

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Kamar mandi merupakan salah satu ruangan yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari oleh berbagai kelompok usia. Namun, di balik fungsinya yang esensial, kamar mandi juga menjadi salah satu tempat dengan risiko kecelakaan yang tinggi bagi siapa saja, mulai dari anak-anak, dewasa, hingga lansia. Menurut *National Safety Council* (NSC), kamar mandi menduduki peringkat teratas dalam insiden jatuh di rumah, dengan lebih dari 230.000 kasus cedera yang berhubungan dengan kamar mandi dilaporkan setiap tahunnya di Amerika Serikat [1]. Meskipun risiko ini meningkat signifikan pada kelompok lansia akibat keseimbangan tubuh yang lebih lemah, refleks yang lebih lambat, serta kekuatan otot yang menurun, kelompok usia lain seperti anak-anak dan penyandang disabilitas juga memiliki kerentanan yang tidak dapat diabaikan. Faktor lingkungan seperti lantai yang licin, minimnya pegangan atau alat bantu keseimbangan, serta ruang yang sempit meningkatkan risiko kecelakaan bagi seluruh pengguna kamar mandi [2].

Salah satu permasalahan utama dalam kecelakaan yang dialami siapa pun di kamar mandi adalah sulitnya pendeteksian insiden secara cepat. Kamar mandi merupakan ruang tertutup dan bersifat privat, sehingga ketika seseorang mengalami kecelakaan, tidak ada orang lain yang dapat langsung melihat atau memberikan pertolongan. Dalam banyak kasus, korban yang terjatuh baru ditemukan setelah beberapa waktu, yang menyebabkan keterlambatan dalam pemberian pertolongan. Keterlambatan ini dapat mengakibatkan cedera serius seperti patah tulang, cedera kepala, atau bahkan kematian. Menurut data *World Health Organization* (WHO), jatuh merupakan salah satu penyebab utama cedera dan kematian pada lansia [3]. Setiap tahunnya, diperkirakan terdapat 37,3 juta kasus jatuh yang tidak fatal tetapi memerlukan perawatan medis, dan jatuh menjadi penyebab kematian terbesar kedua akibat cedera yang tidak disengaja [4]. Di Indonesia, kasus jatuh juga terus

meningkat di berbagai kalangan, terutama di lingkungan rumah tangga yang tidak memiliki sistem keamanan khusus.

Berbagai pihak atau *stakeholder* terdampak oleh permasalahan ini, termasuk individu dari segala usia, keluarga atau pengasuh, fasilitas perawatan, tenaga medis dan darurat, serta pemerintah dan dinas kesehatan. Meskipun lansia menjadi kelompok dengan risiko tertinggi karena kecelakaan di kamar mandi dapat menyebabkan cedera serius atau bahkan kematian, kelompok usia lain seperti anak-anak yang belum memiliki keseimbangan sempurna dan penyandang disabilitas juga memerlukan perhatian khusus. Keluarga dan pengasuh mengalami kesulitan dalam mengawasi pengguna setiap saat, sehingga mereka baru menyadari insiden setelah terlambat. Fasilitas perawatan memiliki tanggung jawab besar dalam memastikan keselamatan penghuninya dari berbagai kelompok usia, sementara tenaga medis dan tim darurat sering kali menghadapi keterlambatan dalam memberikan pertolongan akibat kurangnya sistem pendeteksian insiden di kamar mandi. Selain itu, pemerintah dan dinas kesehatan memiliki peran dalam meningkatkan standar keselamatan bagi masyarakat umum di lingkungan rumah maupun fasilitas umum.

Apabila permasalahan ini dapat diatasi, berbagai pihak akan memperoleh manfaat yang signifikan. Pengguna dari berbagai kelompok usia akan merasa lebih aman dan memiliki kesempatan lebih besar untuk mendapatkan pertolongan segera saat mengalami kecelakaan di kamar mandi. Keluarga dan pengasuh akan lebih tenang karena adanya sistem yang dapat memberi peringatan otomatis jika terjadi insiden, terutama bagi anggota keluarga yang memiliki risiko tinggi seperti lansia, anak-anak, atau penyandang disabilitas. Fasilitas perawatan juga dapat meningkatkan standar keamanan bagi penghuninya, sementara tenaga medis dapat memberikan penanganan lebih cepat dan mengurangi dampak serius akibat keterlambatan pertolongan. Selain itu, pemerintah dapat meningkatkan keselamatan masyarakat dengan menerapkan kebijakan yang lebih baik dalam mencegah kecelakaan di kamar mandi.

Dengan meningkatnya angka kecelakaan di kamar mandi yang dialami oleh berbagai kelompok usia dan dampak serius yang ditimbulkan, dibutuhkan langkah-langkah yang tepat untuk meningkatkan pengawasan dan mendeteksi kejadian jatuh lebih cepat. Keberadaan sistem yang mampu memberikan informasi secara *real-time* akan membantu mengurangi risiko keterlambatan pertolongan, sehingga dapat menyelamatkan lebih banyak nyawa dan meningkatkan kualitas hidup pengguna, dengan lansia sebagai prioritas utama [5].

