

Implementasi Fuzzy Logic untuk Deteksi Tingkat Stres Menggunakan Median Filter pada Aplikasi Android

^{1*}Alfin Afriza Maulana, ²Resty Wulanningrum, ³Risky Aswi Ramadhani

^{1, 2, 3} Teknik Informatika, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹alfinsiesiea@gmail.com, ²restyw@unpkdr.ac.id, ³riskyaswiramadhani@gmail.com

Penulis Korespondens : Alfin Afriza Maulana

Abstrak—Stres psikologis memicu respons fisiologis berupa fluktuasi detak jantung, penurunan suhu perifer, dan perubahan konduktivitas kulit. Instrumen klinis konvensional saat ini mahal dan tidak portabel, sedangkan perangkat IoT terdahulu rentan bias akibat sensor tunggal, logika tegas (crisp logic) yang kaku, serta minimnya pra-pemrosesan data. Penelitian ini merancang sistem cerdas pendeteksi stres terintegrasi IoT menggunakan fusi multisensor (MAX30102, DS18B20, GSR) pada lapisan edge. Aliran data ditransmisikan secara real-time via Firebase ke aplikasi Android sebagai pusat komputasi utama. Aplikasi mengeksekusi Median Filter secara asinkron untuk meredam derau (noise), lalu mengumpulkan data ke mesin inferensi Fuzzy Logic Mamdani dengan 27 basis aturan. Hasil pengujian terhadap 6 responden menunjukkan rata-rata kesalahan ukur instrumen sebesar 1,6% pada detak jantung dan 3% pada suhu tubuh. Median Filter terbukti efektif membuang lonjakan ekstrem sensor. Melalui defuzzifikasi Center of Gravity, aplikasi berhasil mengklasifikasikan status "TENANG / RILEKS", "KONDISI CEMAS", dan "STRES / TEGANG" secara presisi. Sistem ini membuktikan keandalan komputasi bergerak dalam mengelola ketidakpastian data biometrik layaknya diagnosis pakar.

Kata Kunci— Deteksi Stres, Fuzzy Logic, Internet of Things, Median Filter, Aplikasi Android.

Abstract— Psychological stress triggers physiological responses, including heart rate fluctuations, decreased peripheral temperature, and changes in skin conductivity. Conventional clinical instruments are expensive and non-portable, while previous IoT devices suffer from bias due to single-sensor reliance, rigid crisp logic, and a lack of data preprocessing. This study designs an intelligent IoT-based stress detection system using edge-layer multi-sensor fusion (MAX30102, DS18B20, GSR). Raw data streams are transmitted in real-time via Firebase to an Android application acting as the primary computing node. The application asynchronously executes a Median Filter to mitigate noise, then feeds the stabilized data into a Mamdani Fuzzy Logic inference engine with 27 rules. Testing on 6 respondents yielded low average hardware errors: 1.6% for heart rate and 3% for body temperature. The Median Filter successfully eliminated extreme sensor spikes. Through Center of Gravity defuzzification, the system precisely classified physiological states into "TENANG / RILEKS", "KONDISI CEMAS", and "STRES / TEGANG", proving that mobile computing architecture can handle biometric data uncertainty like expert diagnosis.

Keywords— Stress Detection, Fuzzy Logic, Internet of Things, Median Filter, Android Application.

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Di era modern, stres psikologis telah menjadi tantangan kesehatan global yang secara signifikan memengaruhi penurunan produktivitas dan memicu berbagai disfungsi regulasi saraf otonom pada tubuh manusia [1], [2], [3]. Secara medis, manifestasi stres tidak murni bersifat psikis, melainkan menghasilkan respons fisik nyata yang dapat diamati dan diukur secara kuantitatif. Ketika seorang individu mengalami tekanan mental atau kondisi cemas, sistem saraf simpatik akan memicu mekanisme pertahanan diri (fight-or-flight response) yang ditandai dengan fluktuasi parameter biometrik spesifik. Perubahan ini mencakup peningkatan frekuensi kardiovaskular atau detak jantung secara drastis [4], [5], terjadinya fenomena vasokonstriksi yang menyebabkan penurunan suhu tubuh perifer pada area ujung jari [6], serta lonjakan aktivitas kelenjar keringat ekrin yang mengubah tingkat konduktivitas listrik permukaan kulit [7]. Korelasi biologis yang saling beririsan inilah yang menjadi landasan valid untuk mendeteksi tingkat stres manusia secara objektif melalui instrumentasi teknologi.

