

Pengukuran Sinyal dari Sensor *Accelerometer* dan *Gyroscope* untuk Menentukan Gerak Jatuh pada Lansia Menggunakan Metode Ambang Batas (*Threshold*)

Yogi Kristian Hutagalung¹, Iman Fahruzi^{2*}

¹ Prodi Teknologi Rekayasa Elektronika, Politeknik Negeri Batam, Batam 29461, Indonesia

² Prodi Teknologi Rekayasa Elektronika, Politeknik Negeri Batam, Batam 29461, Indonesia

*Corresponding Author: Iman@polibatam.ac.id

Riwayat Artikel

Diserahkan: 12 Juli 2025

Direvisi: 31 Juli 2025

Diterima: 24 September 2025

Dipublikasi: 30 November 2025

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat *wearable* pendeteksi jatuh bagi lansia menggunakan metode ambang batas (*threshold*). Risiko jatuh pada lansia merupakan masalah serius karena dapat menyebabkan cedera berat hingga kematian, terutama jika bantuan tidak segera diberikan. Sebagai kelompok rentan, lansia memerlukan solusi teknologi yang mampu mendeteksi kejadian jatuh secara cepat dan akurat untuk meningkatkan keselamatan mereka. Sistem ini memanfaatkan sensor *accelerometer*, *gyroscope*, dan *microphone* berbasis Arduino untuk mendeteksi gerakan jatuh melalui pengukuran percepatan dan tekanan. Perangkat ini dirancang dengan pendekatan ergonomis dan konsumsi daya rendah serta dilengkapi modul GSM yang secara otomatis mengirimkan notifikasi ke ponsel keluarga ketika kejadian jatuh terdeteksi. Pengujian dilakukan pada lansia dengan berbagai skenario gerakan, mencakup aktivitas jatuh dan normal. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi sebesar 92,85%, sensitivitas 91%, dan spesifisitas 97,5%, yang menegaskan kemampuan perangkat dalam membedakan gerakan jatuh dari aktivitas biasa. Dengan desain yang sederhana, efisien, dan andal, perangkat ini diharapkan menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan keselamatan lansia dan memudahkan keluarga dalam memantau risiko jatuh secara *real-time*.

Kata kunci: *Lanjut usia, threshold, kejadian jatuh, Accelerometer Gyroscope*

Abstract

The purpose of this research is to develop a fall detection wearable device for the elderly using the threshold method. The risk of falls in the elderly is a serious problem because it can cause severe injuries and even death, especially if help is not provided immediately. As a vulnerable group, the elderly require technological solutions that can detect falls quickly and accurately to improve their safety. This system utilises Arduino-based accelerometer, gyroscope and microphone sensors to detect falling motion through acceleration and pressure measurements. The device is designed with an ergonomic approach and low power consumption and is equipped with a GSM module that automatically sends notifications to family mobile phones when a fall is detected. Tests were conducted on elderly people with various movement scenarios, including falling and normal activities. The test results showed an accuracy rate of 92.85%, sensitivity of 91%, and specificity of 97.5%, confirming the device's ability to distinguish falling movements from normal activities. With a simple, efficient, and reliable design, the device is expected to be an innovative solution to improve the safety of the elderly and facilitate families in monitoring the risk of falls in real-time

Keywords: *Elderly, threshold, fall event, Accelerometer Gyroscope*

1. Pendahuluan

Terjatuh adalah peristiwa berbahaya bagi lanjut usia (lansia), di mana terjatuh dapat mengakibatkan dampak yang sangat serius. Orang dengan lanjut usia memiliki risiko jatuh lebih tinggi dari pada orang muda. Hasilnya juga sangat berbeda, jatuh pada lanjut usia dapat menyebabkan cedera fatal [1]. Hal ini juga disebabkan oleh fakta bahwa fungsi otak orang lanjut usia mulai menurun, yang mengakibatkan gangguan gerak, refleks, dan keseimbangan [2]. Lansia merupakan kelompok pada manusia yang telah masuk ke tahap akhir dari fase kehidupannya. Usia lansia adalah 60 tahun keatas [3]. Peningkatan jumlah lansia di dunia termasuk di Indonesia menandakan penuaan yang signifikan dengan proporsi lansia yang semakin tinggi. Indonesia termasuk lima besar negara dengan jumlah lansia terbanyak. Menurut data Kementerian Kesehatan RI tahun 2020, jumlah lansia di Indonesia sudah mencapai 28,8 juta jiwa setara dengan 11,34% populasi saat itu. Prediksi tahun 2025 perkiraan jumlah lansia di Indonesia mencapai 733 juta jiwa. Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2020 mencatat enam provinsi dengan jumlah lansia signifikan, termasuk Yogyakarta, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, Sumatera Barat, dan Sulawesi Utara yang memiliki 11,25% lansia dari total populasi [3].

Menurut [4] dalam populasi lanjut usia, jatuh merupakan peristiwa yang sering terjadi dan dapat memiliki konsekuensi serius. Jatuh bukan hanya menjadi penyebab utama cedera yang berujung pada kematian, tetapi juga menyebabkan cedera fatal dan trauma yang memerlukan perawatan medis [5]. Terutama dengan bertambahnya usia risiko osteoporosis meningkat yang dapat membuat tulang menjadi lebih rapuh dan rentan terhadap patah tulang akibat jatuh. Di antara berbagai jenis patah tulang yang mungkin terjadi, patah tulang panggul adalah yang paling berpotensi fatal dan secara signifikan mempengaruhi kualitas hidup seseorang.