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Jatuh di kamar mandi merupakan salah satu penyebab cedera serius yang dapat berujung pada kondisi darurat bagi siapa pun. Risiko ini dapat menimpa berbagai kelompok usia: anak-anak yang masih mengembangkan keseimbangan motorik, dewasa yang mungkin mengalami kelelahan atau kondisi kesehatan tertentu, serta lansia yang memiliki kerentanan tertinggi akibat penurunan fungsi fisik. Khususnya bagi lansia, risiko mengalami patah tulang, cedera kepala, hingga kehilangan kesadaran sangat tinggi dan dapat berakibat fatal apabila tidak segera mendapatkan pertolongan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Widowati et al. (2022) di Bandung, ditemukan bahwa dari 421 responden lansia berusia di atas 65 tahun, sebanyak 67,1% pernah mengalami kejadian jatuh di rumah [6]. Data ini memperkuat urgensi pengembangan sistem pendeteksi jatuh khusus di area kamar mandi sebagai salah satu lokasi paling rawan kecelakaan bagi seluruh kelompok usia, dengan perhatian khusus pada lansia. Jika pertolongan tidak segera diberikan, kondisi korban dari kelompok usia manapun dapat memburuk, terutama jika mengalami perdarahan internal atau hipotermia akibat terlalu lama berada di lantai yang dingin. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengawasan atau deteksi yang mampu memberikan peringatan langsung ketika terjadi kecelakaan di kamar mandi [7].

Kejadian jatuh di kamar mandi sering kali tidak langsung diketahui karena korban berada di dalam ruangan tertutup dan tidak dapat meminta pertolongan. Seseorang yang terjatuh baik anak-anak, dewasa, maupun lansia umumnya mengalami kesulitan bergerak atau bahkan kehilangan kesadaran akibat benturan keras.

Mereka tidak selalu dapat berteriak atau memberi tanda bahaya karena keterbatasan fisik dan kondisi cedera yang dialami. Adapun tanda-tanda jatuh yang dapat mengindikasikan kondisi darurat antara lain tubuh dalam posisi tidak wajar di lantai dalam waktu lama, tidak adanya respons terhadap panggilan, serta munculnya suara benturan keras sebelum terjadinya keheningan.

Menurut berbagai penelitian medis, terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan seseorang dari berbagai kelompok usia terjatuh di kamar mandi, antara lain:

- Lantai licin akibat air atau sabun, yang meningkatkan risiko terpeleset bagi siapa saja.
- Minimnya pegangan tangan atau alat bantu keseimbangan, yang menyulitkan pengguna saat berdiri atau bergerak.
- Gangguan keseimbangan akibat penyakit seperti stroke atau artritis, yang umumnya dialami oleh lansia namun dapat pula terjadi pada kelompok usia lain.
- Hipotensi ortostatik, yaitu penurunan tekanan darah mendadak saat berdiri, yang menyebabkan pusing dan jatuh.
- Efek samping obat-obatan tertentu, seperti obat antihipertensi atau obat penenang yang dapat menyebabkan kantuk dan gangguan koordinasi.
- Kurangnya pencahayaan di kamar mandi, terutama pada malam hari, yang membuat pengguna dari segala usia kesulitan melihat objek di sekitarnya.
- Keletihan atau kelemahan otot setelah mandi air panas, yang dapat menurunkan tekanan darah dan menyebabkan pusing mendadak
- Ketidakseimbangan motorik pada anak-anak yang masih dalam tahap perkembangan fisik [8].

Peraturan dan pedoman keselamatan yang seharusnya diterapkan dalam desain kamar mandi untuk semua pengguna, menurut berbagai rekomendasi kesehatan dan keselamatan, meliputi:

- Gunakan lantai *anti-slip* untuk mengurangi risiko terpeleset.

- Pasang pegangan tangan di area strategis, seperti di dekat toilet, wastafel, dan pancuran.
- Gunakan pencahayaan yang cukup, terutama pada malam hari, untuk memastikan visibilitas yang baik.
- Hindari penempatan benda berbahaya atau licin, seperti karpet tanpa alas *anti-slip* di kamar mandi.
- Gunakan kursi mandi bagi pengguna yang kesulitan berdiri lama saat mandi.
- Pastikan kamar mandi memiliki sistem darurat, seperti tombol alarm yang mudah dijangkau jika terjadi kecelakaan.
- Hindari penggunaan bak mandi dengan dinding tinggi, yang dapat menyulitkan pengguna untuk masuk dan keluar.
- Pastikan keluarga atau pengasuh mengetahui kondisi pengguna sebelum dan setelah mereka masuk ke kamar mandi [9].

Sebelumnya, telah terdapat beberapa solusi untuk meningkatkan keamanan kamar mandi bagi pengguna, seperti pemasangan pegangan tangan dan lantai *anti-slip*. Selain itu, beberapa rumah telah memasang tombol darurat di kamar mandi yang dapat ditekan oleh pengguna jika terjadi insiden. Namun, sistem ini masih memiliki keterbatasan karena mengandalkan intervensi manual dari korban yang dalam banyak kasus mungkin tidak memiliki kemampuan untuk menekan tombol setelah terjatuh.

Salah satu solusi teknologi yang telah ada untuk mendeteksi jatuh adalah *smart watch* dengan fitur *Fall detection*, seperti Apple Watch, Samsung Galaxy Watch, dan Garmin Smart watches. *Smart watch* ini dilengkapi dengan sensor akselerometer dan giroskop yang mampu mendeteksi perubahan gerakan mendadak akibat jatuh. Jika sistem mendeteksi pola jatuh, jam akan mengaktifkan alarm dan memberikan opsi bagi pengguna untuk menghubungi layanan darurat atau keluarga. Jika pengguna tidak merespons dalam beberapa detik, *smart watch* secara otomatis mengirimkan notifikasi ke kontak darurat.

