**KAMPUS AKADEMIK PUBLISING**
**Jurnal Sains Student Research (JSSR)**
**Vol.4, No.6 Desember 2026**
e-ISSN: 3025-9851, p-ISSN : 3025-986X, Hal 503-510
DOI : https://doi.org/10.61722/jssr.v4i6.12949

# Smart Wearable IoT untuk Deteksi Jatuh dan Pemantauan Kesehatan Lansia Secara Real-Time

**Hanif Rahman Lubis[1*], Mhd. Basri[2]**
[1]Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jl.Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Medan, Sumatera Utara, Indonesia, 20238
[2]Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jl.Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Medan, Sumatera Utara, Indonesia, 20238
*Penulis Korespondensi: hanifrahman581@gmail.com

***Abstract.*** *The elderly population is highly susceptible to fall risks and requires continuous health monitoring. Limitations in manual monitoring can lead to delayed emergency responses, while existing visual monitoring solutions often present privacy concerns. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based smart wearable device to detect fall events and monitor heart rate in real time without utilizing visual cameras, thereby safeguarding user privacy. The system employs an ESP32-C3 microcontroller as the central control unit, integrated with an MPU6050 sensor to measure tri-axial acceleration and orientation changes for fall detection, alongside a MAX30102 sensor for heart rate monitoring in beats per minute (BPM). Processed sensor data is transmitted via Wi-Fi to Firebase Realtime Database for web dashboard display, while emergency fall alerts trigger an on-board buzzer and automated Telegram notifications to caregivers. Experimental results across 60 trial activities demonstrate that the MPU6050 sensor accurately classifies 58 activities with an average fall detection latency of 3.93 seconds. The MAX30102 sensor requires an average stabilization time of 8.8 seconds for reliable BPM readings, and Telegram alerts achieve an average response latency of 4.2 seconds. The developed system effectively enhances elderly safety, maintains user privacy, and accelerates emergency response intervention.*
***Keywords****: Elderly Safety; Fall Detection; Health Monitoring; Internet of Things (IoT); Smart Wearable.*

**Abstrak.** Populasi lansia sangat rentan terhadap risiko jatuh dan membutuhkan pemantauan kesehatan secara terus-menerus. Keterbatasan pemantauan manual dapat menyebabkan keterlambatan penanganan darurat, sementara solusi pemantauan visual sering kali menimbulkan masalah privasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan perangkat *wearable* cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mendeteksi kejadian jatuh dan memantau detak jantung secara *real-time* tanpa menggunakan kamera visual sehingga privasi pengguna tetap terjaga. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32-C3 sebagai unit kontrol utama yang diintegrasikan dengan sensor MPU6050 untuk mengukur percepatan tri-aksial dan perubahan orientasi guna mendeteksi jatuh, serta sensor MAX30102 untuk pemantauan detak jantung dalam satuan *beats per minute* (BPM). Data sensor yang diproses dikirimkan melalui Wi-Fi ke *Firebase Realtime Database* untuk ditampilkan pada *dashboard* web, sedangkan peringatan darurat saat jatuh akan mengaktifkan *buzzer* dan notifikasi Telegram otomatis kepada pengasuh. Hasil pengujian pada 60 skenario aktivitas menunjukkan bahwa sensor MPU6050 berhasil mengklasifikasikan 58 aktivitas dengan rata-rata latensi deteksi jatuh sebesar 3,93 detik. Sensor MAX30102 membutuhkan waktu stabilisasi rata-rata 8,8 detik untuk pembacaan BPM yang stabil, dan peringatan Telegram mencapai latensi respons rata-rata 4,2 detik. Sistem yang dikembangkan ini efektif meningkatkan keselamatan lansia, menjaga privasi, dan mempercepat intervensi penanganan darurat.
**Kata kunci**: Deteksi Jatuh; Internet of Things (IoT); Keselamatan Lansia; Pemantauan Kesehatan; Smart Wearable.

## 1. LATAR BELAKANG

Peningkatan populasi lansia secara global memberikan tantangan besar bagi sistem pelayanan kesehatan, terutama terkait penurunan fungsi motorik dan kerentanan fisik

*Naskah Masuk:01 Oktober 2026; Revisi: 02 Oktober 2026; Diterima: 04 Oktober 2026; Terbit: 07 Oktober 2026*

(WHO, 2021). Di antara berbagai risiko kesehatan yang dihadapi lansia, insiden jatuh merupakan salah satu ancaman paling kritis yang sering mengakibatkan cedera serius, perawatan rumah sakit yang lama, hingga disabilitas permanen jika tidak mendapatkan penanganan medis secara cepat (Ariyanti et al., 2025; Pilastri et al., 2025). Oleh karena itu, sistem pemantauan fisiologis dan peringatan darurat otomatis yang berkelanjutan menjadi sangat penting untuk menjamin keselamatan dan kesejahteraan mereka.

