

REKONSTRUKSI SINYAL FALL DETECTION MENGGUNAKAN COMPRESSIVE SENSING DENGAN ALGORITMA ORTHOGONAL MATCHING PURSUIT

FALL DETECTION SIGNAL RECONSTRUCTION USING COMPRESSIVE SENSING WITH ORTHOGONAL MATCHING PURSUIT ALGORITHM

Jeremy Matthew Charisma¹, Ida Wahidah², Iman Hedi Santoso³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹jeremymatt@student.telkomuniversity.ac.id, ²wahidah@telkomuniversity.co.id,

³imanhedis@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Jatuh merupakan salah satu masalah yang sering terjadi pada usia lanjut akibat perubahan fungsi organ penyakit, dan lingkungan. Jatuh pada lansia dapat mengakibatkan masalah kesehatan yang serius bila tidak dapat ditangani dengan segera. Persentase lansia tidak dapat bangun untuk mencari pertolongan ketika jatuh ialah 80%. Merancang sebuah teknologi yang dapat membantu lansia untuk segera mendapatkan pertolongan sangat diperlukan untuk mengatasi masalah ini. Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem dengan metode *compressive sensing* dan rekonstruksi sinyal *fall detection* dengan menggunakan algoritma *Orthogonal Matching Pursuit* (OMP). Sinyal akan diakuisisi dengan menggunakan sensor MPU-6050 dan mikrokontroler Arduino Uno. Sinyal kemudian disparsifikasi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) dan kemudian akan diproyeksikan dengan Distribusi Gaussian. Sinyal kemudian direkonstruksi menggunakan algoritma *Orthogonal Matching Pursuit* (OMP).

Rekonstruksi sinyal yang terkompres menggunakan parameter performansi yaitu *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Squared Error* (MSE), *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan *Percentage Root Mean Square Difference* (PRD). Hasil yang diperoleh yaitu, dapat mengimplementasikan *Compressive Sensing* dalam *fall detection* dan dapat merekonstruksi data dari 6 indikasi yaitu berdiri, duduk, tidur, jatuh ke belakang, jatuh ke depan dan jatuh ke samping. Untuk berdiri, batas measurement rate yang dapat digunakan berada di 30% dengan nilai MAE sebesar 4,8240%, PRD sebesar 0,0588%, dan SNR sebesar 9,3871 dB. Untuk duduk, batas measurement rate yang dapat digunakan berada di 30% dengan nilai MAE sebesar 4,4848%, PRD sebesar 0,0598%, dan SNR sebesar 13,8820 dB. Untuk tidur, batas measurement rate yang dapat digunakan berada di 30% dengan nilai MAE sebesar 4,8896%, PRD sebesar 0,0581%, dan SNR sebesar 11,0667 dB. Untuk jatuh ke belakang, batas measurement rate yang dapat digunakan berada di 30% dengan nilai MAE sebesar 4,6515%, PRD sebesar 0,0975%, dan SNR sebesar 30,5748 dB. Untuk jatuh ke depan, batas measurement rate yang dapat digunakan berada di 30% dengan nilai MAE sebesar 4,8576%, PRD sebesar 0,0975%, dan SNR sebesar 30,7486 dB. Untuk jatuh ke samping, batas measurement rate yang dapat digunakan berada di 40% dengan nilai MAE sebesar 4,3366%, PRD sebesar 0,1038%, dan SNR sebesar 35,9961 dB.

Abstract

Falls are one of the problems that often occur in the elderly due to changes in the function of disease organs, and the environment. Falls in the elderly can lead to serious health problems if not treated immediately. The percentage of the elderly who cannot get up to seek help when they fall is 80%. Designing a technology that can help the elderly to get help immediately is needed to overcome this problem. In this research, a system design using compressive sensing method and fall detection signal reconstruction is carried out using the Orthogonal Matching Pursuit (OMP) algorithm. The signal will be acquired using the MPU-6050 sensor and Arduino Uno microcontroller. The signal is then sparsified using Fast Fourier Transform (FFT) and will then be projected using a Gaussian distribution. The signal is then reconstructed using the Orthogonal Matching Pursuit (OMP) algorithm.

