



TUGAS AKHIR - EB184803

**SISTEM DETEKSI JATUH *LOW-COST* DAN *WEARABLE*
DENGAN KONEKSI INTERNET UNTUK KALANGAN
LANJUT USIA**

Samuel Caryabudi
0731164000057

DOSEN PEMBIMBING:
Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng.
Atar Fuady Babgei, S.T., M.Sc.

PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK BIOMEDIK
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO DAN INFORMATIKA CERDAS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



TUGAS AKHIR - EB184803

**SISTEM DETEKSI JATUH *LOW-COST* DAN *WEARABLE*
DENGAN KONEKSI INTERNET UNTUK KALANGAN
LANJUT USIA**

**Samuel Caryabudi
0731164000057**

**DOSEN PEMBIMBING:
Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng.
Atar Fuady Babgei, S.T., M.Sc.**

**PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK BIOMEDIK
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO DAN INFORMATIKA CERDAS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



FINAL PROJECT - EB184803

**LOW-COST AND WEARABLE FALL DETECTION SYSTEM
WITH INTERNET CONNECTIVITY FOR ELDERLY
PEOPLE**

**Samuel Caryabudi
0731164000057**

**SUPERVISOR:
Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng.
Atar Fuady Babgei, S.T., M.Sc.**

**UNDERGRADUATE PROGRAM
BIOMEDICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INTELLIGENT ELECTRICAL AND INFORMATICS
TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa sebagian maupun keseluruhan isi tugas akhir saya yang berjudul “**Sistem Deteksi Jatuh *Low-cost* dan *Wearable* dengan Koneksi Internet untuk Kalangan Lanjut Usia**” merupakan hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya mandiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 25 Juli 2020



Samuel Caryabudi

NRP. 07311640000057

**Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik (S.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh
Samuel Caryabudi
NRP. 0731164000057**

**Tanggal Ujian : 15 Juli 2020
Periode Wisuda : September 2020**

Disetujui Oleh :

Dosen Penguji :



**1. Dr. Rachmad Setiawan, S.T., M.T.
NIP. 196905291995121001**



**2. Muhammad Yazid, B.Eng., M.Eng.
NIP. 198004202015041001**

Dosen Pembimbing :



**1. Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng.
NIP. 197103141997021001**



**2. Atar Fuady Babgei, S.T., M.Sc.
NIP. 198911112018121001**

Kepala Departemen Teknik Biomedik,



**Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng.
NIP. 197103141997021001**

Sistem Deteksi Jatuh *Low-cost* dan *Wearable* dengan Koneksi Internet untuk Kalangan Lanjut Usia

Nama : Samuel Caryabudi
NRP : 0731164000057
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng.
2. Atar Fuady Babgei, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Pada kalangan lanjut usia (lansia) umumnya akan terjadi penurunan kemampuan untuk menjaga keseimbangan sehingga membuat resiko untuk terjatuh ketika beraktivitas semakin meningkat. Ketika terjatuh, lansia dihadapkan dengan ancaman kondisi *long-lie*, yaitu keadaan terbaring di lantai dalam jangka waktu lebih dari satu jam setelah terjatuh karena keterlambatan pertolongan. Alat konvensional seperti *Personal Emergency Response System* (PERS) merupakan solusi yang kurang memuaskan untuk memanggil pertolongan karena banyak faktor-faktor yang menyebabkan alat tersebut tidak diaktifkan pengguna. Telah dikembangkan berbagai metode dan algoritma deteksi jatuh otomatis untuk mengatasi kekurangan tersebut, namun umumnya penelitian-penelitian tersebut kurang menjelaskan alur pemberian notifikasinya secara detail atau metode komunikasi yang dipilih kurang optimal. Pada sistem deteksi jatuh yang sudah tersedia secara komersial, terdapat beberapa kendala seperti rentan untuk terjadi kesalahan deteksi, fitur minimal, dan stasiun komunikasi khusus yang tidak portabel dan jangkauannya terbatas. Pada tugas akhir ini diusung suatu perwujudan sistem nyata dari algoritma deteksi jatuh berbasis *threshold* dengan memanfaatkan tiga keluaran *tri-axial accelerometer* yang diproses dengan *Sum Vector Magnitude* (SVM). Sistem dilengkapi dengan sistem notifikasi berupa bunyi secara langsung dan notifikasi yang dikirimkan ke *smartphone* melalui koneksi internet dengan protokol MQTT. Dilakukan simulasi kondisi jatuh realistis oleh subjek normal bukan lansia untuk mendapatkan *threshold* yang dipakai pada sistem, kemudian dilakukan pula simulasi beberapa contoh *activities of daily living* (ADL) lansia untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam membedakan kondisi jatuh dan bukan jatuh. Sistem yang diwujudkan dapat membedakan kondisi jatuh dan bukan jatuh dengan tingkat keberhasilan tinggi, yaitu dengan persentase akurasi 100% pada posisi sensor di bagian dada dan 99,04% pada posisi sensor di bagian punggung, serta berhasil memberikan notifikasi ketika terdeteksi jatuh pada penggunanya. Dengan koneksi internet yang telah berhasil dibangun dalam penelitian ini, maka penambahan berbagai fitur pada sistem ini sangat memungkinkan.

Kata kunci: internet, jatuh, lansia, *long-lie*, notifikasi, sistem deteksi jatuh

Low-cost and Wearable Fall Detection System with Internet Connectivity for Elderly People

Name : Samuel Caryabudi
NRP : 0731164000057
Supervisor : 1. Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng.
2. Atar Fuady Babgei, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Elderly people often experience a decline on the ability to maintain balance, so the risk of fall when performing activities increases. When elderly falls, they are faced with the threat of a “long-lie” condition, which is a condition/state of lying on the floor for more than one hour after falls because of delayed help. Conventional solution to call for help such as the Personal Emergency Response System (PERS) is unsatisfactory due to many factors that cause the user to not activate the device. Various automatic fall detection algorithms and methods have been developed to overcome that drawback, but those research usually did not describe the detailed notification flow or the communication method used was not optimal. There are several problems on fall detection systems that are commercially available such as vulnerability to false detection, minimal features, and the use of special communication station that is not portable and has limited range. This final project presents a fall detection system that uses a threshold-based fall detection algorithm that utilized the three outputs from tri-axial accelerometer which are then processed by Sum Vector Magnitude (SVM) method. This system is equipped with a notification system that provides alerting sound and notifications sent to smartphones via internet connection using MQTT protocol. A realistic simulation of fall was conducted by normal young subjects to obtain a threshold that is used on the system, then a simulation of some examples of elderly activities of daily living (ADL) was also conducted to determine the success rate of the system in distinguishing fall and non-fall conditions. The realized system is able to distinguish fall and non-fall conditions with a high success rate, which is 100% accuracy percentage for sensor position on the chest and 99.04% for sensor position on the back, and successfully provide necessary notifications when a fall is detected on the user. With the internet connection that has been successfully built in this study, it is possible to add various features to this system.

Keywords: elderly, fall, fall detection system, internet, long-lie, notification

KATA PENGANTAR

Puji syukur dan terima kasih saya ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat-Nya tugas akhir ini berjalan lancar dan dapat selesai tepat pada waktunya. Tidak lupa juga penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga yang telah memberi nasihat serta dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng., serta Atar Fuady Babgei, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing yang senantiasa membimbing, mengarahkan, dan menginspirasi penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Seluruh subjek yang berpartisipasi dalam penelitian pada tugas akhir ini.
4. Teman-teman yang turut membantu serta saling memotivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis baik itu secara langsung dan tidak langsung dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Terlepas dari semua itu, penulis sadar bahwa masih ada kekurangan dalam berbagai aspek dan masih banyak hal yang masih bisa diperbaiki. Oleh karena itu, penulis dengan terbuka menerima kritik dan saran dari pembaca sehingga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan selanjutnya dapat dikembangkan kembali menjadi penelitian yang lebih mendalam.

Surabaya, 25 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.5 Kontribusi Ilmiah dan Praktikal.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Definisi Lanjut Usia.....	4
2.2 <i>Activities of Daily Living</i> (ADL) pada Lanjut Usia	4
2.3 Fenomena Jatuh pada Lanjut Usia	5
2.4 Alat Deteksi Jatuh Otomatis Komersial.....	5
2.5 Klasifikasi Sistem Deteksi Jatuh.....	6
2.6 Algoritma Deteksi Jatuh Berbasis <i>Threshold</i>	8
2.7 Sistem Deteksi Jatuh dengan Pemberian Notifikasi	11
2.8 Protokol MQ <i>Telemetry Transport</i> (MQTT)	11
2.9 Rasional.....	12
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM	14
3.1 Tahapan Penelitian.....	14
3.1.1 Studi Literatur.....	14
3.1.2 Penyusunan <i>Software</i> dan <i>Hardware</i> Akuisisi Data	14
3.1.3 Akuisisi dan Pemrosesan Data	14
3.1.4 Penyusunan <i>Software</i>	14
3.1.5 Pengujian Sistem	14

3.1.6	Penulisan Buku Tugas Akhir.....	15
3.2	Perancangan Sistem	15
3.2.1	Perancangan Purwarupa <i>Wearable</i>	16
3.2.2	Perancangan Alur Sistem Deteksi Jatuh.....	17
3.2.3	Perancangan Arsitektur Koneksi MQTT.....	19
3.3	Prosedur Pengujian Sensor <i>Accelerometer</i>	20
3.4	Prosedur Simulasi untuk Penentuan <i>Threshold</i>	21
3.5	Prosedur Pengujian Sistem	21
3.5.1	Pengujian Keakuratan Sistem.....	22
3.5.2	Pengujian Alur Sistem Notifikasi.....	23
BAB 4	PENGUJIAN SISTEM	24
4.1	Pengujian Sensor <i>Accelerometer</i>	24
4.2	Simulasi Jatuh dan Penentuan <i>Threshold</i>	24
4.3	Pengujian Keakuratan Sistem	24
4.4	Pengujian Alur Sistem Notifikasi	25
BAB 5	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
5.1	Pengujian Sensor <i>Accelerometer</i>	28
5.2	Simulasi Jatuh dan Penentuan <i>Threshold</i>	30
5.3	Pengujian Keakuratan Sistem	31
5.4	Pengujian Alur Sistem Notifikasi	34
BAB 6	KESIMPULAN.....	36
6.1	Kesimpulan	36
6.2	Rencana Pengembangan	37
DAFTAR	PUSTAKA	39
BIODATA	PENULIS	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi algoritma deteksi jatuh berdasarkan sarana pendeteksiannya [21].....	7
Gambar 2.2	Klasifikasi sistem deteksi jatuh berdasarkan algoritma dasarnya [21]	7
Gambar 2.3	Metode <i>thresholding</i> pada resultan keluaran sensor <i>tri-axial accelerometer</i> [9].....	9
Gambar 2.4	Visualisasi distribusi informasi pada protokol MQTT [33]	12
Gambar 2.5	Diagram <i>fishbone</i> dari penelitian yang dilakukan	13
Gambar 3.1	Diagram blok sistem yang diwujudkan	15
Gambar 3.2	Skematik rancangan <i>hardware</i> purwarupa <i>wearable</i> dari sistem yang diwujudkan	16
Gambar 3.3	Sambungan <i>push button</i> ke mikrokontroler dengan resistor <i>pull-up</i>	16
Gambar 3.4	Rancangan <i>hardware</i> purwarupa <i>wearable</i>	17
Gambar 3.5	Penampakan bagian luar dan dalam <i>hardware</i> purwarupa <i>wearable</i>	17
Gambar 3.6	Keseluruhan purwarupa <i>wearable</i> yang dikenakan di bagian dada.....	18
Gambar 3.7	Alur sistem deteksi jatuh yang diwujudkan.....	19
Gambar 3.8	Arsitektur koneksi MQTT	20
Gambar 3.9	Posisi uji sensor <i>accelerometer</i> (1. Tegak, 2. Miring ke kiri, 3. Miring ke kanan, 4. Berbaring, 5. Membungkuk)	20
Gambar 3.10	Posisi sensor yang diuji coba pada simulasi jatuh	21
Gambar 4.1	Skema pengambilan data keluaran <i>accelerometer</i>	24
Gambar 4.2	Simulasi jatuh	25
Gambar 4.3	Simulasi ADL berjalan (kiri) dan <i>jogging</i> (kanan).....	25
Gambar 4.4	Simulasi ADL berjongkok (kiri) dan mengambil objek di lantai (kanan).....	26
Gambar 4.5	Simulasi ADL duduk dan berdiri dari kursi	26
Gambar 4.6	Simulasi ADL berbaring dan bangun dari tempat tidur	26
Gambar 4.7	Simulasi ADL naik dan turun tangga	27
Gambar 5.1	Keluaran sensor <i>accelerometer</i> saat kondisi 1 (tegak).....	28

Gambar 5.2	Keluaran sensor <i>accelerometer</i> saat kondisi 2 (miring ke kiri).....	28
Gambar 5.3	Keluaran sensor <i>accelerometer</i> saat kondisi 3 (miring ke kanan).	29
Gambar 5.4	Keluaran sensor <i>accelerometer</i> saat kondisi 4 (berbaring)	29
Gambar 5.5	Keluaran sensor <i>accelerometer</i> saat kondisi 5 (membungkuk).....	30
Gambar 5.6	Nilai percepatan maksimum dari simulasi jatuh dengan posisi sensor di dada	30
Gambar 5.7	Nilai percepatan maksimum dari simulasi jatuh dengan posisi sensor di punggung.....	31
Gambar 5.8	Hasil simulasi jatuh untuk posisi sensor di dada yang nilai maksimumnya dipilih sebagai <i>threshold</i> (2,34 g)	32
Gambar 5.9	Hasil simulasi jatuh untuk posisi sensor di punggung yang nilai maksimumnya dipilih sebagai <i>threshold</i> (2,42 g)	32
Gambar 5.10	Hasil simulasi aktivitas <i>jogging</i> dengan posisi sensor di punggung yang menyebabkan kesalahan deteksi	33
Gambar 5.11	Tampilan notifikasi pada aplikasi <i>smartphone</i> Android.....	34
Gambar 6.1	Parameter perpindahan dari dua kali integrasi percepatan saat kondisi jatuh	37
Gambar 6.2	Parameter perpindahan dari dua kali integrasi percepatan saat kondisi tegak.....	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya Mengenai Algoritma Deteksi Jatuh Berbasis <i>Threshold</i> (Sen = Sensitivitas, Spe = Spesifisitas)	10
Tabel 3.1 Simulasi Jatuh.....	21
Tabel 3.2 Simulasi ADL.....	22
Tabel 5.1 Nilai percepatan maksimum berbagai jenis ADL	33
Tabel 5.2 Hasil pengujian alur sistem notifikasi	35
Tabel 6.1 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya (Sen = Sensitivitas, Spe = Spesifisitas, Acc = Akurasi).....	36

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap manusia pada dasarnya akan mengalami penuaan. Hal tersebut merupakan proses alami yang tidak terhindarkan. Terdapat batas umur tertentu dimana seseorang dianggap sudah dalam masa tua dan termasuk dalam kategori lanjut usia atau lansia, yaitu umumnya pada umur lebih dari 60 atau lebih dari 65 tahun [1]. Pada individu yang umurnya mendekati ataupun sudah memasuki kategori lansia, maka umumnya akan terjadi penurunan fungsi-fungsi dan performa tubuh secara gradual [2]. Penurunan tersebut contohnya berupa penurunan kapasitas fisik, seperti penurunan kemampuan untuk menjaga keseimbangan.

Kemampuan menjaga keseimbangan yang menurun sebagai akibat dari penurunan kapasitas fisik pada lansia membuat resiko untuk terjatuh ketika beraktivitas semakin meningkat. Pada lansia, tingkat kematian dalam jangka waktu satu tahun setelah mengalami jatuh dan retak tulang pinggul mencapai 58% [3]. Fatalnya konsekuensi dari terjatuh pada lansia ternyata tidak hanya saat benturan terjadi, namun juga saat kondisi *long-lie*, yaitu keadaan terbaring di lantai dalam jangka waktu lebih dari satu jam setelah terjatuh [4]. Keadaan tersebut disebabkan ketidakmampuan lansia untuk bangun dan meminta tolong karena trauma fisik dan mental setelah terjatuh ataupun karena keterbatasan kapasitas fisiknya yang sudah ada sebelum ia terjatuh. Hal ini membuat pertolongan seringkali datang terlambat, dimana setidaknya 20% lansia yang dibawa ke rumah sakit akibat terjatuh mengalami kondisi *long-lie* tersebut [5]. Keterlambatan pertolongan tersebut dapat memperparah cedera akibat benturan setelah terjatuh, memicu kerusakan otot dan jaringan akibat tekanan, ataupun memperparah cedera yang telah ada sebelumnya. Separuh dari 125 lansia yang mengalami kondisi *long-lie* akan meninggal dalam jangka waktu enam bulan, bahkan walaupun tidak terjadi cedera langsung saat terjatuh [6]. Dapat dilihat bahwa hal tersebut sangat berdampak terhadap harapan hidup lansia dan juga memberikan tantangan bagi *caretaker* para lansia agar selalu awas dan mampu memberikan atau memanggil pertolongan secepatnya ketika lansia terjatuh, yang mana hal tersebut kadang gagal untuk dilakukan ketika *caretaker* atau orang di sekitar lansia tidak mengetahui jatuhnya lansia tersebut karena bermacam-macam faktor.