Pengawasan tradisional sangat bergantung pada pengawasan manual oleh anggota keluarga atau petugas kesehatan (Idris et al., 2023). Namun, pengawasan manual memiliki keterbatasan fisik dan rentan terhadap kelalaian manusia, terutama pada situasi darurat yang terjadi di luar jam perawatan aktif. Di sisi lain, meskipun sistem deteksi jatuh berbasis visi menggunakan kamera pengawas menawarkan kemampuan deteksi yang tinggi (Bakti et al., 2023), sistem tersebut sangat mengganggu privasi pengguna sehingga tidak cocok diterapkan pada ruang pribadi seperti kamar tidur atau kamar mandi.

Untuk mengatasi kendala privasi tersebut, berbagai penelitian mulai mengeksplorasi pendekatan sensor non-visual menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan perangkat *wearable* (Kartikasari et al., 2023; Syahfitri, 2025). Meskipun demikian, sebagian besar perangkat yang ada masih memiliki keterbatasan: berfokus secara terpisah pada deteksi jatuh saja (Fitriandini & Sari, 2025) atau pemantauan detak jantung saja (Bent et al., 2021), belum memiliki sinkronisasi data *cloud* secara *real-time*, atau memiliki latensi notifikasi yang tinggi. Hal ini menjadi celah penelitian (*gap analysis*) untuk mengembangkan satu perangkat *wearable* berdaya rendah yang mampu melakukan pemantauan multi-parameter sekaligus memberikan peringatan instan.

Untuk mengisi celah tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan perangkat *smart wearable* berbasis IoT yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32-C3. Sistem ini mengintegrasikan sensor gerak 6-sumbu MPU6050 (akselerometer dan giroskop) untuk deteksi jatuh serta sensor *photoplethysmography* (PPG) MAX30102 untuk pengukuran detak jantung. Data diproses secara lokal dan disinkronkan dengan *Firebase Realtime Database* untuk pemantauan web, serta peringatan jatuh dikirim secara otomatis melalui Telegram API. Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada penggabungan penginderaan ganda non-invasif dalam satu

bentuk perangkat gelang pergelangan tangan yang ringkas, dilengkapi notifikasi multi-saluran berlatensi rendah tanpa bergantung pada kamera visual.

## 2. KAJIAN TEORITIS

Penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam bidang kesehatan terus berkembang pesat untuk mendukung pemantauan kondisi pasien secara jarak jauh (Kartikasari et al., 2023; Wu et al., 2023). Pada pemantauan keselamatan lansia, penggunaan sensor pergerakan seperti akselerometer dan giroskop menjadi pendekatan utama untuk mengukur perubahan percepatan linier dan kecepatan sudut tubuh secara mendadak (Hutagalung & Fahruzi, 2025; Rahagung et al., 2023). Pendekatan algoritma berbasis ambang batas (*thresholding*) yang dipadukan dengan *Finite State Machine* (FSM) terbukti efektif dalam membedakan pergerakan aktivitas sehari-hari dengan kejadian jatuh yang sebenarnya.

Selain deteksi gerak, pemantauan parameter vital seperti detak jantung menggunakan teknologi optik *photoplethysmography* (PPG) memungkinkan pengukuran perubahan volume darah arteri secara non-invasif (Bent et al., 2021; Gu et al., 2026). Penggabungan kedua parameter ini memberikan gambaran kondisi fisik lansia secara lebih komprehensif saat terjadi insiden darurat. Sinkronisasi data menuju *database cloud* secara *real-time* serta integrasi dengan layanan perpesanan instan (seperti Telegram API) menjadi landasan penting untuk mempercepat respons penanganan darurat dari pihak pengasuh atau keluarga (Karar & Shehata, 2022; Tseng et al., 2025).

## 3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan alur kerja rekayasa sistem yang terstruktur, meliputi analisis kebutuhan, perakitan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, perancangan algoritma *state machine* deteksi jatuh, dan pengujian eksperimental secara kuantitatif.

