

Smart Helmet untuk Monitoring Pekerja Konstruksi Menggunakan ESP32 dan LoRa Berbasis IoT

Hadi Supriyanto¹, Ismail Rokhim², Vincent Eliezer³

hadi@ae.polman-bandung.ac.id¹, ismail@ae.polman-bandung.ac.id²,

vincent.eliezer@mhs.polman-bandung.ac.id³

^{1,2,3}Politeknik Manufaktur Bandung

Informasi Artikel

Diterima : 20 Jun 2024

Direvisi : 30 Jun 2024

Disetujui : 25 Jul 2024

Kata Kunci

Smart Helmet, ESP32, LoRa, Internet of Things, Deteksi Jatuh

Abstrak

Keamanan kerja di sektor konstruksi di Indonesia merupakan isu mendesak, dengan tingkat kecelakaan yang masih tinggi meskipun upaya konvensional telah dilakukan untuk meningkatkannya. Penelitian ini bertujuan mengatasi isu tersebut dengan memanfaatkan *Internet of Things* (IoT) melalui *Smart Helmet*. *Smart Helmet* dilengkapi dengan sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) untuk mendeteksi jatuh serta memonitor orientasi dan gerakan pekerja secara *realtime*. Sistem ini menggunakan *MongoDB* untuk penyimpanan data dan HELTEC LoRa32 V2 untuk transmisi sinyal. Sensor MPU9250 9DOF digunakan untuk memperoleh data dari IMU, sementara *Sensor Fusion* dan *Kalman Filter* digunakan untuk meningkatkan akurasi pengukuran data sensor. Metode penelitian desain riset diterapkan melalui tahap identifikasi kebutuhan, perancangan, implementasi, dan evaluasi. Hasil dari penelitian ini mampu memonitor gerakan dan orientasi pekerja serta mendeteksi terjadinya kecelakaan kerja di sektor konstruksi.

Keywords

Smart Helmet, ESP32, LoRa, Internet of Things, Fall Detection

Abstract

Job safety in the construction sector in Indonesia is a pressing issue, with accident rates still high despite conventional efforts to improve them. This research aims to overcome this issue by utilizing the Internet of Things (IoT) through Smart Helmets. The Smart Helmet is equipped with an Inertial Measurement Unit (IMU) sensor to detect falls and monitor worker orientation and movement in realtime. This system uses MongoDB for data storage and and HELTEC LoRa32 V2 for signal transmission. The MPU9250 9DOF sensor is used to obtain data from the IMU, while Sensor Fusion and Kalman Filter are used to increase the accuracy of sensor data measurements. The research design research method is applied through the needs identification, design, implementation and evaluation stages. The results of this research are able to monitor workers' movements and orientation and detect work accidents in the construction sector.

A. Pendahuluan

Proses pembangunan pada proyek konstruksi biasanya melibatkan risiko bahaya, oleh karena itu, penting untuk memberikan perhatian yang cukup terhadap aspek keselamatan dan kesehatan kerja [1]. Angka kecelakaan kerja, menurut informasi yang diperoleh dari Badan Penyelenggaraan Jaminan Sosial (BPJS), mengalami peningkatan signifikan dari 114.235 kejadian pada tahun 2019 menjadi 177.161 kejadian pada tahun 2020 [2]. Tingginya angka kecelakaan kerja ini dapat mengakibatkan kerugian jiwa, material, uang, dan waktu, serta dapat mengganggu proses produksi dan berdampak ekonomis bagi Perusahaan [3]. Manajemen dan organisasi yang tidak efektif dapat meningkatkan risiko kecelakaan jatuh dari ketinggian, seperti tidak adanya pelatihan keselamatan, tidak adanya sistem pengawasan, dan tidak adanya perawatan yang tepat [4].