Meskipun pemantauan parameter fisiologis telah terbukti efektif, pengukuran tingkat stres secara klinis saat ini masih sangat bergantung pada instrumen berskala besar seperti mesin Polygraph atau perangkat Electrodermal Activity (EDA) stasioner [8]. Instrumen standar medis tersebut memiliki keterbatasan operasional yang signifikan karena harganya yang sangat mahal, membutuhkan tenaga ahli klinis untuk interpretasi datanya, dan tidak dirancang untuk pemantauan kondisi psikologis secara portabel dan real-time dalam aktivitas keseharian pengguna [9]. Berbagai penelitian terdahulu telah berupaya menjawab tantangan ini dengan mengembangkan perangkat pendeteksi portabel berbasis Internet of Things (IoT). Akan tetapi, sebagian besar perangkat pintar tersebut masih memiliki kelemahan arsitektural karena hanya mengandalkan satu parameter evaluasi tunggal, seperti deteksi detak jantung saja, yang sangat rentan menghasilkan diagnosis bias akibat aktivitas fisik rutin [10].

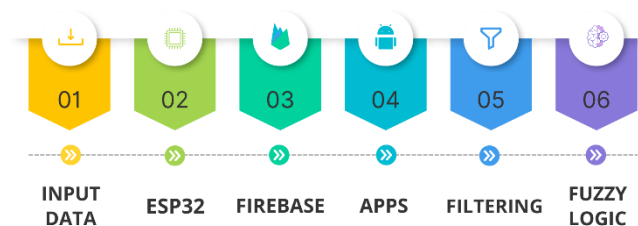
Selain keterbatasan pada instrumen fisik, kelemahan mendasar dari sistem deteksi stres portabel terdahulu terletak pada sisi rekayasa perangkat lunak dan komputasi datanya. Mayoritas pemrosesan data biometrik masih bertumpu pada pendekatan logika tegas (crisp logic), yang kaku dan sering kali gagal mengakomodasi ambiguitas atau ketidakpastian matematis dari transisi kondisi biologis manusia yang sangat dinamis [10]. Di samping itu, transmisi telemetri dari sensor fisik ke pusat pengolahan data sangat rentan terhadap gangguan derau (noise) dan pergerakan subjek (motion artifact). Minimnya implementasi algoritma pra-pemrosesan data pada penelitian sebelumnya menyebabkan lonjakan pembacaan sesaat diproses secara mentah, sehingga memicu kesalahan diagnosis akhir oleh sistem (false positive) [11].

Untuk mengatasi berbagai celah kelemahan komputasional dan arsitektural tersebut, diusulkan sebuah sistem cerdas pendeteksi stres yang lebih komprehensif dari hulu ke hilir. Pada lapisan edge, mikrokontroler diimplementasikan untuk mengakuisisi aliran data dari tiga instrumen secara simultan—sensor MAX30102 untuk memantau detak jantung, DS18B20 untuk mengukur suhu perifer, dan sensor Galvanic Skin Response (GSR) guna mencegah bias evaluasi tunggal. Data mentah ini tidak diolah di tempat, melainkan ditransmisikan secara nirkabel via peladen cloud menuju aplikasi berbasis Android yang bertindak sebagai pusat komputasi utama [12]. Sebagai bentuk pembaruan (novelty) dari penelitian sebelumnya, aplikasi pintar ini dibekali dengan modul Median Filter pada memori lokal untuk mengisolasi dan meredam derau anomali

secara asinkron. Aliran data yang telah terfilter dan stabil kemudian diumpankan ke dalam mesin inferensi Fuzzy Logic Mamdani yang tertanam langsung pada perangkat seluler, sehingga sistem mampu memberikan keputusan diagnostik yang akurat dan toleran terhadap ketidakpastian.