The compressed signal reconstruction uses performance parameters, namely Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), Signal to Noise Ratio (SNR), and Percentage Root Mean Square Difference (PRD). The results obtained are, can implement Compressive Sensing in fall detection and can reconstruct data from 6 indications, namely standing, sitting, sleeping, falling backwards, falling forward and falling to the side. For standing, the level measurement limits that can be used are at 30% with an MAE value of 4.8240%, PRD of 0.0588%, and an SNR of 9.3871 dB. For sitting, the measurement rate limit that can be used is 30% with an MAE value of 4.4848%, PRD of 0.0598%, and an SNR of 13.8820 dB. For sleep, the measurement limit that can be used is 30% with an MAE value of 4.8896%, PRD of 0.0581%, and an SNR of 11.0667 dB. To fall backwards,

the measurement rate limit that can be used is at 30% with an MAE value of 4.6515%, PRD of 0.0975%, and an SNR of 30.5748 dB. In the future, the measurement rate limit that can be used is at 30% with an MAE value of 4.8576%, PRD of 0.0975%, and an SNR of 30.7486 dB. To fall sideways, the measurement limits that can be used are at 30% with an MAE value of 4,3366%, PRD of 0,1038%, and an SNR of 35,9961 dB.

Keywords: fall detection, compressive sensing, biomedical signal processing.

1. Pendahuluan

Angka harapan hidup penduduk Indonesia tergolong rendah jika dibandingkan dengan negara-negara yang lain. Pada tahun 2018, angka harapan hidup Indonesia mencapai 72,32 sedangkan negara maju seperti Jepang memiliki angka harapan hidup yang mencapai 85,03. Angka harapan hidup penduduk Indonesia masih di bawah angka harapan hidup dunia yang mencapai 73,02 [1].

Meningkatnya angka harapan hidup menyebabkan komposisi penduduk tua bertambah. Persentase lansia di Indonesia pada tahun 2019 mencapai 9,60 persen atau sekitar 25,64 juta orang [2]. Jumlah lansia yang meningkat menimbulkan masalah terutama dari segi kesehatan dan kesejahteraan mereka. Masalah tersebut jika tidak ditangani akan berkembang menjadi masalah yang kompleks dari segi fisik, mental dan sosial yang berkaitan dengan kesehatan dan kesejahteraan mereka [3].

Jatuh merupakan salah satu masalah yang sering terjadi pada usia lanjut akibat perubahan fungsi organ penyakit, dan lingkungan [3]. Jatuh pada lansia menimbulkan masalah kesehatan yang serius seiring dengan menurunnya kebugaran fisik mereka. Fraktur adalah cedera yang paling sering terjadi pada lansia dan ada juga kemungkinan tertentu lansia dapat mengalami koma, trauma otak, dan kelumpuhan. Pada kebanyakan situasi jatuh, proses jatuh itu sendiri merupakan sumber utama pada cedera karena benturannya yang keras [4].

Masalah yang terjadi tidak hanya dari proses jatuh pada lansia itu sendiri, melainkan proses mendapatkan pertolongan pertama setelah jatuh. Karena 80% lansia tidak bisa bangun setelah jatuh, dan kemampuan mereka untuk meraih telepon untuk mencari bantuan terhalang sehingga penyelamatan medis yang terlambat dapat memperburuk situasi [5][4]. Artinya, semakin cepat masalah itu diketahui, semakin cepat pertolongan medis datang, semakin kecil risiko yang dihadapi lansia [4].

Merancang teknologi untuk mendeteksi dan sebagai pencegahan jatuh sangat penting dalam sistem perawatan lansia, karena jatuh dianggap sebagai penyebab utama cedera dan kematian tak disengaja bagi manula [6]. Teknologi ini dapat diklasifikasikan menurut apakah mereka mendeteksi jatuh secara otomatis atau perlu diaktifkan oleh orang dewasa yang lebih tua.

Teknologi peringatan, yang perlu diaktifkan oleh orang dewasa yang lebih tua, termasuk sistem yang dipasang di dinding (misalnya, kabel peringatan) dan sistem yang dapat dipakai (misalnya, alarm jam tangan) Teknologi ini, bagaimanapun, menghadirkan keterbatasan; misalnya, jika lansia tidak sadar, bingung atau memiliki gangguan kognitif, lansia tidak dapat mengaktifkan teknologi non-otomatis untuk meningkatkan peringatan. Selain itu, saat mereka memakainya, 80% lansia tidak menggunakan tombol alarm mereka setelah jatuh, karena kesulitan dalam mengaktifkannya, atau karena takut mengganggu pengasuh. Teknologi deteksi jatuh otomatis (misalnya, akselerometer) dapat mengatasi masalah ini dengan segera mendeteksi jatuh dan secara otomatis mengirimkan peringatan ke pengasuh atau pusat panggilan [5].