Upaya untuk peningkatan keamanan pekerja telah dilakukan dengan cara menerapkan beberapa protokol dan perangkat keselamatan konvensional. Meski demikian, angka statistik kecelakaan kerja yang masih tinggi menunjukkan perlunya inovasi lebih lanjut guna menjaga keselamatan pekerja di tempat kerja. Salah satu upaya inovatif yang menarik perhatian adalah penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam lingkup keselamatan kerja untuk pekerja konstruksi. *Smart Helmet* dapat diaplikasikan dalam berbagai konteks, termasuk di sektor otomotif, konstruksi, dan manufaktur. Dengan memanfaatkan sensor dan sistem komunikasi terintegrasi, beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan *Smart Helmet* untuk keamanan pekerja konstruksi. Penelitian lain [5] membuat sebuah helm pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk pekerja konstruksi, yang mencakup fitur-fitur seperti GPS, sensor asap, tombol penyelesaian tugas, dan sistem notifikasi darurat. Helm pintar lainnya dirancang dengan sensor untuk mendeteksi jatuh dan memantau kondisi fisik pekerja konstruksi, mengirimkan pemberitahuan ke kontraktor melalui ponsel [6].

Perancangan sistem ini dilakukan dengan menggunakan *Inertial Measurement Unit* (IMU) sebagai perangkat keras yang didalamnya terdapat sensor giroskop, akselerometer, dan magnetometer. *Inertial Measurement Unit* (IMU) digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk analisis gerak manusia [7]. Untuk mendapatkan data yang lebih akurat dari sensor, penelitian ini menggunakan teknik *Sensor Fusion*. *Sensor fusion* adalah proses menggabungkan dua atau lebih sumber data (sensor) dengan cara menghasilkan perkiraan sistem dinamis yang lebih akurat dan lebih dapat diandalkan [8]. Sebuah penelitian mengusulkan algoritma yang disebut *Best Axes Composition (BAC)* menggabungkan beberapa sensor inersial untuk menghitung orientasi 3D secara akurat [9]. Penelitian lain [10] mengembangkan algoritma Kalman Filter untuk mengurangi *noise* sensor akselerometer pada *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang digunakan untuk memperkirakan jarak perpindahan suatu benda.

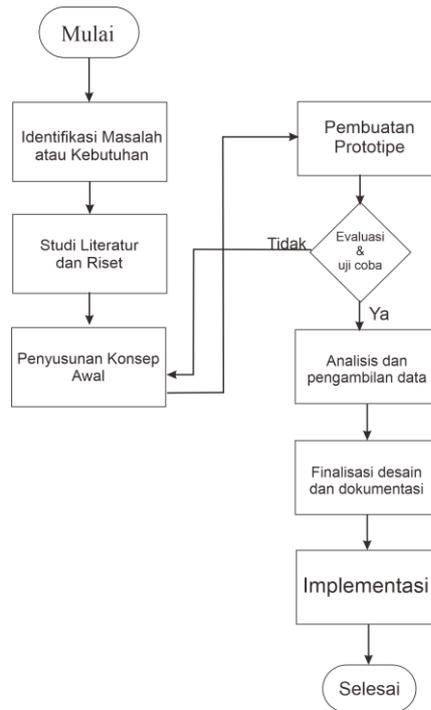
Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh perancangan dan implementasi *Internet of Things* (IoT) untuk mendeteksi jatuh, memonitoring gerak dan orientasi dari pekerja konstruksi yang menggunakan *Smart Helmet*. Pembuatan proyek tugas akhir ini didasari juga oleh standar internasional yang dipakai oleh sektor konstruksi yaitu ISO 45001:2018 yang berfokus pada penerapan standar sistem manajemen kesehatan dan keselamatan kerja. ISO 45001:2018 adalah standar internasional untuk Sistem Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja (SMK3),

yang bertujuan membantu perusahaan atau organisasi dalam mengelola risiko K3 dan meningkatkan kinerjanya [11]. Penelitian ini menggunakan *web server* untuk memonitoring hasil data yang diperoleh dari *Smart Helmet* yang digunakan oleh pekerja. Penggunaan *Mongodb* sebagai *real-time database* untuk penyimpanan data gerak, posisi, dan orientasi secara terus menerus. Modul MPU9250 9DOF yang digunakan sebagai sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU), dan akan di koneksikan dengan ESP32 *HELTEC* LoRa. Perangkat ESP32 *HELTEC* LoRa ini akan mengirimkan data dari *Smart Helmet* ke perangkat *gateway* yang menggunakan LoRa sebagai transmisi sinyal dan akan diteruskan ke database menggunakan *WiFi* kemudian ditampilkan pada web. Penggunaan LoRa sebagai transmisi pengiriman data dikarenakan pada lokasi pembangunan konstruksi tidak memungkinkan untuk pemasangan *WiFi*, akan memerlukan waktu untuk pemasangan dan memungkinkan mengganggu waktu kerja para pekerja konstruksi, sehingga LoRa dipergunakan karena memiliki jangkauan yang sangat luas, hingga beberapa kilometer. *Smart helmet* yang menggunakan LoRa dapat beroperasi lebih lama dengan baterai yang sama dibandingkan dengan teknologi nirkabel lainnya. Ini penting karena mengurangi kebutuhan pengisian ulang yang sering dan memastikan perangkat tetap aktif selama jam kerja yang panjang. LoRa memerlukan biaya operasional yang relatif rendah, sehingga sangat cocok untuk aplikasi IoT yang memerlukan biaya operasional yang efektif, seperti sistem keamanan rumah yang memerlukan biaya operasional yang rendah [12]

