshold Monitoring	Perlakuan 1: Sesi kerja awal (<30 menit), pengguna menunduk tajam dengan deviasi >15%. Perlakuan 2: Sesi kerja panjang (>2 jam), pengguna menunduk tajam dengan deviasi >15%.	Hasil 1: <i>Pop-up</i> peringatan muncul setelah batas waktu toleransi normal, yaitu 15 detik. Hasil 2: Sensitivitas sistem meningkat secara <i>adaptive</i> , sehingga <i>pop-up</i> terpicu lebih cepat (<10 detik) untuk mengurangi risiko kelelahan.	Valid
4	Integrasi Dasbor dan Gamifikasi	Perlakuan 1: Sesi kerja dengan 5 kali pelanggaran durasi postur buruk. Perlakuan 2: Sesi kerja selama 1 jam tanpa pelanggaran durasi postur buruk.	Hasil 1: Skor kesehatan berkurang secara proporsional dan lencana tidak berhasil diraih. Hasil 2: Skor kesehatan tetap pada angka 100, lencana harian terbuka, dan <i>streak</i> tersimpan pada Local Storage.	Valid

3.3. Pemaknaan dan Interpretasi Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil eksperimen pada Tabel 2, performa fungsionalitas sistem memberikan implikasi yang mendalam terhadap upaya mitigasi klinis *Computer Vision Syndrome* (CVS) secara komputasional. Pemaknaan dari hasil pengujian tersebut dijabarkan sebagai berikut:

1. Pemaknaan Keberhasilan *Personalized Baseline* Eksperimen pertama membuktikan keunggulan metode *Personalized Baseline* dibandingkan sistem deteksi konvensional yang menggunakan ambang batas statis (*fixed threshold*). Pada sistem konvensional,

Subjek B (dengan bahu alami sedikit melengkung) akan terus-menerus menerima peringatan palsu (*false alarm*) karena sistem memaksakan satu sudut universal. Namun, eksperimen ini memvalidasi bahwa sistem mampu mentranslasikan konsep biomekanik ke dalam ruang 2D dengan cara merekam titik referensi personal. Dengan menjadikan anatomi awal masing-masing pengguna sebagai angka "nol", toleransi pergerakan dihitung secara relatif. Interpretasinya, sistem ini secara efektif mengeleminasi diskriminasi anatomi, menekan *false alarm*, dan pada akhirnya akan mencegah fenomena *alert fatigue* (kelelahan pengguna akibat alarm yang terlalu sering dan tidak akurat).

2. Pemaknaan Sensitivitas Deteksi dan *Adaptive Threshold* Eksperimen deteksi postur dan *adaptive threshold* menyoroti kemampuan sistem dalam memahami kondisi kognitif pekerja digital. Ketika durasi kerja semakin panjang (> 2 jam), tubuh pengguna akan mengalami kelelahan yang memicu fenomena pemblokiran kesadaran kinestetik (*cognitive blocking*), di mana otot servikal menahan beban asimetris tanpa disadari oleh otak. Keberhasilan algoritma *adaptive monitoring* dalam mempercepat waktu kemunculan alarm (dari 15 detik menjadi di bawah 10 detik pada sesi panjang) bermakna bahwa sistem tidak bekerja secara kaku. Sistem secara cerdas mengompensasi penurunan kesadaran fisik pengguna dengan meningkatkan frekuensi intervensi, sehingga siklus tegangan otot leher dapat diputus sebelum memicu nyeri berlebih.
3. Pemaknaan Fungsionalitas Gamifikasi Terhadap Perubahan Perilaku Pengujian fungsionalitas dasbor dan gamifikasi membuktikan bahwa sistem tidak hanya berfungsi sebagai "kamera pengawas", melainkan telah bertransformasi menjadi instrumen rekayasa perilaku (*habit-forming*). Keberhasilan alur pemotongan skor dan pembukaan lencana (*badge*) menginterpretasikan bahwa kerangka motivasi *Octalysis* berhasil direpresentasikan dalam format *client-side*. Secara psikologis, pemaknaan dari fitur ini adalah penciptaan dorongan pelestarian nilai (*loss avoidance*), di mana pengguna akan secara sukarela mengoreksi postur mereka untuk melindungi skor dan rekor konsistensi harian mereka, bukan semata-mata karena takut terhadap peringatan aplikasi.

3.4. Pembahasan

Bagian ini menginterpretasikan hasil pengujian dan mengeksplorasi temuan penelitian melalui analisis multidimensi yang dikomparasikan dengan konsep ilmiah serta literatur terdahulu.