Compressive Sensing adalah suatu metode kompresi untuk menggabungkan *sensing* dan langkah-langkah kompresi menjadi satu langkah selama proses akuisisi data. *Compressive sensing* dapat menjadi alat akuisisi data yang kuat untuk menghemat energi dalam jaringan, sumber daya komunikasi dalam sistem informasi dan digunakan untuk mengatasi kendala *bandwidth* pada suatu sistem [7][8].

Pada tugas akhir ini, penulis bertujuan untuk merekonstruksi sinyal *fall detection* dengan metode *Compressive Sensing*. Adapun sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah MPU-6050 sebagai akselerometer. Metode rekonstruksi yang akan dilakukan menggunakan *Orthogonal Matching Pursuit* yang diharapkan akan menghasilkan sinyal yang lebih berkualitas sebagai data *fall detection*.

2. Konsep Dasar

Pada bagian ini, akan dijelaskan konsep dasar dan tinjauan pustaka mengenai *Compressive Sensing*, *Fast Fourier Transform* (FFT), *Orthogonal Matching Pursuit* (OMP), Arduino Uno, Sensor MPU-6050.

2.1. Compressive Sensing

Banyak dari sinyal yang muncul mengalami representasi yang renggang atau *sparse* di dalam domain *Fast Fourier transform*. Namun, ketika sinyal dipengaruhi oleh *noise*, jumlah elemen yang tidak sama dengan nol meningkat dan merusak *sparsity*. Dengan menerapkan *Fast Fourier transform matrix*, kita dapat membuang sebagian besar koefisien yang tidak diinginkan dari domain *Fast Fourier transform*. Namun, banyak koefisien yang berguna juga dibuang dalam proses ini dan untuk memulihkan koefisien tersebut diperlukan *Compressive Sensing*. *Compressive Sensing* terdiri dari dua tahap utama yaitu tahap akuisisi sinyal dan tahap rekonstruksi sinyal.

2.1.1 Akuisisi Sinyal

Kompresi pada CS diawali seperti pada kompresi konvensional yaitu dengan mengkorelasi sinyal X yang memiliki N -sampel dengan matriks tetapan dengan ukuran $M \times N$, sehingga

$$[Y]_{M \times 1} = [\Phi]_{M \times N} [X]_{N \times 1} \quad (1)$$

dimana Φ merupakan matriks pengukuran atau *sensing matrix*, dan biasanya dapat berisi angka yang terdistribusi Bernouli atau Gaussian [4]. Sehingga Y adalah hasil korelasi antara dengan X dan Φ juga disebut sebagai *measurement vector*.

2.1.2 Rekonstruksi Sinyal

Untuk merekonstruksi sinyal telah diakuisisi, diperlukan sinyal *sparse* a dengan panjang P sebagai perwakilan dari matriks sparsifikasi ψ . Vektor a yang sebagai sinyal *sparse* dan ψ sebagai matriks sparsifikasi, sehingga

$$[Y]_{M \times 1} = [\Phi]_{M \times N} [\psi]_{N \times P} [a]_{P \times 1} \quad (2)$$

Dengan sinyal X telah dibagi menjadi ψ dan a . Persamaan di atas dapat disederhanakan mengingat ψ merupakan matriks sparsifikasi dan Φ merupakan *sensing matrix*, sehingga jika matriks ψ dikorelasikan dengan matriks Φ , maka akan menjadi matriks θ yang merupakan matriks rekonstruksi. Maka, persamaan di atas akan menjadi seperti

$$[Y]_{M \times 1} = [\theta]_{M \times P} [a]_{P \times 1} \quad (3)$$

dengan Y sebagai vektor hasil korelasi antara matriks rekonstruksi θ dengan vektor *sparse* a .

2.2. Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) adalah suatu algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. FFT merupakan transformasi fourier yang dikembangkan dari algoritma *Discrete Fourier Transform* (DFT) yang lebih efisien sehingga mempercepat proses perhitungan. Prinsip kerja FFT adalah membagi sinyal hasil sampling menjadi beberapa bagian, kemudian masing-masing bagian di selesaikan dengan algoritma yang sama dan hasilnya dikumpulkan kembali. Kemudian mengarah pada pengurangan yang signifikan dalam sejumlah perhitungan yang dilakukan pada data kawasan waktu, persamaan FFT dapat dilihat pada persamaan (4)

$$H(k) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) W_N^{nk}, \quad \text{untuk } 0 \leq k \leq (N-1) \quad (4)$$

dengan $H(k)$ merupakan magnitudo frekuensi, serta N merupakan jumlah runtun masukan diskrit dan $h(n)$ adalah runtun masukan diskrit, di mana W_N merupakan faktor $e^{-j2\pi/N}$. FFT berfungsi sebagai contoh ideal dengan masalah-masalah yang berkaitan dengan realisasi perhitungan terdistribusi melalui jaringan sensor [9].

