

Perancangan Smart Wristband SAVIOR (Smart Assistance Vital Organ) Berbasis Artificial Intelligence (AI) untuk Deteksi Status Stres dan Klasifikasi Tekanan Darah Menggunakan Sinyal PPG



AKU CINTA DTETI

Anggota:
Muhammad Nafal Zakin Rustanto
Alfito Putra Parindra
Amelia Ocha Maharani
Yohanes Anthony Saputra

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

1. Pendahuluan & Latar Belakang

1.1. Latar Belakang Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam proyek ini berakar dari dua isu kesehatan modern yang saling terkait dan membutuhkan solusi pemantauan yang non-invasif dan berkelanjutan: Stres Kronis dan Hipertensi (Tekanan Darah Tinggi).

Permasalahan yang Diangkat

1. Bahaya Stres Kronis dan Keterbatasan Deteksi Subjektif

Stres kronis dikenal sebagai "pembunuh diam-diam" (*silent killer*) yang sering tidak disadari penderitanya hingga memicu gangguan kesehatan yang serius. Metode deteksi stres yang umum saat ini memiliki dua kelemahan fatal:

- **Subjektivitas:** Deteksi sering bergantung pada kuesioner, yang bersifat subjektif dan tidak dapat diukur secara *real-time*.
- **Bias Aktivitas Fisik:** Pengukuran indikator tunggal (seperti BPM) seringkali bias oleh aktivitas fisik biasa, yang menyebabkan *false positive*.

2. Kebutuhan Monitor Tekanan Darah (BP) yang Kontinu

Pengukuran tekanan darah, sebagai indikator risiko kardiovaskular, secara tradisional memerlukan alat berbasis manset (*cuff*) yang besar, intermiten, dan tidak nyaman untuk pemantauan berkelanjutan di luar lingkungan klinis. Keterbatasan ini menghambat deteksi dini fluktuasi tekanan darah yang dipicu oleh stres atau kondisi kesehatan lainnya.

3. Tantangan Kualitas Sinyal PPG

Meskipun sensor *Photoplethysmography* (PPG) dapat diintegrasikan dalam perangkat *wearable* (gelang pintar), sinyal yang dihasilkan rentan terhadap berbagai *noise* internal dan eksternal, terutama *motion artifacts* (artefak gerakan). *Noise* ini sangat menghambat akurasi ekstraksi fitur *Heart Rate Variability* (HRV) untuk stres dan fitur gelombang untuk estimasi BP.

Alasan Memilih Use Case Multimodal PPG

Pemilihan *use case* deteksi stres dan estimasi tekanan darah menggunakan **sensor PPG tunggal** dan **dua model AI terpisah** didasarkan pada alasan sebagai berikut:

- **Holistik dan Non-Invasif:** PPG memungkinkan pemantauan dua indikator kesehatan vital (mental dan kardiovaskular) secara simultan, berkelanjutan, dan non-invasif (tanpa jarum atau manset).
- **Efisiensi Sumber Daya:** Dengan menggunakan satu sensor (PPG) untuk melayani dua tujuan (Stres dan BP), biaya dan ukuran perangkat keras (BoM) menjadi minimal, memungkinkan perangkat yang sangat *compact* dan hemat daya.
- **Peningkatan Akurasi Melalui Denoising Lanjutan:** Proyek ini secara eksplisit mengadopsi metode *denoising* bertingkat (*two-step denoising*) seperti yang diajukan dalam literatur (OMDP) untuk memfilter *noise* dan memastikan sinyal yang bersih, sehingga meningkatkan akurasi kedua model klasifikasi (Stres) dan estimasi (BP).

- **Solusi *Multitask* Berbasis AI:** Penggunaan dua model AI (satu untuk klasifikasi Stres dan satu untuk Klasifikasi BP) memungkinkan sistem memberikan *feedback* yang spesifik dan bertarget, misalnya membedakan alarm kesehatan (Hipertensi) dengan notifikasi relaksasi (Stres).