Kejadian jatuh kecelakaan ini yang paling umum terjadi pada lanjut usia yang tinggal di rumah sendiri atau bersama keluarganya. Adapun tempat yang paling sering lanjut usia jatuh adalah di dalam rumah, mereka mungkin terjatuh di tangga, kamar mandi, ruang dapur, atau area yang penuh dengan perabotan dan barang-barang lainnya. Di luar rumah, mereka mungkin terjatuh di trotoar yang tidak rata, taman atau halaman belakang yang berlumpur atau berbatu, di jalanan saat berjalan kaki [6]. Menurut Pusat Pengendalian dan Pencegahan Penyakit, setiap tahun satu dari tiga orang lanjut usia mengalami jatuh. Jatuh dapat memiliki konsekuensi serius jika tidak segera ditangani, seperti patah tulang, cedera kepala, kecacatan, bahkan dapat meningkatkan risiko kematian [7]. Pengawasan dan penanganan menjadi sangat penting bagi lanjut usia yang memiliki risiko tinggi untuk jatuh. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pengawasan terhadap lanjut usia dan orang-orang dengan riwayat penyakit tertentu. Meskipun pengawasan umumnya dilakukan oleh anggota keluarga atau orang terdekat, namun proses tersebut sering kali memakan waktu seharian dan tidak semua anggota keluarga dapat mengawasi secara terus-menerus karena berbagai keterbatasan termasuk kesibukan lainnya. Maka dari itu, diperlukan sebuah perangkat atau sistem yang mampu memberikan notifikasi kepada keluarga apabila terjadi kecelakaan jatuh pada lanjut usia [6].

Saat ini, sistem pendeteksi jatuh sedang dalam tahap

pengembangan. Kebanyakan sistem ini memanfaatkan sensor optik (kamera), *Accelerometer*, serta kombinasi *Accelerometer* dengan *gyroscope*. Beberapa metode yang telah dikembangkan untuk mendeteksi orang yang jatuh, antara lain menggunakan metode ambang batas (*threshold*) dan pembelajaran (*machine learning*). Metode pembelajaran mesin memang memiliki tingkat akurasi yang tinggi, yang merupakan keunggulan utamanya. Namun, ada beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Metode ini cenderung memerlukan biaya komputasi yang besar, karena proses pembelajaran mesin membutuhkan pengolahan data yang kompleks. Selain itu, perangkat yang menggunakan metode pembelajaran mesin biasanya memiliki ukuran fisik yang lebih besar dan konsumsi energi yang tinggi, karena membutuhkan daya pemrosesan yang lebih besar [8].

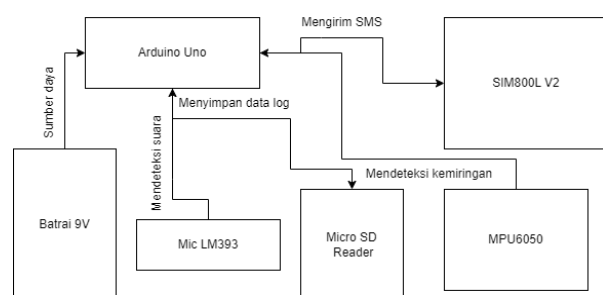
Di sisi lain, meskipun tingkat akurasi dari metode ambang batas (*threshold*) tidak sebaik metode pembelajaran *machine learning*, namun metode ini memiliki keunggulan tersendiri [7]. Metode ambang batas lebih cocok digunakan pada perangkat yang dapat dipakai sehari-hari dan memiliki konsumsi energi yang rendah [9]. Hal ini disebabkan karena perhitungan metode ambang batas relatif lebih sederhana dan dapat diimplementasikan pada perangkat dengan ukuran yang lebih kecil. Dengan demikian, meskipun mungkin tidak seakurat metode pembelajaran *machine learning*, namun metode ambang batas lebih sesuai digunakan untuk perangkat *wearable* dan konsumsi energi yang rendah [8],[10].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu perangkat yang dapat mendeteksi gerak jatuh pada orang yang berusia lanjut menggunakan Sensor *Accelerometer*, *gyroscope* dan sensor *microphone* berbasis arduino. Sistem ini menggunakan nilai keluaran dari sensor berupa percepatan dan tekanan. Hasil penelitian ini, bisa digunakan untuk mendeteksi gerak jatuh pada orang lanjut usia dan memberikan informasi mengenai kejadian jatuh kepada keluarga melalui notifikasi.

2. Metode

A. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

a) Blok Diagram Sistem

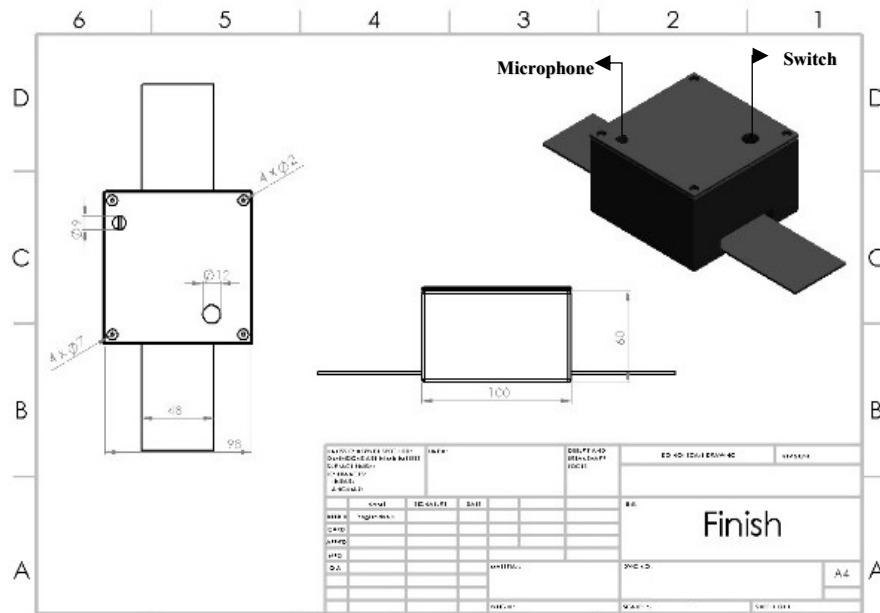


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Berdasarkan gambar 1 di atas, sistem pendeteksi jatuh lanjut usia bekerja dengan membaca perubahan akselerasi dan sudut menggunakan sensor MPU6050 (*accelerometer* dan *gyroscope*), yang menghasilkan data ACCx, ACCy, ACCz, Gyrox, Gyroy, dan Gyroz. Data tersebut diproses di Arduino UNO untuk dikalibrasi dan dihitung percepatan totalnya. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan ambang batas (*threshold*) yang telah ditetapkan.