2.3. Orthogonal Matching Pursuit (OMP)

Orthogonal Matching Pursuit (OMP) adalah metode rekonstruksi sinyal dalam CS yang berada dalam kesatuan *Greedy Iterative Algorithms*. OMP merupakan pengembangan dari metode *Matching Pursuit* biasa, bedanya setelah koefisien terkompresi akan diperbarui dengan memasukan proyeksi orthogonal dari sinyal ke dalam subruang dari set-set atom. Metode ini tidak memerlukan banyak komputasi seperti pada metode-metode Basis Pursuit, namun tidak se-akurat *Basis Pursuit*. Dalam penggunaannya OMP sangat bergantung pada sifat-sifat *measurement matrix* atau *sensing matrix*.

Algoritma OMP dibagi ke dalam tiga tahap, yaitu identifikasi, pemulihan dan pembaruan, serta dilakukan dalam empat alur, yaitu *input*, *initialize*, *iteration*, dan *output* [10]. *Input* berupa *measurement signal* (y), dan *measurement matrix* (Φ). *Initialize* berisikan residu dari y (yr), dengan $\Lambda = \emptyset$, dan sinyal terpulihkan $\hat{x} = 0$. *Iteration* dilakukan pada iterasi ke- l , sampai masuk kriteria untuk berhenti. *Output* akan berupa perkiraan sinyal \hat{x} [10].

Pada algoritma OMP, setiap iterasi atom yang dapat memaksimalkan sinyal residu haruslah yang dapat menjangkau sinyal *sparse* \hat{x} , supaya pada tiap iterasi, sinyal *sparse* \hat{x} akan merepresentasikan sinyal x yang asli [10]. Setiap set atom yang dipilih dari indeks atom dinotasikan sebagai Λ , dengan kamus Φ_Λ sebagai sub kamus yang berisi atom-atom dengan indeks yang berkorespondensi dengan tiap kolom pada Λ [10]. OMP memiliki persamaan objektif yang dituliskan dengan [11]

$$Q(x) = \|Ax - y\|_2^2 \quad (5)$$

dimana $Q(x)$ adalah fungsi objektif OMP, A adalah matriks $n \times d$. Namun, fungsi ini memiliki keterbatasan sparsitas. Jika $n < d$, dimana n adalah baris dari matriks A , dan d adalah orde dari bilangan riil sinyal $\bar{x} \in \mathbb{R}^d$, maka diperlukan optimasi pendekatan supaya didapatkan kondisi yang sesuai. Optimasi pendekatan dilakukan agar memungkinkan merekonstruksi sinyal \bar{x} dengan *constraint function* atau fungsi terbatas [11].

$$\min_{\bar{x} \in \mathbb{R}^d} Q(x) \text{ dengan } \|\bar{x}\|_0 \leq k \quad (6)$$

2.4. Distribusi Gaussian

Distribusi Gaussian atau distribusi normal secara historis disebut dengan hukum kesalahan. Gaussian digunakan untuk memodelkan kesalahan dalam pengamatan astronomi. Dari proyeksi Gaussian akan diperoleh matriks yang berukuran $M \times N$. Matriks tersebut didapatkan dengan cara membangkitkan bilangan acak berdasarkan distribusi Gaussian. Fungsi kepadatan probabilitas ($\phi(x; \mu, \sigma)$) untuk distribusi Gaussian standar (rata-rata 0 dan deviasi standar 1) dengan *mean* μ dan deviasi standar σ diberikan rumus sebagai berikut.

$$\phi(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

Fungsi distribusi kumulatif ($\Phi(z; \mu, \sigma)$) untuk distribusi Gaussian standar dan distribusi Gaussian dengan *mean* μ dan deviasi standar σ diberikan oleh rumus berikut.