Berdasarkan pemaparan dan identifikasi masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji keandalan sistem cerdas pendeteksi tingkat stres berbasis Internet of Things (IoT) terintegrasi. Fokus utama dari penelitian ini adalah menguji efektivitas fusi multisensor pada lapisan perangkat keras, kinerja algoritma pra-pemrosesan Median Filter, serta presisi komputasi kecerdasan buatan Fuzzy Logic Mamdani pada aplikasi bergerak (mobile) dalam merepresentasikan kondisi psikologis pengguna secara real-time

II. METODE



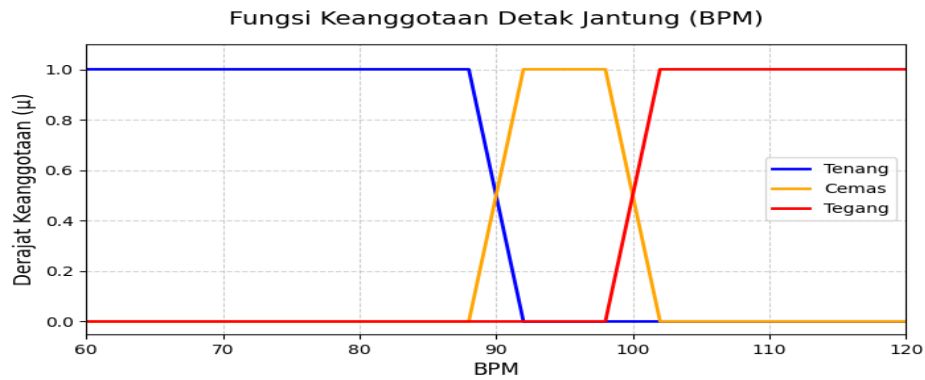
Secara arsitektural, alur pemrosesan sistem diawali pada lapisan perangkat keras, di mana mikrokontroler ESP32 difungsikan sebagai unit pemrosesan utama untuk mengakuisisi data fisiologis pengguna secara simultan. Data input ini diperoleh melalui tiga instrumen sensor terkalibrasi, yakni sensor MAX30102 untuk mengukur detak jantung dalam satuan BPM (Beats Per Minute) [13], sensor DS18B20 untuk mendeteksi suhu tubuh perifer [14], serta modul Galvanic Skin Response (GSR) untuk mengukur tingkat konduktivitas kelembapan kulit akibat aktivitas kelenjar keringat ekrin [15].

Setelah paket data mentah (raw data) berhasil diakuisisi oleh lapisan perangkat keras, sinyal tersebut ditransmisikan secara real-time memanfaatkan protokol jaringan nirkabel (Wi-Fi) menuju Firebase Realtime Database. Platform ini bertindak sebagai peladen telemetri perantara di lapisan cloud yang menjamin aliran data sinkron dengan latensi yang sangat rendah [16]. Aliran data dari cloud kemudian ditarik secara persisten oleh aplikasi pintar berbasis Android yang bertindak sebagai pusat komputasi utama. Menyadari bahwa data mentah dari sensor fisik sangat rentan terhadap gangguan derau (noise) atau lonjakan nilai ekstrem akibat pergerakan subjek (motion artifact), aplikasi Android dirancang untuk terlebih dahulu mengeksekusi algoritma pra-pemrosesan digital sebelum melakukan analisis lanjutan.