Jika percepatan total berada di bawah dan melebihi ambang batas, serta terjadi perubahan orientasi yang cukup besar, sistem mendeteksi insiden jatuh. Setelah itu, sensor *microphone* mendeteksi suara seperti jeritan atau benturan keras, dan modul GSM mengirimkan pesan peringatan ke *smartphone* keluarga terdekat.

b) Rancangan Desain Mekanikal

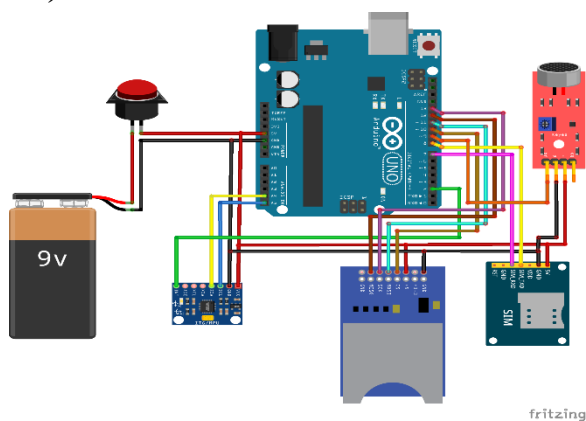


Gambar 2. Desain Mekanikal

Pada gambar desain atas gambar 2 terdapat dua komponen utama yaitu permukaan sensor *microphone* dengan diameter 9 mm dan tombol switch dengan diameter 12 mm. Pada desain tengah box terdapat komponen elektrik, seperti tempat PCB dan komponen elektronik lainnya. Desain pada gambar bagian bawah hanya menunjukkan tampilan polos. Sistem deteksi jatuh ini memiliki dimensi panjang box 10 cm, lebar 10 cm, 6 cm. Pada posisi kanan dan kiri box terdapat sabuk yang berfungsi untuk mengaitkan perangkat ini pada lengan atau pinggang pengguna.

B. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

a) Desain Elektrikal



Gambar 3. Desain Elektrikal

Gambar 3 menunjukkan desain elektrikal dari alat yang telah penulis buat. Dari gambar tersebut, terlihat beberapa komponen utama yang digunakan, yaitu Arduino Uno berfungsi sebagai mikrokontroler pada alat

ini, Modul GSM SIM800L yang digunakan untuk mengirimkan notifikasi dalam bentuk pesan singkat, Modul MPU-6050 yang berfungsi untuk mengambil nilai akselerasi dan perubahan sudut, sensor mikrofon yang mendeteksi suara lingkungan, serta modul SD card yang berfungsi menyimpan data dari sensor akselerometer dan gyroskop.

Penggunaan modul GSM SIM800L pada sistem ini juga didukung oleh penelitian sebelumnya yang menunjukkan efektivitas modul ini dalam mengirimkan peringatan atau notifikasi, seperti yang dilakukan [11]

b) Metode Ambang Batas (Threshold)

Metode ambang batas (*threshold*) adalah salah satu pendekatan yang digunakan dalam klasifikasi aktivitas jatuh dan aktivitas sehari-hari. Menurut [10], nilai ambang batas ditentukan dengan menganalisis total percepatan dan total orientasi dari gerakan aktivitas sehari-hari, di mana nilai maksimal dari analisis tersebut digunakan sebagai *threshold*. Dalam metode ini parameter yang digunakan meliputi Besaran *Accelerometer* (BA) dan Besaran *Gyroscope* (BG) yang mengukur total percepatan serta total kecepatan sudut atau orientasi.

Total percepatan dapat dihitung menggunakan persamaan (1), di mana ACC_x , ACC_y , dan ACC_z masing-masing merepresentasikan besaran percepatan gravitasi pada sumbu x , y , dan z

$$BA = \sqrt{(ACCx)^2 + (ACCy)^2 + (ACCz)^2}$$

Selanjutnya, total kecepatan sudut dapat dihitung menggunakan persamaan (2), di mana $GYROx$, $GYROy$, dan $GYROz$ masing-masing merepresentasikan kecepatan sudut pada sumbu x , y , dan z .

$$BG = \sqrt{(GYROx)^2 + (GYROy)^2 + (GYROz)^2}$$

Dalam penelitian ini mencakup tiga ambang batas yang digunakan untuk mendeteksi kecelakan jatuh yaitu :

- 1) ambang batas bawah pada sensor *accelerometer*
- 2) ambang batas atas pada sensor *accelerometer*
- 3) ambang batas atas pada sensor *gyroscope*