Alat sederhana yang umum digunakan untuk memanggil bantuan ketika penggunaannya terjatuh adalah *Personal Emergency Response System (PERS)* yang merupakan *push-button pendant* yang dapat berbunyi atau memberikan notifikasi dalam bentuk lainnya ketika penggunaannya menekan tombol pada alat tersebut setelah ia terjatuh. Solusi tersebut kurang memuaskan karena terkadang fenomena jatuh dapat menyebabkan hilangnya kesadaran sehingga alat tidak dapat diaktifkan [7]. Selain itu, ketika terjatuh beberapa lansia tidak mengaktifkan alat tersebut walaupun tidak ada halangan dikarenakan faktor-faktor psikologis [8].

Permasalahan tersebut mendorong para peneliti untuk menciptakan solusi yang dapat mengatasi kekurangan pada alat konvensional tersebut, yaitu dengan sistem deteksi jatuh otomatis. Berbagai metode dan algoritma deteksi jatuh telah dikembangkan, namun umumnya penelitian tersebut hanya berhenti sampai sebatas algoritmanya saja dan hanya menyebutkan pemberian sistem notifikasi sebagai peluang pengembangan, tanpa membahas sepenuhnya mengenai detail dan alur dari sistem notifikasi tersebut. Untuk alat deteksi jatuh otomatis yang sudah tersedia secara komersial, masih terdapat beberapa kendala seperti rentan untuk terjadi kesalahan deteksi, fitur minimal, stasiun komunikasi khusus yang tidak portabel dan jangkauannya terbatas, serta harganya yang relatif mahal.

Berdasarkan latar belakang masalah dan juga solusi yang telah ada saat ini beserta kekurangan-kekurangannya, pada tugas akhir ini diusung suatu pengembangan atau perwujudan sistem nyata dari algoritma deteksi jatuh berbasis *threshold* yang dilengkapi dengan sistem notifikasi untuk kalangan lansia. Sistem yang diwujudkan bersifat *low-cost* dan *wearable*, serta dapat memberikan notifikasi berupa bunyi secara langsung dan notifikasi yang tersambung ke internet dan dikirimkan ke *smartphone* ketika terjadi jatuh. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan harapan hidup bagi lansia yang menggunakannya agar terhindar dari kondisi *long-lie* yang fatal dengan pemberian notifikasi ke *caretaker*, dan dengan terhubungnya sistem ke internet maka memungkinkan komunikasi dua arah yang lebih cepat dan murah jika dibandingkan dengan *Global System for Mobile Communications* (GSM) antara sistem deteksi jatuh dengan perangkat lainnya yang dapat tersambung ke internet sehingga membuka peluang penambahan fitur-fitur berguna lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut,

- Bagaimana perancangan sistem deteksi jatuh dengan sistem notifikasi yang bersifat *low-cost* dan *wearable* untuk para lansia?
- Bagaimana tingkat keakuratan dari sistem yang diwujudkan untuk mendeteksi jatuh?
- Bagaimana tingkat keberhasilan dari sistem yang diwujudkan untuk memberikan notifikasi ketika terjadi jatuh?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut,

- Metode deteksi jatuh yang digunakan dan selanjutnya diuji berdasar pada metode *thresholding* pada *Sum Vector Magnitude* (SVM) dari keluaran *tri-axial accelerometer* yang merupakan algoritma deteksi jatuh tipe *post-impact* atau setelah benturan [9]. Hal ini merupakan metode yang cocok digunakan

untuk sistem yang diwujudkan karena fungsi-fungsinya hanya membutuhkan informasi ketika kondisi jatuh telah terjadi, bukan berusaha membuat tindakan pencegahan jatuh atau benturan.

- Subjek penelitian untuk mewujudkan sistem deteksi jatuh dan untuk mengukur tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi jatuh serta membedakan aktivitas sehari-hari dengan kondisi jatuh adalah subjek normal bukan lansia.
- *Smartphone* yang digunakan untuk mewujudkan aplikasi yang terkoneksi dengan sistem deteksi jatuh adalah *smartphone* berbasis Android©.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mewujudkan sistem deteksi jatuh yang bersifat *low-cost* dan *wearable* dengan media komunikasi internet untuk para lansia. Penelitian ini juga bertujuan untuk menguji kelayakan dari sistem yang diwujudkan dengan mengamati tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi jatuh dan membedakan aktivitas sehari-hari dengan kondisi jatuh agar dapat menjalankan fungsi-fungsinya hanya pada saat penggunanya terjatuh.

Manfaat dari penelitian ini tentunya memberikan salah satu solusi bagi masalah pada lansia yang berpotensi tinggi untuk jatuh tanpa tanda dan peringatan. Selain itu, penelitian ini juga memberikan data ilmiah mengenai kelayakan sistem yang diwujudkan.

1.5 Kontribusi Ilmiah dan Praktikal

Kontribusi dari penelitian ini dapat ditemukan dalam aspek ilmiah dan aspek praktikal. Dalam aspek ilmiah, penelitian ini berkontribusi sebagai salah satu kemajuan ilmu pengetahuan terutama dalam bidang riset mengenai teknologi asistif dan welfar untuk para lansia. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi salah satu landasan atau motivasi untuk pengembangan sistem yang diwujudkan agar menjadi lebih sempurna, ataupun bagi perkembangan teknologi asistif dan welfar untuk para lansia secara umum.

Dalam aspek praktikal, penelitian ini diharapkan berkontribusi dalam meningkatkan harapan hidup para lansia yang terjatuh. Diwujudkannya sistem yang bersifat *low-cost* dan *wearable* serta terkoneksi ke internet ini diharapkan dapat membantu para lansia, *caretaker*, keluarga, dan masyarakat secara umum dalam penggunaannya di era modern ini secara individu di lingkup perumahan atau sebagai sistem dengan skala yang lebih besar dan luas seperti di lingkungan panti jompo atau sejenisnya.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Lanjut Usia

Setiap manusia pada dasarnya akan mengalami penuaan. Hal tersebut merupakan proses alami yang tidak terhindarkan. Terdapat batas umur tertentu dimana seseorang dianggap sudah dalam masa tua dan termasuk dalam kategori lanjut usia atau lansia. Batas umur tersebut tidak bisa ditetapkan secara universal karena bergantung pada banyak faktor dan konteks, sehingga pada umumnya setiap negara atau organisasi kesehatan mempunyai definisinya masing-masing. Batas umur lansia yang paling umum digunakan adalah lebih dari 60 tahun atau lebih dari 65 tahun [1], tetapi beberapa riset dan penelitian mengungkapkan bahwa masa tua atau kategori lansia tidak bisa hanya dikaitkan dengan umur belaka, tetapi juga bergantung pada muncul atau hilangnya peran dan kontribusi di masyarakat, kemampuan fisik secara nyata, dan lain-lain. Salah satu penelitian berkesimpulan dan menyarankan bahwa batas umur untuk kategori lansia lebih cocok pada umur lebih dari 75 tahun [10]. Pada individu yang umurnya mendekati ataupun sudah memasuki kategori lansia, maka umumnya akan terjadi penurunan fungsi-fungsi dan performa tubuh secara gradual [2]. Hal tersebut membuat aktivitas sehari-hari mereka menjadi semakin terbatas atau terhambat. Terkadang para lansia membutuhkan bantuan orang lain atau teknologi asistif dalam menjalankan aktivitas sehari-hari dan menjalankan perannya di masyarakat.

2.2 *Activities of Daily Living* (ADL) pada Lanjut Usia

Activities of daily living (ADL) adalah istilah yang digunakan dalam bidang perawatan dan kesehatan yang merujuk pada aktivitas pribadi sehari-hari seorang individu [11][12]. Kemampuan serta ketidakmampuan seseorang melakukan ADL seringkali digunakan untuk menilai kondisi fungsional mereka, terutama pada individu dengan disabilitas, pada kondisi pemulihan cedera, atau pada lansia. Beberapa contoh ADL dasar (*Basic ADL/BADL*) meliputi aktivitas makan, mandi, berganti pakaian, membersihkan diri (setelah buang air, kebersihan mulut dan tubuh secara umum), dan bermobilisasi (berjalan, berpindah dari dan ke kursi atau tempat tidur) [12] [13]. Terdapat pula *Instrumental ADL/IADL* yang bukan aktivitas fungsional dasar namun kemampuan untuk melakukannya akan membuat seseorang dapat hidup secara independen dalam suatu komunitas. Hal tersebut contohnya meliputi melakukan pekerjaan rumah (mencuci pakaian, menyapu, dll), memasak dan menyiapkan makanan, berbelanja, memakai telepon atau komputer, dan lain-lain [13]. Selain untuk menilai kondisi fungsional, dengan mengetahui kebiasaan atau karakteristik ADL seseorang maka dapat ditentukan perawatan atau perhatian khusus yang dibutuhkan serta menjadi referensi pada desain fisik maupun desain algoritma dari teknologi asistif yang hendak diterapkan pada individu tersebut.

2.3 Fenomena Jatuh pada Lanjut Usia

Penurunan fungsi-fungsi dan performa tubuh secara gradual pada lansia salah satunya adalah penurunan kemampuan untuk menjaga keseimbangan sehingga berakibat pada meningkatnya resiko untuk terjatuh ketika melakukan ADL. Kecenderungan dan sifat dari fenomena jatuh pada lansia penting untuk diketahui dan diamati karena berguna untuk merancang simulasi jatuh yang digunakan untuk mewujudkan algoritma deteksi jatuh yang akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya. Secara umum, 82% fenomena jatuh pada manusia terjadi ketika tubuh dalam posisi tegak [4]. Untuk fenomena jatuh pada lansia, beberapa penelitian mengungkapkan bahwa fenomena jatuh pada lansia seringkali mengarah ke depan [14][15][16]. Persentase fenomena jatuh pada lansia yang mengarah ke depan mencapai 60% [14]. Hal tersebut mengungkapkan bahwa simulasi jatuh ke arah depan dari posisi tegak penting untuk disimulasikan. Selain arah jatuh ke depan, fenomena jatuh ke arah samping walaupun lebih jarang terjadi ternyata juga dapat berakibat fatal. Hal tersebut dikarenakan benturan pada bagian *greater trochanter* yang terjadi ketika terjatuh ke arah samping hampir selalu berpotensi untuk menyebabkan fraktur [17]. Hal tersebut menegaskan bahwa fenomena jatuh ke arah samping tidak boleh dikesampingkan dalam rangkaian simulasi untuk mewujudkan atau memvalidasi sistem deteksi jatuh. Selain simulasi jatuh dari posisi diam dan tegak, simulasi jatuh yang lebih realistis juga diharapkan dapat diuji, yaitu berupa simulasi jatuh ketika melakukan aktivitas sehari-hari yang berpotensi menyebabkan hilangnya keseimbangan. Hal tersebut dikarenakan dalam praktik kehidupan sehari-hari fenomena jatuh hampir semuanya didahului oleh kondisi terpeleset, tersandung, atau kondisi kehilangan keseimbangan lainnya ketika melakukan suatu aktivitas.

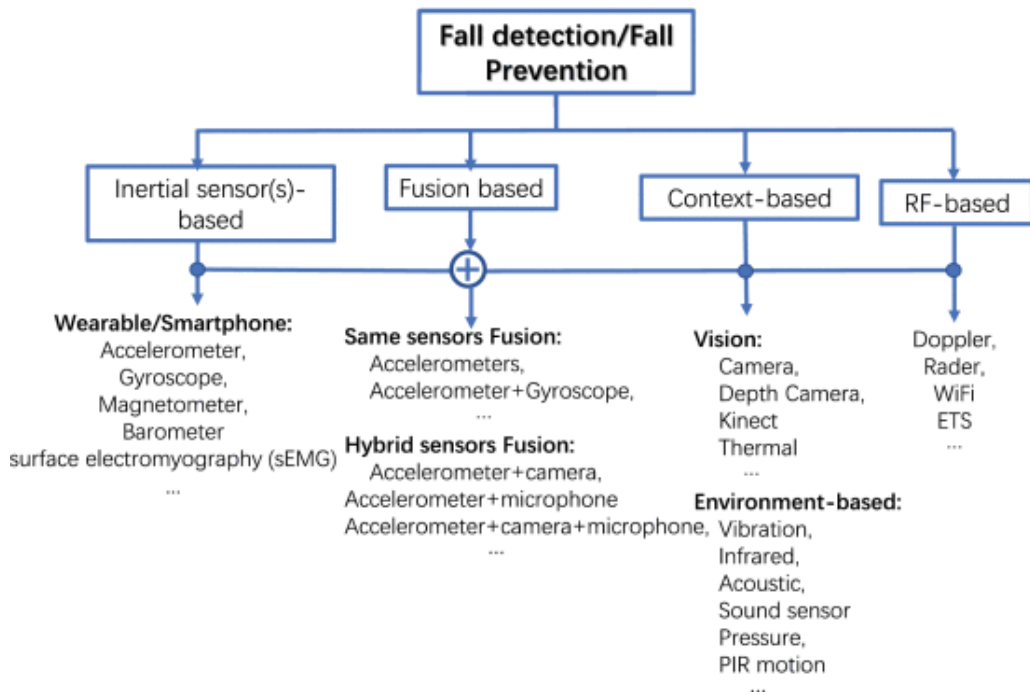
2.4 Alat Deteksi Jatuh Otomatis Komersial

Beberapa alat sederhana telah digunakan untuk meminimalisir dampak benturan atau untuk memanggil bantuan ketika penggunanya terjatuh, tapi tentu saja terdapat kekurangan pada alat-alat tersebut. Untuk meminimalisir dampak benturan, banyak tersedia pelindung panggul berupa bantalan yang dapat dipakai layaknya pakaian dalam. Namun, pelindung tersebut banyak dirasa kurang nyaman digunakan menurut para lansia sehingga tingkat penggunaannya rendah atau menurun seiring waktu [18]. Untuk memanggil bantuan ketika terjatuh, alat yang paling umum tersedia adalah *Personal Emergency Response System (PERS)* yang merupakan *push-button pendant* yang dapat berbunyi atau memberikan notifikasi dalam bentuk lainnya ketika penggunanya menekan tombol pada alat tersebut setelah ia terjatuh. Solusi tersebut kurang memuaskan karena terkadang fenomena jatuh dapat menyebabkan hilangnya kesadaran sehingga alat tidak dapat diaktifkan [7]. Selain itu, ketika terjatuh beberapa lansia tidak mengaktifkan alat tersebut walaupun tidak ada halangan dikarenakan faktor-faktor psikologis [8].