Arsitektur sistem terdiri dari tiga subsistem utama:

1. Mikrokontroler ESP32-C3: Berfungsi sebagai unit pemrosesan pusat yang dilengkapi dengan konektivitas Wi-Fi terintegrasi.
2. Sensor MPU6050: Mengukur percepatan linier tri-aksial $(a_x, a_y, a_z)$ dan kecepatan sudut untuk menangkap benturan fisik mendadak serta perubahan orientasi tubuh.

3. Sensor MAX30102: Menggunakan *photoplethysmography* optik untuk mendeteksi perubahan volume darah arteri guna menghitung *Beats Per Minute* (BPM).
4. Buzzer & Modul TP4056: Menyediakan alarm suara lokal saat terjadi jatuh dan mengelola pengisian daya baterai Li-ion.
5. Firebase & Telegram API: *Firebase Realtime Database* menyimpan telemetri berkelanjutan, sedangkan Telegram API mengirimkan peringatan darurat ke *smartphone* pengasuh.

Mekanisme deteksi jatuh mengevaluasi besaran vektor total dari percepatan linier (a_total), yang dihitung berdasarkan akar kuadrat dari penjumlahan kuadrat percepatan sumbu x, y, dan z. Algoritma deteksi jatuh beroperasi pada Finite State Machine (FSM) yang terdiri dari empat status: IDLE, IMPACT, MOTIONLESS, dan CONFIRMED. Pada status IDLE, sistem terus memantau a_total. Jika a_total melebihi ambang batas benturan tinggi (TH_IMPACT=29,0〖" m/s" 〗^2), status berpindah ke IMPACT. Jika a_total kemudian turun di bawah ambang batas pasca-benturan (TH_MOTIONLESS=12,0〖" m/s" 〗^2) dalam rentang waktu tertentu (TO_IMPACT_MAX=600" ms" ), FSM berpindah ke MOTIONLESS. Jika pengguna tetap diam selama TO_MOTIONLESS=3000" ms" , status jatuh dikonfirmasi (CONFIRMED), yang kemudian memicu buzzer lokal dan pengiriman notifikasi.

Pengukuran detak jantung dari sensor PPG MAX30102 memanfaatkan puncak penyerapan cahaya inframerah. Interval waktu antara puncak denyut jantung berturut-turut menentukan detak jantung mentah. Untuk mengurangi artefak gerakan, filter Exponential Moving Average (EMA) diterapkan untuk menghaluskan fluktuasi BPM.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memuat proses pengumpulan data, rentang waktu dan lokasi penelitian, dan hasil analisis data (yang dapat didukung dengan ilustrasi dalam bentuk tabel atau gambar, **bukan** data mentah, serta **bukan** dalam bentuk *printscreen* hasil analisis), ulasan tentang keterkaitan antara hasil dan konsep dasar, dan atau hasil pengujian hipotesis (jika ada), serta kesesuaian atau pertentangan dengan hasil penelitian sebelumnya, beserta interpretasinya masing-masing. Bagian ini juga dapat memuat implikasi hasil penelitian, baik secara teoritis maupun terapan. Setiap gambar dan tabel yang digunakan harus diacu

dan diberikan penjelasan di dalam teks, serta diberikan penomoran dan sumber acuan. Berikut ini diberikan contoh tata cara penulisan subjudul, sub-subjudul, sub-sub-subjdul, dan seterusnya.

## A. Implementasi Perangkat Keras

Prototipe *wearable* berhasil difabrikasi ke dalam bentuk gelang tangan yang ringkas. Seluruh modul elektronik ditempatkan di dalam selungkup yang ringan sehingga nyaman digunakan selama aktivitas sehari-hari tanpa mengganggu pergerakan lansia.

## B. Kinerja Deteksi Jatuh MPU6050

Keandalan sistem dievaluasi melalui 60 skenario pengujian fisik pada 6 kategori aktivitas yang berbeda (masing-masing 10 kali pengujian). Hasil pengujian dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Klasifikasi Gerak MPU6050 dan Latensi Deteksi Jatuh

| No | Skenario Aktivitas | Jumlah Pengujian | Identifikasi Berhasil | Rata-rata Latensi (detik) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Berdiri Normal | 10 | 10 | - |
| 2 | Berjalan Normal | 10 | 10 | - |
| 3 | Duduk Normal | 10 | 10 | - |
| 4 | Simulasi Jatuh ke Depan | 10 | 9 | 3.8 |
| 5 | Simulasi Jatuh ke Samping | 10 | 10 | 4.1 |
| 6 | Simulasi Jatuh ke Belakang | 10 | 9 | 3.9 |
| Total / Rata-rata | | 60 | 58 (96.67%) | 3.93 |

Dari 60 kali pengujian, algoritma FSM berhasil mengklasifikasikan 58 aktivitas dengan tepat, mencapai tingkat akurasi keseluruhan sebesar 96,67% dan rata-rata latensi deteksi jatuh sebesar 3,93 detik dari benturan awal hingga konfirmasi status.