Perumusan Tujuan Proyek

1. Masalah yang Ingin Diselesaikan

Penyakit kardiovaskular dan gangguan mental akibat stres sering kali saling berkaitan. Namun, alat pemantauan saat ini memiliki dua kelemahan utama:

- Terpisah dan Tidak Praktis: Deteksi stres umumnya menggunakan kuesioner subjektif, sementara pengukuran tekanan darah menggunakan manset (*cuff*) yang tidak nyaman dan tidak bisa dilakukan secara kontinu (*continuous monitoring*).
- Noise pada Sensor: Penggunaan sensor optik (PPG) pada perangkat wearable sangat rentan terhadap noise gerak dan artefak cahaya, yang menurunkan akurasi pembacaan.

Proyek ini bertujuan menciptakan sistem pemantauan kesehatan terpadu yang mampu mendeteksi tingkat stres dan mengestimasi tekanan darah (Sistolik/Diastolik) hanya dengan satu sensor optik (PPG), menggunakan metode pemrosesan sinyal OMDP (Orchestrating Multiple Denoising and Peak Detection) untuk membersihkan sinyal sebelum diolah oleh AI2.

2. Data yang Dikumpulkan sebagai Dataset Training

Untuk melatih model *Machine Learning*, proyek ini menggunakan dua sumber dataset utama:

- Untuk Deteksi Stres: Menggunakan dataset publik WESAD (Wearable Stress and Affect Detection). Dataset ini menyediakan sinyal PPG yang direkam saat subjek dalam kondisi netral, stres, dan mediasi, yang akan digunakan untuk melatih ekstraksi fitur HRV (*Heart Rate Variability*).
- Untuk Estimasi Tekanan Darah: Menggunakan dataset sekunder (Mendeley Data/MIMIC) yang berisi rekaman sinyal PPG dengan label nilai tekanan darah (Sistolik dan Diastolik) yang diambil secara klinis.

3. Output atau Respon Sistem Berbasis Hasil Prediksi AI

Sistem akan memproses sinyal PPG secara *real-time* dan memberikan respon berikut:

- Estimasi Numerik: Menampilkan nilai tekanan darah (mmHg) dan level stres (Skala 0-100) pada layar.
- Sistem Peringatan (Early Warning):
 - Jika terdeteksi Stres Tinggi, sistem akan memberikan notifikasi getar lembut untuk menyarankan relaksasi.
 - Jika terdeteksi Hipertensi (Tekanan darah di atas ambang batas normal), sistem akan memicu *buzzer* sebagai peringatan bahaya kesehatan.

4. Komponen Input & Output yang Digunakan

- **Input (Sensor):**
 - **Sensor PPG (MAX30102):** Sensor tunggal untuk mengambil data gelombang volume darah.
 - **ESP32:** Mikrokontroler untuk melakukan *preprocessing* sinyal (Filter frekuensi dan waktu) serta inferensi model AI.
- **Output (Aktuator & Display):**
 - **Layar OLED 0.96":** Menampilkan status emosi dan angka tensi darah.
 - **Buzzer/Vibration Motor:** Indikator alarm untuk kondisi abnormal.

Komponen yang Digunakan	Daftar lengkap hardware dan software yang dipakai
Dataset & Labeling (Stage 3 khusus)	Metode pengumpulan data, jumlah data, daftar label/kelas, contoh dataset
Skema Rangkaian	Foto wiring real atau sketsa rangkaian (boleh keduanya)
Alur Sistem	Diagram alur data: <i>Sensor → Dataset → Model → Prediksi → Output</i>
Penjelasan Logika Program	Penjelasan singkat kode utama (bukan paste code mentah)
Hasil Training Model	Accuracy, confusion matrix, precision/recall/F1, insight hasil model
Hasil Pengujian	Tabel skenario uji + hasil, foto output/serial, tampilan dashboard
Integrasi IoT + AI	Penjelasan MQTT/Serial, inference, serta output ke aktuator