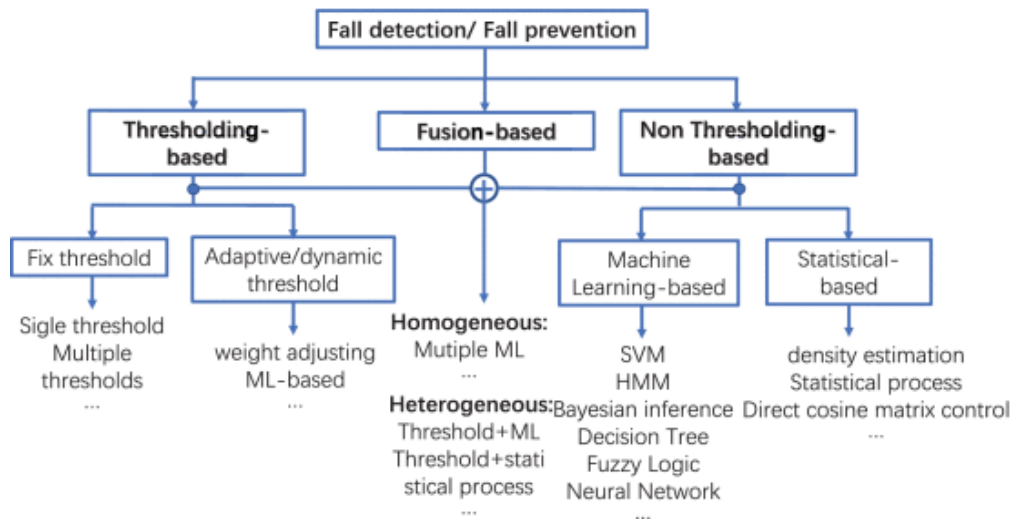
Solusi dari kekurangan tersebut adalah suatu sistem deteksi jatuh yang dapat mendeteksi terjadinya fenomena jatuh secara otomatis sehingga kemudian dapat dilakukan fungsi pencegahan atau penanggulangannya. Berbagai penelitian telah mengembangkan algoritma-algoritma deteksi jatuh dengan fitur yang bermacam-macam sesuai tujuan kegunaan yang dikehendaki. Umumnya, alat deteksi jatuh otomatis dengan fitur untuk memberikan notifikasi yang telah tersedia secara komersial saat ini berbentuk seperti kalung sehingga rentan untuk bergoyang saat melakukan aktivitas dan menyebabkan kesalahan deteksi. Selain itu, sistem notifikasinya menggunakan stasiun komunikasi khusus dari produsen sehingga tidak portabel, jangkauan terbatas, fitur-fitur minimal, dan menerapkan sistem biaya langganan yang cukup mahal [19]. Terdapat pula sistem deteksi jatuh yang terintegrasi di dalam *smartphone* atau *smartwatch* tertentu, namun penempatan alat tersebut yang lebih sering berada di tangan atau kantong pakaian serta prioritas fitur tersebut yang rendah dalam keseluruhan sistem membuat kemampuan mendeteksi jatuh olehnya tidak dapat dijustifikasi. Harga *smartwatch* dan *smartphone* yang relatif mahal juga dapat menjadi masalah pada negara berkembang atau dalam penggunaan skala luas seperti di panti jompo atau sejenisnya. Baik alat deteksi jatuh otomatis yang independen maupun yang terintegrasi sebagai fitur pada *smart devices* umumnya dilengkapi dengan sistem pencegahan kesalahan deteksi, yaitu berupa bentuk konfirmasi dari pengguna apakah benar ia terjatuh dan membutuhkan pertolongan atau terjadi kesalahan deteksi. Apabila dalam jangka waktu tertentu tidak ada konfirmasi yang dilakukan pengguna, maka sistem akan menilai bahwa pengguna terjatuh dan kehilangan kemampuan untuk melakukan konfirmasi sehingga prosedur notifikasi berjalan.

2.5 Klasifikasi Sistem Deteksi Jatuh

Terdapat beberapa klasifikasi sistem deteksi jatuh yang membedakan sistem deteksi jatuh berdasarkan kriteria tertentu. Sistem deteksi jatuh dapat dibedakan menjadi tiga jenis menurut tujuan kegunaannya [20]. Yang pertama adalah sistem deteksi jatuh yang bertujuan untuk mendeteksi jatuh setelah terjadi benturan (*post-impact*) kemudian memberikan peringatan atau notifikasi agar pertolongan tidak datang terlambat. Yang kedua adalah sistem deteksi jatuh yang bertujuan untuk memahami penyebab dari fenomena jatuh dan mengevaluasi pergerakan sehingga dapat diidentifikasi subjek yang perlu diawasi. Yang terakhir adalah sistem deteksi jatuh yang bertujuan untuk mendeteksi fase awal dari fenomena jatuh sebelum benturan terjadi (*pre-impact*) sehingga dapat diaktifkan suatu mekanisme pencegahan. Sistem deteksi jatuh juga dapat dibedakan berdasarkan sensor atau sarana pendeteksiannya seperti yang terlihat pada Gambar 2.1, yaitu dengan sensor inersial, kamera/*image*, frekuensi radio, fenomena lingkungan lainnya (getaran, tekanan, suara, dll), dan kombinasi dari yang telah disebutkan [21].



Gambar 2.1 Klasifikasi algoritma deteksi jatuh berdasarkan sarana pendeteksiannya [21]



Gambar 2.2 Klasifikasi sistem deteksi jatuh berdasarkan algoritma dasarnya [21]

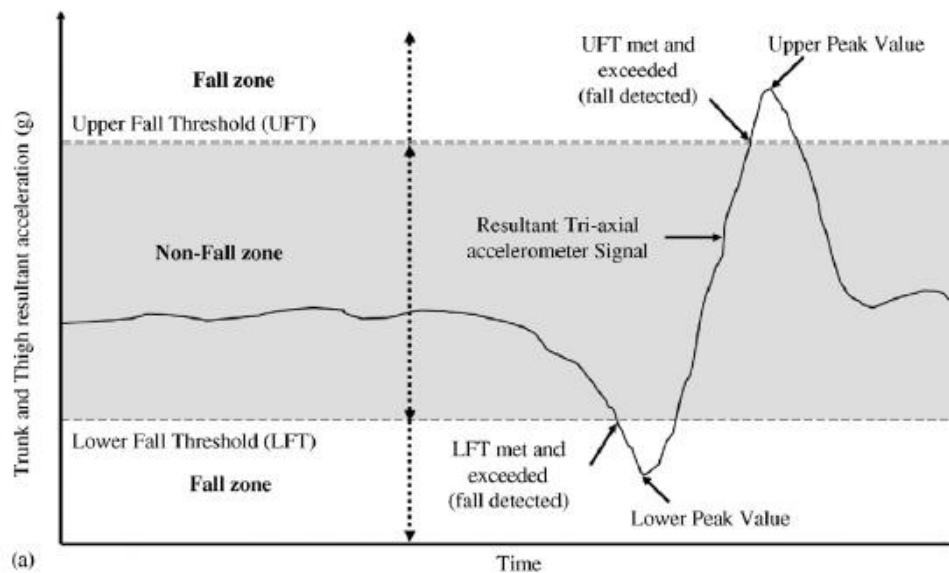
Selain berdasarkan tujuan kegunaan dan sarana pendeteksiannya, sistem deteksi jatuh juga dapat dibedakan berdasarkan algoritma dasarnya. Klasifikasi sistem deteksi jatuh berdasarkan algoritma dasarnya terdiri dari sistem deteksi jatuh dengan algoritma berbasis *threshold* (*threshold-based*) atau *rule-based* dan sistem deteksi jatuh dengan algoritma *machine learning* [20]. Terdapat pula klasifikasi yang lebih luas mengenai hal tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 2.2, yaitu

sistem deteksi jatuh berbasis *threshold*, sistem deteksi jatuh tidak berbasis *threshold*, dan gabungan keduanya [21]. Sistem deteksi jatuh berbasis *threshold* terdiri dari sistem deteksi jatuh yang menggunakan *threshold* yang tetap dan yang menggunakan *threshold* adaptif. Sistem deteksi jatuh tidak berbasis *threshold* terdiri dari sistem deteksi jatuh dengan *machine learning* dan berbasis statistik. Sistem deteksi jatuh dengan algoritma *machine learning* memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap *noise* dan ketidaklengkapan serta cocok digunakan untuk mendeteksi pola tertentu pada suatu sinyal, namun tingkat keakurasiannya sangat bergantung pada data *training* yang cukup dan representatif. Selain itu, secara umum algoritma *machine learning* cukup kompleks dan memberi beban komputasi yang signifikan. Algoritma *threshold-based* dan *rule-based* secara umum lebih sederhana dan dapat diwujudkan dengan sampel yang terbatas, namun kurang mampu mendeteksi pola tertentu pada sinyal. Hal tersebut membuat algoritma *machine learning* sering digunakan untuk sistem deteksi jatuh kategori *pre-impact* sedangkan algoritma *threshold-based* dan *rule-based* untuk kategori *post-impact*.

2.6 Algoritma Deteksi Jatuh Berbasis *Threshold*

Salah satu riset mengenai algoritma deteksi jatuh tipe *post-impact* berbasis *threshold* menggunakan *tri-axial accelerometer* dilakukan oleh Bourke dkk [9]. Tiga keluaran sensor *tri-axial accelerometer* tersebut dicari resultannya dengan metode penjumlahan vektor atau *Sum Vector Magnitude* (SVM), kemudian kondisi jatuh dapat dideteksi apabila resultan keluaran sensor melewati batas atau *threshold* yang telah ditentukan sesuai hasil percobaan. Ketika benturan akibat jatuh terjadi, resultan keluaran sensor akan mengalami osilasi dengan nilai yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan resultan keluaran sensor pada kondisi tidak terjatuh. Karena osilasi yang bernilai tinggi dari resultan tersebut, *threshold* yang digunakan bisa merupakan *Upper Fall Threshold* (UFT) atau *Lower Fall Threshold* (LFT), dimana UFT mendeteksi jatuh dengan memanfaatkan *Upper Fall Peak* (UFP) atau puncak atas dari osilasi resultan keluaran sensor ketika fenomena jatuh terjadi, sedangkan LFT akan memanfaatkan *Lower Fall Peak* (LFP) atau puncak bawah dari osilasi resultan keluaran sensor. Metode *thresholding* tersebut dapat dilihat dengan lebih jelas pada Gambar 2.3.

Untuk mendapatkan UFT dan LFT tersebut, Bourke dkk melakukan uji coba simulasi jatuh pada 10 orang subjek normal bukan lansia yang memakai sensor *tri-axial accelerometer* sehingga bisa diperoleh data UFP dan LFP pada resultan keluaran sensor saat kondisi jatuh. UFP terendah pada hasil simulasi tersebut akan dipilih sebagai UFT untuk posisi sensor yang sedang diuji, sedangkan LFP tertinggi akan dipilih sebagai LFT. Dengan syarat pemilihan tersebut maka 100% kondisi jatuh yang disimulasikan dapat terdeteksi oleh *threshold* tersebut. Uji coba dilaku-



Gambar 2.3 Metode *thresholding* pada resultan keluaran sensor *tri-axial accelerometer* [9]

kan pada lingkungan yang aman dan terkontrol, serta disertai pengawasan profesional. Masing-masing subjek melakukan simulasi delapan tipe jatuh dimana setiap tipe diulangi sebanyak tiga kali, sehingga seorang subjek melakukan 24 simulasi jatuh dan total diperoleh 240 data simulasi jatuh dari 10 orang subjek. Tipe jatuh yang disimulasikan merupakan tipe jatuh yang umum dialami oleh lansia, yaitu jatuh ke arah depan, jatuh ke arah belakang, serta jatuh ke samping kanan dan kiri. Semua tipe jatuh tersebut disimulasikan ketika kondisi kedua kaki lurus dan ketika kondisi fleksi lutut.

Selain uji coba simulasi jatuh, Bourke dkk juga melakukan uji coba simulasi ADL dengan subjek lansia berjumlah 10 orang yang memakai sensor *tri-axial accelerometer* beserta sistem algoritma deteksi jatuh dengan *threshold* yang telah diperoleh dari uji coba simulasi jatuh. Uji coba ini bertujuan untuk menguji sistem dengan algoritma yang telah diwujudkan dengan harapan setiap simulasi ADL yang dilakukan tidak ada yang terdeteksi sebagai kondisi jatuh (kesalahan deteksi). Masing-masing subjek melakukan beberapa simulasi ADL dimana setiap ADL diulangi sebanyak tiga kali. ADL yang disimulasikan meliputi, duduk dan berdiri dari kursi lengan, duduk dan berdiri dari kursi dapur, duduk dan berdiri dari toilet duduk, duduk dan berdiri dari bangku pendek, masuk dan keluar dari kursi mobil, duduk dan berdiri dari tempat tidur, berbaring dan bangun dari tempat tidur, serta berjalan sejauh 10 meter.

Sinyal sensor disampel dengan frekuensi *sampling* 1 kHz dan resolusi 12 bit, serta difilter dengan *Butterworth Low-Pass Filter* orde dua (frekuensi *cut-off* 250 Hz) sebelum diolah. Sensor *tri-axial accelerometer* diposisikan pada dua lokasi tubuh, yaitu pada dada subjek (bagian anterior dari batang tubuh, *sternum*) dan pada paha subjek (bagian anterior paha, di sekitar bagian tengah *femur*) dikarenakan kon-

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya Mengenai Algoritma Deteksi Jatuh Berbasis *Threshold* (Sen = Sensitivitas, Spe = Spesifisitas)

Referensi	Posisi Sensor Optimal	Performa
Bourke dkk (2007) [9]	Dada	Sen: 100%, Spe: 100%
Kangas dkk (2008) [22]	Pinggang	Sen: 97%
Dai dkk (2010) [23]	Pinggang	Sen: 97,33%, Spe: 92,3%
Bagnasco dkk (2011) [24]	Dada	Sen: 88%, Spe: 100%
Fang dkk (2012) [25]	Dada	Sen: 72,22%, Spe: 73,78%

figurasi peletakan sensor tersebut dapat pula memberi informasi mengenai mobilisasi subjek, sehingga hal ini dapat menjadi peluang pengembangan selanjutnya yang dapat mengukur mobilisasi dan mendeteksi jatuh. Selain itu dengan adanya dua macam konfigurasi peletakan sensor tersebut maka dapat dibandingkan mana yang lebih efektif mendeteksi jatuh dan membedakan kondisi jatuh dengan ADL. Sensor dilindungi dengan *casing* plastik yang kokoh dan dijaga posisinya pada tubuh subjek dengan tali elastis dan *velcro*.

Hasil UFT dan LFT pada dua jenis posisi sensor yang dipilih sesuai uji coba simulasi jatuh dapat mendeteksi jatuh dengan tingkat keberhasilan 100%. UFT untuk posisi sensor pada dada subjek (3,52 g) berhasil membedakan serangkaian aktivitas sehari-hari yang disimulasikan dengan kondisi jatuh dengan tingkat keberhasilan 100%, sedangkan untuk LFT (0,41 g) tingkat keberhasilannya 91,25%. UFT untuk posisi sensor pada paha subjek (2,74 g) berhasil membedakan serangkaian aktivitas sehari-hari yang disimulasikan dengan kondisi jatuh dengan tingkat keberhasilan 83,33%, sedangkan untuk LFT (0,60 g) tingkat keberhasilannya 67,08%. Maka dapat disimpulkan bahwa posisi sensor yang paling optimal pada penelitian oleh Bourke dkk ini adalah pada dada subjek dengan memanfaatkan UFT dengan tingkat keberhasilan 100% dalam mendeteksi jatuh dan membedakan kondisi jatuh dengan tidak jatuh.

Selain hasil yang diperoleh Bourke dkk tersebut, terdapat pula beberapa penelitian mengenai algoritma deteksi jatuh berbasis *threshold* menggunakan *tri-axial accelerometer* yang memberi hasil bervariasi dikarenakan posisi sensor, subjek, dan simulasi yang berbeda. Rangkuman beberapa penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1. Berdasarkan Tabel 2.1, dapat dilihat bahwa posisi sensor yang optimal pada penelitian-penelitian tersebut pada umumnya adalah di dada atau di pinggang yang merupakan bagian batang tubuh manusia. Hal tersebut didukung

pula oleh penelitian lainnya yang menyatakan bahwa posisi sensor pada pinggang memiliki tingkat akurasi tertinggi dibandingkan lima lokasi tubuh lainnya (kepala, dada, pergelangan tangan, paha, dan pergelangan kaki) untuk enam jenis algoritma deteksi jatuh [26]. Maka dari itu posisi sensor pada batang tubuh manusia berpotensi untuk memberikan hasil yang baik pada sistem deteksi jatuh.

2.7 Sistem Deteksi Jatuh dengan Pemberian Notifikasi

Terdapat beberapa penelitian mengenai sistem deteksi jatuh selain yang telah disebutkan sebelumnya yang juga membahas mengenai sistem pemberian notifikasi yang diwujudkan. Salah satu penelitian melibatkan *smartphone* yang terkoneksi dengan sistem deteksi jatuh melalui jaringan *bluetooth* [27]. Hal tersebut memiliki kekurangan yang terletak pada jaringan *bluetooth* yang jangkauannya terbatas (10 m) [28]. Selain itu, tidak ada fitur konfirmasi dalam detail alur notifikasi sehingga tidak ada pencegahan kesalahan pemberian notifikasi dan pemrosesan data sensor dilakukan pada *smartphone* yang tidak mungkin selalu aktif untuk menerima data mentah sensor. Terdapat pula penelitian yang telah mendeskripsikan alur sistem notifikasi dari sistem deteksi yang diwujudkan, dilengkapi pula dengan pencegahan kesalahan deteksi melalui konfirmasi pengguna [29]. Namun, karena sistem terkoneksi hanya melalui jaringan GSM, maka fungsi *monitoring* atau fungsi lainnya yang membutuhkan komunikasi dua arah yang cukup sering akan sulit dan mahal untuk dilakukan. Beberapa penelitian menggunakan jaringan ZigBee untuk memberikan notifikasi dalam sistem deteksi jatuh yang diwujudkan [30] [31]. ZigBee merupakan protokol nirkabel yang mempunyai kelebihan seperti konsumsi daya yang rendah dan jangkauan yang lebih luas dibandingkan dengan *bluetooth* (100 m), namun reabilitas serta *bandwidth* dari ZigBee masih lebih rendah dibandingkan dengan Wi-Fi [28]. Tentunya penggunaan ZigBee dalam sistem deteksi jatuh cukup tepat apabila komunikasi yang dikehendaki hanya berupa pemberian notifikasi singkat. Namun, apabila dikehendaki komunikasi yang lebih kompleks secara dua arah pada sistem deteksi jatuh dengan alat-alat lainnya untuk sekaligus melakukan fungsi *monitoring*, maka penggunaan koneksi internet melalui Wi-Fi akan lebih lancar dan efektif.