$$\phi(z; \mu, \sigma) = \int_{-\infty}^z \phi(x; \mu, \sigma) dx \quad (8)$$

2.5. Arduino Uno

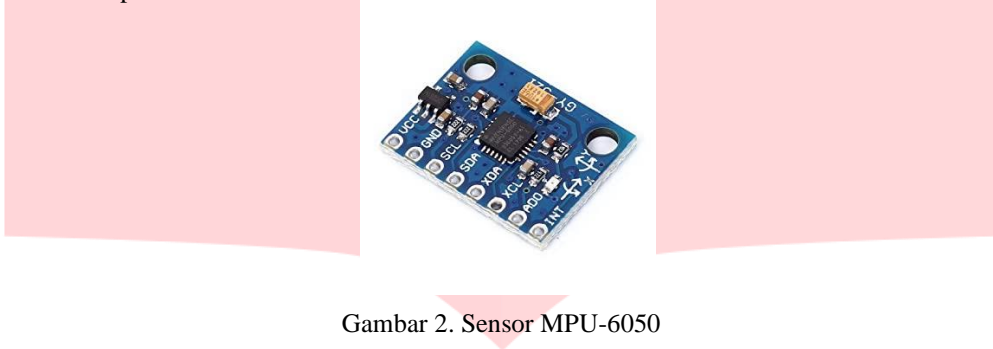
Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin *input/output* digital (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik, header ICSP, dan tombol reset. Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega328 menyediakan komunikasi serial UART TTL (5V), yang tersedia pada pin digital 0 (RX) dan 1 (TX).



Gambar 1. Arduino Uno

2.6. Sensor MPU-6050

Perangkat MPU memberikan solusi prosesor gerakan 6 sumbu terintegrasi pertama di dunia yang menghilangkan giroskop tingkat paket dan ketidaksejajaran sumbu silang akselerometer yang terkait dengan solusi terpisah. Perangkat menggabungkan giroskop 3 sumbu dan akselerometer 3 sumbu pada cetakan silikon yang sama bersama dengan *Digital Motion Processor*™ (DMP™) onboard yang mampu memproses algoritma fusi sensor 9 sumbu yang kompleks menggunakan *MotionFusion*™ yang telah terbukti di lapangan dan berpaten. Algoritma *MotionFusion* 9-sumbu terintegrasi MPU-6000 dan MPU-6050 mengakses magnetometer eksternal atau sensor lain melalui bus I2C *master* tambahan, memungkinkan perangkat untuk mengumpulkan set lengkap data sensor tanpa intervensi dari prosesor sistem.