1. Interpretasi Hasil dan Pencapaian Tujuan

Hasil pengujian membuktikan bahwa sistem yang dikembangkan telah berhasil menjawab tujuan utama penelitian, yakni menciptakan instrumen intervensi preventif *Computer Vision Syndrome* (CVS) yang bekerja secara adaptif dan *real-time*. Keberhasilan algoritma *Adaptive Background Monitoring* dalam mempercepat notifikasi peringatan pada sesi kerja yang panjang mengonfirmasi bahwa intervensi postur dapat dilakukan secara mulus (*seamless*) di tengah skenario *multitasking* dunia kerja nyata. Hal ini terbukti mampu memotong siklus postur buruk sebelum memicu ketegangan fisik yang lebih parah.

2. Rasionalisasi Faktor Hasil Penelitian

Tingginya akurasi deteksi dan turunnya angka peringatan palsu (*false alarm*) secara drastis pada sistem ini dirasionalisasikan oleh penerapan metode *Personalized Baseline* [18]. Pada sistem konvensional, tingginya kesalahan pembacaan disebabkan oleh pemaksaan satu sudut acuan bagi semua orang. Namun, algoritma pada penelitian ini menghitung toleransi pergerakan leher relatif terhadap kelengkungan alami tulang belakang dan proporsi antropometri unik pengguna itu sendiri [18]. Dengan demikian, pergerakan wajar seperti bernapas atau meregangkan badan tidak lagi terklasifikasi sebagai anomali FHP, yang secara langsung meningkatkan kenyamanan dan penerimaan pengguna terhadap aplikasi [6].

3. Perbandingan dengan Konsep Ilmiah

Temuan penelitian ini sangat sejalan dengan konsep biomekanik dan psikologi kognitif modern. Secara klinis, keparahan FHP diukur menggunakan instrumen *Craniovertebral Angle* (CVA) [9]. Karena CVA setiap individu bervariasi secara genetik, pendekatan *Personalized Baseline* pada sistem ini menjadi justifikasi komputasional

yang paling merepresentasikan evaluasi CVA personal di ranah klinis tanpa memerlukan prosedur medis [9]. Lebih jauh, fenomena postur buruk yang tidak disadari terjadi akibat hambatan kognitif (*cognitive blocking*) saat otak terbebani informasi dari layar [5]. Peringatan interaktif (*pop-up* dan *chime*) dari aplikasi ini bertindak sebagai *posture biofeedback* yang secara efektif memecah *cognitive blocking* tersebut dan mengembalikan kesadaran kinestetik pengguna [5]. Selain itu, integrasi dasbor gamifikasi terbukti mampu mempertahankan perilaku pengguna berdasarkan teori determinasi diri (*self-determination theory*), di mana pemenuhan target harian melalui kerangka Octalysis mendorong motivasi intrinsik untuk menjaga kesehatan [14].

4. Komparasi dengan Riset Terdahulu

Hasil penelitian ini memberikan pembaharuan dan diferensiasi yang tegas terhadap literatur sebelumnya. Sistem yang dibangun secara empiris mendukung dan memperkuat teori dari Odesola et al. [18] yang menyatakan bahwa umpan balik yang dipersonalisasi (*user-tailored methodology*) jauh lebih superior dibandingkan standar evaluasi tunggal dalam memantau kebiasaan postur [18]. Di sisi lain, hasil rancang bangun aplikasi ini memberikan temuan yang berbeda dan melampaui model klasifikasi algoritma statis (*fixed threshold*) yang digunakan dalam penelitian dari February et al. [8] serta Noorta et al. [17]. Di saat riset-riset tersebut rentan menghasilkan misklasifikasi bagi individu dengan bentuk tubuh yang berbeda, penelitian ini berhasil mengeliminasi celah tersebut melalui kalibrasi Sumbu Y yang dinamis [18]. Lebih lanjut, berbeda dengan sistem cerdas Vermander et al. [23] atau Rahim et al. [20] yang sangat bergantung pada sensor perangkat keras eksternal tambahan, sistem ini membuktikan bahwa intervensi postur yang presisi dapat dicapai murni melalui visi komputer nirsentuh (*contactless*) menggunakan lensa *webcam* bawaan [23].

5. Kontribusi bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan

Kontribusi krusial dari penelitian ini bagi rekayasa perangkat lunak kesehatan adalah pembuktian kelayakan arsitektur *Client-Side Processing* sebagai landasan utama pengembangan layanan (*eHealth*) di masa depan. Penelitian ini membuktikan bahwa pelacakan biometrik spasial berbasis *Machine Learning* tingkat lanjut tidak lagi mensyaratkan transmisi data komputasi ke *server* awan (*cloud*). Seluruh proses dapat diisolasi di dalam peramban (*on-device*), sehingga menjamin penerapan konsep *Privacy-Preserving Healthcare* secara absolut bagi pekerja digital (Abelard et al. [1]) [1]. Desentralisasi pemrosesan ini secara tidak langsung mendemokratisasi aksesibilitas intervensi medis; masyarakat dapat menerima pengawasan ergonomi kelas klinis dari perangkat laptop berstandar rendah tanpa memicu *overhead* komputasi [11].