Berdasarkan permasalahan yang dipaparkan diperlukan adanya penelitian dan perancangan sistem rekayasa teknologi. Hasil dari perancangan sistem ini diharapkan dapat membantu petugas keselamatan untuk manajemen sistem keselamatan dan kesehatan kerja di bidang konstruksi agar dapat mendeteksi jatuh, memonitoring gerak dan orientasi pekerja konstruksi sehingga apabila terjadi situasi darurat proses penanganan akan lebih cepat.

B. Metode Penelitian

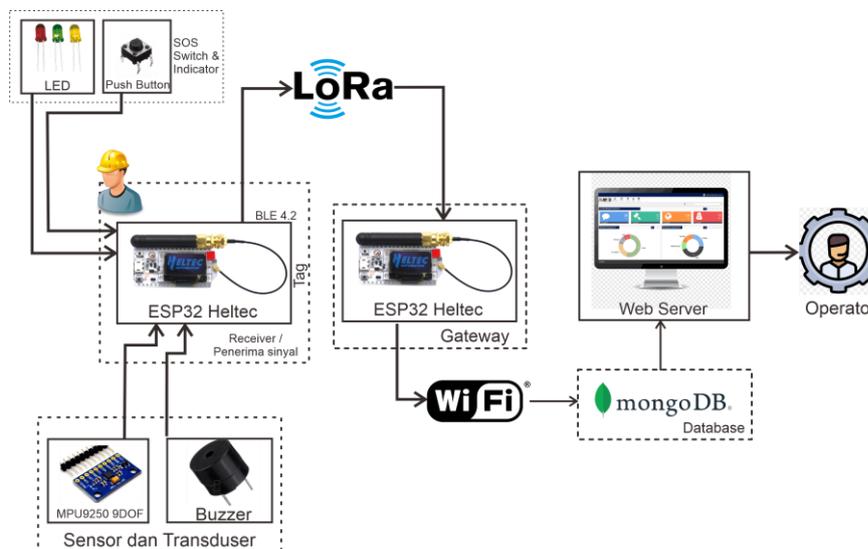
Penyelesaian masalah dalam tugas akhir ini menggunakan metode penelitian desain riset/design research. Tahapan penelitian desain melibatkan serangkaian langkah yang dilakukan secara berurutan untuk mengembangkan, merancang, dan menguji sebuah produk. Langkah-langkah tersebut dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

1. Gambaran Umum Sistem

Perancangan sistem ini digunakan untuk melakukan pengujian desain yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, IoT dan *Web Server* menggunakan protocol *Long Range* (LoRa) dan *Wireless Fidelity* (Wi-Fi). Rancangan sistem digambarkan secara umum pada Gambar 2.



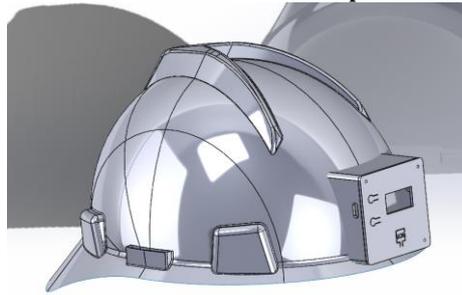
Gambar 2. Gambaran Umum Sistem

Dapat dijelaskan secara umum mengenai sistem implementasi IoT pada *Smart Helmet* menggunakan *Web Server* sebagai alat untuk monitoring serta pengendali dari sistem ini. Secara garis besar, pada *Smart Helmet* terdapat sebuah