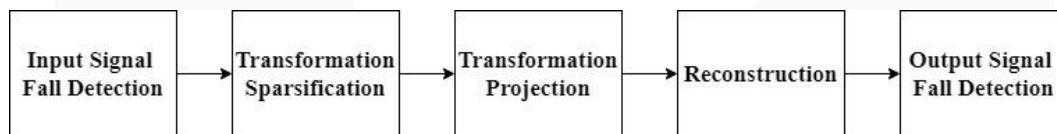


Gambar 2. Sensor MPU-6050

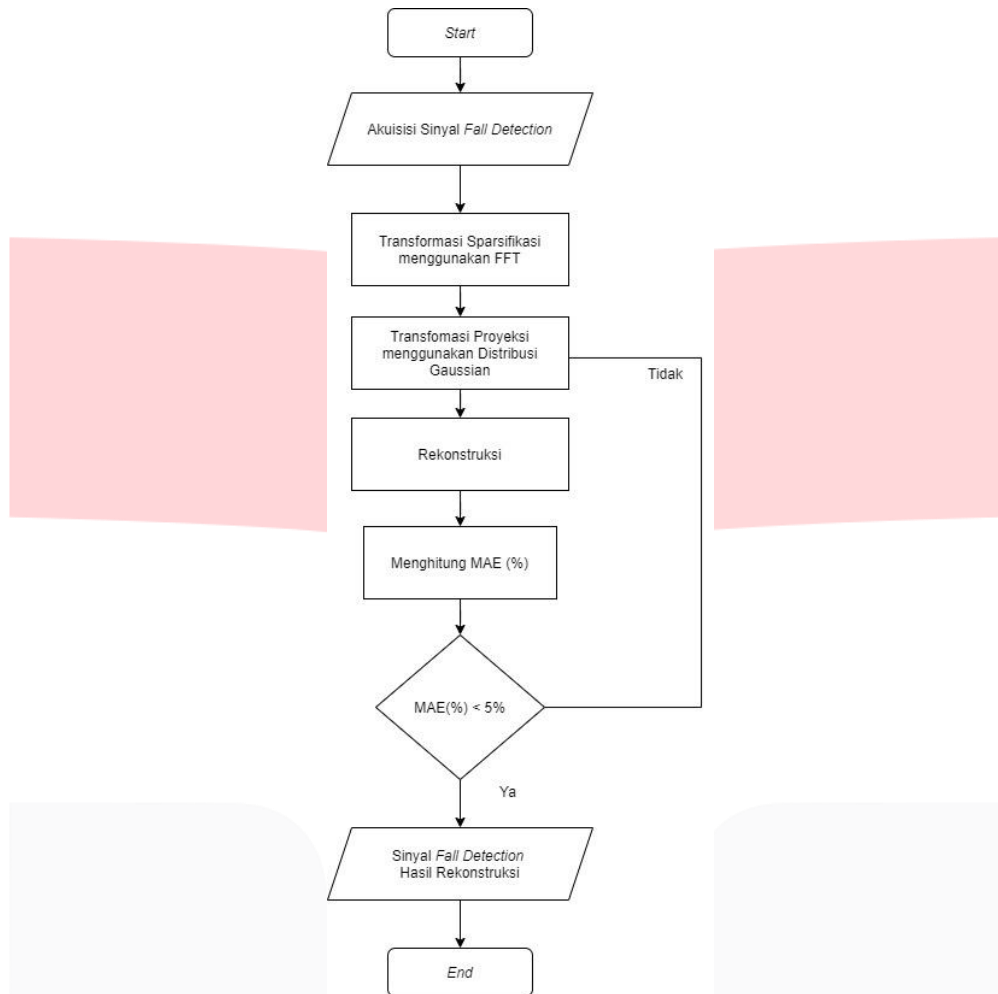
3. Desain Model Sistem

3.1. Desain Sistem

Penelitian ini berfokus pada implementasi metode CS dengan metode sparsifikasi berupa FFT, dan transformasi projection menggunakan Distribusi Gaussian serta menggunakan algoritma OMP untuk rekonstruksinya seperti pada Gambar 4. Berikut adalah blok diagramnya yang terdapat pada Gambar 3.



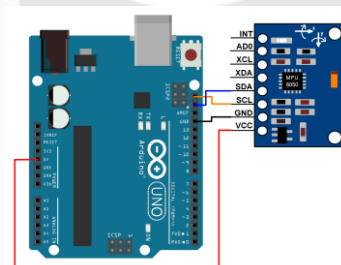
Gambar 3. Diagram Blok Sistem



Gambar 4. Flowchart tahap simulasi *Compressive Sensing* pada Sinyal *Fall Detection*

3.2. Desain Perangkat Keras

Desain perangkat keras yang akan digunakan adalah pengaplikasian Arduino Uno dan sensor MPU-6050 untuk mengambil data berupa akselerometer 3 sumbu. Sensor MPU-6050 akan mengambil data dengan cara mendeteksi pergerakan manusia yang menjadi target dan akan direkam secara otomatis dan digunakan untuk mengakuisisi data.



Gambar 5. Diagram Pengkabelan Sistem Rancangan

3.3. Desain Eksperimen

Dalam penelitian Tugas Akhir ini akan dirancang suatu sistem di mana sistem tersebut dapat mengakuisisi data dengan Arduino Uno dan MPU-6050, dengan menggunakan FFT pada tahap sparsifikasinya dan kemudian akan diproyeksikan dengan Distribusi Gaussian. Proses CS dimulai dan mendapatkan sinyal rekonstruksi menggunakan metode OMP. Sinyal yang terekonstruksi akan diuji kedalam parameter uji untuk mendapatkan hasil yang baik.

3.4. Parameter Pengujian

Pengujian sistem ini dilakukan dengan menghitung kinerja sistem dalam beberapa parameter. Pengujian ini dapat dilakukan dengan menghitung Mean Absolute Error (MAE), Mean Square Error (MSE), Percentage Root Mean Square (PRD) dan Signal to Noise Ratio (SNR) dalam menentukan performansi sistem.

3.5. Parameter Kontrol

Parameter kontrol merupakan parameter yang akan mengubah *input* (masukan data) atau kondisi tertentu untuk mendapatkan hasil performansi yang diinginkan. Adapun parameter kontrol dalam penelitian ini yaitu besarnya *measurement* yang dikirimkan berdasarkan jumlah sampling. Besarnya *measurement* yang akan digunakan dalam penelitian ini mulai dari 50%, 60%, 70%, 80% dan 90%.

4. Hasil dan Analisis

Bagian ini berisi hasil pengujian sistem saat melakukan klasifikasi dan analisis dari performansi sistem.

4.1. Pengujian Perubahan *Measurement*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat performansi dengan parameter PRD, SNR, MSE, MAE, dan MAE (%), dengan parameter kontrol perubahan *measurement*. MAE (%) mempresentasikan dalam persentase nilai MAE dibagi dengan nilai tertinggi dari data *original*. Pada tahap ini data sampling sinyal *fall detection* yang digunakan adalah 128 sampling, nilai gaussian sudah ditetapkan pada tahap akuisisi dan tahap rekonstruksi. Pada perubahan *measurement* yang digunakan yaitu perubahan nilai matriks gaussian dari 50% sampai dengan 90% dari data sampling sinyal *fall detection*. Ada 6 indikasi yang akan dianalisis dan diuji parameternya.