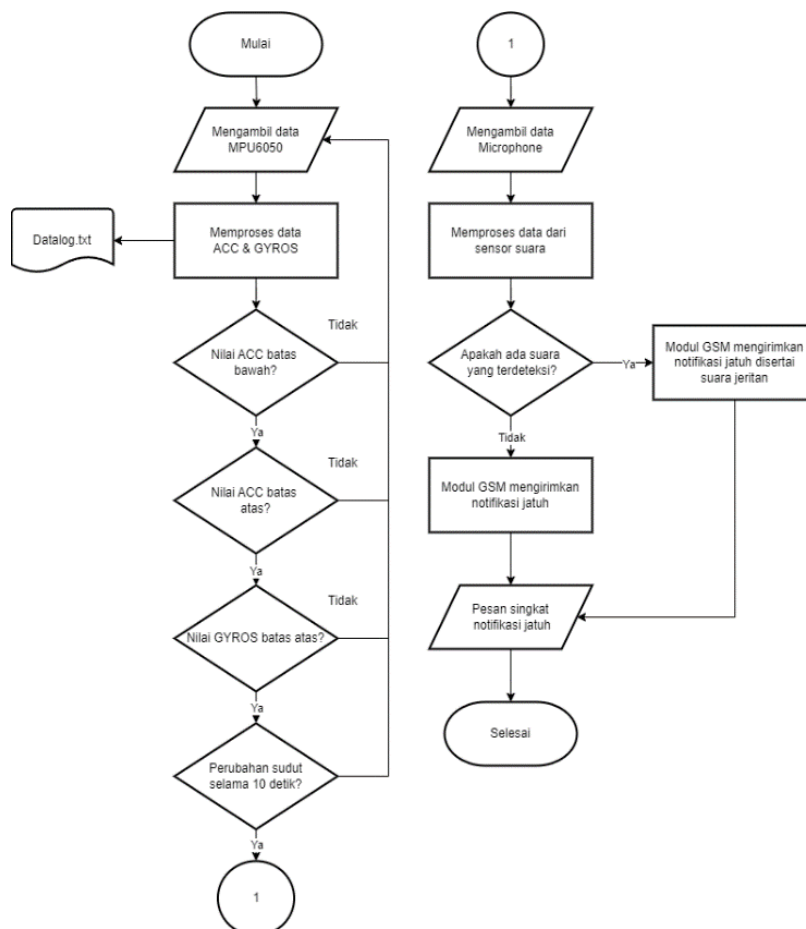
Sistem pendeteksi jatuh ini data yang diperoleh dari sensor seperti *accelerometer*, *gyroscope* akan diproses menggunakan algoritma pendeteksi jatuh berbasis metode *threshold* yang telah ada [10],[7]. Sementara itu, sensor *microphone* membaca nilai biner, yaitu 0 dan 1, yang menunjukkan status tertentu dalam proses deteksi jatuh seperti gambar 4.

c) Spesifikasi Ambang Batas Deteksi Gerak

Sistem deteksi gerak yang dikembangkan menggunakan dua parameter, yaitu Besaran *Accelerometer*(BA) dan Besaran *Gyroscope* (BG). BA merepresentasikan intensitas percepatan tubuh berdasarkan data *accelerometer*, sementara BG mencerminkan perubahan sudut tubuh berdasarkan data *gyroscope*. Untuk mengklasifikasikan jenis gerakan, sistem menerapkan ambang batas yang dirangkum dalam tabel 1. Nilai ambang batas ini dirancang berdasarkan hasil pengujian gerakan tubuh menggunakan sensor MPU6050.

Tabel 1. Spesifikasi Ambang Batas Deteksi gerak

Jenis gerakan	Nilai BA(Besaran Accelerometr)	Nilai BG (Besaran Gyroscope)	Keterangan
Gerakan biasa	BA < 5 (ambang batas bawah)	BG < 30	Aktivitas normal, seperti berdiri atau berjalan pelan. Tidak ada indikasi jatuh



Gambar 4. Flowchart Sistem

Gerakan berpotensi jatuh	> 5 BA < 10	BG >30	Gerak intensitas sedang, seperti perubahan posisi cepat, tetapi belum dianggap jatuh
Gerak jatuh	BA > 10 (ambang batas atas)	BG >30	Jatuh pada lansia didefinisikan sebagai kondisi ketika badan dan tangan sudah menyentuh lantai atau permukaan lainnya

d) Rancangan Pengujian Jatuh

Dalam penelitian ini, saya menerapkan parameter spesifisitas, sensitivitas, dan akurasi untuk mengevaluasi keandalan sistem yang dikembangkan. Masing-masing parameter dihitung menggunakan rumus yang sesuai (3),(4) dan (5)

$$Specifisitas = \frac{TN}{TN + FP} \quad (3)$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (5)$$

Sistem deteksi jatuh ini menggunakan empat kondisi dasar sebagai parameter evaluasi dalam pengujian ini, yaitu [5],[7]:

- 1) True Positive (TP), yaitu saat lansia jatuh dan sensor melaporkan jatuh
- 2) False Positive (FP), yaitu saat lansia tidak jatuh, sensor melaporkan jatuh
- 3) True Negative (TN), yaitu saat lansia tidak jatuh dan sensor melaporkan tidak jatuh.
- 4) False Negative (FN), yaitu saat lansia jatuh dan sensor melaporkan tidak jatuh.

Pengujian sistem dalam penelitian ini dilakukan pada lansia yang berumur 60 tahun keatas dengan mendesain berbagai aktivitas yang dikelompokkan menjadi aktivitas jatuh dan aktivitas biasa, seperti dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2 Pembagian kategori jatuh

Kategori	Aksi
Gerak Jatuh	Jatuh ke depan Jatuh ke belakang Jatuh ke kiri Jatuh ke kanan
Gerak Biasa	Duduk Berdiri Berjalan santai Berjalan cepat