perangkat mikrokontroler berupa ESP32 dan juga LoRa. Pada perangkat tersebut juga terhubung beberapa komponen lain yaitu sensor dan transduser serta lampu led dan tombol. Sensor yang digunakan adalah sensor MPU9250 dan menggunakan *Buzzer* aktif. Modul sensor MPU9250 akan memberikan data dari giroskop, akselerometer, dan magnetometer. Data ini akan diolah hingga nanti akan menjadi pendeteksi jatu, gerak dan orientas pekerja . Pekerja juga dapat mengirimkan tanda darurat atau SOS menggunakan *push button* yang akan diterima oleh *gateway* yang akan diteruskan ke web server. Operator adalah admin atau pengawas yang akan memantau gerak dan orientasi dari pekerja, hingga apabila terjadi bahaya atau kecelakaan tim penyelamat dapat mengetahui pekerja dan dapat menangani kecelakaan lebih cepat.

2. Desain Alat

Gambaran bentuk fisik dari *Smart Helmet* ini dapat dilihat pada gambar 3



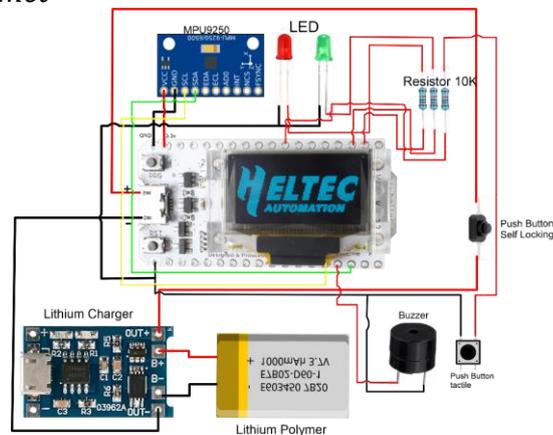
Gambar 3. Desain Smart Helmet

Desain ini dibuat menggunakan *software* solidworks agar memudahkan untuk pembuatan 3d *print* dari kotak yang digunakan untuk menempatkan perangkat *Smart Helmet*.

3. Perancangan Elektrik

Dalam perancangan Elektrikal ini memisahkan antara penerima sinyal dan penerima data (LoRa).

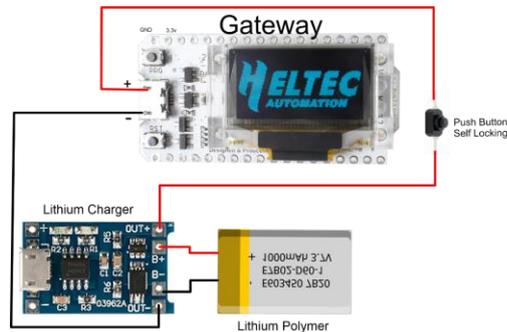
a. Skematik Smart Helmet



Gambar 4. Skematik Smart Helmet

Dapat dijelaskan, sensor MPU9250 dan switch push button merupakan masukan, kemudian led dan buzzer adalah keluaran, sedangkan mikrokontroler ESP32 Heltec adalah proses. Rangkaian ini memiliki power supply dari batre lithium polimer yang dipasangkan ke battery charger.

b. Skematik Gateway



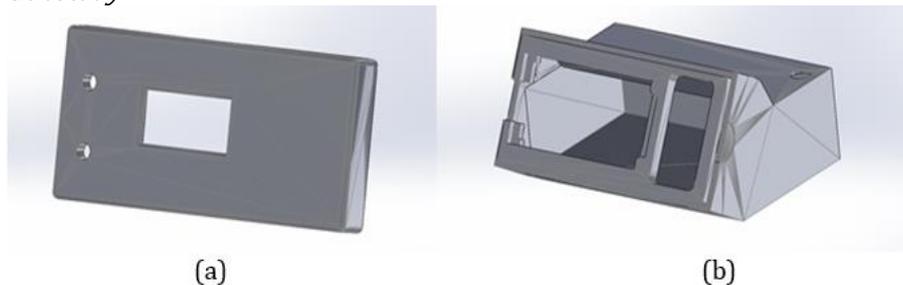
Gambar 5. Skematik Gateway

Gambar diatas merupakan rangkaian kelistrikan dari *Gateway* atau penerima data dan pengirim data dari perangkat *Smart Helmet* diteruskan ke Web server. Pada perangkat ini menggunakan mikrokontroler yang sama dengan yang digunakan pada *smart helmet*.