Meskipun *smart watch* dengan fitur deteksi jatuh sudah tersedia, penggunaannya masih memiliki beberapa keterbatasan, terutama dalam konteks kecelakaan di kamar mandi. Pengguna dari berbagai kelompok usia sering kali tidak mengenakan jam tangan saat mandi, sehingga fitur ini tidak dapat bekerja dengan optimal di dalam kamar mandi. Selain itu, tidak semua kelompok usia terutama anak-anak dan sebagian lansia terbiasa atau mampu menggunakan perangkat *wearable* secara konsisten. Deteksi jatuh pada *smart watch* juga dapat menghasilkan *false alarm* atau gagal mendeteksi kejadian jatuh jika gerakan tidak cukup signifikan untuk dikenali sebagai jatuh.

Dengan adanya keterbatasan pada solusi yang telah ada, diperlukan sistem deteksi yang lebih akurat, otomatis, dan dapat bekerja dalam berbagai kondisi, termasuk di kamar mandi. Sistem tersebut harus dapat melindungi pengguna dari berbagai kelompok usia tanpa mengharuskan mereka mengenakan perangkat tambahan. Pengembangan sistem deteksi jatuh yang lebih efektif akan membantu memastikan individu dari segala usia mendapatkan pertolongan dengan cepat, sehingga dapat mengurangi risiko cedera serius atau kematian akibat keterlambatan penanganan, dengan prioritas khusus pada kelompok lansia yang memiliki risiko tertinggi.

1.1.2 Analisis Masalah

Kurangnya pemahaman mengenai pentingnya keamanan di kamar mandi bagi seluruh anggota keluarga juga menjadi faktor yang memperburuk masalah ini. Banyak keluarga yang belum menyadari bahwa kecelakaan di kamar mandi dapat berdampak fatal bagi siapa saja mulai dari anak-anak yang bermain di lantai basah, dewasa yang kelelahan, hingga lansia dengan keterbatasan fisik sehingga mereka tidak mengambil tindakan pencegahan yang cukup. Beberapa pengguna, terutama lansia, juga cenderung enggan menggunakan alat bantu atau meminta bantuan ketika memasuki kamar mandi, yang membuat mereka lebih rentan terhadap kecelakaan. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang dapat mendeteksi kejadian jatuh secara otomatis bagi seluruh kelompok usia dan memberikan informasi secara cepat agar pertolongan dapat segera diberikan.

Untuk melakukan analisis masalah dibutuhkan beberapa konstrain sebagai berikut:

1. Aspek Keamanan

Memberikan rasa aman dan nyaman kepada seluruh pengguna kamar mandi dari berbagai kelompok usia, dengan prioritas khusus pada lansia. Keluarga dan pengasuh dapat menerima informasi secara cepat untuk meminimalisir keterlambatan pertolongan akibat kecelakaan seperti jatuh, terlepas dari usia korban.

2. Aspek Kesehatan

Memenuhi standar keamanan untuk lingkungan kamar mandi dan tidak mengakibatkan gangguan fisik atau kesehatan bagi pengguna dari segala usia saat sistem diterapkan, dengan memperhatikan kebutuhan khusus lansia dan kelompok rentan lainnya.

3. Aspek Ekonomi

Memenuhi standar keamanan untuk lingkungan kamar mandi dan tidak mengakibatkan gangguan fisik atau kesehatan bagi pengguna dari segala usia saat sistem diterapkan, dengan memperhatikan kebutuhan khusus lansia dan kelompok rentan lainnya.

4. Aspek Hukum

Pemasangan sistem deteksi jatuh juga dapat membantu memenuhi regulasi hukum terkait keselamatan pengguna dari berbagai kelompok usia di rumah dan fasilitas kesehatan, sehingga mengurangi potensi masalah hukum jika terjadi kecelakaan yang tidak segera ditangani. Hal ini terutama relevan untuk fasilitas yang melayani kelompok rentan seperti lansia, anak-anak, dan penyandang disabilitas.

1.1.3 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan analisis masalah yang telah dilakukan sebelumnya, kebutuhan yang harus dipenuhi oleh sistem adalah sebagai berikut:

1. Sistem deteksi harus mampu mengidentifikasi kejadian jatuh yang dialami pengguna dari berbagai kelompok usia di kamar mandi secara otomatis dengan tingkat akurasi tinggi di kamar mandi secara otomatis dengan

tingkat akurasi tinggi, sehingga dapat memberikan informasi yang valid kepada keluarga atau pengasuh.

2. Sistem harus dapat memberikan notifikasi atau alarm secara cepat jika terdeteksi insiden jatuh di kamar mandi, guna memastikan pertolongan dapat segera diberikan kepada korban dari kelompok usia manapun dan mengurangi risiko cedera yang lebih parah.

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan kebutuhan yang harus dipenuhi, maka tujuan yang ingin dicapai yaitu mampu mendeteksi kejadian jatuh yang dialami pengguna dari berbagai kelompok usia di kamar mandi secara otomatis dan memberikan informasi secara cepat agar pertolongan dapat segera diberikan, sehingga dapat mengurangi risiko cedera serius atau kematian akibat keterlambatan penanganan. Sistem dirancang dengan memberikan prioritas khusus pada lansia sebagai kelompok dengan risiko tertinggi, namun tetap efektif untuk melindungi seluruh pengguna kamar mandi.