Tabel 2 Hasil Pengujian *Measurement Rate* Berdiri

No.	<i>Measurement Rate</i>	Akurasi					Waktu Rekonstruksi (ms)
		MAE	MAE (%)	MSE	SNR (dB)	PRD (%)	
1	30%	0.0437	4.824	0.0021	9.3871	0.0588	22
2	40%	0.0313	3.5006	0.0011	15.814	0.0436	27
3	50%	0.0167	1.8958	0.0004	32.749	0.0273	32
4	60%	0.0102	1.1699	0.0002	42.0984	0.0186	37

Tabel 3 Hasil Pengujian *Measurement Rate* Duduk

No.	<i>Measurement Rate</i>	Akurasi					Waktu Rekonstruksi (ms)
		MAE	MAE (%)	MSE	SNR (dB)	PRD (%)	
1	30%	0,1158	4,4848	0,0150	13,8820	0,0598	22
2	40%	0,0849	3,3237	0,0088	20,2804	0,0458	27
3	50%	0,0602	2,3358	0,0051	29,0855	0,0350	32
4	60%	0,0433	1,6726	0,0030	37,7887	0,0269	37

Tabel 4 Hasil Pengujian *Measurement Rate* Tidur

No.	<i>Measurement Rate</i>	Akurasi					Waktu Rekonstruksi (ms)
		MAE	MAE (%)	MSE	SNR (dB)	PRD (%)	
1	30%	0,2861	4,8896	0,0858	11,0667	0,0581	22
2	40%	0,1622	2,8439	0,0299	21,7643	0,0343	27
3	50%	0,1012	1,7906	0,0138	33,2275	0,0233	32
4	60%	0,0824	1,4612	0,0100	40,2994	0,0198	37

Tabel 5 Hasil Pengujian *Measurement* Jatuh ke Belakang

No.	<i>Measurement Rate</i>	Akurasi					Waktu Rekonstruksi (ms)
		MAE	MAE (%)	MSE	SNR (dB)	PRD (%)	
1	30%	0,3580	4,6515	0,1568	30,5748	0,0975	22
2	40%	0,2875	3,7042	0,1079	35,0325	0,0809	27
3	50%	0,2149	2,7458	0,0710	42,4503	0,0656	32
4	60%	0,1889	2,4058	0,0606	46,9868	0,0606	37

Tabel 6 Hasil Pengujian *Measurement Rate* Jatuh ke Depan

No.	<i>Measurement Rate</i>	Akurasi					Waktu Rekonstruksi (ms)
		MAE	MAE (%)	MSE	SNR (dB)	PRD (%)	
1	30%	0,1659	4,8576	0,0305	30,7486	0,0975	22
2	40%	0,1258	3,6368	0,0188	36,4074	0,0766	27
3	50%	0,0959	2,7508	0,0123	43,5218	0,0619	32
4	60%	0,0785	2,2424	0,0091	48,3596	0,0533	37

Tabel 7 Hasil Pengujian *Measurement Rate* Jatuh ke Samping

No.	<i>Measurement Rate</i>	Akurasi					Waktu Rekonstruksi (ms)
		MAE	MAE (%)	MSE	SNR (dB)	PRD (%)	
1	30%	0,2212	5,0348	0,0792	32,4143	0,1134	22
2	40%	0,1892	4,3366	0,0664	35,9961	0,1038	27
3	50%	0,1548	3,5758	0,0546	41,4974	0,0942	32
4	60%	0,1840	2,3406	0,0588	47,6897	0,0597	37

Untuk berdiri, batas *measurement rate* yang dapat digunakan berada di 30% dengan nilai MAE sebesar 4,8240%, PRD sebesar 0,0588%, dan SNR sebesar 9,3871 dB. Untuk duduk, batas *measurement rate* yang dapat digunakan berada di 30% dengan nilai MAE sebesar 4,4848%, PRD sebesar 0,0598%, dan SNR sebesar 13,8820 dB. Untuk tidur, batas *measurement rate* yang dapat digunakan berada di 30% dengan nilai MAE sebesar 4,8896%,