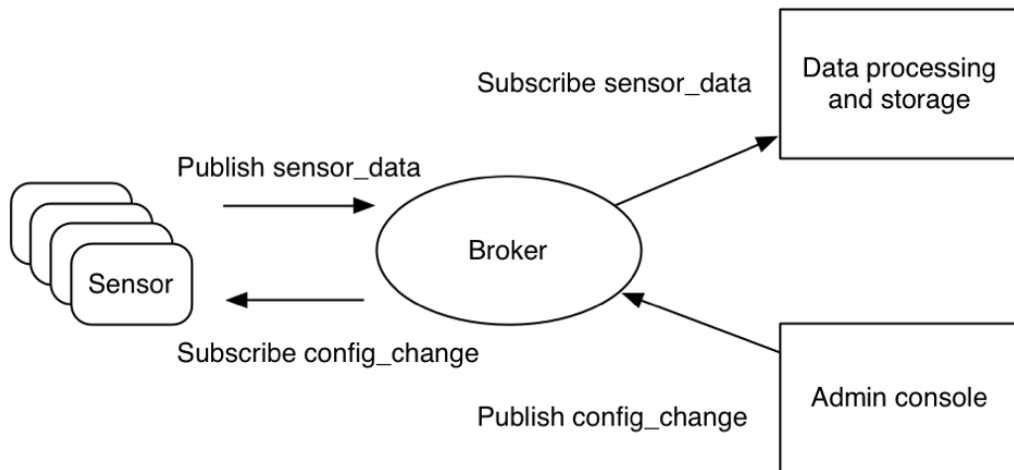
2.8 Protokol MQ Telemetry Transport (MQTT)

Protokol MQ Telemetry Transport (MQTT) adalah protokol transportasi *publish/subscribe* yang didesain ringan, terbuka, simpel, dan mudah untuk diimplementasikan. Karakteristik tersebut membuatnya menjadi pilihan ideal untuk komunikasi *Machine to Machine* dan *Internet of Things* pada area yang terpencil atau *bandwidth* terbatas [32]. Protokol ini umumnya berjalan pada *transport layer* TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), tetapi pada dasarnya semua protokol yang menyediakan koneksi tersusun, *lossless*, dan *bi-directional* dapat mendukung MQTT. Pada protokol MQTT, terdapat dua entitas pada jaringan, yaitu *client* dan broker. Broker MQTT adalah sebuah server yang menerima

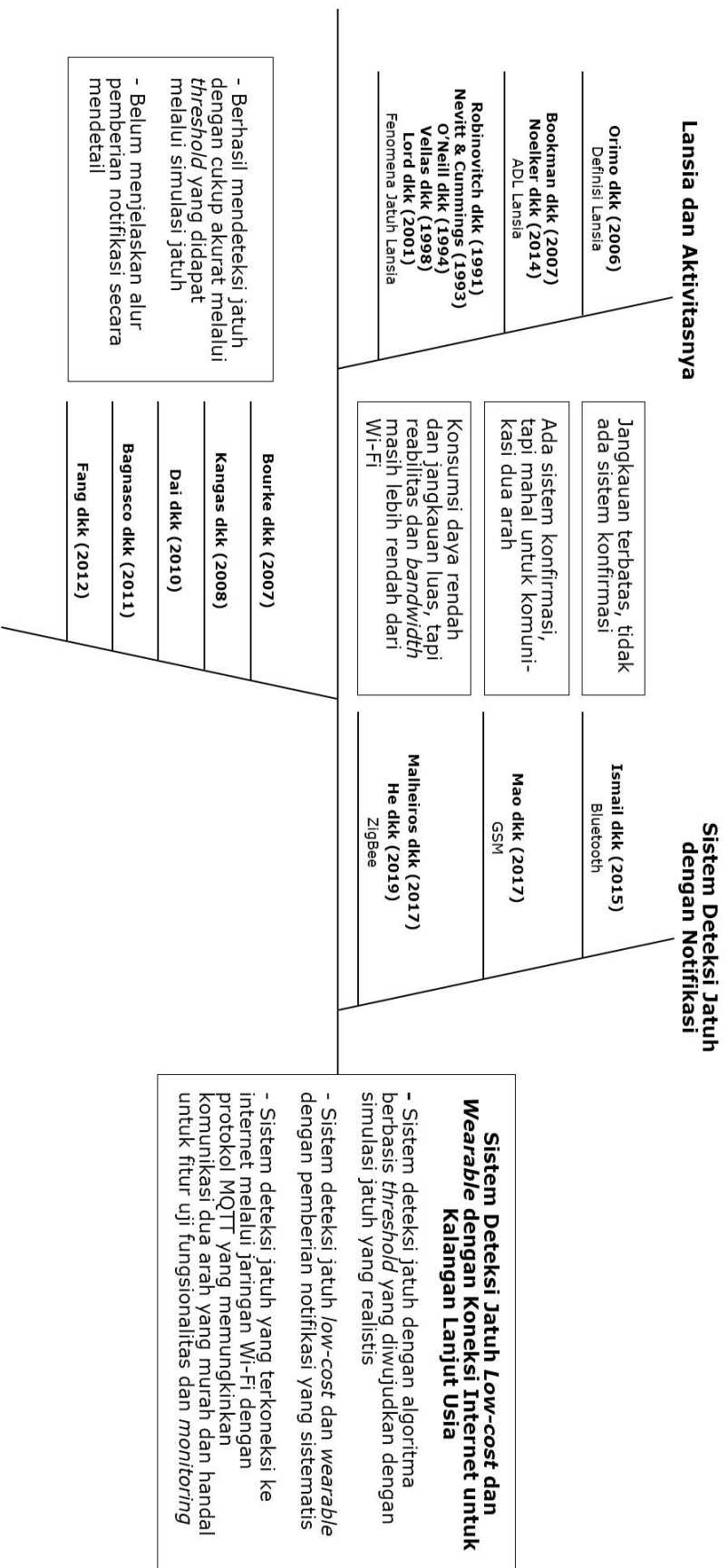
informasi dari seluruh *client* yang terkoneksi padanya dan mengarahkan informasi tersebut ke *client* yang dituju, sedangkan *client* MQTT adalah alat atau sistem apapun yang terkoneksi ke broker MQTT melalui suatu jaringan [33]. Informasi akan diorganisasi dalam suatu bentuk hirarki yang disebut *topic* atau topik tertentu. Setiap *client* dapat mengirimkan suatu data pada topik tertentu yang hendak didistribusikan beserta pesan kontrol ke broker MQTT. Hal tersebut disebut dengan istilah *publish*. Broker MQTT akan mendistribusikan data yang dikirimkan atau yang di-*publish* tersebut ke seluruh *client* yang mengikuti atau men-*subscribe* topik yang dimaksud. Distribusi informasi pada protokol MQTT dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 2.4.

2.9 Rasional

Berdasarkan teori dan tinjauan pustaka mengenai lansia dan algoritma deteksi jatuh yang telah dijelaskan, tugas akhir dengan judul “*Sistem Deteksi Jatuh Low-cost dan Wearable dengan Koneksi Internet untuk Kalangan Lanjut Usia*” dapat dilakukan dengan berpedoman pada diagram *fishbone* seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Visualisasi distribusi informasi pada protokol MQTT [33]



Gambar 2.5 Diagram fishbone dari penelitian yang dilakukan

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

3.1 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan perancangan dan pengujian sistem deteksi jatuh *low-cost* dan *wearable* dengan sistem notifikasi untuk kalangan lansia. Dilakukan kegiatan studi literatur, penyusunan *software* dan *hardware* akuisisi data, akuisisi dan pemrosesan data, penyusunan *software*, pengujian sistem, serta penulisan buku tugas akhir.

3.1.1 Studi Literatur

Kegiatan studi literatur berisi serangkaian kegiatan pengumpulan dan pengkajian dasar teori yang relevan untuk menunjang penelitian. Literatur yang digunakan bersumber dari publikasi *paper* atau jurnal ilmiah, buku, artikel, serta *website* yang bertaraf nasional dan internasional.

3.1.2 Penyusunan *Software* dan *Hardware* Akuisisi Data

Penyusunan *hardware* dan *software* untuk akuisisi data dilakukan untuk mempersiapkan proses akuisisi data. Disusun *hardware* dari sistem deteksi jatuh berupa pengintegrasian *tri-axial accelerometer* dan mikrokontroler ke *harness* sehingga membentuk purwarupa *wearable*. *Software* pendukung untuk akuisisi data keluaran *tri-axial accelerometer* dan mengirimkannya ke PC untuk disimpan dalam bentuk *text file* saat proses simulasi juga diwujudkan dan diterapkan pada mikrokontroler.

3.1.3 Akuisisi dan Pemrosesan Data

Akuisisi data keluaran *tri-axial accelerometer* dilakukan setelah *hardware* dan *software* pendukung akuisisi data telah diwujudkan. Proses akuisisi data dilakukan dalam bentuk simulasi jatuh dengan prosedur yang akan dijelaskan selanjutnya. Setelah itu data-data yang telah didapat diproses dengan *software* MATLAB untuk mendapatkan *threshold* yang digunakan pada sistem deteksi jatuh yang diwujudkan.

3.1.4 Penyusunan *Software*

Penyusunan *software* atau algoritma utama dari sistem deteksi jatuh dilakukan setelah data-data simulasi yang diakuisisi selesai diproses dan menghasilkan *threshold* yang digunakan. Alur pemberian notifikasi yang akan dijelaskan selanjutnya juga diwujudkan pada *software*. Koneksi antara sistem deteksi jatuh dengan *smartphone* melalui protokol MQTT dibangun beserta *software* pendukung pada *smartphone* sehingga dapat dilakukan komunikasi dua arah antara sistem deteksi jatuh dengan *smartphone* melalui internet.

3.1.5 Pengujian Sistem

Pengujian algoritma deteksi jatuh dilakukan dengan melakukan simulasi jatuh dan simulasi ADL. Seluruh kemungkinan pengiriman notifikasi ketika terjadi

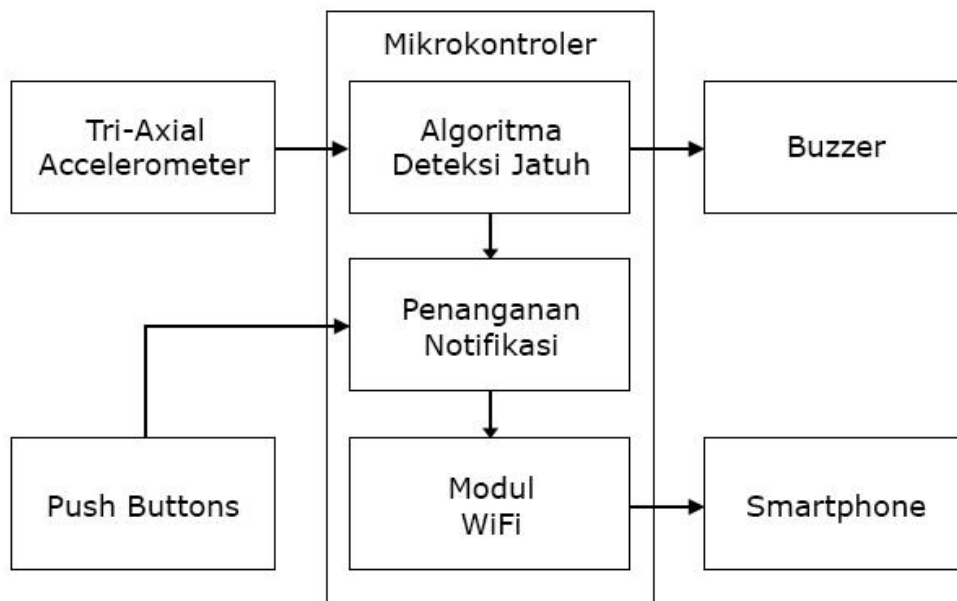
jatuh diuji keberhasilannya. Kemudian didapatkan persentase sensitivitas, spesifisitas, dan akurasi dari sistem deteksi jatuh yang diwujudkan.

3.1.6 Penulisan Buku Tugas Akhir

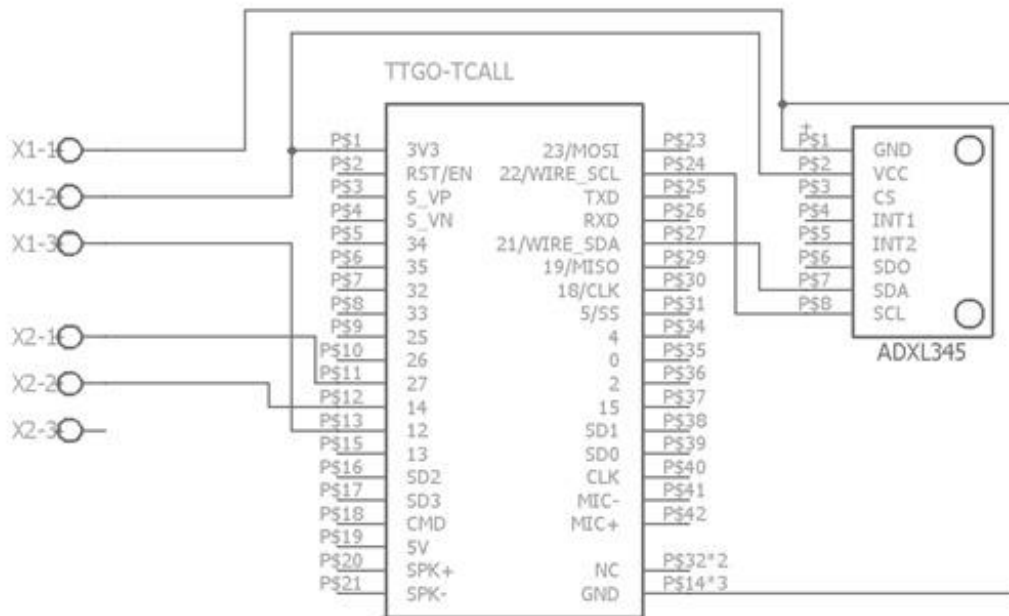
Penulisan buku tugas akhir merupakan tahap akhir dari tugas akhir setelah seluruh tahapan yang direncanakan terselesaikan sehingga hasil yang disampaikan dapat menjelaskan keseluruhan proses yang dilaksanakan sesuai hasil dan data yang didapatkan. Laporan berisi keseluruhan hal yang berkaitan dengan tugas akhir yang telah dikerjakan.

3.2 Perancangan Sistem

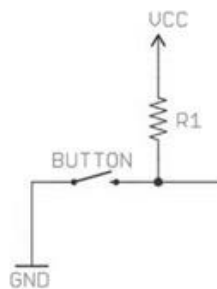
Perancangan sistem deteksi jatuh diwujudkan sesuai dengan diagram blok yang terlihat pada Gambar 3.1. *Tri-axial accelerometer* dan mikrokontroler diintegrasikan dalam *casing* ke *harness* sehingga membentuk purwarupa *wearable*. Sensor *tri-axial accelerometer* yang digunakan adalah ADXL 345, yang berperan sebagai masukan dari algoritma deteksi jatuh yang diproses oleh mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah LILYGO© TTGO T-Call yang menggunakan *chip* ESP32 sebagai basisnya. Selain modul Wi-Fi dan *bluetooth*, mikrokontroler ini juga dilengkapi dengan modul SIM800L yang merupakan modul GSM/GPRS. *Buzzer* dan modul Wi-Fi serta GPRS pada mikrokontroler berperan untuk memberikan notifikasi ke *smartphone* melalui koneksi MQTT ketika algoritma mendeteksi terjadinya jatuh. *Push button* yang tersambung ke mikrokontroler di luar *casing* berfungsi sebagai mekanisme konfirmasi oleh pengguna dan sebagai kontrol manual dari *buzzer*.