4. Perancangan Mekanik

Perancangan ini meliputi pembuatan kotak sebagai pelindung dari komponen elektrik dan penyatuan seluruh komponen hingga membentuk satu alat.

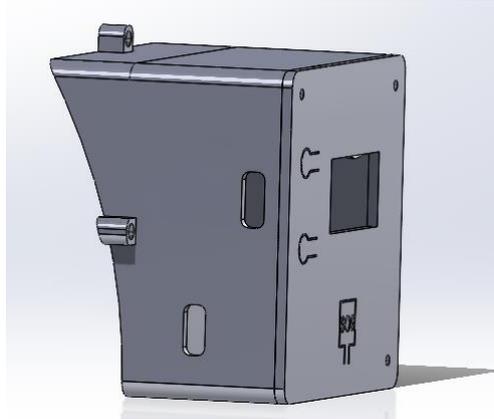
a. Kotak Gateway



Gambar 6. Tutup Gateway (a) & Bodi Gateway (b)

Pada gambar 6 adalah desain untuk gateway sebagai pelindung dan tempat meletakkan perangkat *heltec lora32 v2* yang sudah diprogram menjadi gateway atau *transceiver* LoRa, agar tidak terjadi kerusakan, dan juga lebih fleksibel.

b. Kotak Smart Helmet

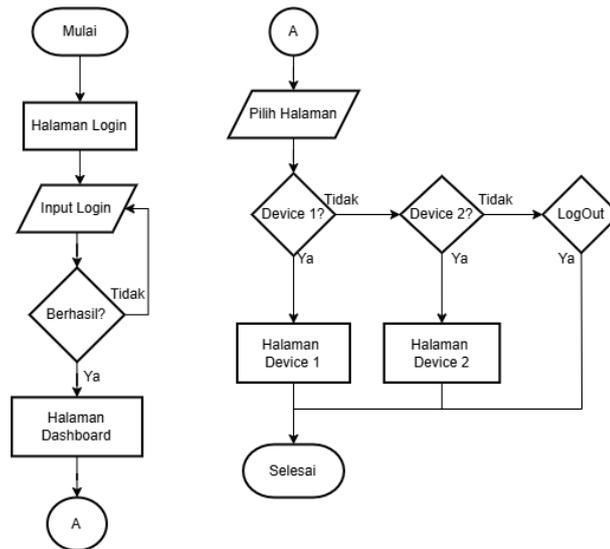


Gambar 7. Kotak Smart Helmet

Pada gambar III.12 adalah desain kotak untuk perangkat utama, yaitu perangkat yang digunakan sebagai *smart helmet*. Perangkat tersebut terdiri dari beberapa komponen, yaitu Heltec LoRa32 V2, ESP32, Sensor MPU9250, *Push Button*, *Buzzer*, dan *Lithium Charger*.

5. Perancangan Informatik

Proyek perancangan ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah web server yang memanfaatkan MongoDB sebagai basis datanya. Sistem ini akan dibangun menggunakan framework Node.js untuk memastikan kinerja yang optimal dan kemampuan untuk menangani permintaan asinkron. MongoDB dipilih sebagai database karena kemampuannya dalam mengelola data semi-terstruktur dengan fleksibilitas skema yang tinggi dan bekerja secara *realtime*. MongoDB telah dievaluasi bersama database dokumen NoSQL lainnya, seperti Couchbase dan CouchDB, menggunakan Yahoo Cloud Serving Benchmark (YCSB). Hasilnya menunjukkan bahwa MongoDB memiliki performa runtime terbaik, kecuali untuk beban kerja yang melibatkan operasi pemindaian [13]. Arsitektur ini akan menerapkan RESTful API untuk memungkinkan komunikasi yang mudah antara klien dan server, serta menggunakan Mongoose sebagai ODM (Object Data Modeling) untuk mengelola interaksi dengan MongoDB. Dalam aspek keamanan, otentikasi dan otorisasi akan ditangani melalui implementasi JWT (JSON Web Tokens).