6. Keterbatasan dan Peluang Penelitian Lanjutan

Kendati menawarkan akurasi intervensi yang tinggi, metode deteksi postur berbasis visi komputer dalam penelitian ini tidak terlepas dari batasan fisika optik. Performa ekstraksi *landmark* MediaPipe dihadapkan pada keterbatasan ketika digunakan pada kondisi lingkungan dengan tingkat pencahayaan ekstrem atau iluminasi di bawah 100 lux, selaras dengan tantangan penglihatan komputer pada umumnya (Risfendra et al. [21]) [21]. Sistem juga berpotensi mengalami interferensi pengenalan kerangka (*multiple persons interference*) apabila dioperasikan di ruang publik yang padat [21]. Oleh karena itu, peluang penelitian lanjutan sangat terbuka untuk mengembangkan modul prapemrosesan citra (*image pre-processing*) guna meningkatkan ketahanan deteksi di ruangan redup, serta mengimplementasikan logika penguncian wajah tunggal (*primary face tracking lock*) [10]. Selain itu, menambahkan mekanisme detektor sudut kemiringan lensa kamera (*camera angle calibrator*) akan semakin menyempurnakan pembacaan kedalaman (Sumbu Z) pada kalkulasi *Forward Head Posture* di skenario dunia kerja yang nyata [18].

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis, perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan aplikasi web pemantau postur leher secara *real-time* sebagai langkah preventif terhadap *Computer Vision*

Syndrome (CVS). Sistem ini terbukti efektif beroperasi secara langsung melalui peramban web menggunakan integrasi kecerdasan buatan *MediaPipe Pose Landmarker* tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak maupun perangkat keras tambahan. Penerapan metode *Personalized Baseline* pada sistem telah berhasil menekan tingkat peringatan palsu (*false alarm*) secara signifikan dengan cara merekam kondisi postur ideal setiap individu pada awal fase kalibrasi sebagai acuan ambang batas yang dinamis, sehingga evaluasi perubahan postur menjadi jauh lebih presisi dan adaptif terhadap variasi karakteristik anatomi pengguna.

Selanjutnya, mekanisme *Adaptive Background Monitoring* divalidasi keandalannya dalam mendukung aktivitas *multitasking* digital, memastikan pemantauan tetap berjalan secara berkesinambungan dan sangat efisien dari segi penggunaan sumber daya komputasi memori meskipun pengguna berpindah aplikasi atau menyembunyikan peramban di latar belakang. Proses rekayasa perangkat lunak yang sepenuhnya mengadopsi arsitektur *Client-Side Processing* juga telah memberikan jaminan perlindungan privasi yang mutlak, mengingat seluruh data tangkapan biometrik visual diproses secara murni di perangkat lokal dan langsung dihancurkan tanpa adanya transmisi ke peladen eksternal. Selain aspek deteksi, integrasi pendekatan rekayasa perilaku (*habit-forming*) melalui gamifikasi berbasis kerangka *Octalysis* berhasil diterapkan untuk memberikan umpan balik positif berupa skor kesehatan dinamis dan rencana pencapaian, yang secara holistik berfungsi meningkatkan retensi serta motivasi psikologis pengguna dalam mempertahankan kebiasaan duduk ergonomis secara berkelanjutan di era kerja digital.