3. Hasil dan Pembahasan



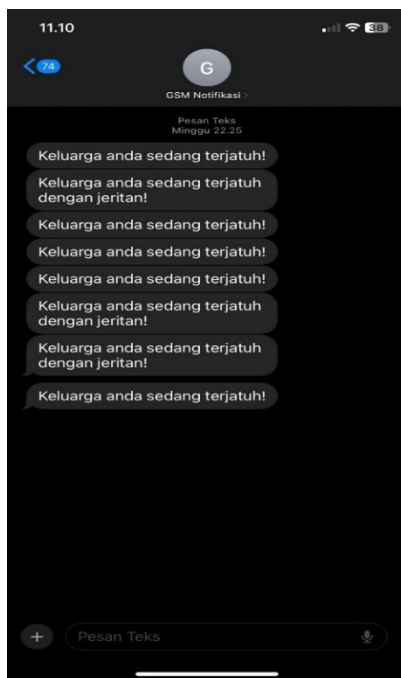
Gambar 5. Realisasi Perangkat

Setelah proses perakitan alat selesai dilakukan, perangkat yang telah dibuat dengan memperhatikan setiap komponen dan detail desain, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, kemudian dipasang di pinggang pengguna untuk memastikan bahwa posisi pemasangan sesuai dengan desain awal yang telah direncanakan dan tujuan penggunaan alat dapat tercapai dengan baik. Pemasangan alat di pinggang ini sangat penting untuk memastikan alat dapat berfungsi optimal saat digunakan oleh pengguna dalam berbagai kondisi. Hal ini juga dapat dilihat pada Gambar 6, yang menunjukkan perangkat terpasang dengan benar dan sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Setelah pemasangan selesai, dilakukan serangkaian pengujian menyeluruh terhadap alat pendeteksi jatuh, yang bertujuan untuk menilai efektivitas, keandalan, dan akurasi alat dalam mendeteksi berbagai kondisi jatuh dan gerakan biasa yang mungkin terjadi pada pengguna dalam situasi nyata.

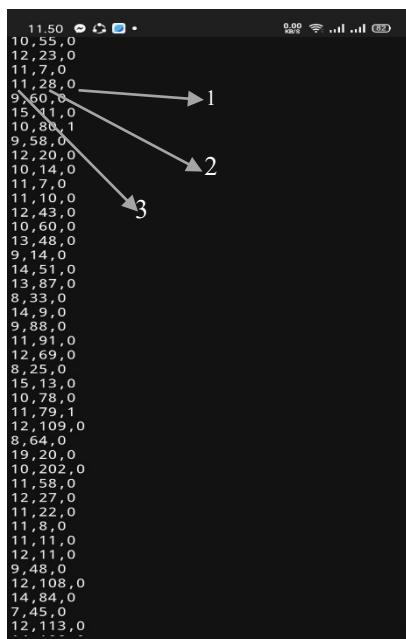
Pengujian ini mencakup gerakan jatuh dan gerakan biasa untuk menguji kemampuan sistem dalam mengenali dan merespons setiap jenis gerakan dengan tepat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini berfungsi dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang dirancang, termasuk dalam mendeteksi gerakan jatuh secara akurat, memberikan respons cepat terhadap gerakan jatuh, serta mengenali gerakan biasa dengan tingkat kesalahan yang sangat rendah. Berdasarkan hasil tersebut, perangkat ini dinyatakan memenuhi kriteria yang diinginkan dan siap untuk diimplementasikan.



Gambar 6. Pemasangan alat pada pengguna



Gambar 7. Notifikasi jatuh melalui SMS

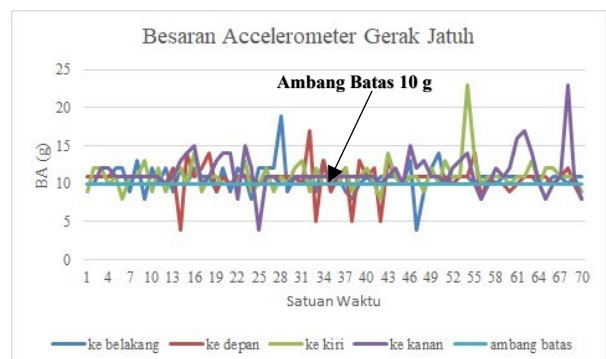


Gambar 8. Tampilan data di SD Card

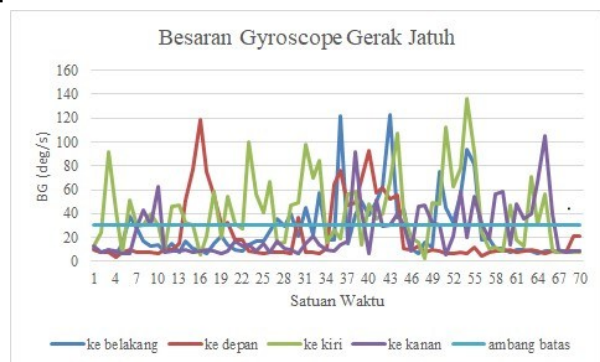
Pada gambar 7 dan gambar 8 menunjukkan dua fitur utama perangkat yang mendukung deteksi dan tindak lanjut insiden jatuh pada lansia. Gambar 7 menggambarkan kemampuan perangkat untuk mengirimkan notifikasi berupa pesan teks (SMS) secara otomatis ke ponsel keluarga atau pengasuh saat terdeteksi kejadian jatuh. Fitur ini diimplementasikan melalui integrasi modul GSM SIM800L dengan perangkat utama, di mana sistem secara otomatis mengirimkan pesan berisi informasi penting, seperti waktu kejadian dan status lansia, berdasarkan parameter yang terdeteksi menggunakan metode ambang batas (*threshold*). Notifikasi secara *real-time* ini sangat penting, terutama bagi lansia yang tinggal sendiri, karena memungkinkan keluarga atau pengasuh untuk segera merespons dengan langkah yang tepat, seperti menghubungi layanan darurat atau mendatangi lokasi kejadian.

Sementara itu, Gambar 8 menunjukkan mekanisme penyimpanan data hasil deteksi perangkat secara terstruktur di dalam kartu SD. Data yang tersimpan mencakup parameter percepatan (*accelerometer*) pada bagian 3, perubahan orientasi tubuh (*gyroscope*) pada bagian 2, serta hasil deteksi suara oleh sensor *microphone* pada bagian 1, yang dirancang untuk mendeteksi suara terkait insiden jatuh, seperti teriakan. Sensor *microphone* bekerja secara biner dengan nilai "1" untuk suara terdeteksi dan "0" untuk tidak ada suara. Penyimpanan data ini memungkinkan analisis gabungan dari sensor gerakan dan suara untuk meningkatkan akurasi deteksi.