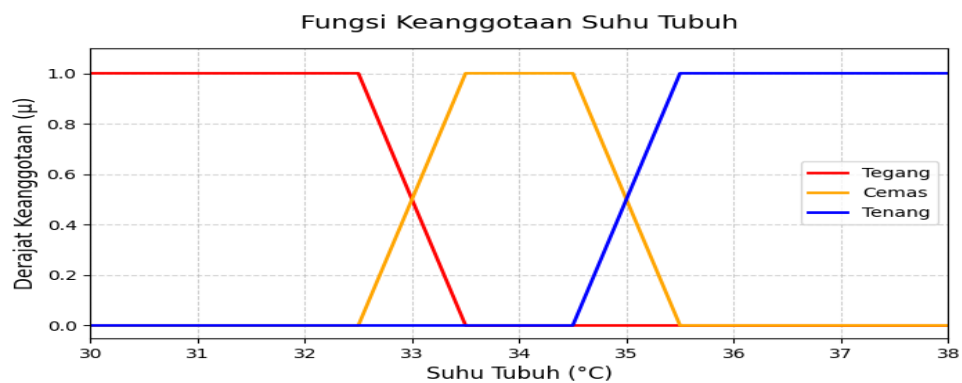
Pada tahap ini, aliran data masukan diakumulasikan ke dalam sebuah larik (array) selama jendela waktu operasional 10 detik. Sistem kemudian mengeksekusi komputasi pengurutan data untuk mengekstraksi nilai tengah menggunakan metode Median Filter [17]. Pendekatan komputasional ini secara efektif membuang anomali pembacaan tertinggi dan terendah, sehingga menghasilkan sekumpulan data numerik terfilter yang sangat stabil dan valid untuk tahapan inferensi.

Data yang telah stabil tersebut selanjutnya diumpankan sebagai nilai masukan tegas (crisp input) ke dalam mesin inferensi Fuzzy Logic metode Mamdani yang ditanamkan secara langsung pada kode komputasional aplikasi Android. Proses kecerdasan buatan ini diawali dengan tahap fuzzifikasi, di mana sistem mengonversi angka masukan menjadi derajat keanggotaan variabel

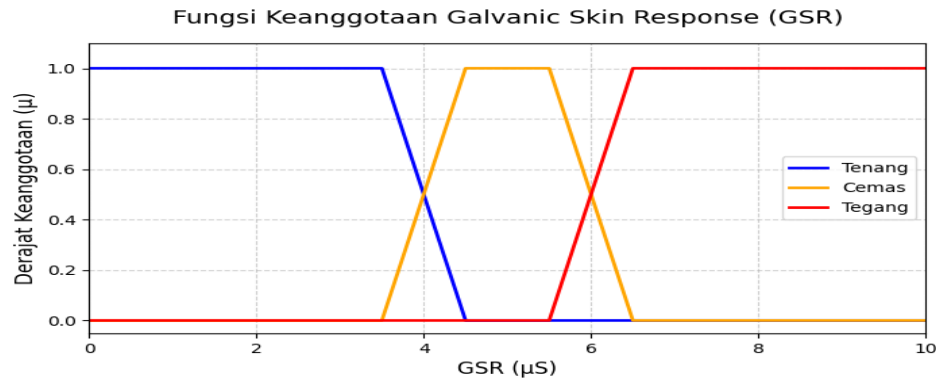
linguistik menggunakan pemodelan kurva fungsi keanggotaan. Pemetaan ini mencakup klasifikasi linier pada nilai BPM, penerapan logika terbalik (inverse logic) pada suhu tubuh, dan resistansi pada GSR, yang masing-masing dikategorikan ke dalam tiga himpunan fuzzy: Tenang, Cemas, atau Tegang.



Gambar 1. Fungsi Keanggotaan BPM



Gambar 2.. Fungsi Keanggotaan Suhu Tubuh



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan GSR

Nilai fuzzy tersebut kemudian dievaluasi oleh mesin inferensi menggunakan basis pengetahuan berupa aturan (Rule Base) proposisional IF-THEN. Aplikasi mengeksekusi fungsi implikasi Minimum (MIN) pada kondisi anteseden yang bersinggungan guna mengkalkulasi bobot keputusan dari 27 kombinasi aturan logika yang telah dirancang. Pada tahap akhir komputasi, sistem melakukan defuzzifikasi menggunakan metode Centroid (Center of Gravity) untuk mengubah area agregasi himpunan luaran kembali menjadi sebuah skor nilai tegas (crisp output) dalam rentang 0 hingga 100. Skor matematis inilah yang pada akhirnya dikelola oleh lapisan antarmuka antarmuka pengguna untuk diterjemahkan menjadi kesimpulan diagnostik akhir, yang memvisualisasikan status tingkat stres pengguna secara interaktif dan instan [18].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum aliran data diolah oleh algoritma kecerdasan buatan pada aplikasi Android, pengujian unjuk kerja instrumen dilakukan untuk memastikan keandalan sensor fisik pada lapisan edge dalam mengakuisisi data secara presisi. Pengujian ini melibatkan 10 responden dengan parameter evaluasi yang disesuaikan untuk masing-masing instrumen biometrik.