1.2 Solusi

1.2.1 Karakteristik Solusi

1. Fitur Dasar

a. *Sensing Capability*

Sistem ini harus memiliki kemampuan untuk mendeteksi kejadian jatuh yang dialami pengguna dari berbagai kelompok usia di kamar mandi di kamar mandi secara otomatis. Sistem harus dapat mengidentifikasi perubahan posisi tubuh atau gerakan yang tidak normal, sehingga dapat mendeteksi insiden jatuh dengan tingkat akurasi tinggi.

b. *Notification Capability*

Untuk memastikan pertolongan dapat diberikan dengan cepat, sistem harus mampu mengirimkan notifikasi atau peringatan langsung kepada keluarga, pengasuh, atau tenaga medis ketika mendeteksi adanya insiden jatuh di kamar mandi.

c. ***Computing Performance***

Sistem harus memiliki kinerja komputasi yang cepat dan dapat merespons secara *real-time* untuk mendeteksi kejadian jatuh, sehingga informasi dapat segera dikirimkan tanpa keterlambatan.

d. ***Computation Method***

Sistem harus menggunakan metode komputasi yang optimal agar dapat menghasilkan deteksi yang lebih akurat. Algoritma yang diterapkan harus mampu membedakan antara aktivitas normal dan insiden jatuh untuk mengurangi kemungkinan *false alarm*.

2. **Fitur Tambahan**

a. ***Low Power Consumption***

Sistem ini harus dirancang agar hemat daya dan dapat beroperasi dalam jangka waktu lama tanpa perlu sering mengganti atau mengisi ulang daya. Hal ini penting untuk memastikan sistem tetap aktif setiap saat tanpa gangguan daya.

b. ***Safety and Comfort***

Sistem harus mampu mengirimkan data dan peringatan melalui jaringan nirkabel dengan biaya rendah. Hal ini bertujuan agar notifikasi dapat diterima oleh keluarga atau tenaga medis tanpa memerlukan kabel tambahan di kamar mandi.

c. ***Waterproof & Durable Design***

Sistem harus memiliki desain yang tahan air dan mampu berfungsi dalam lingkungan yang lembab dan basah seperti kamar mandi. Material yang digunakan juga harus tahan terhadap perubahan suhu dan kelembaban agar dapat beroperasi dengan baik dalam jangka panjang.

d. ***Development Timeline***

Sistem ini direncanakan untuk selesai dalam waktu 6 bulan, termasuk tahap perancangan, pengembangan, integrasi perangkat, serta pengujian sistem di lingkungan nyata.

e. **Biaya Sistem**

Biaya sistem yang dikembangkan harus di menggunakan biaya seminimal mungkin agar dapat diakses oleh berbagai kalangan dan menjadi solusi yang efektif serta terjangkau bagi keluarga yang memiliki lansia.

1.2.2 Usulan Solusi

1.2.2.1 Solusi 1 : Sistem Deteksi Jatuh Menggunakan Kamera ToF (*Time of Flight*) dengan Algoritma YOLO (*You Only Look Once*)

Kamar mandi merupakan ruang dengan risiko tinggi bagi seluruh pengguna, terutama karena kondisi yang licin, sempit, dan minim pengawasan. Risiko ini meningkat secara signifikan pada kelompok lansia, anak-anak, dan penyandang disabilitas. Banyak kejadian jatuh tidak segera diketahui karena sifat kamar mandi yang tertutup dan privat, sehingga pertolongan sering terlambat dan berujung pada cedera serius bahkan kematian [10]. Untuk menjawab masalah ini, dirancang sebuah sistem otomatis yang mampu mendeteksi insiden jatuh dengan akurasi tinggi dan memberikan peringatan secara *real-time* bagi pengguna dari berbagai kelompok usia. Sistem ini menggunakan kamera ToF (*Time of Flight*) yang dipasang di sudut atas kamar mandi untuk memantau pergerakan dan posisi tubuh pengguna dari berbagai kelompok usia. Kamera ini bekerja dengan memancarkan cahaya inframerah dan mengukur waktu pantulannya, sehingga dapat mendeteksi keberadaan dan jarak objek secara kontinu tanpa merekam gambar visual. Hal ini membuatnya tetap aman dari sisi privasi dan efektif dalam kondisi gelap atau beruap [11].

Secara teknis, sistem akan memproses data jarak dan gerakan dari kamera ToF melalui unit mikrokontroler atau *edge computing*. Data tersebut akan diolah menggunakan algoritma *machine learning* YOLO, yang mendeteksi perubahan posisi tubuh dari waktu ke waktu. Sistem akan menandai aktivitas normal seperti berdiri atau duduk sebagai kondisi aman. Namun, jika mendeteksi tubuh dalam posisi mendatar atau diam dalam waktu lebih dari ambang yang ditentukan (misalnya 5–10 detik), sistem akan mencurigainya sebagai insiden jatuh. Untuk meminimalisasi kesalahan deteksi (*false alarm*), sistem menggunakan kombinasi

metode Logika *Time-based*. Logika *Time-based* memastikan bahwa hanya posisi tidak wajar dalam waktu lama yang dianggap bahaya [12].

Jika terdeteksi kejadian jatuh, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi melalui jaringan IoT, menggunakan protokol seperti MQTT atau HTTP. Notifikasi ini dapat dikirim ke *smartphone* pengasuh, aplikasi *monitoring* keluarga, atau ke sistem alarm lokal yang langsung aktif di area rumah. Sistem ini juga dapat dikembangkan untuk terhubung dengan layanan darurat jika dibutuhkan. Dengan pendekatan ini, sistem deteksi tidak hanya andal, tetapi juga praktis karena tidak memerlukan perangkat yang dipasang pada tubuh pengguna seperti gelang atau *smart watch* [13].

