

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya populasi lanjut usia secara global, insiden jatuh telah menjadi salah satu tantangan kesehatan publik yang paling signifikan. Menurut data Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), jatuh merupakan penyebab utama kedua kematian akibat cedera yang tidak disengaja di seluruh dunia, dengan perkiraan 684.000 kematian setiap tahunnya, di mana lebih dari 80% terjadi di negara berpenghasilan rendah dan menengah (Guo dkk., 2024; Lin dkk., 2023; Villa & Casilari, 2025). Diperkirakan sekitar 28-35% individu berusia di atas 65 tahun mengalami setidaknya satu kali jatuh setiap tahun, dan angka ini meningkat hingga 32-42% bagi mereka yang berusia di atas 70 tahun (Tang dkk., 2023; Villa & Casilari, 2025). Dampak dari insiden ini sangat luas, tidak hanya menyebabkan cedera fisik serius seperti patah tulang dan cedera kepala, tetapi juga menimbulkan konsekuensi jangka panjang terhadap kemampuan fungsional. Sebuah studi menunjukkan bahwa jatuh secara signifikan meningkatkan risiko gangguan dalam melakukan Aktivitas Kehidupan Sehari-hari (*Activities of Daily Living* / ADLs), yang dapat bertahan selama bertahun-tahun dan mengurangi kemandirian lansia (Adam dkk., 2024).

Terlebih lagi, pertolongan yang terlambat setelah jatuh dapat berakibat fatal. Studi menunjukkan bahwa hingga 48% korban jatuh tidak mampu untuk bangkit sendiri, dan sepertiganya mungkin tetap berada di lantai selama lebih dari satu jam, yang secara drastis meningkatkan risiko komorbiditas dan mortalitas (Casilari dkk., 2020). Hal ini diperkuat oleh temuan bahwa sekitar 47% lansia yang tidak mampu bangkit setelah jatuh meninggal dalam waktu enam bulan, bahkan tanpa cedera serius (Ren & Peng, 2019). Fakta-fakta ini menggarisbawahi urgensi adanya sistem pemantauan yang dapat memberikan peringatan secara cepat dan akurat.

Kemajuan pesat dalam teknologi *Artificial Intelligence of Things* (AIoT) dan *edge computing* menawarkan paradigma baru untuk mengatasi masalah ini.

Penerapan *edge computing*, di mana pemrosesan data dilakukan secara lokal pada perangkat, menjadi solusi yang menjanjikan karena kemampuannya untuk memberikan respons deteksi secara instan, menjaga privasi pengguna, dan mengurangi ketergantungan pada konektivitas *cloud* (Miller De Toledo dkk., t.t.). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada tantangan teknis untuk mengoptimalkan algoritma *machine learning* agar dapat berjalan secara efisien pada perangkat dengan sumber daya terbatas, seperti mikrokontroler ESP32, guna menciptakan sistem pemantauan yang andal dan responsif (Noor Mohammad Rafee, t.t.).

Kondisi teknologi terkini untuk sistem deteksi jatuh (*Fall Detection Systems* / FDS) umumnya didominasi oleh perangkat *wearable* yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT). Namun, sebagian besar sistem yang ada saat ini masih mengandalkan arsitektur pemrosesan data terpusat berbasis *cloud* (Amir dkk., 2024). Dalam arsitektur ini, data sensor mentah dari perangkat *wearable* dikirimkan secara kontinu ke server *cloud* untuk dianalisis menggunakan algoritma *machine learning* yang kompleks (Moreira dkk., 2024).

Meskipun penelitian yang ada telah membuktikan efektivitas perangkat *wearable* dan pendekatan berbasis *cloud* memungkinkan penerapan model *machine learning* yang kompleks, arsitektur ini memiliki beberapa kelemahan fundamental. Kelemahan utama adalah latensi yang tinggi akibat proses pengiriman data ke server dan menunggu hasil analisis, yang dapat menunda notifikasi darurat secara signifikan (Miller De Toledo dkk., t.t.). Selain itu, sistem ini sangat bergantung pada ketersediaan koneksi internet yang stabil, membuatnya tidak andal di banyak lokasi, terutama di area dengan jangkauan sinyal yang buruk (Lousado & Antunes, 2020). Keterbatasan lainnya adalah konsumsi daya yang tinggi; transmisi data nirkabel secara terus-menerus menguras baterai perangkat dengan cepat, sehingga tidak praktis untuk pemantauan jangka panjang yang berkelanjutan (Villa & Casilari, 2025).