### C. Stabilisasi Detak Jantung dan Latensi Peringatan

Pengujian eksperimental pada sensor PPG MAX30102 menunjukkan waktu stabilisasi awal rata-rata selama 8,8 detik sebelum menghasilkan pembacaan BPM yang konsisten. Selain itu, pengiriman peringatan darurat melalui Telegram API mencatat rata-rata latensi respons sebesar 4,2 detik untuk seluruh peristiwa jatuh yang terkonfirmasi.

### D. Pembahasan

Evaluasi eksperimental mengonfirmasi bahwa penggabungan ambang batas percepatan dengan FSM secara signifikan mengurangi alarm palsu (*false alarm*) yang disebabkan oleh aktivitas harian seperti duduk dengan cepat. Dibandingkan dengan solusi berbasis visual, arsitektur *wearable* non-visual ini berhasil menjaga privasi penuh pengguna sambil mempertahankan akurasi deteksi yang tinggi dan latensi pengiriman peringatan yang singkat (< 5 detik).

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem smart wearable berbasis IoT untuk deteksi jatuh dan pemantauan detak jantung lansia telah berhasil dirancang, dibuat, dan dievaluasi. Sistem ini mencapai akurasi sebesar 96,67% dari 60 skenario pengujian dengan latensi deteksi jatuh rata-rata 3,93 detik. Sensor PPG membutuhkan waktu stabilisasi 8,8 detik, dan notifikasi darurat Telegram berhasil terkirim dengan rata-rata waktu 4,2 detik. Perangkat ini terbukti mampu meningkatkan keselamatan lansia dan menjaga privasi tanpa menggunakan kamera.

Saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah menambahkan modul GPS untuk pelacakan lokasi di luar ruangan (outdoor) serta mengoptimalkan konsumsi daya agar masa pakai baterai menjadi lebih lama. Keterbatasan penelitian ini meliputi ukuran sampel pengujian simulasi jatuh yang masih dapat diperluas pada lansia secara langsung di lingkungan klinis terawasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera

Utara (UMSU) atas penyediaan fasilitas laboratorium dan dukungan teknis selama penelitian ini berlangsung.

## DAFTAR REFERENSI

S. Ariyanti, F. Pramudia, and H. I. Fahreza, "Efektivitas Otago Home Exercise Programme Terhadap Risiko Jatuh Pada Lansia Di Daerah Perbatasan Indonesia Malaysia," *Jurnal NERS (Research & Learning in Nursing Science)*, vol. 8, pp. 1209–1215, 2025.

G. Bakti, P. Putra, P. H. Suputra, N. W. Marti, and K. F. Sugiantari, "Deteksi Jatuh Lansia Berbasis Landmark Sendi Pada Model LSTM," *JIP (Jurnal Informatika Polinema)*, pp. 261–266, 2023.

B. Bent, B. A. Goldstein, W. A. Kibbe, and J. P. Dunn, "Investigating sources of inaccuracy in wearable optical heart rate sensors," *Npj Digital Medicine*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2021.

M. Fernandes, V. Sousa, E. B. Cruz, J. P. Vilas-boas, and A. S. P. Sousa, "Differences in Trapezius Muscle H-Reflex between Asymptomatic Subjects and Symptomatic Shoulder Pain Subjects," *Sensors*, vol. 23, no. 5, p. 2541, 2023.

L. Fitriandini and K. Sari, "Fall Detector pada Lansia berbasis IoT Menggunakan Sensor MPU-6050 dan Sensor GPS Neo 6M," *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, vol. 8, no. 1, pp. 10–22, 2025.

B. Gu, H. S. Kim, H. Kim, and J. Yoo, "Advancements in Wearable Sensor Technologies for Health Monitoring in Terms of Clinical Applications, Rehabilitation, and Disease Risk Assessment: Systematic Review," *JMIR Mhealth Uhealth*, vol. 14, p. e76084, 2026.