Keunggulan sistem ini terletak pada kemampuannya mendeteksi kejadian jatuh secara cepat dan akurat tanpa mengorbankan privasi, serta fleksibilitas integrasi dengan berbagai platform notifikasi. Metode pemrosesan yang digunakan juga sudah umum diimplementasikan dalam sistem *smart monitoring* dan memungkinkan perluasan fitur tambahan seperti *log data* harian dan integrasi ke sistem rumah pintar (*smart home*).

1.2.2.2 Solusi 2 : Sistem Deteksi Jatuh Berbasis *Wearable Device* dengan SVM (*Support Vector Machine*)

Solusi ini dirancang untuk mengatasi tingginya angka kecelakaan jatuh di kamar mandi yang dapat menimpa pengguna dari berbagai kelompok usia, dengan perhatian khusus pada lansia yang umumnya disebabkan oleh faktor usia, gangguan keseimbangan, atau gangguan sistem motorik. Sistem ini menggunakan *wearable device* seperti gelang pintar atau *smart watch* yang dikenakan oleh pengguna secara terus-menerus. Perangkat dilengkapi dengan sensor akselerometer dan giroskop untuk memantau gerakan tubuh secara *real-time*. Akselerometer mendeteksi percepatan linear pada sumbu X, Y, dan Z, sementara giroskop mengukur rotasi dan perubahan orientasi tubuh [14].

Data dari kedua sensor dikombinasikan menggunakan metode *sensor fusion* untuk meningkatkan akurasi deteksi. Sistem awalnya menggunakan pendekatan *threshold-based detection*, dengan parameter seperti percepatan lebih dari 2.5g dan perubahan sudut lebih dari 60° dalam waktu kurang dari 1 detik untuk mengidentifikasi insiden jatuh. Namun, agar lebih adaptif terhadap variasi gerakan individu dan mengurangi *false detection*, sistem ini dilengkapi dengan algoritma klasifikasi berbasis *Support Vector Machine* (SVM) [15].

SVM digunakan untuk membedakan pola gerakan jatuh dan bukan jatuh berdasarkan fitur-fitur yang diekstrak dari sinyal sensor, seperti nilai maksimum percepatan, durasi, perubahan sudut, dan kecepatan rotasi. Model SVM dilatih menggunakan dataset berisi aktivitas harian lansia serta data simulasi jatuh, dan akan membentuk *hyperplane* optimal untuk memisahkan kedua kelas tersebut. Keunggulan SVM dalam konteks ini adalah kemampuannya untuk bekerja dengan jumlah data pelatihan terbatas dan tetap menghasilkan klasifikasi yang akurat [16].

Jika sistem mendeteksi jatuh, perangkat akan segera mengirimkan notifikasi ke pengasuh atau keluarga melalui koneksi Bluetooth atau Wi-Fi. Jika tidak ada respons dalam jangka waktu tertentu, sistem akan mengeskalasi peringatan ke kontak darurat atau layanan medis. Selain itu, perangkat juga mencatat *log* kejadian untuk keperluan evaluasi medis.

Wearable device memiliki keunggulan dalam fleksibilitas dan portabilitas, memungkinkan lansia untuk tetap aktif tanpa ketergantungan pada infrastruktur kamar mandi. Dengan kombinasi sensor yang andal, algoritma *threshold*, serta kecerdasan SVM, solusi ini memberi pengawasan yang efektif dan efisien terhadap risiko jatuh, khususnya di lingkungan berisiko tinggi seperti kamar mandi [17].

1.2.2.3 Solusi 3 : Sistem Deteksi Jatuh Lansia Berbasis LiDAR dan *Vibration Sensor* Menggunakan *Rule-Based Detection (Threshold Logic)*

Kecelakaan di kamar mandi sering kali terjadi akibat lantai yang licin atau kurangnya pegangan tangan, yang menyebabkan pengguna dari berbagai kelompok

usia terutama lansia, anak-anak, dan penyandang disabilitas kehilangan keseimbangan dan terjatuh. Mengingat kamar mandi merupakan ruang privat yang tidak selalu diawasi secara langsung, dibutuhkan sistem deteksi yang dapat bekerja secara otomatis tanpa mengganggu privasi pengguna. Oleh karena itu, solusi ini menggunakan kombinasi teknologi LiDAR (*Light Detection and Ranging*) dan *Vibration Sensor*, yang memungkinkan sistem untuk mengidentifikasi kejadian jatuh secara lebih akurat tanpa menggunakan kamera visual [18].

Sensor LiDAR akan dipasang di dinding atau langit-langit kamar mandi dan bekerja dengan memancarkan gelombang cahaya inframerah untuk mendeteksi objek dan bentuk tubuh secara tiga dimensi. Teknologi ini memungkinkan sistem mengenali pergerakan lansia dan membedakan antara aktivitas normal dan kondisi terjatuh berdasarkan perubahan pola posisi tubuh. Untuk memastikan bahwa perubahan tersebut benar-benar merupakan insiden jatuh, sistem dilengkapi dengan *Vibration sensor* yang diletakkan pada lantai untuk mendeteksi getaran atau benturan yang kuat, seperti yang biasa terjadi saat tubuh jatuh ke lantai [19].

Kombinasi data dari kedua sensor ini dianalisis menggunakan metode *Rule-Based Detection (Threshold Logic)*, di mana sistem akan membandingkan nilai-nilai sensor terhadap ambang batas tertentu seperti tinggi penurunan tubuh, intensitas getaran, dan durasi tidak bergerak. Jika ketiga kondisi terpenuhi, sistem akan secara otomatis mengirimkan notifikasi kepada pengasuh atau keluarga melalui jaringan IoT sebagai tanda darurat.