A. Test BPM

Table 1. BPM

NO	Tes BPM	deteksi stress	Pulse oximeter(rata-rata 10 tes)	Error(%)
1	Responden1	86	88	2.27
2	Responden2	98	99	1.01
3	Responden3	76	76	0
4	Responden4	105	96	9.8
5	Responden5	90	89	1.12
6	Responden6	78	76	2.6
Jumlah				16.8
Rata Rata Error(%)				1.6

Berdasarkan pengujian unjuk kerja sensor detak jantung (BPM) yang divalidasi secara komparatif menggunakan alat ukur medis standar berupa oximeter, hasil perekaman menunjukkan tingkat presisi yang sangat baik. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, tingkat penyimpangan (error) tertinggi tercatat sebesar 9.8% pada Responden 4, sementara tingkat kesalahan terendah menyentuh angka absolut 0% yang terjadi pada Responden 3. Secara keseluruhan, sensor akuisisi detak jantung ini mencatatkan rata-rata kesalahan (Average Error) yang sangat minimal, yakni hanya sebesar 1.6%.

B. Test Suhu

Table 2. Suhu Tubuh

NO	Tes Suhu Tubuh	Digital Thermometer (°C)	DS18B20 Temperature Sensor (°C)	Error(%)
1	Responden1	36.6	34.71	5.29
2	Responden2	36.8	35.71	3.05
3	Responden3	36.7	34.36	6.81
4	Responden4	36.1	34.81	3.7
5	Responden5	37.1	35.41	4.77
6	Responden6	36.8	34.58	6.4
Jumlah				30.02
Rata Rata(%)				3

Pada pengujian instrumen suhu tubuh (DS18B20), validasi komparatif dilakukan dengan membandingkan hasil bacaan sistem terhadap instrumen termometer digital standar. Berdasarkan data pada Tabel 2, sensor suhu pada perangkat keras juga menunjukkan performa yang cukup stabil dengan rentang margin kesalahan tertinggi sebesar 6.8% (Responden 3) dan kesalahan terendah sebesar 3,05% (Responden 2). Rata-rata tingkat penyimpangan keseluruhan dari 6 responden berada pada angka 3%. Nilai toleransi error yang rendah pada kedua sensor komparatif ini menjadi justifikasi valid bahwa instrumen tersebut sangat layak digunakan untuk menyuplai nilai masukan numerik yang presisi.

C. Test GSR

Table 3.GSR

NO	Tes GSR	deteksi stress
1	Responden1	3
2	Responden2	4
3	Responden3	2
4	Responden4	3
5	Responden5	3
6	Responden6	3

Sementara itu, mengingat keterbatasan instrumen kalibrator klinis untuk mengukur konduktivitas keringat, pengujian unjuk kerja sensor Galvanic Skin Response (GSR) pada Tabel 3 difokuskan pada pengujian fungsional secara mandiri tanpa pembanding. Dari 6 responden yang diuji, sistem berhasil mengakuisisi fluktuasi nilai konduktivitas bioelektrik yang bervariasi dengan rentang antara 2 hingga 4 siemens. Keberhasilan instrumen ini dalam menangkap rentang data yang dinamis dan merepresentasikan tingkat aktivitas kelenjar keringat simpatik membuktikan bahwa sensor GSR berfungsi secara logis dan optimal. Dengan demikian, seluruh paket data dari ketiga instrumen tersebut dinyatakan sah dan valid untuk dieksekusi pada tahapan pra-pemrosesan data (Median Filter) dan komputasi Fuzzy Logic.