Gambar 3.1 Diagram blok sistem yang diwujudkan



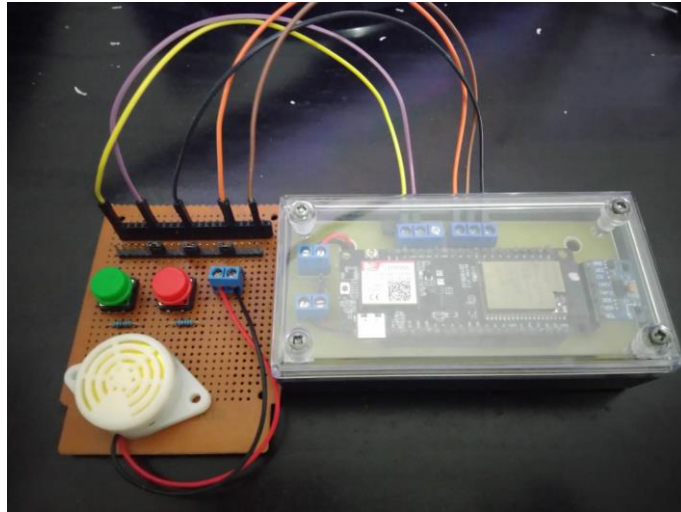
Gambar 3.2 Skematik rancangan *hardware* purwarupa *wearable* dari sistem yang diwujudkan



Gambar 3.3 Sambungan *push button* ke mikrokontroler dengan resistor *pull-up*

3.2.1 Perancangan Purwarupa *Wearable*

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, *tri-axial accelerometer* dan mikrokontroler dalam *casing* beserta *push button* dan *buzzer* yang tersambung dari luar *casing* diintegrasikan ke *harness* sehingga membentuk purwarupa *wearable*. Skematik dari susunan *hardware* tersebut terlihat pada Gambar 3.2. *Push button* yang digunakan tersambung ke mikrokontroler pada pin X2-1 dan X2-2 pada skematik melalui sambungan resistor *pull-up* seperti pada Gambar 3.3. Nilai resistor yang digunakan adalah sebesar 10 k Ω . Pin X1-3 yang tersambung pada pin *Pulse Width Modulation* (PWM) mikrokontroler berfungsi untuk mengaktifkan *buzzer*. Keseluruhan purwarupa *wearable* menggunakan sumber daya dari baterai Li-Po 3,7 V 500 mAh yang juga diposisikan di dalam *casing*. Penampakan hasil rancangan purwarupa *wearable* dapat dilihat pada Gambar 3.4, Gambar 3.5, dan Gambar 3.6.



Gambar 3.4 Rancangan *hardware* purwarupa *wearable*



Gambar 3.5 Penampakan bagian luar dan dalam *hardware* purwarupa *wearable*

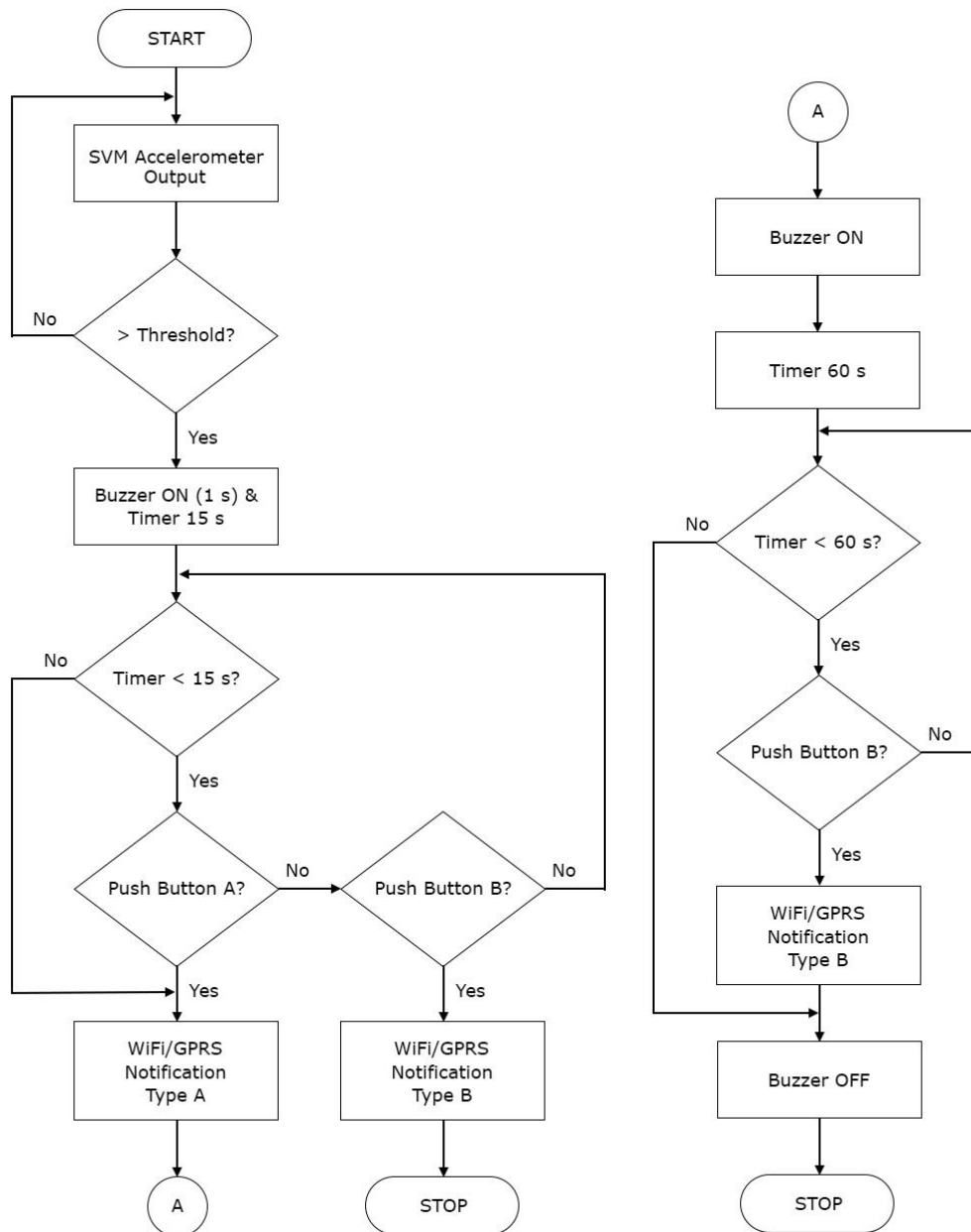
3.2.2 Perancangan Alur Sistem Deteksi Jatuh

Rancangan alur sistem deteksi jatuh yang diwujudkan ditunjukkan pada Gambar 3.7. Tiga keluaran sensor *tri-axial accelerometer* dihitung resultannya dengan metode penjumlahan vektor atau *Sum Vector Magnitude* (SVM) secara *real-time* dengan frekuensi 1 kHz sesuai Persamaan 3.1 berikut,

$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (3.1)$$



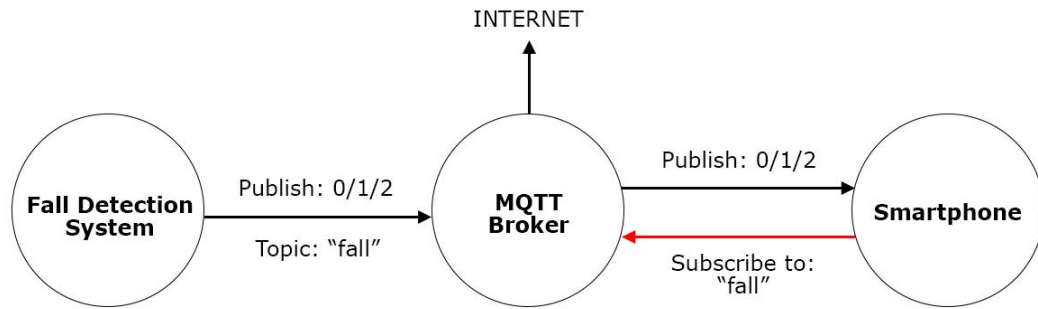
Gambar 3.6 Keseluruhan purwarupa *wearable* yang dikenakan di bagian dada dimana a_x , a_y , dan a_z adalah percepatan pada ketiga aksis *accelerometer*. Dalam situasi ini, sistem tidak mengirimkan data ke broker MQTT sehingga konsumsi daya yang rendah dapat dicapai. Apabila resultan masukan tersebut melebihi *threshold* yang ditentukan, maka sistem akan menentukan apakah *buzzer* akan dibunyikan dan apakah notifikasi akan dikirimkan berdasarkan respon konfirmasi pengguna yang melibatkan *push button* A dan B. Pertama-tama *buzzer* akan berbunyi satu kali sebagai tanda bagi pengguna untuk melakukan konfirmasi dengan menekan *push button*. Di saat yang bersamaan, sistem akan membangun koneksi dengan broker MQTT untuk mempersiapkan pengiriman notifikasi. Jika pengguna mengkonfirmasi bahwa terjadi jatuh dan ia membutuhkan bantuan dengan menekan *push button* A, atau dalam jangka waktu 15 detik tidak ada konfirmasi yang dilakukan pengguna, maka *buzzer* akan berbunyi selama satu menit dan notifikasi tipe A akan dikirimkan ke *smartphone* melalui koneksi MQTT yang menyatakan bahwa telah terjadi jatuh pada penggunanya. Apabila pengguna menekan *push button* B yang menandakan bahwa ia tidak terjatuh (kesalahan deteksi) atau ia terjatuh tapi tidak membutuhkan bantuan, maka *buzzer* tidak akan berbunyi tetapi notifikasi tipe B yang menyatakan hal tersebut akan tetap dikirimkan ke *smartphone* agar bisa dilakukan konfirmasi lebih lanjut oleh *caretaker*. *Push button* B juga dapat digunakan untuk mematikan *buzzer* secara manual apabila terjadi kesalahan deteksi tetapi pengguna tidak sempat untuk memberi konfirmasi sehingga *buzzer* sudah berbunyi, atau ketika bantuan sudah diterima.



Gambar 3.7 Alur sistem deteksi jatuh yang diwujudkan

3.2.3 Perancangan Arsitektur Koneksi MQTT

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, sistem deteksi jatuh dan *smartphone* saling terkoneksi ke internet dengan protokol MQTT. Arsitektur koneksi yang diwujudkan terlihat seperti pada Gambar 3.8. Sistem deteksi jatuh sebagai salah satu *client* MQTT akan mem-*publish* nilai 0 yang merupakan kondisi normal ke broker MQTT sebagai suatu topik. Broker MQTT akan menyimpan atau mempertahankan (*retain*) informasi tersebut. Ketika sistem deteksi jatuh mendeteksi terjadinya jatuh dengan atau tanpa konfirmasi penggunanya, maka ia akan memperbarui atau mem-*publish* nilai 1 pada topik yang bersangkutan di bro-

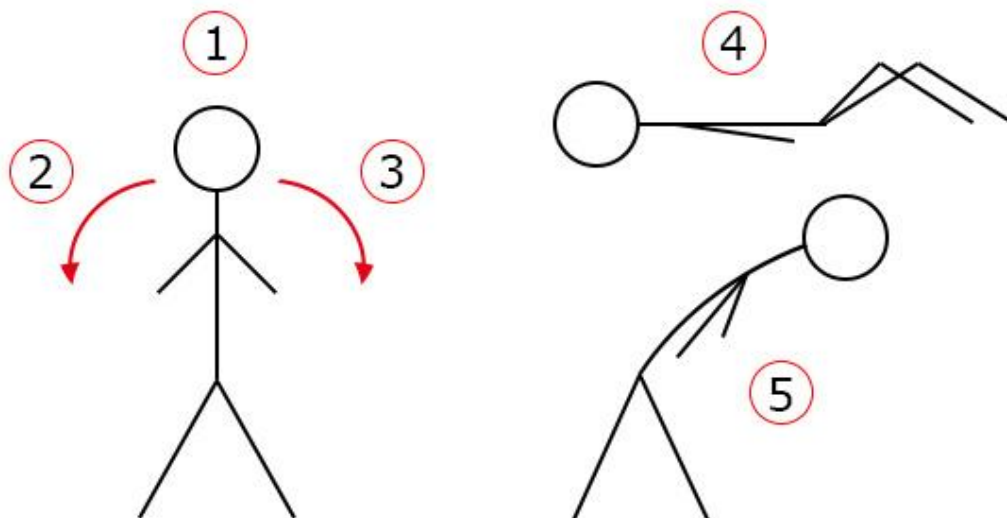


Gambar 3.8 Arsitektur koneksi MQTT

ker MQTT. Apabila pengguna memberikan konfirmasi tidak membutuhkan bantuan atau kesalahan deteksi, serta ketika *buzzer* dihentikan secara manual, maka akan di-*publish* nilai 2. *Smartphone* sebagai *client* MQTT lain yang ter-*subscribe* pada topik tersebut akan mendeteksi perubahan tersebut dan memberikan notifikasi yang sesuai dengan kondisi pada alur sistem deteksi jatuh.

3.3 Prosedur Pengujian Sensor *Accelerometer*

Tri-axial accelerometer yang telah diintegrasikan pada purwarupa *wearable* diamati karakteristik keluaran ketiga aksisnya dan juga hasil perhitungan SVM-nya sesuai dengan Persamaan 3.1. Subjek yang mengenakan purwarupa *wearable* di bagian dada memposisikan tubuhnya pada beberapa posisi seperti pada Gambar 3.9, yaitu posisi berdiri tegak, miring ke kiri dan ke kanan, berbaring, dan membungkuk. Keluaran *accelerometer* kemudian diamati pada kondisi diam saat subjek memposisikan tubuhnya pada kelima posisi yang telah disebutkan.



Gambar 3.9 Posisi uji sensor *accelerometer* (1. Tegak, 2. Miring ke kiri, 3. Miring ke kanan, 4. Berbaring, 5. Membungkuk)



Gambar 3.10 Posisi sensor yang diuji coba pada simulasi jatuh

Tabel 3.1 Simulasi Jatuh

No.	Tipe Jatuh
1.	Jatuh ke arah depan/belakang
2.	Jatuh ke arah kiri
3.	Jatuh ke arah kanan
4.	Jatuh ke samping dari kursi
5.	Jatuh ke samping dari tempat tidur

3.4 Prosedur Simulasi untuk Penentuan *Threshold*

Untuk mendapatkan parameter *threshold* yang akan digunakan pada algoritma deteksi jatuh pada sistem, dilakukan simulasi fenomena jatuh yang melibatkan tiga orang subjek normal yang melakukan beberapa simulasi tipe jatuh dengan matras sebagai alas sambil mengenakan purwarupa *wearable* dengan mikrokontroler dan *tri-axial accelerometer*. Ketiga subjek telah dijelaskan mengenai latar belakang dan tujuan penelitian, dan ketiganya setuju untuk terlibat dalam penelitian ini. Posisi sensor yang diuji coba terlihat pada Gambar 3.10, yaitu pada dada dan punggung subjek, dimana menurut penelitian-penelitian sebelumnya posisi tersebut yang terletak pada batang tubuh manusia umumnya merupakan posisi yang optimal untuk sistem deteksi jatuh. Tipe jatuh yang disimulasikan masing-masing subjek terlihat pada Tabel 3.1, dengan pengulangan sebanyak tiga kali untuk setiap tipe jatuh pada kedua posisi sensor.

3.5 Prosedur Pengujian Sistem

Sistem deteksi jatuh yang diwujudkan diuji tingkat keakuratannya dalam membedakan kondisi jatuh dan bukan jatuh pada penggunaannya. Selain itu,

dilakukan pula pengujian keberhasilan pemberian notifikasi oleh sistem deteksi jatuh sesuai alur sistem notifikasi yang telah dirancang.