Anggota Tim	Tanggung Jawab Utama	Deskripsi Tugas (Fokus Proyek)

Muhammad Nafal Zakin Rustanto	Pelatihan Model AI/ML (AI/ML Lead)	<p>Dataset Preparation: Mengolah dan membersihkan dataset WESAD dan dataset BP untuk pelatihan.</p> <p>Model Training: Melatih dan menguji dua model AI (Klasifikasi Stres dan Klasifikasi BP) menggunakan 1D-CNN.</p> <p>Optimasi Model: Melakukan <i>quantization</i> dan optimasi agar model dapat diimplementasikan (<i>deployment</i>) pada ESP32.</p>
Alfito Putra Parindra	Wiring & Arsitektur Komponen (Hardware Lead)	<p>Perancangan Skematis: Merancang diagram skematis koneksi antara ESP32, MAX30102, Motor Getar, dan Buzzer. *</p> <p>Wiring & Perakitan: Melakukan <i>wiring</i> (penyambungan) komponen pada <i>prototipe</i> fisik gelang.</p> <p>Alur Data: Mendefinisikan alur data fisik dari sensor hingga mikrokontroler.</p>
Amelia Ocha Maharani	Dashboard & Pelaporan (Documentation Lead)	<p>Pengembangan Dashboard: Merancang dan mengimplementasikan antarmuka visual (Web/Mobile App) untuk menampilkan output prediksi (Status Stres & Kategori BP).</p> <p>Laporan Proyek: Menyusun, mengedit, dan memfinalisasi seluruh dokumen laporan dan presentasi proyek. Kendala & Solusi</p> <p>Masalah teknis/non-teknis dan bagaimana tim menyelesaikannya</p>

Yohanes Anthony Saputra	Kode Hardware & Preprocessing Sinyal (Software Lead)	<p>Firmware ESP32: Menulis dan menguji kode untuk akuisisi data dari sensor MAX30102.</p> <p>Implementasi Preprocessing: Menerapkan algoritma <i>denoising</i> (filter <i>bandpass</i>, <i>peak detection</i>, dsb.) yang sesuai dengan metode OMDP pada <i>microcontroller</i>.</p>
--------------------------------	---	--

Kendala	Dampak Potensial	Solusi Mitigasi Tim
Keterbatasan atau Kegagalan Sensor	Beberapa sensor (misalnya PPG MAX30102) sulit mendapatkan sinyal yang bersih, atau sensor pengganti (jika MAX30102 gagal) memiliki akurasi yang lebih rendah.	<p>Implementasi Metode Denoising Kuat: Mengimplementasikan dua tahap <i>denoising</i> (filter frekuensi dan penghilangan artefak waktu, merujuk pada prinsip OMDP) yang dikerjakan oleh Yohanes Anthony Saputra (Kode Hardware). Hal ini dilakukan untuk memaksimalkan kualitas sinyal dari sensor yang ada.</p>
Keterbatasan Computational Power	Sulit menjalankan dua model <i>Deep Learning</i> (1D-CNN) sekaligus pada ESP32-C3 yang memiliki memori dan kecepatan terbatas.	<p>1. Model Quantization: Muhammad Nafal Zakin Rustanto (Training AI) akan melakukan <i>model quantization</i> (penyederhanaan model) agar dapat di-deploy menggunakan <i>framework</i> <i>TinyML</i> pada ESP32. 2. Klasifikasi Bergantian (Time-Slicing): Jika masih terlalu berat, sistem akan memproses data Stres dan data BP secara bergantian dalam <i>window</i> waktu yang berbeda (misalnya, Stres diproses setiap 5 detik, BP diproses setiap 10 detik).</p>

Pengembangan Lanjutan (Opsi)	Ide upgrade sistem selanjutnya
-------------------------------------	--------------------------------

Pengembangan Lanjutan Sistem (Opsi)

Pengembangan lanjutan proyek *Smart Assistance Wristband* ini diarahkan untuk meningkatkan akurasi (dengan menambah sensor) dan memperluas fungsionalitas (dengan *upgrade* model AI dan *user experience*).