Sistem ini juga menggunakan pendekatan *3D Pose Estimation* untuk mengenali postur tubuh tanpa merekam gambar wajah atau data visual lainnya, sehingga tetap menjaga privasi pengguna. Selain itu, metode Logika *Time-based* diterapkan untuk memastikan bahwa jika seseorang tetap dalam posisi jatuh lebih lama dari waktu tertentu, sistem segera memicu alarm. Dengan keunggulan LiDAR yang tidak terpengaruh oleh kondisi cahaya maupun uap air, serta dukungan getaran sebagai konfirmasi fisik, sistem ini dapat memberikan deteksi jatuh yang lebih akurat dan cepat, sehingga pertolongan bisa diberikan tepat waktu dan mengurangi risiko fatal.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

Tabel 1.1 *House of Quality*

				Customer importance rating (1 = low, 5 = high)	Percent of customer importance rating	Fitur Dasar								
						▲	▲	▲	▲	Solusi				
						Sensing Capability	Notifikasi Capability	Computing Performance	Computation Method		1	2	3	
Fitur Tambahan	Low Power Comsumtion			4	25.3%									
	Safety and Comfort			3	15.7%									
	Waterproof & Durable Design			4	25.3%									
	Development Timeline			5	26.3%									
	Biaya Sistem =< 3.500.000			3	15.7%									
Importance rating						66	61	69	26	261				
Percent of importance						32.4%	18,6%	24,8%	24,2%	100.%	4,78	3,61	3,62	
Solusi	Solusi 1									4,5				
	Solusi 2									4,02				
	Solusi 3									4,51				

Keterangan:

Relationship matrix		
	Strong	5
	Medium	3
	Weak	1
	No relation	0

Berikut adalah perhitungan perbandingan solusi dengan fitur-fitur dasar sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Solusi 1 : } & (5 \times 0,324) + (5 \times 0,186) + (3 \times 0,248) + (5 \times 0,242) \\ & = 1,620 + 0,930 + 0,744 + 1,210 = 4,504\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Solusi 2 : } & (5 \times 0,324) + (5 \times 0,186) + (3 \times 0,248) + (3 \times 0,242) \\ & = 1,620 + 0,930 + 0,744 + 0,726 = 4,020\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Solusi 3 : } & (5 \times 0,324) + (5 \times 0,186) + (5 \times 0,248) + (3 \times 0,242) \\ & = 1,620 + 0,930 + 1,240 + 0,726 = 4,516\end{aligned}$$

Dikarenakan perbandingan antar solusi kurang dari 1 maka dibutuhkan perbandingan solusi dengan fitur-fitur tambahan:

$$\begin{aligned}\text{Solusi 1 : } & 5 \times 25,3\% + 5 \times 15,7\% + 5 \times 25,3\% + 5 \times 26,3\% + 1 \times 15,7\% \\ & = 1,265 + 0,785 + 1,265 + 1,315 + 0,157 = 4,787\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Solusi 2 : } & 5 \times 25,3\% + 1 \times 25,3\% + 5 \times 26,3\% + 5 \times 15,7\% \\ & = 1,265 + 0,253 + 1,315 + 0,785 = 3,618\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Solusi 3 : } & 1 \times 25,3\% + 5 \times 15,7\% + 5 \times 25,3\% + 5 \times 26,3\% \\ & = 0,253 + 0,785 + 1,265 + 1,315 = 3,618\end{aligned}$$

Berikut penjelasan mengenai *House of Quality* (HOQ) untuk permasalahan ini:

Untuk fitur *Low Power Consumption*, diberikan nilai 3 (*Medium*) pada *Sensing Capability*. Keterkaitan moderat di sini menunjukkan bahwa meskipun kemampuan sensor untuk mendeteksi secara efektif dapat membantu optimasi waktu aktif, ini tidak secara langsung menjamin konsumsi daya yang sangat rendah, karena faktor lain seperti teknologi sensor itu sendiri juga berperan. Begitu pula dengan *Computing Performance*, di mana diberikan nilai 1 (*Weak*) karena performa komputasi yang tinggi, terutama yang melibatkan pemrosesan kompleks, seringkali membutuhkan konsumsi daya yang lebih besar, sehingga keterkaitannya dengan *Low Power Consumption* menjadi lemah atau bahkan berkebalikan. Selain itu, *Computation Method* yang digunakan juga berperan penting dalam mengoptimalkan penggunaan daya, karena algoritma yang efisien dapat

mempercepat proses dan mengurangi beban kerja sistem, sehingga konsumsi daya menjadi lebih rendah secara keseluruhan.

Pada fitur *Safety and Comfort*, diberikan nilai 5 pada *Notification capability* karena keamanan pengguna sangat bergantung pada kecepatan dan keakuratan sistem dalam memberikan peringatan saat terdeteksi insiden jatuh. Ketepatan waktu pengiriman informasi akan menciptakan rasa aman, baik bagi lansia maupun pengasuhnya. Kemudian nilai 5 juga diberikan pada *Computing Performance*, karena komputasi yang cepat dan stabil akan menghasilkan sistem yang responsif. Sistem yang lambat dalam memproses data atau menghasilkan notifikasi akan membuat pengguna merasa sistem tidak dapat diandalkan, yang pada akhirnya menurunkan kenyamanan dalam penggunaannya.