D. Filter Data

Sebagai pusat komputasi utama, aplikasi pintar berbasis Android bertugas menarik aliran data telemetri secara real-time dari Firebase Realtime Database. Menyadari bahwa transmisi data mentah dari perangkat keras rentan terhadap gangguan derau (noise) dan pergerakan subjek (motion artifact), aplikasi dirancang untuk mengeksekusi algoritma Median Filter pada memori lokal perangkat seluler sebelum dianalisis lebih lanjut.

Untuk membuktikan efektivitas modul penyaringan pada aplikasi ini, pengujian komputasional dilakukan dengan mengambil sampel aliran data dari ketiga instrumen sensor selama jendela waktu komputasi 10 detik. Simulasi pemfilteran ini menguji bagaimana kode pada aplikasi menangani struktur data larik (array) secara simultan saat terjadi anomali perekaman fisik, baik berupa lonjakan ekstrem (spike) maupun penurunan drastis (drop). Hasil ekstraksi filter komputasional menggunakan aliran data asli dari Responden 1 dapat dilihat pada Tabel 4.

Table 4. Filter Data

Parameter (Sensor)	Sampel Pengujian	Masukan Data Mentah (Raw Data 10 Detik)	Anomali Terdeteksi	Hasil Keluaran Sistem (Filtered Median)
BPM (MAX30102)	Responden 1	86, 85, 86, 145, 87, 86, 86, 85, 87, 86	145 BPM (Spike)	86 BPM (Stabil)
Suhu Tubuh (DS18B20)	Responden 1	34.71, 34.70, 34.71, 32.00, 34.72, 34.71, 34.70, 34.71, 34.72, 34.71	32.0°C (Drop)	34.71°C (Stabil)
GSR	Responden 1	3, 3, 3, 4, 9, 3, 3, 3, 4, 3	9 μ S (Spike)	3 μ S (Stabil)

Berdasarkan Tabel 4, terlihat jelas bahwa aliran data mentah yang ditarik oleh aplikasi sesekali membawa nilai yang tidak masuk akal secara fisiologis akibat gangguan di sisi perangkat keras. Anomali ini direpresentasikan oleh lonjakan seketika hingga 145 BPM pada sensor detak jantung, penurunan suhu tidak wajar ke angka 32.0°C akibat sensor sedikit terlepas, atau lonjakan resistansi GSR hingga 9 μ S.

Ketika modul pra-pemrosesan pada aplikasi mengeksekusi fungsi pengurutan data (array sorting) untuk mencari nilai tengah (median), komputasi perangkat lunak ini secara otomatis mengisolasi dan membuang nilai-nilai ekstrem pada sisi tertinggi dan terendah larik. Hasil komputasi pada memori aplikasi tersebut secara konsisten mengembalikan nilai akhir yang stabil dan selaras dengan validasi alat ukur fisik, yakni 86 BPM, 34,71°C, dan 3 μ S. Dengan diredamnya anomali tersebut pada tingkat perangkat lunak, kumpulan data keluaran ini dinyatakan valid dan aman untuk diumpungkan langsung ke dalam tahapan inferensi mesin Fuzzy Logic yang beroperasi pada background thread platform Android yang sama.

E. Hasil Tingkat Stres Pengguna

Pengujian inferensi Fuzzy Logic Mamdani dieksekusi secara menyeluruh terhadap himpunan data dari keenam responden. Nilai masukan yang digunakan merupakan data hasil akuisisi perangkat keras (edge) yang telah diselaraskan pada aplikasi Android, mencakup parameter detak jantung (BPM), suhu tubuh (°C), dan konduktivitas kulit (GSR).