PRD sebesar 0,0581%, dan SNR sebesar 11,0667 dB. Untuk jatuh ke belakang, batas measurement rate yang dapat digunakan berada di 30% dengan nilai MAE sebesar 4,6515%, PRD sebesar 0,0975%, dan SNR sebesar 30,5748 dB. Untuk jatuh ke depan, batas measurement rate yang dapat digunakan berada di 30% dengan nilai MAE sebesar 4,8576%, PRD sebesar 0,0975%, dan SNR sebesar 30,7486 dB. Untuk jatuh ke samping, batas measurement rate yang dapat digunakan berada di 40% dengan nilai MAE sebesar 4,3366%, PRD sebesar 0,1038%, dan SNR sebesar 35,9961 dB.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan percobaan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini dengan mengimplementasikan teknologi *Compressive Sensing* (CS) pada sinyal *fall detection*, dengan teknik pada tahap akuisisi berupa Transformasi Sparsification menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) dan Transformasi Projection menggunakan Distribusi Gaussian. Tahap rekonstruksi menggunakan teknik Orthogonal Matching Pursuit (OMP) adalah dari *Measurement Rate* 30%-60%, *Measurement Rate* 30%, merupakan batas yang digunakan dengan akurasi yang cukup baik dan dapat digunakan untuk sinyal *fall detection* kecuali untuk jatuh ke samping yang menggunakan *measurement rate* 40%. Semakin besar nilai *measurement rate* berbanding lurus dengan tingkat akurasi, namun semakin besar nilai *measurement rate* waktu yang dibutuhkan untuk memroses data akan semakin besar karena data yang semakin besar.

5. Referensi:

- [1] Worldometer, "Life Expectancy of the World Population," 2020. <https://www.worldometers.info/demographics/life-expectancy/> (accessed Oct. 11, 2020).
- [2] Kemenkes RI, "Analisis Lansia di Indonesia," *Pus. data dan Inf. Kementeri. Kesehat. RI*, pp. 1–2, 2017, [Online]. Available: [www.depkes.go.id/download.php?file=download/.../infodatin lansia 2016.pdf%0A](http://www.depkes.go.id/download.php?file=download/.../infodatin%20lansia%202016.pdf%0A).
- [3] S. Safitri, "Instabilitas dan Kejadian Jatuh pada Lansia," 2015.
- [4] F. Wu, H. Zhao, Y. Zhao, and H. Zhong, "Development of a wearable-sensor-based fall detection system," *Int. J. Telemed. Appl.*, vol. 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/576364.
- [5] N. Lapiere, N. Neubauer, A. Miguel-Cruz, A. Rios Rincon, L. Liu, and J. Rousseau, "The state of knowledge on technologies and their use for fall detection: A scoping review," *Int. J. Med. Inform.*, vol. 111, no. December 2017, pp. 58–71, 2018, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2017.12.015.
- [6] H. Sadreazami, M. Bolic, and S. Rajan, "Capsfall: Fall detection using ultra-wideband radar and capsule network," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 55336–55343, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2907925.
- [7] E. Sejdić, I. Orović, and S. Stanković, "Compressive sensing meets time–frequency: An overview of recent advances in time–frequency processing of sparse signals," *Digit. Signal Process. A Rev. J.*, vol. 77, pp. 22–35, 2018, doi: 10.1016/j.dsp.2017.07.016.
- [8] V. Angayarkanni, V. Akshaya, and S. Radha, "Design of a Compressive Sensing Based Fall detection System for Elderly Using WSN," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 98, no. 1, pp. 421–437, 2018, doi: 10.1007/s11277-017-4876-x.
- [9] X. Xu, R. Ansari, and A. Khokhar, "Power-efficient algorithms for Fourier analysis over random wireless sensor network," *Proc. - IEEE Int. Conf. Distrib. Comput. Sens. Syst. DCOSS 2012*, pp. 109–115, 2012, doi: 10.1109/DCOSS.2012.40.
- [10] J. Li, Z. Wu, H. Feng, Q. Wang, and Y. Liu, "Greedy Orthogonal Matching Pursuit algorithm for sparse signal recovery in compressive sensing," *Conf. Rec. - IEEE Instrum. Meas. Technol. Conf.*, no. 2, pp. 1355–1358, 2014, doi: 10.1109/I2MTC.2014.6860967.
- [11] T. Zhang, "Sparse recovery with orthogonal matching pursuit under RIP," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 9, pp. 6215–6221, 2011, doi: 10.1109/TIT.2011.2162263.
- [12] A. Jefiza, E. Pramunanto, H. Boedionoegroho, and M. H. Purnomo, "Fall detection based on accelerometer and gyroscope using back propagation," *Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. Informatics*, vol. 2017-December, no. September, pp. 19–21, 2017, doi: 10.1109/EECSI.2017.8239149.