Untuk fitur *Waterproof & Durable Design*, diberikan nilai 5 pada *Sensing Capability*, karena sensor yang digunakan harus tetap bekerja dengan baik di lingkungan yang lembab atau basah seperti kamar mandi. Apabila sensor tidak tahan terhadap air, maka kemampuan deteksi akan terganggu. Sedangkan *Notification capability* dan *Computing Performance* masing-masing diberi nilai 3, karena meskipun tidak secara langsung terpapar air, sistem tetap membutuhkan ketahanan desain untuk menjaga keandalan notifikasi dan proses komputasi dalam jangka panjang. Kinerja yang stabil dalam kondisi ekstrem akan memastikan bahwa sistem tidak mudah rusak dan tetap memberikan hasil yang akurat.

Pada fitur *Development Timeline*, diberikan nilai 5 untuk *Sensing Capability*, *Notification capability*, dan *Computing Performance*. Hal ini dikarenakan kemampuan deteksi yang tinggi akan memudahkan dalam proses integrasi sensor ke dalam sistem, mempercepat waktu pengujian, dan mengurangi iterasi perbaikan. Komputasi yang baik dan efisien juga akan mempercepat pengolahan data, yang pada akhirnya akan memperpendek waktu pengembangan sistem secara keseluruhan. Namun, untuk *Computation Method*, diberikan nilai 1 (*Weak*) karena metode komputasi yang kompleks atau baru mungkin memerlukan waktu pengembangan dan pengujian yang lebih lama, sehingga dapat memperlambat

keseluruhan *timeline* proyek. Sistem yang dirancang dengan komponen dasar yang kuat akan lebih cepat diselesaikan dalam waktu target 6 bulan.

Terakhir, untuk fitur *Low Cost*, diberikan nilai 1 pada *Sensing Capability* karena sensor yang canggih cenderung memiliki harga yang lebih mahal, sehingga berpotensi menaikkan biaya produksi. Nilai 3 diberikan pada *Notification capability*, karena sistem notifikasi yang baik masih bisa dibangun menggunakan teknologi jaringan dengan biaya rendah. Sementara *Computing Performance* diberikan nilai 1 (*Weak*) karena perangkat dengan *computing performance* yang sangat tinggi (misalnya, untuk *deep learning* yang kompleks) seringkali memiliki harga yang lebih mahal, sehingga memiliki keterkaitan lemah dengan *low cost*.

Adapun penjelasan mengenai perbandingan dari ketiga solusi dengan fitur dasar dan fitur tambahan adalah sebagai berikut:

1. Perbandingan dengan Fitur Dasar

a. Solusi 1 :

Pada solusi 1, nilai 5 diberikan untuk *sensing capability* karena sistem hanya menggunakan satu input utama, yaitu kamera ToF yang mendeteksi perubahan jarak dan posisi tubuh berdasarkan pantulan cahaya inframerah. Meskipun kamera ToF mampu bekerja dalam kondisi minim pencahayaan dan lingkungan beruap serta menjaga privasi, sensor ini tidak secara langsung terpasang pada tubuh sehingga masih kurang responsif terhadap deteksi gerakan mikro dibandingkan sensor *wearable*. Namun demikian, *computing performance* dan *computation method* diberi nilai 3 karena sistem menggunakan algoritma berbasis *machine learning* dan *pose estimation*, yang memungkinkan analisis postur tubuh secara adaptif terhadap berbagai pola gerakan pengguna. Dengan metode seperti *anomaly detection*, sistem dapat membedakan antara aktivitas normal dan insiden jatuh secara akurat. Untuk *notification capability*, solusi ini diberi nilai 5 karena sistem tetap harus menganalisis data visual berupa jarak dan pergerakan terlebih dahulu sebelum mengirimkan notifikasi, sehingga terdapat sedikit jeda waktu antara deteksi dan pengiriman peringatan.

b. Solusi 2 :

Solusi 2 mendapatkan nilai tertinggi 5 pada *sensing capability* karena sistem ini menggunakan sensor akselerometer dan giroskop yang melekat langsung pada tubuh pengguna. Sensor ini dapat mendeteksi perubahan akselerasi dan orientasi secara *real-time*, menjadikannya sangat responsif terhadap insiden jatuh. Namun demikian, *computing performance* dan *computation method* diberi nilai sedang (masing-masing 3) karena sistem hanya menggunakan algoritma *threshold-based detection*, yaitu dengan membandingkan data sensor terhadap ambang batas tertentu. Pendekatan ini cukup efektif namun cenderung menghasilkan *false alarm* karena tidak mampu memahami konteks aktivitas pengguna. Untuk *notification capability*, sistem juga diberi nilai 3 karena notifikasi dikirimkan secara otomatis melalui Bluetooth atau Wifi, namun sepenuhnya bergantung pada pengguna yang harus terus mengenakan perangkat tersebut. Jika perangkat dilepas atau baterai habis, sistem tidak dapat bekerja, sehingga tingkat keandalannya menurun.

c. Solusi 3 :

Solusi 3 memperoleh nilai tertinggi 5 untuk *sensing capability*, karena teknologi LiDAR dapat secara akurat mendeteksi bentuk dan postur tubuh pengguna dalam format 3D. Sistem ini tidak hanya mendeteksi gerakan, tetapi juga mampu mengenali posisi tubuh seperti berdiri, duduk, atau terjatuh secara presisi tanpa perlu melekat pada tubuh pengguna. Namun, untuk *notification capability*, solusi ini mendapat nilai rendah (1) karena sistem hanya mendeteksi posisi, tanpa mekanisme notifikasi otomatis yang kuat, dan masih memerlukan integrasi tambahan untuk memberikan alarm secara *real-time*. Nilai 3 diberikan untuk *computing performance* dan *computation method*, karena meskipun sistem ini menggunakan pendekatan 3D *pose estimation* dan Logika *Time-based* yang cukup baik, proses pemrosesan data kedalaman memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan sistem dengan sensor langsung. Meskipun begitu, solusi ini tetap menjaga privasi pengguna dengan tidak merekam gambar visual secara eksplisit.