Daftar Referensi

- [1] Y. Abelard, N. Nsangou, and R. Kumar, "Use of client-side machine learning models for privacy-preserving healthcare predictions - A deployment case study," *Studies in Health Technology and Informatics*, vol. 320, no. 1, pp. 292–306, 2025. <https://doi.org/10.3233/SHTI251408>
- [2] N. M. Adelin, M. A. Muhammad, P. B. Wintoro, and K. Akhir, "Implementasi progressive web apps (PWA) untuk meningkatkan kinerja dan performa situs Maritimepreneur," *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 1, pp. 655–663, 2024. <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3904>
- [3] S. Alma and M. Zahara, "Comparative analysis of computer vision syndrome (CVS) risk factors in digital-based elementary school students," *Indonesian Journal of Global Health Research*, vol. 7, no. 3, pp. 983–992, 2025.
- [4] A. F. N. Annisa, A. P. Maulana, K. W. Nasution, and H. Sulistiowaty, "Hubungan posisi duduk dengan kejadian forward head posture pada siswa SDN 02 Pekiringanalit," *Jurnal Ilmiah Kesehatan BPI*, vol. 10, no. 1, pp. 1–6, 2026.
- [5] J. L. Baer, A. Vasavada, and R. G. Cohen, "Posture biofeedback increases cognitive load," *Psychological Research*, vol. 86, no. 6, pp. 1892–1903, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00426-021-01622-2>
- [6] M. Broekhuis, L. Van Velsen, L. Peute, M. Halim, and H. Hermens, "Conceptualizing usability for the eHealth context: Content analysis of usability problems of eHealth applications," *JMIR Formative Research*, vol. 5, no. 8, pp. e18198, 2021. <https://doi.org/10.2196/18198>
- [7] F. Ccami-Bernal et al., "Prevalence of computer vision syndrome: A systematic review and meta-analysis," *Journal of Optometry*, vol. 17, no. 1, pp. 1–15, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2023.100482>
- [8] V. N. February, W. Izzul, W. Noor, and S. P. Kumaresan, "Real-time posture monitoring for effective exercise using MediaPipe Python," *Journal of Informatics and Web Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 10–22, 2026.
- [9] A. A. Fitri and U. B. Rahayu, "Craniovertebral angle and postural control in forward head posture: A narrative review," *Majalah Ilmiah Fisioterapi Indonesia*, vol. 14, no. 1, pp. 101–105, 2026.
- [10] S. S. Ghodke, P. D. Deshmukh, S. R. Bakal, and M. B. More, "MSAP-Net: A hierarchical multi-scale adaptive preprocessing framework for robust face recognition under occlusion and pose variations," *International Journal on Science and Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 1–24, 2025. <https://doi.org/10.71097/ijst.v16.i4.10026>
- [11] M. Hessam, P. Hosseinpour, A. Vaezipour, and M. Mehravar, "Development of an evidence-based progressive web app to promote exercise therapy and telemonitoring for individuals with

- patellofemoral pain syndrome: A usability study," Shiraz E-Medical Journal, vol. 23, no. 12, pp. e12345, 2022.
- [12] F. Kahal, A. Al Darra, and A. Torbey, "Computer vision syndrome: A comprehensive literature review," Future Science OA, vol. 11, no. 1, pp. 1–12, 2025. <https://doi.org/10.1080/20565623.2025.2476923>
- [13] A. Kaur, "Overview of Digital Image Processing," International Journal for Multidisciplinary Research, vol. 7, no. 2, pp. 384–388, 2025. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i02.38991>
- [14] S. Li et al., "Design requirements for gamified exercise apps for adults with prehypertension based on the Octalysis framework and self-determination theory: Qualitative interview study," JMIR Serious Games, vol. 14, no. 2, pp. e86793, 2025. <https://doi.org/10.2196/86793>
- [15] Y. Majeed et al., "Correlation of craniovertebral angle with Digital Eye Strain in e-sports players among university students of Mansehra and Abbottabad," Insights-Journal of Health and Rehabilitation, vol. 2, no. 1, pp. 288–296, 2024.
- [16] F. Mintarsih, D. R. Akbar, V. Amrizal, H. B. Suseno, and T. A. Zuraiyah, "Implementation of gamification in m-learning English apps using Octalysis framework," Komputasi: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer Dan Matematika, vol. 22, no. 1, pp. 97–107, 2025. <https://doi.org/10.33751/komputasi.v22i1.21>
- [17] C. Z. Noorta, M. F. Rais, M. I. Alfatrah, U. D. Fatmawati, and H. A. Danang, "Machine learning-based approach for evaluating physical fitness through motion detection," Jurnal Mandiri IT, vol. 14, no. 1, pp. 104–114, 2025.
- [18] D. F. Odesola, J. Kulon, S. Verghese, and A. Partlow, "A smart system for continuous sitting posture monitoring, assessment, and personalized feedback," Sensors, vol. 25, no. 3, pp. 1–24, 2025.
- [19] A. Prasatya et al., "Motion capture 3D wayang character with Pose Landmarks using MediaPipe," Journal of Software Engineering, Information and Communication Technology (SEICT), vol. 6, no. 1, pp. 21–32, 2025.
- [20] S. T. Rahim et al., "A sensor-based posture detection system towards ergonomic health improvement," Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, pp. 1–10, 2025. <https://doi.org/10.46254/BA08.20250059>
- [21] Risfendra et al., "Contactless infant height measurement for enhanced early detection of stunting using computer vision techniques," IEEE Access, vol. 13, no. 5, pp. 42364–42376, 2025. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3548159>
- [22] R. F. Setiawan, H. Z. Faidullah, and R. F. Alboneh, "Hubungan lama bekerja dengan kejadian computer vision syndrome pada pekerja pengguna komputer," Jurnal Ilmiah Kedokteran Dan Kesehatan, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 2025.
- [23] P. Vermander, A. Mancisidor, I. Cabanes, and N. Perez, "Intelligent systems for sitting posture monitoring and anomaly detection: An overview," Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, vol. 21, no. 1, pp. 1–26, 2024. <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01322-z>