3.5.1 Pengujian Keakuratan Sistem

Sistem yang telah diwujudkan diuji tingkat keakuratannya melalui dua tahap. Pengujian pertama dilakukan dengan melihat persentase keberhasilan sistem untuk mendeteksi jatuh ketika penggunanya terjatuh. Data simulasi jatuh pada Tabel 3.1 dipakai untuk menguji *threshold* yang digunakan pada algoritma deteksi jatuh. Pengujian kedua dilakukan dengan melihat persentase keberhasilan sistem untuk membedakan kondisi jatuh dengan kondisi bukan jatuh. Telah dilakukan beberapa simulasi ADL seperti pada Tabel 3.2 oleh subjek normal yang mengenakan purwarupa *wearable*. Masing-masing ADL diulang sebanyak tiga kali. Dengan dua tahap evaluasi tersebut, dapat dikalkulasi persentase sensitivitas/*true positive rate* (keberhasilan sistem mendeteksi jatuh) seperti pada Persamaan 3.2 dan persentase spesifisitas/*true negative rate* (keberhasilan sistem membedakan kondisi jatuh dengan tidak jatuh) seperti pada Persamaan 3.3. Persamaan akurasi dari sistem ditunjukkan pada Persamaan 3.4. Melalui ketiga persamaan tersebut, dapat diketahui kelayakan sistem dalam mendeteksi jatuh.

$$\% \text{ Sensitivitas} = \frac{\text{Jumlah simulasi jatuh terdeteksi}}{\text{Jumlah simulasi jatuh}} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$\% \text{ Spesifisitas} = \frac{\text{Jumlah ADL tidak terdeteksi}}{\text{Jumlah simulasi ADL}} \times 100\% \quad (3.3)$$

$$\% \text{ Akurasi} = \frac{\text{Jumlah simulasi jatuh terdeteksi} + \text{Jumlah ADL tidak terdeteksi}}{\text{Jumlah simulasi jatuh} + \text{Jumlah simulasi ADL}} \times 100\% \quad (3.4)$$

Tabel 3.2 Simulasi ADL

No.	ADL
1.	Berjalan
2.	<i>Jogging</i>
3.	Berjongkok
4.	Mengambil objek di lantai
5.	Duduk dan berdiri dari kursi
6.	Berbaring dan bangun dari tempat tidur
7.	Naik dan turun tangga

3.5.2 Pengujian Alur Sistem Notifikasi

Untuk menguji keberhasilan pemberian notifikasi sesuai alur sistem notifikasi pada Gambar 3.2, dilakukan empat pengujian terpisah yang mewakili setiap kemungkinan kondisi pemberian notifikasi yaitu,

1. Subjek terjatuh dan memberikan konfirmasi bahwa ia terjatuh. Alur notifikasi dinyatakan berhasil apabila diperoleh notifikasi tipe A pada *smartphone* dan *buzzer* berbunyi setelah subjek memberikan konfirmasi melalui *push button*.
2. Subjek terjatuh tetapi tidak memberikan konfirmasi bahwa ia terjatuh. Alur notifikasi dinyatakan berhasil apabila diperoleh notifikasi tipe A pada *smartphone* dan *buzzer* berbunyi setelah subjek terjatuh dan tidak memberikan konfirmasi melalui *push button* dalam jangka waktu 15 detik.
3. Subjek terjatuh tetapi memberikan konfirmasi bahwa ia tidak membutuhkan bantuan. Alur notifikasi dinyatakan berhasil apabila diperoleh notifikasi tipe B.1 pada *smartphone* dan *buzzer* tidak berbunyi setelah subjek memberikan konfirmasi melalui *push button*.
4. Subjek terjatuh dan memberikan konfirmasi bahwa ia terjatuh, kemudian setelah *buzzer* berbunyi subjek menghentikan bunyi *buzzer* secara manual sebelum *buzzer* berhenti secara otomatis. Alur notifikasi dinyatakan berhasil apabila diperoleh notifikasi tipe B.2 pada *smartphone* dan *buzzer* berhenti berbunyi setelah subjek menghentikan pemberian notifikasi secara manual melalui *push button*.

BAB 4 PENGUJIAN SISTEM

4.1 Pengujian Sensor *Accelerometer*

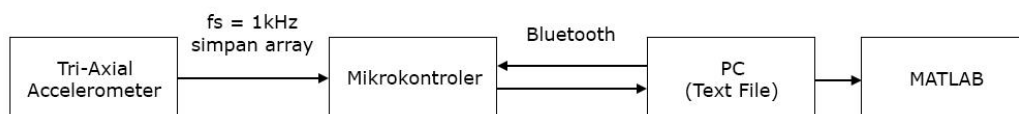
Pengujian sensor *tri-axial accelerometer* untuk melihat karakteristik keluaran tiap aksis pada berbagai kondisi yang telah disebutkan pada prosedur uji di bab sebelumnya dilakukan sesuai skema pada Gambar 4.1. Data keluaran *accelerometer* diproses oleh mikrokontroler dengan frekuensi sampling 1 kHz. Data-data tersebut dikirimkan melalui *bluetooth* ke *personal computer* (PC) dan disimpan dalam bentuk *text file*. Selanjutnya data-data diproses dan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan *software* MATLAB.

4.2 Simulasi Jatuh dan Penentuan *Threshold*

Simulasi beberapa tipe jatuh yang umum dan realistis untuk mendapatkan parameter *threshold* yang digunakan pada algoritma deteksi jatuh pada sistem dilakukan sesuai prosedur uji di bab sebelumnya. Skema pengambilan data yang digunakan terlihat pada Gambar 4.1, yaitu sama seperti yang digunakan untuk melihat karakteristik keluaran sensor *accelerometer*. Digunakan algoritma sederhana untuk mendapatkan nilai maksimum keluaran *accelerometer* di setiap simulasi jatuh yang dilakukan ketiga subjek saat mengenakan purwarupa *wearable* di bagian dada dan punggung. Dari kumpulan nilai-nilai maksimum hasil simulasi jatuh pada masing-masing posisi sensor, dipilih nilai maksimum terkecil yang terekam pada setiap posisi sensor sebagai *threshold* untuk algoritma deteksi jatuh pada posisi sensor tersebut.

4.3 Pengujian Keakuratan Sistem

Pada pengujian keakuratan sistem tahap pertama yang bertujuan untuk melihat persentase keberhasilan sistem untuk mendeteksi jatuh ketika penggunanya terjatuh, digunakan data simulasi jatuh yang telah diperoleh sebelumnya saat proses penentuan *threshold*. Simulasi ini dilakukan pada MATLAB. Kemudian pada tahap kedua, dilakukan simulasi ADL sesuai prosedur uji pada bab sebelumnya sehingga dapat diketahui persentase keberhasilan sistem untuk membedakan kondisi jatuh dengan kondisi bukan jatuh. Hal ini dilakukan dengan mengamati respon *buzzer* yang telah diimplementasikan sebagai bagian dari sistem deteksi jatuh saat simulasi ADL.



Gambar 4.1 Skema pengambilan data keluaran *accelerometer*



Gambar 4.2 Simulasi jatuh



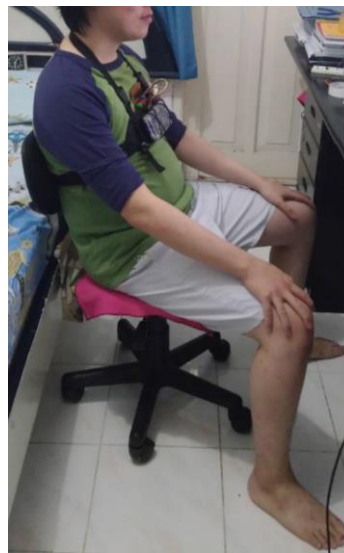
Gambar 4.3 Simulasi ADL berjalan (kiri) dan *jogging* (kanan)

4.4 Pengujian Alur Sistem Notifikasi

Pengujian alur sistem notifikasi dilakukan sesuai prosedur uji pada bab sebelumnya. Dengan mengamati respon *buzzer* dan aplikasi pada *smartphone* yang berfungsi untuk menerima notifikasi, maka kesesuaian alur dan keberhasilan pengiriman notifikasi ketika pengguna sistem yang diwujudkan terjatuh dapat diamati.



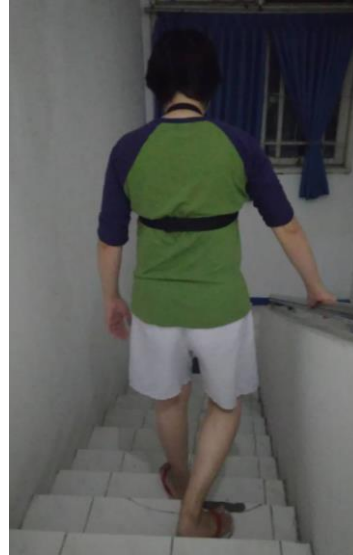
Gambar 4.4 Simulasi ADL berjongkok (kiri) dan mengambil objek di lantai (kanan)



Gambar 4.5 Simulasi ADL duduk dan berdiri dari kursi



Gambar 4.6 Simulasi ADL berbaring dan bangun dari tempat tidur

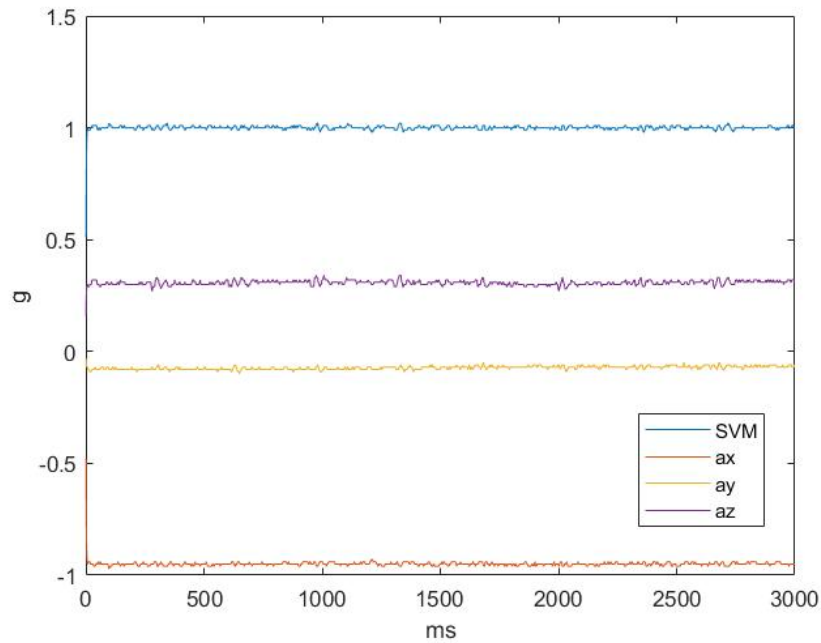


Gambar 4.7 Simulasi ADL naik dan turun tangga

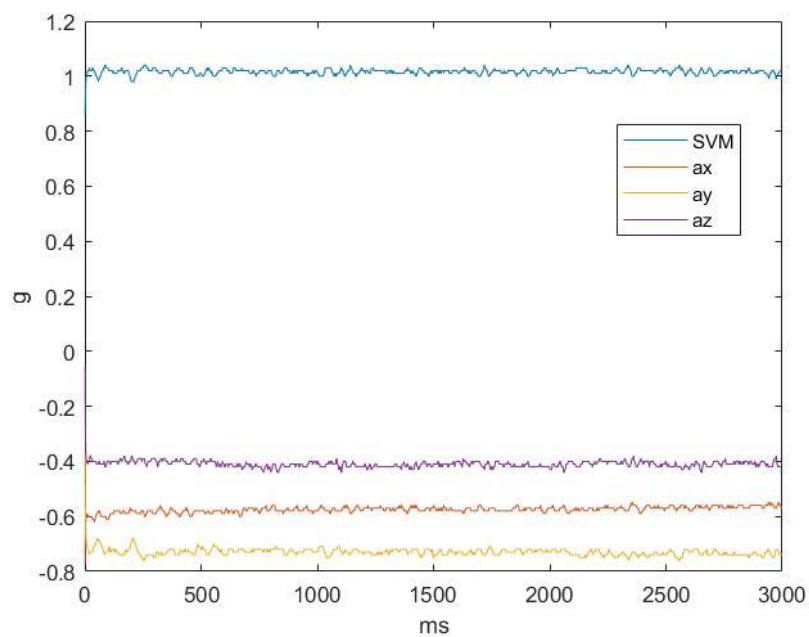
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Sensor *Accelerometer*

Karakteristik keluaran tiap aksis sensor *accelerometer* pada lima posisi tubuh yang dipilih terlihat pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.5. Karena data diambil da-

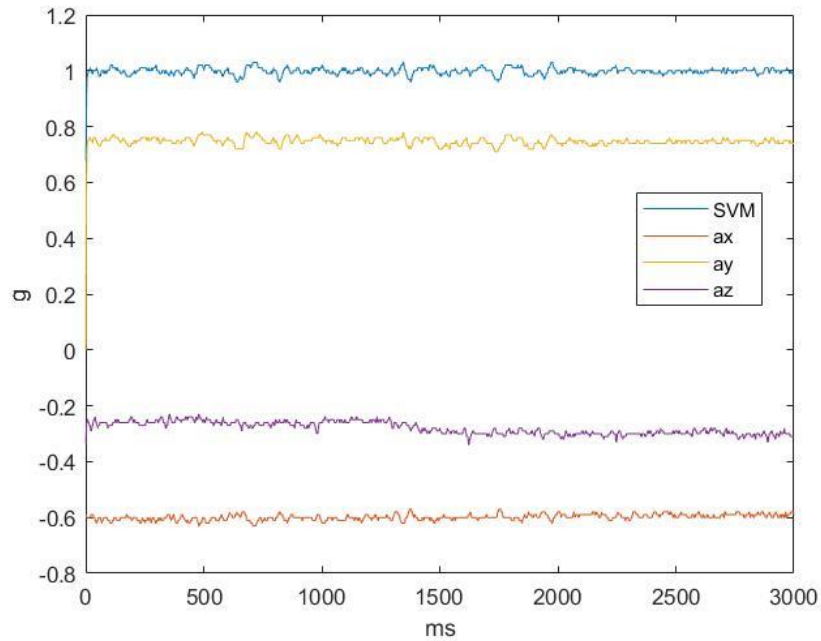


Gambar 5.1 Keluaran sensor *accelerometer* saat kondisi 1 (tegak)

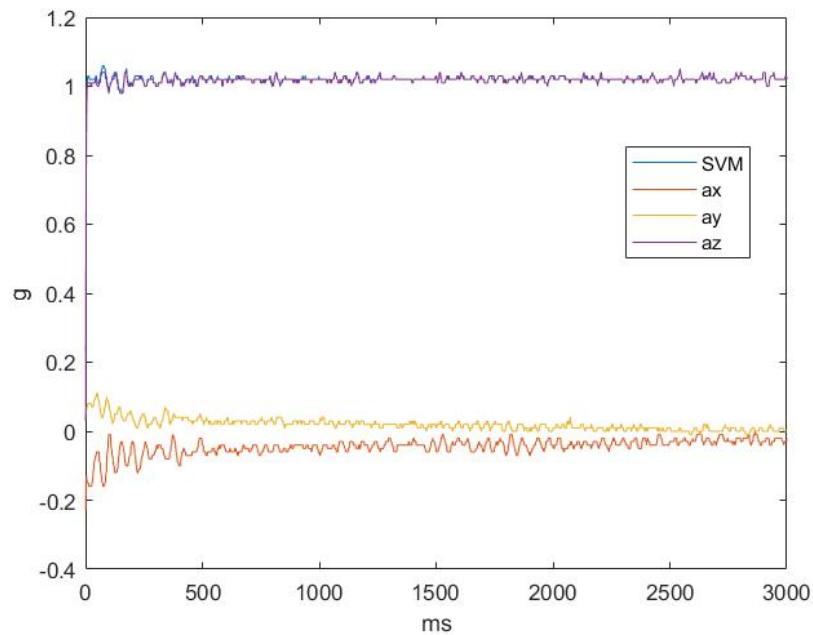


Gambar 5.2 Keluaran sensor *accelerometer* saat kondisi 2 (miring ke kiri)

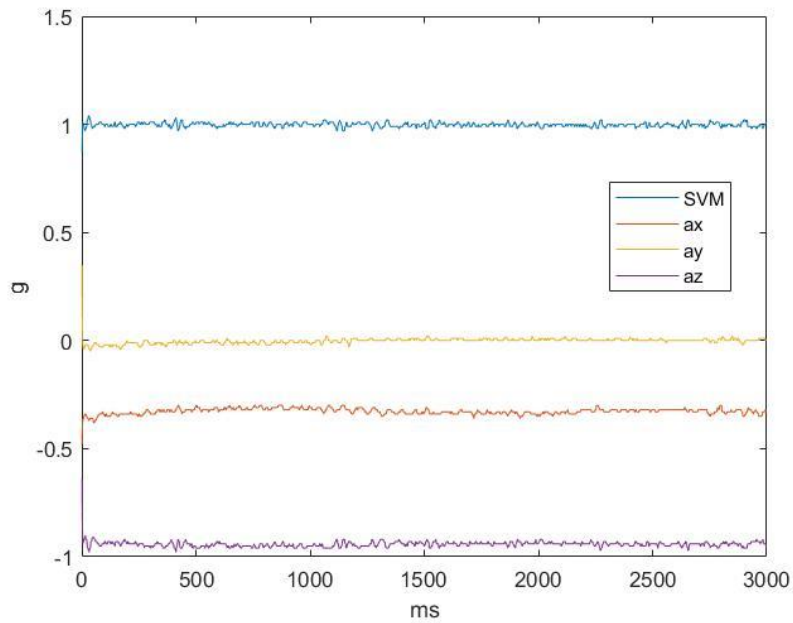
lam keadaan subjek mempertahankan posisi tubuhnya pada semua kondisi, maka tidak ada perubahan yang drastis pada keluaran *accelerometer* pada setiap aksis. Percepatan yang terekam pada setiap aksis hampir seluruhnya adalah percepatan statis dari gaya gravitasi bumi terhadap masing-masing aksis tersebut. Dari data berikut dapat disimpulkan pula bahwa walaupun dalam kondisi posisi tubuh yang berbeda-beda setiap aksis *accelerometer* akan memberikan bacaan percepatan yang