Y. K. Hutagalung and I. Fahruzi, "Pengukuran Sinyal dari Sensor Accelerometer dan Gyroscope untuk Menentukan Gerak Jatuh pada Lansia Menggunakan Metode Ambang Batas (Threshold)," *Jurnal ELEMENTER (Elektro Dan Mesin Terapan)*, vol. 11, pp. 77–86, 2025.

F. Idris, D. Tri, P. Yanto, and M. Yuhendri, "Rancang Bangun Pemantauan Pergerakan Orang Lanjut Usia Berbasis Mikrokontroller," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 4, no. 2, pp. 601–608, 2023.

M. E. Karar and H. I. Shehata, "A Survey of IoT-Based Fall Detection for Aiding Elderly Care: Sensors, Methods, Challenges and Future Trends," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 14, p. 7182, 2022.

D. P. Kartikasari, T. Syahvina, R. Dini, P. S. Alhirani, and P. Mina, "Pengaruh Internet of Things (IoT) Dalam Bidang Kesehatan Terhadap Masyarakat Umum," *IJESPG Journal*, vol. 1, no. 3, pp. 21–26, 2023.

O. Manchadi et al., "An Internet of Things-based Predictive Maintenance Architecture for Intensive Care Unit Ventilators," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 15, no. 2, pp. 102–110, 2024.

Nofita, T. Wahyuningsih, E. Vilianti, and R. Astuti, "Penerapan Latihan Keseimbangan Dalam Menurunkan Risiko Jatuh Pada Lansia Di Desa Galanggang 2023," *Jurnal Keperawatan Budi Luhur*, vol. 24, pp. 1–9, 2023.

F. B. Pilastri, J. F. Lopez, E. N. Boateng, and N. R. Marques, "What to Know About Falls in Older Adults? Risk Factors, Predictors, and Therapeutic Interventions," *Healthcare*, vol. 13, no. 2, pp. 1–16, 2025.

H. Putra, Alimuddin, Suhartini, and W. Rizki, "Pengembangan Sistem Wearable Sensors untuk Digital Health Technology," *Jurnal Teknologi Kesehatan*, vol. 5, no. 2, pp. 1–10, 2025.

A. Syahfitri, "Internet of Things (IoT), Sejarah, Teknologi, dan Penerapannya," *URANUS: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains Dan Informatika*, vol. 3, no. 1, pp. 15–24, 2025.

A. Syahri and M. Basri, "Perancangan Sistem Keamanan untuk Deteksi Pencurian Menggunakan Sensor Magnetic dan RFID Berbasis Internet of Things," *Hello World Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 1, pp. 45–52, 2025.

N. Thombare, S. S. Kuber, V. Dhaigude, and P. Wale, "IoT Based Fall Detection and Alert System for Elderly People," *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology (IJSRCSEIT)*, vol. 11, no. 1, pp. 47–53, 2025.

J. Wu, Y. Wang, H. D. Wang, and L. Liao, "IoT-based wearable health monitoring device and its validation for potential critical and emergency applications," *Frontiers in Public Health*, vol. 11, p. 1188304, 2023.

World Health Organization, "Falls," 2021. [Online]. Available: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls.

Y. Yau, "The Technology Acceptance Model and Older Adults' Exercise Intentions — A Systematic Literature Review," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 12, pp. 1–15, 2022.

R. Rahagung, F. Gumilang, and A. Rahmawati, "Prototype Alat Pendeteksi Gerakan Jatuh Untuk Lansia Menggunakan Sensor Accelerometer MPU6050 Berbasis Internet Of Things," *Jurnal Pendidikan Vokasional Teknik Elektro (JVOTE)*, vol. 8, no. 1, pp. 18–25, 2023.

I. P. Sari, I. H. Batubara, M. Basri, and A. H. Hazidar, "Implementasi Deteksi dan Identifikasi Lokasi Kecelakaan pada Lansia berbasis Internet of Things (IoT)," *Infotek: Jurnal Informatika Dan Teknologi*, vol. 8, no. 1, pp. 102–111, 2025.

C. Tseng, S. Huang, and L. Kau, "Wearable Fall Detection System with Real-Time Localization and Notification Capabilities," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 12450–12462, 2025.

X. Wang et al., "Development of Broadband High-Frequency Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducer Array," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 68, no. 9, pp. 2950–2958, 2021.

A. Kartikasari et al., "Wearable Sensors for Digital Health Technology: A Review," *Sensors*, vol. 23, no. 12, pp. 5410–5428, 2023.