Skenario pengujian alat dapat dilihat pada Tabel 2, yang mencakup beberapa jenis gerakan jatuh yang telah ditentukan dalam penelitian ini, seperti jatuh ke belakang, ke depan, ke kiri, dan ke kanan. Berdasarkan hasil pengujian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10, nilai total Besaran *Accelerometer* (BA) dan Besaran *Gyroscope* (BG) dari gerakan jatuh telah sesuai dengan desain pengujian yang direncanakan.



Gambar 9. Grafik hasil pengujian gerak jatuh berdasarkan total BA



Gambar 10. Grafik hasil pengujian gerak jatuh berdasarkan total BG

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Gambar 9 dan 10, grafik Besaran *Accelerometer* (BA) menunjukkan bahwa rata-rata nilai pada seluruh gerakan jatuh, yaitu belakang, depan, kiri, dan kanan, berada pada rentang 10.7–11.5 g dengan penyimpangan standar yang rendah (1.8–2.4 g). Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan akselerasi cenderung stabil, kecuali pada saat terjadi lonjakan signifikan yang mencapai nilai maksimum sebesar 23 g. Lonjakan ini dapat digunakan sebagai indikator awal untuk mendeteksi kejadian jatuh.

Besaran *Gyroscope* (BG) menunjukkan perubahan orientasi tubuh yang paling dominan terjadi pada arah kanan, dengan rata-rata sebesar 41.4 deg/s dan nilai maksimum mencapai 136 deg/s. Variasi data sudut terlihat lebih besar dibandingkan akselerasi, sebagaimana ditunjukkan oleh penyimpangan standar yang tinggi, yaitu 29.7 deg/s pada arah kanan. Lonjakan nilai sudut ini menunjukkan adanya perubahan orientasi tubuh yang signifikan, yang kemudian diikuti dengan stabilisasi posisi tubuh pada kondisi tertentu.

Kombinasi antara lonjakan akselerasi yang melebihi ambang batas dengan perubahan sudut yang mencolok memberikan bukti kuat untuk mendeteksi kejadian jatuh. Sistem deteksi dapat mengandalkan pola ini untuk memverifikasi kejadian jatuh, dengan memastikan orientasi tubuh tetap stabil dalam posisi tidak bergerak setelah kejadian tersebut.

Nilai ambang batas pada grafik tersebut dapat ditentukan melalui analisis total percepatan dan total orientasi dari aktivitas sehari-hari, di mana nilai maksimum dari analisis tersebut digunakan sebagai *threshold*. Sebagai alternatif, nilai ambang batas juga dapat ditentukan melalui pengujian alat, dengan menggunakan nilai rata-rata hasil pengukuran sebagai *threshold*. Pendekatan ini memberikan fleksibilitas dalam menyesuaikan sensitivitas sistem, sehingga mampu meningkatkan akurasi deteksi kejadian jatuh dan meminimalkan kemungkinan kesalahan deteksi.

Tabel 3. Penjelasan Grafik hasil pengujian jatuh

Total BA (g)	Total BG (deg/s)	Keterangan
9	63	Total BA belum mencapai batas bawah
7	45	Total BA belum mencapai batas bawah
10	32	Total BA belum mencapai batas bawah
5	116	Total BA mencapai batas bawah
3	93	Total BA mencapai batas bawah
3	57	total BA mencapai batas bawah
11	9	Total BA mencapai batas atas
13	20	Total BA mencapai batas atas
17	59	Total BA mencapai batas atas
8	10	Total BA turun dari batas atas
11	8	BG tidak besar
10	36	Terjadi mendeteksi jatuh
11	112	Terjadi mendeteksi jatuh
14	100	Terjadi mendeteksi jatuh

Sistem pendeteksi jatuh ini dirancang untuk mengidentifikasi kejadian jatuh melalui beberapa tahap yang saling terkait, yang telah ditetapkan oleh peneliti untuk memastikan akurasi dan keandalan deteksi. Tahap pertama melibatkan pengukuran besaran percepatan yang dihasilkan oleh sensor *accelerometer*. Pada tahap ini, total besaran percepatan yang terdeteksi harus mencapai atau melebihi ambang batas bawah yang telah ditentukan. Ambang batas bawah ini berfungsi sebagai indikator awal untuk mendeteksi adanya perubahan gerakan tubuh yang signifikan. Jika besaran percepatan yang terdeteksi berada di bawah ambang batas bawah, sistem akan menganggap tidak ada kejadian jatuh yang terdeteksi.

Tahap kedua adalah pemeriksaan lebih lanjut terhadap besaran percepatan. Pada tahap ini, total besaran percepatan harus mencapai atau melebihi ambang batas atas dalam rentang waktu tertentu yang telah ditentukan berdasarkan karakteristik gerakan jatuh yang terukur. Ambang batas atas ini bertujuan untuk memastikan bahwa gerakan yang terdeteksi memiliki intensitas yang cukup untuk dianggap sebagai jatuh, bukan hanya gerakan normal seperti membungkuk atau berputar. Rentang waktu yang ditentukan berfungsi untuk membedakan

antara gerakan cepat yang tidak berkaitan dengan jatuh dan kejadian jatuh yang sesungguhnya.