Gambar 5.3 Keluaran sensor *accelerometer* saat kondisi 3 (miring ke kanan)



Gambar 5.4 Keluaran sensor *accelerometer* saat kondisi 4 (berbaring)

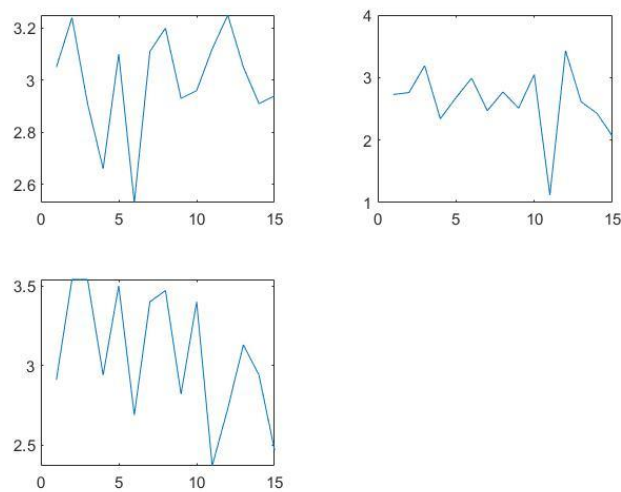


Gambar 5.5 Keluaran sensor *accelerometer* saat kondisi 5 (membungkuk)

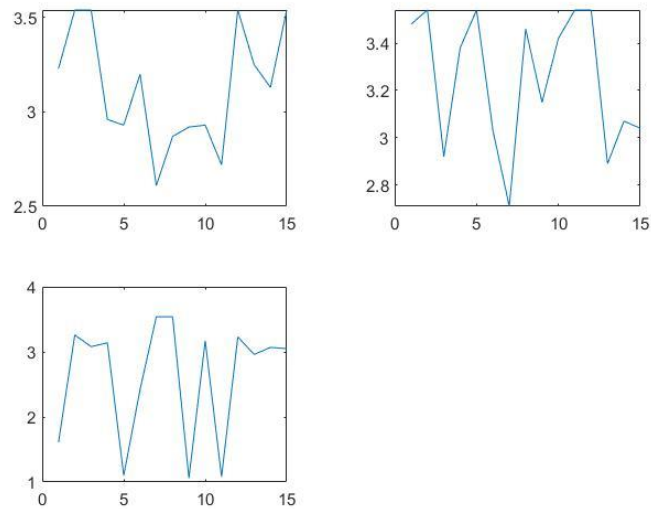
berbeda-beda, jika tidak ada atau pergerakan yang terjadi minimal maka hasil perhitungan SVM sesuai dengan Persamaan 3.1 bernilai sekitar 1g atau 0 m/s^2 . Oleh karena itu penggunaan rumus SVM cocok untuk mendeteksi percepatan dinamis saat terjadinya fenomena jatuh.

5.2 Simulasi Jatuh dan Penentuan *Threshold*

Nilai-nilai percepatan maksimum dari simulasi jatuh yang dilakukan ketiga subjek direpresentasikan pada grafik di Gambar 5.6 untuk posisi sensor di bagian dada dan di Gambar 5.7 untuk posisi sensor di bagian punggung. Sesuai dengan



Gambar 5.6 Nilai percepatan maksimum dari simulasi jatuh dengan posisi sensor di dada



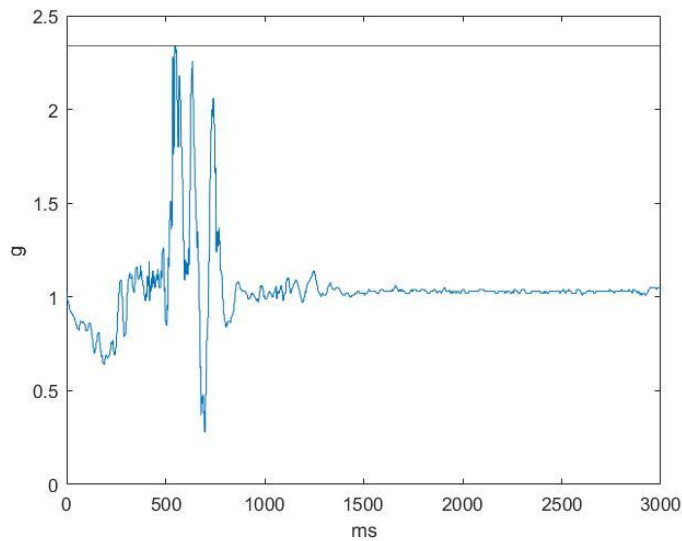
Gambar 5.7 Nilai percepatan maksimum dari simulasi jatuh dengan posisi sensor di punggung

syarat pemilihan *threshold* yang telah disampaikan sebelumnya, dipilih nilai maksimum terkecil yang terekam pada setiap posisi sensor sebagai *threshold* pada sistem deteksi jatuh dengan konfigurasi posisi sensor tersebut. Untuk posisi sensor di dada, nilai maksimum terkecil yang terekam adalah 1,12 g dan untuk posisi sensor di punggung, nilai maksimum terkecil yang terekam adalah 1,06 g.

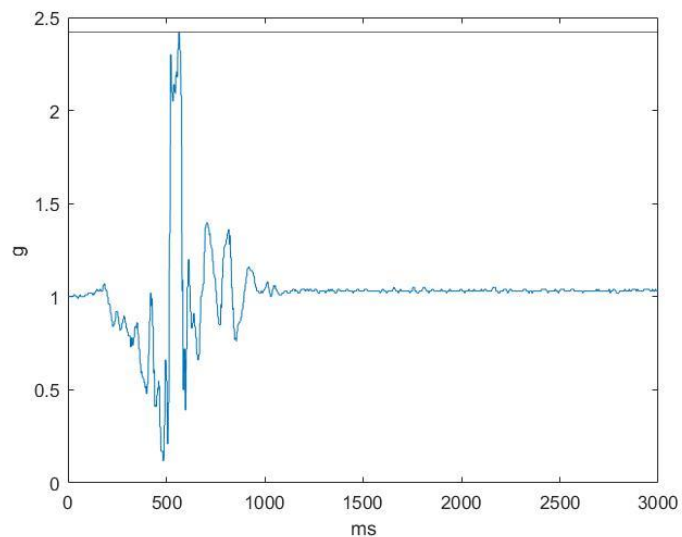
Mengacu kepada hasil yang didapat dari pengujian sensor *accelerometer* pada subbab sebelumnya, yang mana hasil perhitungan SVM jika tidak ada atau pergerakan yang terjadi minimal adalah sekitar 1 g, maka apabila digunakan *threshold* 1,12 g dan 1,06 g yang hanya berselisih 0,12 g dan 0,06 g dirasa tidak mampu untuk membedakan kondisi jatuh dan bukan jatuh. Oleh karena itu, ditambahkan syarat dalam pemilihan *threshold*, yaitu untuk data simulasi jatuh dengan nilai percepatan maksimumnya di bawah 2 g dianggap tidak valid. Terdapat dua data tidak valid pada simulasi dengan posisi sensor di bagian dada yang berasal dari subjek kedua dan empat data tidak valid pada simulasi dengan posisi sensor di bagian dada yang berasal dari subjek ketiga. Dengan syarat tambahan tersebut, nilai maksimum yang dipilih sebagai *threshold* untuk posisi sensor di dada adalah 2,34 g dan untuk posisi sensor di punggung adalah 2,42 g.

5.3 Pengujian Keakuratan Sistem

Sistem deteksi jatuh yang menggunakan *threshold* sesuai hasil pengujian simulasi jatuh pertama-tama diuji keakuratannya dengan mensimulasikan data simulasi jatuh yang telah diperoleh saat proses penentuan *threshold* sebagai masukan dari sistem deteksi jatuh. Dengan itu, dapat diketahui persentase sensitivitas atau kemampuan sistem untuk mendeteksi jatuh sesuai dengan Persamaan 3.2. Data-data yang dianggap tidak valid dalam pembahasan sebelumnya tidak lagi digunakan pada simulasi ini. Untuk posisi sensor pada bagian



Gambar 5.8 Hasil simulasi jatuh untuk posisi sensor di dada yang nilai maksimumnya dipilih sebagai *threshold* (2,34 g)



Gambar 5.9 Hasil simulasi jatuh untuk posisi sensor di punggung yang nilai maksimumnya dipilih sebagai *threshold* (2,42 g)

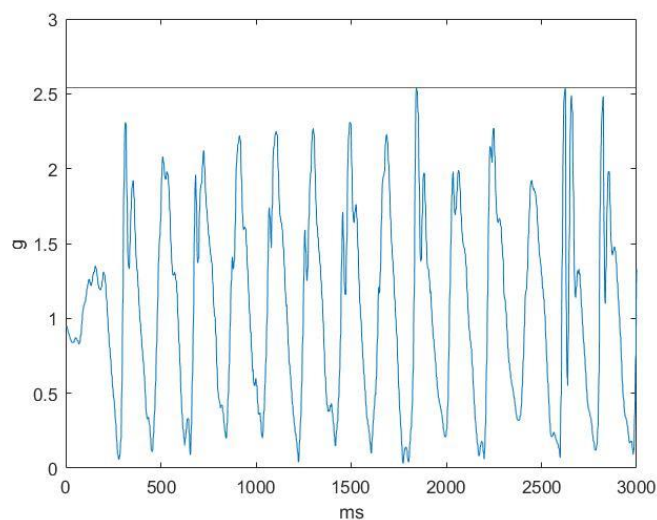
dada terdapat 43 data valid sebagai masukan, sedangkan untuk posisi sensor pada bagian punggung terdapat 41 data. Hasil simulasi dan perhitungan sesuai Persamaan 3.2 menyatakan bahwa dengan metode pemilihan *threshold* yang digunakan, sistem deteksi jatuh yang diwujudkan memiliki persentase sensitivitas 100% pada kedua konfigurasi posisi sensor. Dengan kata lain, semua data kondisi jatuh valid yang disimulasikan seluruhnya berhasil dideteksi oleh sistem.

Selanjutnya dilakukan simulasi ADL untuk mengetahui persentase spesifitas atau keberhasilan sistem untuk membedakan kondisi jatuh dengan kondisi bukan jatuh sesuai dengan Persamaan 3.3. Dari tiga subjek dan total 63 pengujian pada

Tabel 5.1 Nilai percepatan maksimum berbagai jenis ADL

ADL	Dada (2.34 g)	Punggung (2.42 g)
Berjalan	1,70 g	1,90 g
<i>Jogging</i>	2,21 g	2,54 g
Berjongkok	1,64 g	1,99 g
Mengambil objek di lantai	1,22 g	1,33 g
Duduk dan berdiri dari kursi	1,97 g	2,27 g
Berbaring di tempat tidur	1,68 g	1,49 g
Menaiki tangga	1,50 g	1,63 g
Menuruni tangga	2,20 g	2,30 g

masing-masing konfigurasi posisi sensor pada sistem deteksi jatuh, diperoleh persentase spesifitas 100% untuk posisi sensor di bagian dada dan 98,41% untuk posisi sensor di bagian punggung. Tidak terjadi kesalahan deteksi dari seluruh simulasi ADL yang dilakukan pada konfigurasi posisi sensor di dada, sedangkan pada konfigurasi sensor di punggung terjadi satu kesalahan deteksi. Untuk memverifikasi hal ini lebih lanjut, diamati nilai percepatan maksimum dari setiap jenis simulasi ADL yang dilakukan salah satu subjek seperti pada Tabel 5.1. Terlihat bahwa nilai percepatan maksimum yang paling besar terekam pada posisi sensor di dada adalah saat subjek melakukan *jogging*, yaitu sebesar 2,21g, yang mana masih di bawah *threshold* yang digunakan (2,34 g). Pada posisi sensor di punggung, nilai percepatan maksimum terbesarnya melebihi *threshold* yang digunakan (2,42 g), yaitu mencapai 2,54 g pada aktivitas *jogging*.

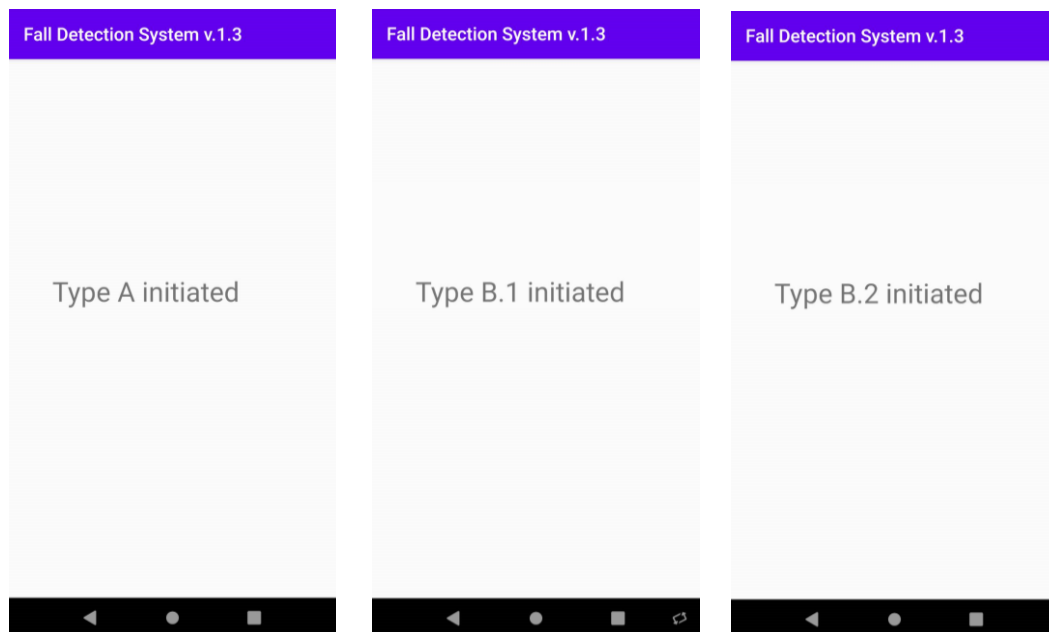


Gambar 5.10 Hasil simulasi aktivitas *jogging* dengan posisi sensor di punggung yang menyebabkan kesalahan deteksi

Dengan perhitungan sesuai Persamaan 3.4, persentase akurasi sistem deteksi jatuh yang diwujudkan adalah sebesar 100% untuk posisi sensor di bagian dada dan 99,04% untuk posisi sensor di bagian punggung. Dengan itu, walaupun selisih antara keduanya sangat kecil, sistem deteksi jatuh yang diwujudkan lebih akurat apabila diposisikan di bagian dada dengan menggunakan *threshold* yang diperoleh dari simulasi jatuh dengan posisi sensor di posisi yang sama.

5.4 Pengujian Alur Sistem Notifikasi

Hasil pengujian alur sistem notifikasi pada sistem deteksi jatuh terlihat pada Tabel 5.2. Keempat kemungkinan alur sistem notifikasi terbukti bekerja sesuai yang diharapkan dan sesuai dengan kondisi dan konfirmasi dari pengguna sistem deteksi jatuh yang diwujudkan. Tampilan notifikasi yang diperoleh di *smartphone* Android terlihat pada Gambar 5.11. Notifikasi tipe A artinya pengguna terjatuh, tipe B.1 artinya terjadi kesalahan deteksi atau pengguna mengkonfirmasi bahwa ia tidak membutuhkan bantuan, dan tipe B.2 artinya bantuan telah datang atau *buzzer* dimatikan secara manual setelah terdeteksi jatuh. Notifikasi tersebut yang merupakan hasil dari koneksi MQTT antara sistem deteksi jatuh dengan *smartphone* Android yang keduanya merupakan *client* yang terkoneksi melalui broker MQTT di internet juga membuktikan kesesuaian arsitektur MQTT yang dirancang.