2. Perbandingan dengan Fitur Tambahan

a. Solusi 1

Solusi ini memiliki nilai tinggi pada fitur *Low Power Consumption*, karena kamera ToF umumnya dirancang hemat energi dan hanya aktif saat mendeteksi perubahan jarak atau gerakan tertentu, sehingga konsumsi dayanya efisien. Pada aspek *safety and comfort*, sistem ini juga dinilai tinggi karena kamera dipasang secara pasif di sudut kamar mandi dan tidak menyentuh tubuh pengguna, sehingga tidak mengganggu aktivitas atau kenyamanan pengguna lansia. Untuk *waterproof & durable design*, sistem ini sangat cocok digunakan di lingkungan seperti kamar mandi karena kamera ToF telah tersedia dalam varian yang tahan air dan tahan terhadap kelembaban tinggi. Waktu pengembangan dinilai realistis karena perangkat dan algoritma pendukung seperti *anomaly detection* dan *pose estimation* sudah tersedia dan dapat diintegrasikan dalam waktu 6 bulan. Namun, untuk biaya sistem, nilai hanya sedang karena harga kamera ToF dan komputasi pendukungnya masih relatif lebih mahal dibandingkan solusi berbasis *wearable*, meskipun lebih murah daripada kamera Tof.

b. Solusi 2

Solusi ini memiliki konsumsi daya yang rendah karena perangkat *wearable* seperti gelang pintar umumnya hemat baterai dan dapat digunakan dalam waktu lama. Namun, nilai *waterproof & durable design* rendah karena tidak semua perangkat *wearable* dirancang untuk tahan air dalam jangka waktu lama. Pada *development timeline*, sistem ini cukup sederhana dan bisa diselesaikan dalam waktu 6 bulan. Biaya sistem juga dinilai tinggi karena komponen yang digunakan cukup murah dan mudah didapat. Fitur *safety and comfort* tidak terlalu berpengaruh secara langsung karena kenyamanan bergantung pada pengalaman pengguna masing-masing.

c. Solusi 3

Solusi ini mendapat nilai tinggi pada fitur *safety and comfort* karena perangkat tidak perlu dikenakan oleh pengguna dan dipasang secara pasif, sehingga tidak mengganggu. Sistem ini juga memiliki desain yang tahan air dan kuat, cocok untuk

kamar mandi. Waktu pengembangan tetap dinilai realistis, karena meskipun menggunakan teknologi canggih, integrasi sistem dapat dilakukan dalam 6 bulan. Namun, daya yang dibutuhkan cukup tinggi karena LiDAR harus bekerja terus-menerus untuk memindai ruangan. Untuk biaya sistem, nilai tidak diberikan karena sulit untuk mencapai target di bawah Rp3.000.000 jika menggunakan sensor LiDAR berkualitas baik.

1.2.4 Solusi yang Dipilih

Setelah dilakukan analisis menyeluruh menggunakan pendekatan *House of Quality*, diperoleh hasil bahwa solusi pertama memiliki nilai paling tinggi dibandingkan solusi lainnya, baik dari aspek fitur dasar maupun fitur tambahan. Solusi pertama menggunakan kamera ToF (*Time of Flight*) yang berfungsi untuk mendeteksi posisi dan keberadaan tubuh pengguna, sehingga mampu mengenali aktivitas tidak normal seperti kondisi terjatuh di kamar mandi. Sistem ini memanfaatkan metode *pose estimation* dan *anomaly detection* berbasis *machine learning* untuk membedakan antara aktivitas normal (berdiri atau duduk) dan insiden jatuh. Ketika sistem mendeteksi pola postur yang menyimpang, informasi akan secara otomatis dikirimkan melalui jaringan IoT kepada pihak keluarga atau pengasuh agar pertolongan dapat segera diberikan.

Solusi ini dipilih karena memiliki metode komputasi yang paling kompleks dan akurat, serta tidak memerlukan interaksi langsung dari pengguna seperti mengenakan alat atau membawa perangkat tambahan. Karakteristik ini sangat penting untuk melayani pengguna dari berbagai kelompok usia, termasuk anak-anak yang mungkin tidak mau mengenakan perangkat *wearable* dan lansia yang mungkin lupa atau kesulitan menggunakannya. Dibandingkan dengan dua solusi lainnya, kamera ToF lebih unggul karena mampu mengenali objek manusia berdasarkan perubahan jarak dan gerakan, serta dapat bekerja secara efektif dalam kondisi minim pencahayaan dan di lingkungan beruap, tanpa mengganggu privasi pengguna. Sementara solusi *wearable* bergantung pada apakah perangkat dikenakan, dan solusi LiDAR masih memerlukan pengolahan tambahan untuk membedakan objek manusia dengan benda lain. Oleh karena itu, solusi berbasis

kamera ToF dinilai sebagai solusi paling efektif, efisien, dan adaptif untuk mengatasi permasalahan deteksi jatuh di kamar mandi bagi pengguna dari berbagai kelompok usia, dengan prioritas khusus pada lansia, sekaligus memenuhi kebutuhan keamanan, kenyamanan, serta kecepatan dalam pemberian pertolongan.