Tahap ketiga berfokus pada analisis perubahan orientasi tubuh, yang diperoleh dari sensor *gyroscope*. Sistem memeriksa apakah orientasi tubuh individu mengalami perubahan yang signifikan dalam rentang waktu yang telah ditetapkan. Jika orientasi tubuh berubah dan bertahan dalam posisi tersebut selama periode waktu tertentu, sistem menyimpulkan bahwa individu berada dalam posisi jatuh dan tidak bergerak. Keberlanjutan posisi tubuh ini memberikan indikasi bahwa kejadian jatuh telah terjadi, dengan mempertimbangkan bahwa tubuh tidak mengalami pergerakan lebih lanjut. Setelah seluruh tahap ini dilakukan, sistem akan mengonfirmasi bahwa kejadian jatuh telah terdeteksi dan siap memberikan respons sesuai dengan parameter yang telah dirancang. Sistem ini bertujuan untuk meminimalkan kemungkinan kesalahan deteksi dan memastikan bahwa hanya kejadian jatuh yang sesungguhnya yang teridentifikasi dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Sebagai bagian dari pengujian, simulasi juga dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan perangkat dalam mendeteksi berbagai gerakan biasa yang umum dilakukan oleh pengguna, seperti duduk, berdiri, berjalan santai, dan berjalan cepat. Simulasi ini bertujuan untuk memastikan perangkat dapat membedakan dengan baik antara gerakan sehari-hari dan gerakan yang memenuhi kriteria jatuh, sehingga mengurangi kemungkinan deteksi false positive. Dari simulasi tersebut, diperoleh total 40 data gerakan, yang mencakup variasi gerakan tersebut. Hasil simulasi disajikan pada Tabel 4, yang memberikan gambaran rinci mengenai tingkat akurasi perangkat dalam mendeteksi gerakan normal pada populasi lansia. Temuan ini menunjukkan bahwa perangkat tidak hanya andal dalam mendeteksi kejadian jatuh tetapi juga mampu beradaptasi dengan gerakan sehari-hari pengguna tanpa menghasilkan kesalahan deteksi.

Tabel 4. Data hasil pengujian gerak biasa

Nama Lansia	Aksi	Besaran <i>Accelerometer</i> (g)										Besaran <i>Gyroscope</i> (deg/s)									
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Lansia	Duduk	5	5	4	5	4	4	4	5	5	5	11	11	15	8	15	8	8	19	12	11
	Berdiri	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	Berjalan santai	2	1	4	5	5	4	2	1	2	2	9	15	19	12	27	22	8	4	12	26
	Berjalan cepat	11	9	8	10	10	11	12	7	4	7	19	48	89	8	8	11	38	53	36	43

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan dalam Tabel 4, sistem deteksi yang dikembangkan menunjukkan kemampuan yang cukup baik dalam mengidentifikasi berbagai jenis gerakan biasa, seperti duduk, berdiri, berjalan santai, dan berjalan cepat, yang sering dilakukan

oleh lansia dalam aktivitas sehari-hari. Pada aktivitas duduk dan berdiri, nilai percepatan (*accelerometer*) yang terdeteksi berada pada rentang 3–5 g, yang menunjukkan intensitas gerakan sangat rendah, serta diiringi oleh nilai perubahan orientasi tubuh yang relatif kecil dan stabil, sebagaimana diukur oleh *gyroscope* dengan nilai rata-rata di kisaran 8–15 deg/s. Data ini menunjukkan bahwa aktivitas duduk dan berdiri adalah gerakan statis yang tidak memberikan indikasi adanya risiko jatuh, sehingga sistem mampu secara akurat mengenali keduanya sebagai gerakan biasa.

Pada aktivitas berjalan santai, nilai percepatan mulai menunjukkan variasi yang lebih besar dibandingkan gerakan statis, meskipun masih berada dalam ambang batas yang mencerminkan gerakan normal. *Gyroscope*, yang mengukur perubahan orientasi tubuh, menunjukkan nilai maksimum hingga 27 deg/s, yang mencerminkan adanya perubahan posisi tubuh yang lebih signifikan selama aktivitas berjalan santai. Meskipun ada peningkatan intensitas gerakan, sistem secara konsisten berhasil mengklasifikasikan aktivitas ini sebagai gerakan biasa tanpa indikasi jatuh, menunjukkan akurasi yang baik dalam membedakan gerakan berjalan santai dari potensi gerakan jatuh.

Sementara itu, pada aktivitas berjalan cepat, percepatan yang terdeteksi mengalami peningkatan hingga 12 g, dengan perubahan orientasi tubuh yang cukup mencolok, sebagaimana terlihat dari nilai *gyroscope* yang mencapai hingga 89 deg/s. Peningkatan intensitas ini menunjukkan dinamika gerakan yang lebih tinggi dibandingkan aktivitas lainnya. Namun, sistem tetap menunjukkan kemampuan yang memadai dalam mengklasifikasikan aktivitas ini sebagai gerakan biasa, meskipun terdapat satu kesalahan klasifikasi (false positive) yang menganggapnya sebagai potensi jatuh. Kesalahan ini, meskipun kecil, dapat menjadi bahan Evaluasi untuk meningkatkan akurasi sistem di masa depan.

Sementara itu, gerakan jatuh dilakukan sebanyak 25 kali untuk setiap jenis gerakan, yaitu gerakan jatuh ke belakang, gerakan jatuh ke depan, gerakan jatuh ke kiri, dan gerakan jatuh ke kanan. Secara keseluruhan, pengujian melibatkan total 100 data gerakan jatuh dan 40 data gerakan biasa. Untuk gerakan biasa, dilakukan

sebanyak 10 kali untuk setiap jenis gerakan, yaitu gerakan duduk, berdiri, berjalan santai, dan berjalan cepat. Hasil pengujian lengkap disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil pengujian

Nama lansia	Kategori	Aksi	Nilai yang diperoleh
Lansia	Gerak jatuh	Jatuh ke depan	25 TP
		Jatuh ke belakang	25 TP
		Jatuh ke kiri	22 TP, 3 FN
		Jatuh ke kanan	19 TP, 6 FN
	Gerak biasa	Duduk	10 TN
		Berdiri	10 TN
		Berjalan santai	10 TN
		Berjalan cepat	9 TN, 1 FP