Gambar 5.11 Tampilan notifikasi pada aplikasi *smartphone* Android

Tabel 5.2 Hasil pengujian alur sistem notifikasi

Kondisi	Respon yang Diharapkan		Respon Pengujian	
	Buzzer	Notifikasi	Buzzer	Notifikasi
1	ON	A	ON	A
2	ON	A	ON	A
3	OFF	B.1	OFF	B.1
4	OFF	B.2	OFF	B.2

BAB 6 KESIMPULAN

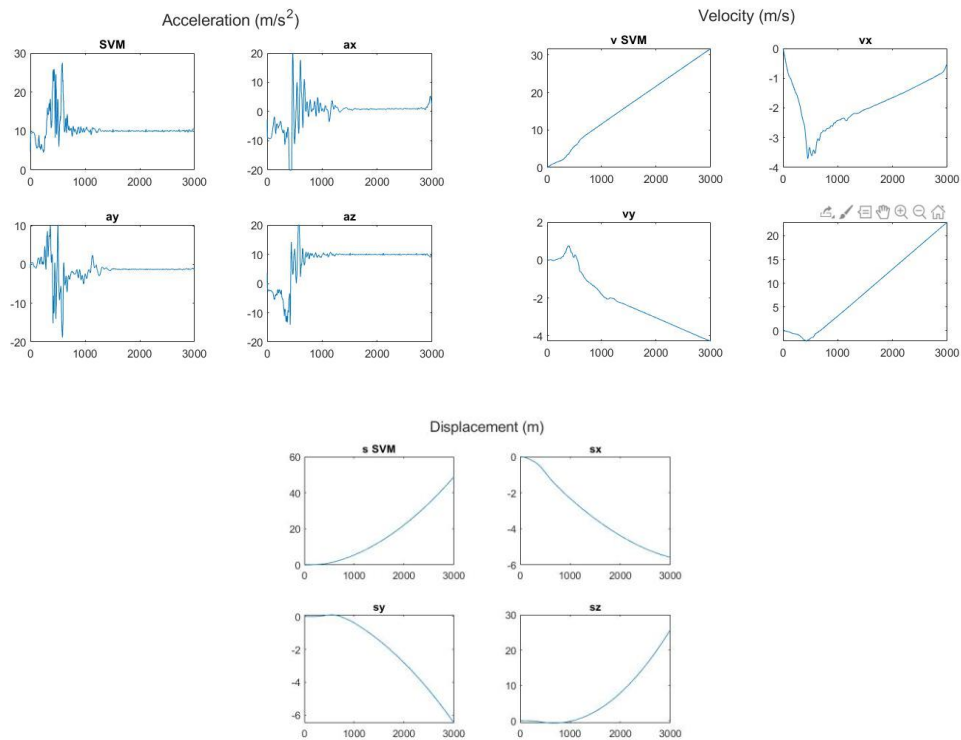
6.1 Kesimpulan

Dari perancangan dan pengujian yang dilakukan pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan. Telah berhasil diwujudkan sistem deteksi jatuh yang bersifat dan *low-cost* dan *wearable* untuk para lansia. Pada penelitian ini, dirancang dan diuji alur sistem notifikasi yang digunakan, yang mana hal tersebut seringkali dikesampingkan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Sistem deteksi jatuh yang diwujudkan juga dirancang dengan koneksi internet melalui protokol MQTT, sehingga memungkinkan komunikasi dua arah yang lebih cepat dan murah, serta membuka lebih banyak peluang penambahan fitur jika dibandingkan dengan metode komunikasi yang digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya.

Pada sistem deteksi jatuh yang telah diwujudkan pada penelitian ini, dengan posisi sensor di dada dan *threshold* sebesar 2,34 g, persentase akurasi dari sistem adalah 100%. Dengan posisi sensor di punggung dan *threshold* sebesar 2,42 g, persentase akurasi dari sistem adalah 99,04%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem dirasa telah mampu mendeteksi jatuh dan membedakan kondisi jatuh dan bukan jatuh dengan akurasi yang tinggi seperti layaknya beberapa penelitian-penelitian sebelumnya, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1. Sistem notifikasi yang diimplementasikan juga berhasil memberikan notifikasi sesuai yang diharapkan, baik melalui bunyi secara langsung oleh *buzzer* maupun melalui notifikasi yang dikirimkan ke *smartphone* pada jaringan MQTT.

Tabel 6.1 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya (Sen = Sensitivitas, Spe = Spesifisitas, Acc = Akurasi)

Penelitian	Performa
Bourke dkk (2007) [9]	Sen: 100%, Spe: 100%
Kangas dkk (2008) [22]	Sen: 97%
Dai dkk (2010) [23]	Sen: 97,33%, Spe: 92,3%
Bagnasco dkk (2011) [24]	Sen: 88%, Spe: 100%
Fang dkk (2012) [25]	Sen: 72,22%, Spe: 73,78%
Penelitian ini	<u>Dada</u> Sen: 100%, Spe: 100%, Acc: 100% <u>Punggung</u> Sen: 100%, Spe: 98,41%, Acc: 99,04%

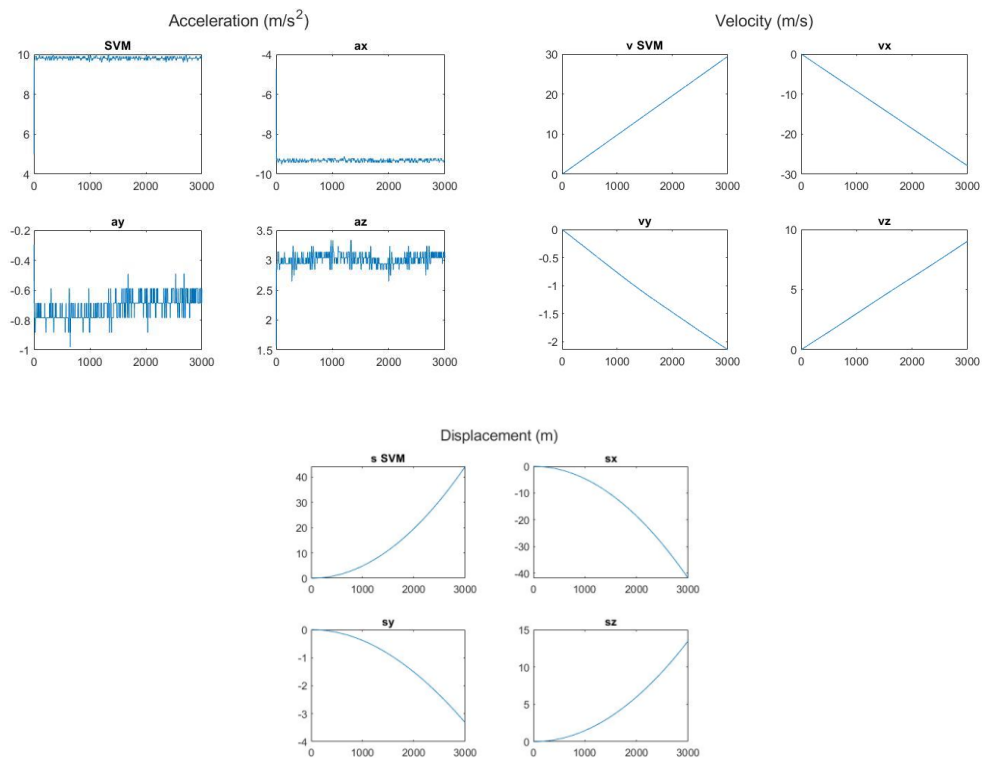


Gambar 6.1 Parameter perpindahan dari dua kali integrasi percepatan saat kondisi jatuh

6.2 Rencana Pengembangan

Terdapat beberapa rencana pengembangan untuk penelitian selanjutnya. Dengan koneksi internet melalui protokol MQTT yang telah berhasil dibangun dalam penelitian ini, maka penambahan berbagai fitur pada sistem deteksi jatuh sangat memungkinkan. Pada penelitian ini, perangkat yang terkoneksi dengan sistem deteksi jatuh hanya satu, yaitu *smartphone*. Komunikasi antara sistem deteksi jatuh dengan *smartphone* juga masih bersifat satu arah. Hal ini dapat dikembangkan menjadi komunikasi dua arah antara sistem deteksi jatuh dengan lebih dari satu perangkat yang terkoneksi ke internet melalui protokol MQTT. Dengan itu dapat diwujudkan suatu sistem yang tidak hanya mendeteksi jatuh pada lansia, namun juga melakukan fungsi *monitoring* atau pengawasan. Seluruh kontrol dan uji fungsionalitas dari bagian-bagian sistem deteksi jatuh dari juga dapat dialihkan ke perangkat lain.

Mengenai algoritma deteksi jatuh yang digunakan pada penelitian ini, walaupun terbukti dapat menghasilkan sistem deteksi jatuh dengan akurasi tinggi, hal tersebut tentunya bergantung pada hasil simulasi jatuh yang dilakukan dalam penentuan *threshold*. Selain itu, karena parameter yang digunakan adalah percepatan yang kemudian diproses dengan rumus SVM, sistem ini kurang mampu mendeteksi jatuh yang karakteristiknya tidak menimbulkan benturan keras. Sangat mungkin untuk dilakukan penambahan parameter lain selain percepatan untuk meningkatkan akurasi dan menurunkan frekuensi konfirmasi kesalahan deteksi yang harus dilakukan oleh pengguna. Pada penelitian ini, hanya digunakan satu sen-



Gambar 6.2 Parameter perpindahan dari dua kali integrasi percepatan saat kondisi tegak

sor *tri-axial accelerometer*, yaitu ADXL 345 yang hanya mampu memberikan keluaran berupa percepatan pada ketiga aksisnya. Sebagai upaya untuk melihat kemungkinan penambahan parameter lainnya, dilakukan dua kali integrasi pada percepatan keluaran *accelerometer* salah satu data simulasi jatuh untuk mendapatkan parameter perpindahan atau *displacement*. Selanjutnya, hasilnya dibandingkan dengan dua kali integrasi percepatan keluaran *accelerometer* ketika posisi tubuh diam. Terlihat pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2 bahwa tidak ada perbedaan yang jelas pada parameter perpindahan pada kondisi jatuh dan bukan jatuh. Hal ini disebabkan karena *error* yang terakumulasi saat proses dua kali integrasi terlalu besar atau keterbatasan lainnya dari sensor ADXL 345. Hal ini tentu membuka peluang pengembangan penelitian untuk menyelidiki kemungkinan penambahan sensor lain atau algoritma lain untuk membuat sistem deteksi jatuh lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “WHO | Proposed working definition of an older person in Africa for the MDS Project.” [Online]. Available: <https://www.who.int/healthinfo/survey/ageingdefnolder/en/>. [Accessed: 24-Oct-2019].
- [2] “Ageing and health.” [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>. [Accessed: 24-Oct-2019].
- [3] S. Schnell, S. M. Friedman, D. A. Mendelson, K. W. Bingham, and S. L. Kates, “The 1-Year Mortality of Patients Treated in a Hip Fracture Program for Elders,” *Geriatr. Orthop. Surg. Rehabil.*, vol. 1, no. 1, pp. 6–14, 2010.
- [4] S. R. (Stephen R. Lord, C. Sherrington, and H. B. Menz, *Falls in older people : risk factors and strategies for prevention*. Cambridge University Press, 2001.
- [5] B. Vellas, F. Cayla, H. Bocquet, F. de Pemille, and J. L. Albarede, “Prospective study of restriction of activity in old people after falls.,” *Age Ageing*, vol. 16, no. 3, pp. 189–93, May 1987.
- [6] D. Wild, U. S. L. Nayak, and B. Isaacs, “How dangerous are falls in old people at home?,” *Br. Med. J. (Clin. Res. Ed.)*, vol. 282, no. 6260, pp. 266–268, 1981.
- [7] R. J. Gurley, N. Lum, M. Sande, B. Lo, and M. H. Katz, “Persons found in their homes helpless or dead,” *N. Engl. J. Med.*, vol. 334, no. 26, pp. 1710–1716, Jun. 1996.
- [8] E. J. Porter, “Wearing and using personal emergency response system buttons.,” *J. Gerontol. Nurs.*, vol. 31, no. 10, pp. 26–33, Oct. 2005.
- [9] A. K. Bourke, J. V. O’Brien, and G. M. Lyons, “Evaluation of a threshold-based tri-axial accelerometer fall detection algorithm,” *Gait Posture*, vol. 26, no. 2, pp. 194–199, 2007.
- [10] H. Orimo, H. Ito, T. Suzuki, A. Araki, T. Hosoi, and M. Sawabe, “J.1447-0594.2006.00341.X.Pdf,” *Geriatr. Gerontol. Int.*, vol. 6, no. 3, pp. 149–158, 2006.
- [11] L. S. Noelker and R. Browdie, “Sidney Katz, MD: A New Paradigm for Chronic Illness and Long-Term Care,” *Gerontologist*, vol. 54, no. 1, pp. 13–20, Feb. 2014.
- [12] “Definition of ADLs (activities of daily living).” [Online]. Available: <https://www.medicinenet.com/script/main/art.asp?articlekey=2152>. [Accessed: 25-Nov-2019].
- [13] A. Bookman, M. Harrington, L. Pass, and E. Reisner, “Family Caregiver Handbook.”

- [14] T. W. O'Neill *et al.*, "Age and sex influences on fall characteristics.," *Ann. Rheum. Dis.*, vol. 53, no. 11, pp. 773–5, Nov. 1994.
- [15] B. J. Vellas, S. J. Wayne, P. J. Garry, and R. N. Baumgartner, "A two-year longitudinal study of falls in 482 community-dwelling elderly adults," *Journals Gerontol. - Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.*, vol. 53, no. 4, 1998.
- [16] M. C. Nevitt and S. R. Cummings, "Type of Fall and Risk of Hip and Wrist Fractures: The Study of Osteoporotic Fractures," *J. Am. Geriatr. Soc.*, vol. 41, no. 11, pp. 1226–1234, 1993.
- [17] S. N. Robinovitch, W. C. Hayes, and T. A. McMahon, "Prediction of femoral impact forces in falls on the hip.," *J. Biomech. Eng.*, vol. 113, no. 4, pp. 366–74, Nov. 1991.
- [18] C. Cryer, A. Knox, D. Martin, and J. Barlow, "Hip protector compliance among older people living in residential care homes," *Inj. Prev.*, vol. 8, no. 3, pp. 202–206, Sep. 2002.
- [19] "Fall Detection Medical Alert Devices for Elderly People | Fall Alert Systems." [Online]. Available: <https://www.medicalalertadvice.com/fall-detection/>. [Accessed: 20-Nov-2019].
- [20] N. Pannurat, S. Thiemjarus, and E. Nantajeewarawat, "A Hybrid Temporal Reasoning Framework for Fall Monitoring," *IEEE Sens. J.*, vol. 17, no. 6, pp. 1749–1759, 2017.
- [21] L. Ren and Y. Peng, "Research of fall detection and fall prevention technologies: A systematic review," *IEEE Access*, vol. 7. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 77702–77722, 2019.
- [22] M. Kangas, A. Konttila, P. Lindgren, I. Winblad, and T. Jämsä, "Comparison of low-complexity fall detection algorithms for body attached accelerometers," *Gait Posture*, vol. 28, no. 2, pp. 285–291, Aug. 2008.
- [23] J. Dai, X. Bai, Z. Yang, Z. Shen, and D. Xuan, "PerFallD: A pervasive fall detection system using mobile phones," in *2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PERCOM Workshops 2010*, 2010, pp. 292–297.
- [24] A. Bagnasco, A. M. Scapolla, and V. Spasova, "Design, implementation and experimental evaluation of a wireless fall detector," in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2011.
- [25] S. H. Fang, Y. C. Liang, and K. M. Chiu, "Developing a mobile phone-based fall detection system on android platform," in *2012 Computing, Communications and Applications Conference, ComComAp 2012*, 2012, pp. 143–146.
- [26] A. T. Özdemir, "An analysis on sensor locations of the human body for wearable fall detection devices: Principles and practice," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 8, 2016.
- [27] A. Mao, X. Ma, Y. He, and J. Luo, "Highly portable, sensor-based system

- for human fall monitoring,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 9, 2017.
- [28] J. S. Lee, Y. W. Su, and C. C. Shen, “A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi,” *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, no. March, pp. 46–51, 2007.
- [29] Y. Ismail, M. Kallel, and L. Ismail, “RAFDS: Remote Abnormality and Fall Detection System for Assisting Older Persons,” *Ijarcce*, vol. 4, no. 7, pp. 5–10, 2015.
- [30] L. Malheiros, G. D. A. Nze, and L. X. Cardoso, “Fall detection system and Body positioning with Heart Rate Monitoring,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 15, no. 6, pp. 1021–1026, Jun. 2017.
- [31] J. He, Z. Zhang, X. Wang, and S. Yang, “A low power fall sensing technology based on fd-cnn,” *IEEE Sens. J.*, vol. 19, no. 13, pp. 5110–5118, Jul. 2019.
- [32] “ISO - ISO/IEC 20922:2016 - Information technology — Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) v3.1.1.” [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/69466.html>. [Accessed: 12-Dec-2019].
- [33] “What is MQTT? Why use MQTT? – IBM Developer.” [Online]. Available: <https://developer.ibm.com/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/>. [Accessed: 12-Dec-2019].

BIODATA PENULIS



Samuel Caryabudi lahir di Jakarta pada tanggal 31 Mei 1998. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis memulai studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai anggota KMK ITS periode 2017-2018 dan menjadi asisten Laboratorium B205 Instrumentasi dan Pengolahan Sinyal Biomedika. Riwayat pendidikan penulis:

- SD Santa Ursula BSD
- SMP Santa Ursula BSD
- SMA Santa Ursula BSD

E-mail : samuel16@mhs.bme.its.ac.id

HP : 085697178152



**BIOMEDICAL ENGINEERING ITS
2020**