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan pergeseran paradigma dari *cloud computing* ke *edge computing*. Dengan memindahkan proses analisis data langsung ke perangkat *edge* (ESP32), berbagai

keunggulan signifikan dapat dicapai. Pertama, analisis yang dilakukan secara lokal akan meminimalkan latensi, memungkinkan deteksi dan pengiriman notifikasi darurat secara *real-time* (Miller De Toledo dkk., t.t.). Kedua, efisiensi energi dapat ditingkatkan secara drastis karena hanya informasi krusial, seperti hasil klasifikasi jatuh, yang perlu dikirimkan melalui jaringan (Villa & Casilari, 2025). Ketiga, penelitian ini mengusulkan sebuah arsitektur *hybrid* untuk mencapai akurasi tinggi dengan menyeimbangkan kecepatan metode berbasis *threshold* dan ketepatan *machine learning* (*Random Forest*) yang telah dioptimalkan untuk perangkat *edge*. Metode *threshold* berfungsi sebagai penyaring awal yang cepat dan hemat daya untuk mengidentifikasi potensi jatuh, sementara algoritma *machine learning* yang lebih kompleks hanya diaktifkan untuk memvalidasi kejadian tersebut, sehingga menciptakan keseimbangan optimal antara akurasi dan efisiensi komputasi (Saleh & Jeannes, 2019; Villa & Casilari, 2025). Oleh karena itu, penelitian ini diposisikan sebagai upaya optimasi sistem deteksi jatuh dengan berfokus pada implementasi AIoT di level *edge* untuk menciptakan solusi yang lebih responsif dan andal.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, teridentifikasi adanya kesenjangan antara kebutuhan sistem deteksi jatuh yang cepat dan andal dengan keterbatasan yang dimiliki oleh arsitektur berbasis *cloud* yang dominan saat ini, terutama dalam hal latensi, konsumsi daya, dan ketergantungan pada konektivitas. Meskipun *edge computing* menawarkan solusi potensial, implementasi algoritma *machine learning* yang akurat pada perangkat dengan sumber daya komputasi terbatas seperti ESP32 menjadi tantangan teknis utama. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk menjawab permasalahan tersebut melalui pertanyaan-pertanyaan penelitian berikut:

- 1) Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sebuah algoritma hybrid yang menggabungkan metode berbasis *threshold* dan *classifier Random Forest* pada platform mikrokontroler ESP32 yang memiliki keterbatasan komputasi untuk dapat melakukan deteksi jatuh secara *real-time*?

- 2) Seberapa tinggi tingkat akurasi sistem *hybrid* yang diusulkan dalam membedakan antara insiden jatuh yang sebenarnya dengan aktivitas sehari-hari (*Activities of Daily Living* / ADLs) yang berpotensi menimbulkan alarm palsu?
- 3) Bagaimana pengaruh implementasi sistem deteksi jatuh berbasis *edge computing* pada ESP32 terhadap latensi respons sistem, jika dibandingkan dengan arsitektur berbasis *cloud*?

1.3 Tujuan Penelitian

Selaras dengan rumusan masalah yang telah dipaparkan, penelitian ini memiliki tujuan umum dan khusus yang akan dicapai.

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan sebuah sistem deteksi jatuh lansia yang optimal berbasis *edge computing* pada platform AIoT, yang terbukti akurat dan memiliki respons cepat melalui pengembangan dan pengujian prototipe fungsional pada mikrokontroler ESP32.