Berdasarkan data yang disajikan dalam tabel di atas, dari total 100 gerakan jatuh yang diuji, sistem berhasil mendeteksi 91 gerakan sebagai gerakan jatuh (TP), sementara 9 gerakan lainnya tidak terdeteksi sebagai gerakan jatuh (FN). Di sisi lain, dari total 40 gerakan biasa yang diuji, sistem berhasil mengenali 39 gerakan dengan tepat sebagai gerakan biasa (TN), sementara 1 gerakan terdeteksi sebagai gerakan jatuh padahal seharusnya dikenali sebagai gerakan biasa (FP). Perhitungan akurasi dilakukan berdasarkan total 100 gerakan jatuh dan 40 gerakan biasa, yang bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam membedakan gerakan jatuh dari gerakan biasa. Hasil ini menunjukkan kinerja sistem dalam mendeteksi gerakan jatuh serta mengidentifikasi kemungkinan kesalahan deteksi, baik dalam mendeteksi gerakan jatuh yang tidak terdeteksi maupun gerakan biasa yang keliru terdeteksi sebagai gerakan jatuh.

$$Akurasi = \frac{91 + 39}{91 + 1 + 39 + 9} \times 100\% = 92,85\%$$

Kemudian akan dihitung juga spesifisitas dan sensitivity, sebagai berikut:

$$Spesifisitas = \frac{39}{39+1} \times 100 = 97,5\%$$

$$Sensitivity = \frac{91}{91 + 9} \times 100\% = 91\%$$

Dari hasil perhitungan terhadap total 140 gerakan, diperoleh akurasi sistem sebesar 92,85% dalam mendeteksi gerakan jatuh. Selain itu, sistem menunjukkan spesifisitas sebesar 97,5%, yang mengindikasikan kemampuan sempurna dalam mengenali gerakan biasa, serta sensitivitas sebesar 91%, yang mencerminkan efektivitas sistem dalam mendeteksi gerakan jatuh.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi jatuh berbasis metode ambang batas (*threshold*) untuk lansia yang menggunakan sensor *accelerometer*, *gyroscope*, dan *microphone* yang dikendalikan oleh Arduino Uno. Sistem ini dirancang sebagai perangkat *wearable* dengan konsumsi daya rendah, dan didukung oleh modul GSM yang mampu mengirimkan notifikasi secara otomatis ke ponsel keluarga saat terdeteksi insiden jatuh. Pengujian melibatkan berbagai skenario gerakan, baik jatuh maupun aktivitas normal. Hasil menunjukkan tingkat akurasi sebesar 92,85%, *specificitas* 97,5%, dan *sensitivity* 91% menegaskan keandalan perangkat dalam mendeteksi gerakan jatuh dan membedakannya dari aktivitas biasa. Temuan ini memberikan solusi yang efektif dan efisien untuk meningkatkan keselamatan lansia di berbagai lingkungan.

Daftar Pustaka

- [1] G. Gumilar, H. H. Rachmat, L. Elektronika, and J. T. Elektro, "MENGUNAKAN PENDETEKSI JATUH BERBASIS SENSOR EVALUATION OF FALLING AND SQUAT MOVEMENT USING FALL DETECTION SYSTEM BASED ON ACCELEROMETER," vol. 7, no. 1, pp. 823–831, 2020.
- [2] S. Pandelaki, L. Sitanayah, and M. Liem, "Sistem Pendeteksi Jatuh Berbasis Internet of Things," *JEECOM J. Electr. Eng. Comput.*, vol. 5, no. 1, pp. 4–10, 2023, doi: 10.33650/jeeecom.v5i1.5802.
- [3] E. Paende, "Pelayanan Terhadap Jemaat Lanjut Usia Sebagai Pengembangan Pelayanan Kategorial," *Missio Ecclesiae*, vol. 8, no. 2, pp. 93–115, 2019, doi: 10.52157/me.v8i2.99.
- [4] M. Hardjianto, M. A. Rony, and G. S. Trengginas, "Deteksi jatuh pada lansia dengan menggunakan akselerometer pada smartphone," *Pros. SENTIA - Politek. Negeri Malang*, vol. 8, pp. 284–288, 2016.
- [5] M. Hardjianto, "Pengembangan Deteksi Jatuh pada Manusia Menggunakan Metode Threshold Berbasis Data Akselerometer pada Smartphone," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 10, no. 1, p. 128, 2024, doi: 10.26418/jp.v10i1.72594.
- [6] A. K. Hutomo and S. Suratini, "Hubungan Penataan Lingkungan Rumah terhadap Risiko Jatuh pada Lansia di Desa Karangwuni Wates Kulon Progo," 2015.
- [7] S. D. Tsani and I. H. Mulyadi, "Sistem Pendeteksi Jatuh Wearable untuk Lanjut Usia Menggunakan Accelerometer dan Gyroscope," *J. Appl. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 44–48, 2019, doi: 10.30871/jaee.v3i2.1824.
- [8] A. Kurniawan, A. R. Hermawan, and I. K. E. Purnama, "A wearable device for fall detection elderly people using tri dimensional accelerometer," *Proceeding - 2016 Int. Semin.*

- Intell. Technol. Its Appl. ISITIA 2016 Recent Trends Intell. Comput. Technol. Sustain. Energy*, pp. 671–674, 2017, doi: 10.1109/ISITIA.2016.7828740.
- [9] I. N. Figueiredo, C. Leal, L. Pinto, J. Bolito, and A. Lemos, “Exploring smartphone sensors for fall detection,” *mUX J. Mob. User Exp.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–17, 2016, doi: 10.1186/s13678-016-0004-1.
- [10] M. I. Nari, S. S. Suprpto, I. H. Kusumah, and W. Adiprawita, “A simple design of wearable device for fall detection with accelerometer and gyroscope,” *2016 Int. Symp. Electron. Smart Devices, ISESD 2016*, pp. 88–91, 2017, doi: 10.1109/ISESD.2016.7886698.
- [11] Y. Seftiani, “Prototype Alat Pengaman Sepeda Motor Berbasis Arduino Uno Terintegrasi GPS, Notifikasi dan Kontrol Melalui SMS,” *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2024, doi: 10.35143/elementer.v10i1.6255.