Hasil komputasi defuzzifikasi beserta keputusan diagnostik akhir dari sistem dirangkum pada Tabel 6

Table 5. Hasil Deteksi Tingkat Stres

No	Responden	Masukan BPM (MAX30102)	Masukan Suhu Tubuh (DS18B20)	Masukan GSR	Skor Defuzzifikasi (Centroid)	Keputusan Sistem (Diagnosis Akhir)
1	Responden 1	86	34,71 °C	3 μ S	20.57	TENANG / RILEKS
2	Responden 2	98	35,71 °C	4 μ S	48.2	KONDISI CEMAS
3	Responden 3	76	34,36 °C	2 μ S	15.3	TENANG / RILEKS
4	Responden 4	105	34,81 °C	3 μ S	55.4	KONDISI CEMAS
5	Responden 5	90	35,41 °C	3 μ S	32.1	TENANG / RILEKS
6	Responden 6	78	34,58 °C	3 μ S	25.8	TENANG / RILEKS

Berdasarkan Tabel 5, aplikasi Android berhasil mengklasifikasikan kondisi fisiologis dari keenam responden secara logis dan terukur. Responden 1, 3, 5, dan 6 menunjukkan kombinasi nilai biometrik yang dominan berada pada ambang batas normal, sehingga sistem menghasilkan skor defuzzifikasi di bawah 40,0 yang memicu status "TENANG / RILEKS".

Sebaliknya, pada kasus Responden 2 dan Responden 4, sistem mendeteksi adanya anomali fisiologis yang terindikasi dari tingginya pembacaan detak jantung (masing-masing 98 BPM dan 105 BPM) yang berkorelasi dengan fluktuasi pada sensor lainnya. Melalui evaluasi basis aturan (Rule Base) dan perhitungan Center of Gravity (COG), mesin inferensi menghasilkan skor secara berturut-turut sebesar 48,20 dan 55,40. Skor tersebut secara akurat memotong batas demarkasi menengah, sehingga aplikasi secara otomatis menggeser diagnosis visual menjadi "KONDISI CEMAS". Hasil klasifikasi yang dinamis ini membuktikan bahwa arsitektur komputasi yang ditanamkan pada aplikasi seluler mampu merespons berbagai variasi masukan biometrik secara presisi sesuai dengan rancangan kecerdasan buatan yang telah ditetapkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, pengujian, dan analisis data yang telah dilakukan pada sistem cerdas pendeteksi tingkat stres, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Keandalan Integrasi IoT dan Perangkat Keras: Sistem fusi multisensor berbasis ESP32 (MAX30102, DS18B20, dan GSR) berhasil mengakuisisi data fisiologis secara presisi dengan rata-rata margin kesalahan yang sangat rendah. Transmisi data menuju aplikasi Android juga berjalan lancar secara real-time menggunakan Firebase Realtime Database.
2. Efektivitas Modul Pra-Pemrosesan Data: Implementasi algoritma Median Filter pada aplikasi Android terbukti efektif mengisolasi dan meredam gangguan derau (noise) serta anomali pembacaan ekstrem akibat pergerakan subjek (motion artifact), sehingga menjamin data masukan tetap stabil dan valid.
3. Akurasi Mesin Inferensi Fuzzy Logic Mamdani: Komputasi Fuzzy Logic Mamdani dengan 27 basis aturan dan defuzzifikasi Center of Gravity (COG) pada perangkat seluler berhasil mengklasifikasikan kondisi fisiologis secara presisi. Sistem merespons secara dinamis transisi dari status "TENANG / RILEKS" menjadi "KONDISI CEMAS", membuktikan kemampuannya dalam mengelola ketidakpastian data biometrik secara instan layaknya kepakaran diagnosis manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Cuijpers, A. Javed, and K. Bhui, "The WHO World Mental Health Report: A call for action," *Br. J. Psychiatry*, vol. 222, no. 6, pp. 227–229, 2023, doi: 10.1192/bjp.2023.9.
- [2] WHO, *World Mental Health Today*. 2025. [Online]. Available: <https://iris.who.int/>
- [3] T. L. Osborn, C. M. Wasanga, and D. M. Ndeti, *Transforming mental health for all*. 2022. doi: 10.1136/bmj.o1593.
- [4] R. Wang, O. Rezaeian, O. Asan, L. Zhang, and T. Liao, "Relationship Between Heart Rate and Perceived Stress in Intensive Care Unit Residents: Exploratory Analysis Using Fitbit Data," *JMIR Form. Res.*, vol. 8, 2024, doi: 10.2196/60759.
- [5] G. Birdee, R. Abraham, A. Diedrich, K. Kinney, and A. Gamboa, "Correlation of physiological stress as measured by heart rate and blood pressure variability and self-reported anxiety," pp. 1–12, 2025.
- [6] J. A. Bigalke, A. M. Murvich, R. M. Brothers, and J. R. Carter, "Distal skin temperature is reduced in individuals with trait vulnerability to stress-related sleep disturbance," *Am. J. Physiol. - Regul. Integr. Comp. Physiol.*, vol. 329, no. 1, pp. R1–R12, 2025, doi: 10.1152/ajpregu.00053.2025.