Untuk mencapai tujuan umum tersebut, penelitian ini memiliki beberapa tujuan khusus, yaitu

- 1) Merancang dan membangun sebuah prototipe perangkat *wearable* yang mengimplementasikan algoritma deteksi jatuh *hybrid* pada mikrokontroler ESP32.
- 2) Mengukur dan memvalidasi tingkat akurasi dan keandalan sistem *hybrid* yang dihasilkan dalam membedakan secara presisi antara insiden jatuh dengan Aktivitas Kehidupan Sehari-hari (ADLs), dengan tujuan menghasilkan tingkat alarm palsu yang minimal.
- 3) Menganalisis kinerja kecepatan sistem dengan mengukur secara kuantitatif waktu komputasi dan waktu respons. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan arsitektur berbasis cloud untuk membuktikan keunggulan latensi dari pendekatan *edge computing* yang diusulkan. Menganalisis dan membandingkan secara kuantitatif latensi sistem dari arsitektur berbasis *edge computing* yang diusulkan terhadap model arsitektur berbasis *cloud*.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dari berbagai aspek, baik secara teoritis, praktis, maupun sosial.

1) Manfaat Teoritis

Penelitian ini memberikan kontribusi pada literatur ilmiah di bidang *wearable health monitoring* dan *edge computing*. Secara spesifik, penelitian ini mengisi kesenjangan pengetahuan dengan mendemonstrasikan kelayakan dan efektivitas implementasi algoritma *machine learning hybrid* pada mikrokontroler dengan sumber daya terbatas untuk aplikasi kesehatan kritis. Hasil penelitian ini akan memperkaya pemahaman tentang bagaimana menyeimbangkan kompleksitas model AI dengan keterbatasan perangkat keras untuk mencapai performa optimal, yang merupakan tantangan utama dalam pengembangan AIoT.

2) Manfaat Praktis

Secara praktis, prototipe yang dikembangkan dapat menjadi landasan untuk produk deteksi jatuh yang terjangkau, andal, dan efisien secara energi. Bagi para praktisi dan pengembang di industri teknologi kesehatan, hasil analisis mengenai akurasi dan latensi akan memberikan panduan teknis yang berharga untuk merancang perangkat serupa. Solusi ini menawarkan alternatif yang lebih unggul dibandingkan sistem berbasis *cloud*, terutama untuk pengguna di area dengan konektivitas internet yang tidak stabil.

3) Manfaat Isu dan Aksi Sosial

Pada level sosial, teknologi yang dihasilkan dari penelitian ini berpotensi meningkatkan kualitas hidup dan kemandirian para lansia. Dengan menyediakan sistem peringatan yang cepat dan andal, perangkat ini dapat mengurangi rasa cemas dan takut jatuh, yang sering kali membatasi aktivitas fisik dan interaksi sosial lansia. Dengan demikian, penelitian ini mendukung gerakan "*aging in place*", di mana lansia dapat tinggal di rumah mereka sendiri dengan aman dan nyaman lebih lama, sekaligus

mengurangi beban fisik, emosional, dan finansial bagi keluarga dan perawat.

1.5 Struktur Organisasi Skripsi

Sistematika penulisan skripsi ini disusun untuk memberikan kerangka yang logis dan terstruktur, dengan urutan

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi pengenalan terhadap penelitian yang mencakup latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan diakhiri dengan sistematika penulisan skripsi ini.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan landasan teori yang relevan dan menjadi dasar dalam penelitian. Topik yang dibahas meliputi konsep dasar deteksi jatuh (*fall detection*), *edge computing*, *Artificial Intelligence of Things* (AIoT), karakteristik platform ESP32, serta tinjauan algoritma deteksi jatuh yang ada, termasuk metode berbasis *threshold* dan *machine learning* seperti *Random Forest*.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan secara rinci langkah-langkah dan metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian. Bagian ini mencakup perancangan arsitektur sistem secara keseluruhan, desain perangkat keras (*hardware*), implementasi algoritma *hybrid* pada perangkat, serta metode pengujian dan evaluasi performa sistem.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan seluruh data dan temuan yang diperoleh dari hasil pengujian prototipe. Pembahasan akan berfokus pada analisis performa sistem berdasarkan metrik yang telah ditentukan, seperti akurasi deteksi, latensi respons, dan efisiensi konsumsi daya, serta membandingkan hasil tersebut dengan hipotesis yang diajukan.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi rangkuman kesimpulan dari keseluruhan hasil penelitian dan menjawab pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan. Selain itu, bab ini juga akan memberikan saran dan rekomendasi untuk pengembangan penelitian selanjutnya di masa depan.