A. Peningkatan Akurasi melalui *Multisensor Fusion*

Fase pengembangan lanjutan akan kembali mengadopsi konsep **multimodal** untuk mengatasi tantangan *noise* dan *false positif* yang melekat pada sensor tunggal.

1. Integrasi Kembali Sensor IMU (Deteksi Mikrotremor):

- **Ide Upgrade:** Mengintegrasikan kembali sensor **MPU6050** atau sejenisnya (yang sempat ada di ide awal) untuk mendeteksi **mikrotremor** (getaran halus tangan 8-12 Hz).
- **Manfaat:** Hasil dari Model 1 (Stres) dapat dikonfirmasi dengan data fisik (tremor). Hal ini akan secara drastis mengurangi *false positive* (misalnya: detak jantung naik karena lari vs karena cemas).

2. Penambahan Sensor EDA (Aktivitas Electrodermal):

- **Ide Upgrade:** Menambahkan sensor GSR (*Galvanic Skin Response*) atau EDA (*Electrodermal Activity*) untuk mengukur konduktansi kulit.
- **Manfaat:** EDA adalah indikator *gold standard* untuk aktivasi sistem saraf simpatik. Jika PPG (fisiologis) dan EDA (otonom) keduanya menunjukkan anomali, prediksi stres memiliki validitas klinis yang lebih tinggi.

B. Evolusi Model AI & Prediksi Lanjut

Mengubah output sistem dari sekadar klasifikasi menjadi prediksi yang lebih detail dan memiliki nilai klinis.

1. Estimasi Numerik Tekanan Darah (Regression Model):

- **Ide Upgrade:** Mengubah Model 2 dari model klasifikasi (Normal/Tinggi) menjadi **Model Regresi**.
- **Manfaat:** Model dapat memprediksi *nilai angka* tekanan darah Sistolik dan Diastolik (misalnya: 125/85 mmHg), bukan hanya kategori, yang memberikan informasi yang lebih akurat dan relevan untuk medis.

2. Prediksi Stres Proaktif (*Early Warning System*):

- **Ide Upgrade:** Mengganti arsitektur 1D-CNN (saat ini) dengan model *Recurrent Neural Network* (RNN) atau *Long Short-Term Memory* (LSTM).
- **Manfaat:** Model ini dapat menganalisis tren data HRV selama 10-20 menit ke belakang, memungkinkannya **memprediksi** potensi lonjakan stres/kecemasan *sebelum* mencapai kondisi akut.

C. Fungsionalitas Sistem dan UX (User Experience)

1. Sistem Feedback Adaptif (*Closed-Loop*):

- **Ide Upgrade:** Membuat *Vibration Motor* (sebagai output) memberikan pola getaran yang *adaptif* (menyesuaikan) dengan tingkat keparahan stres yang diprediksi oleh Model 1.
- **Contoh Implementasi:** Stres Ringan \rightarrow Pola getar bernapas yang lembut. Stres Akut \rightarrow Pola getar berulang yang lebih intens untuk memaksa perhatian pengguna.

2. Konektivitas dan *Logging* Kontekstual:

- **Ide Upgrade:** Menghubungkan ESP32 ke aplikasi *smartphone* untuk mengambil data konteks (GPS, kalender, atau aktivitas fisik) dan menggabungkannya dengan data kesehatan.
- **Manfaat:** Pengguna dapat melihat *log* kesehatan yang dikorelasikan dengan aktivitas atau lokasi (misalnya, "Stres selalu memuncak setiap hari Selasa jam 9 pagi di kantor X"), membantu identifikasi dan penanganan pemicu stres (*stress triggers*).