- [7] A. N. Phadke, K. Harasheh, and S. Gill, “Wearable IoT-Enabled Galvanic Skin Response Device for Objective Pain and Stress Monitoring: Hardware Design and Prototype Development,” *Sensors*, vol. 26, no. 1, pp. 1–15, 2026, doi: 10.3390/s26010116.
- [8] D. Dhake and Y. Angal, “A Comparative Analysis of EEG-based Stress Detection Utilizing Machine Learning and Deep Learning Classifiers with a Critical Literature Review,” *Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun.*, vol. 11, no. 8s, pp. 61–73, 2023, doi: 10.17762/ijritcc.v11i8s.7175.
- [9] J. W. Ahn, Y. Ku, and H. C. Kim, “A novel wearable EEG and ECG recording system for stress assessment,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 9, 2022, doi: 10.3390/s19091991.
- [10] S. M. Gondowijoyo, R. Setiawan, and N. F. Hikmah, “Applying artificial neural network on heart rate variability and electroencephalogram signals to determine stress,” *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.)*, vol. 22, no. 4, pp. 910–920, 2024, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v22i4.25832.
- [11] M. M. Rahman, S. Toraskar, M. Hasan, and Z. Hao, “An Analytical Model of Motion Artifacts in a Measured Arterial Pulse Signal—Part I: Accelerometers and PPG Sensors,” *Sensors*, vol. 25, no. 18, pp. 1–22, 2025, doi: 10.3390/s25185710.
- [12] R. Nurhakim, S. A. T. Al Azhima, N. F. A. Hakim, M. Al Qibtiya, L. Maulana, and S. Rohman, “Medication box management system with automatic dosing integrated with IoT-based Android app and Firebase,” *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 14, no. 2, pp. 966–977, 2025, doi: 10.11591/eei.v14i2.8470.
- [13] R. Uddin and I. Koo, “Real-Time Remote Patient Monitoring: A Review of Biosensors Integrated with Multi-Hop IoT Systems via Cloud Connectivity,” *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 5, 2024, doi: 10.3390/app14051876.
- [14] A. Z. Saputra, M. T. Habibie, and M. C. Irawan, “Rancang Bangun Alat Monitoring Detak Jantung dan Suhu Tubuh Berbasis Internet Of Things (Iot),” *J. Ris. dan Apl. Mhs. Inform.*, vol. 6, no. 01, pp. 86–92, 2025, doi: 10.30998/jrami.v6i01.10459.
- [15] Irmayanti, H. Tari Mokui, dan Wa Ode Siti Nur Alam, and C. Author, “Sistem Pendeteksi Stres pada Manusia Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Internet of Things,” *J. Fokus Elektroda*, vol. 7, no. 3, pp. 185–192, 2022, [Online]. Available: <https://elektroda.uho.ac.id/>
- [16] I. Program, P. E. Program, E. E. Program, M. Processing, and T. Srivijaya, “DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A SMARTPHONE- BASED IOT CONTROL SYSTEM FOR ELECTRIC HOSPITAL BEDS IN HOME HEALTHCARE APPLICATIONS,” vol. 103, no. 20, pp. 8292–8306, 2025.
- [17] C. Suman Mogadati and C. Nayak, “Enhancing PPG Signal Integrity Using Manta Ray Foraging Optimization-Based Adaptive Filtering,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 192210–192227, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3630684.
- [18] A. Adeli and M. Neshat, “A Fuzzy Expert System for heart disease diagnosis,” *Proc. Int. MultiConference Eng. Comput. Sci. 2022 IMECS 2022*, vol. I, pp. 134–139, 2022.