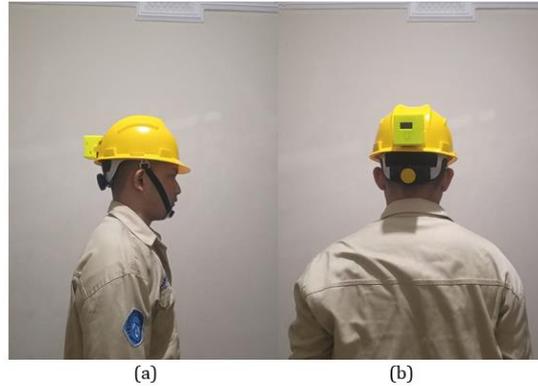
Gambar 8. Flowchart Web

Pada Gambar 8 adalah alur dari penggunaan web. Pengguna akan memulai web dengan memasukkan nama pengguna dan kata sandi agar dapat masuk ke halaman utama web atau dashboard. Setelah masuk kedalam halaman utama atau halaman dashboard, pengguna dapat memilih untuk melihat perangkat 1 atau perangkat 2. Apabila pengguna memilih salah satu perangkat maka akan masuk kedalam halaman perangkat tersebut. Jika pengguna sudah selesai, pengguna dapat memilih opsi untuk melakukan *LogOut* untuk keluar dari halaman dashboard dan halaman perangkat. Apabila pengguna ingin masuk kembali maka pengguna harus melakukan langkah awal.

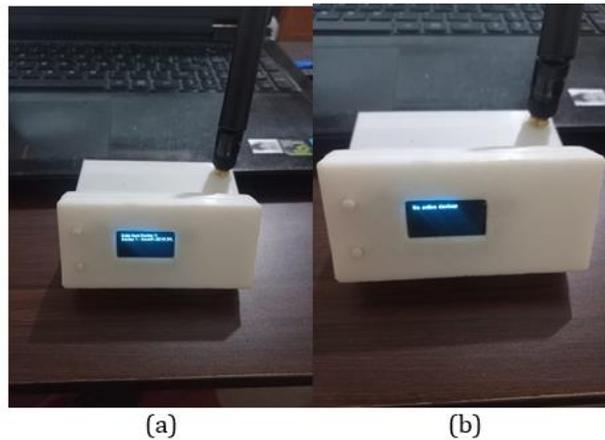
C. Hasil dan Pembahasan

1. Implementasi sistem

Gambar 9 menunjukkan hasil dari implementasi desain yang telah dibuat, yaitu pemasangan perangkat *smart helmet* ke helm keselamatan. Helm ini akan digunakan pekerja konstruksi, yang dimana nantinya akan dipantau oleh petugas K3 yang menjadi operator atau pengawas pada web yang sudah dibuat. Dari helm ini pengawas akan mendapatkan informasi gerak dan orientasi dari pekerja konstruksi. Penggunaan sensor MU9250 sebagai penghasil data untuk menentukan gerak dan orientasi pekerja. Dari data tersebut akan mendeteksi gerak jatuh dari pekerja. Kotak *smart helmet* ini dibuat menggunakan teknologi 3d *print* dengan menggunakan bahan PLA yang sudah diuji ketahanannya ketika dalam kondisi pekerja jatuh. Sehingga membuktikan kekuatan dari bahan yang dipakai.



Gambar 9. Implementasi Smart Helmet

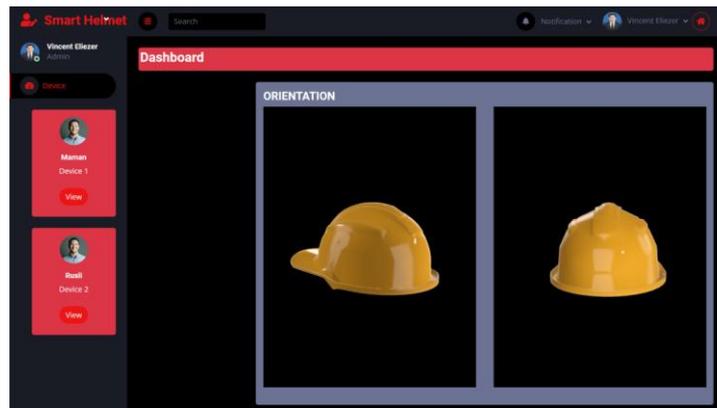


Gambar 10. Menerima Device (a) & Tidak ada Device (b)

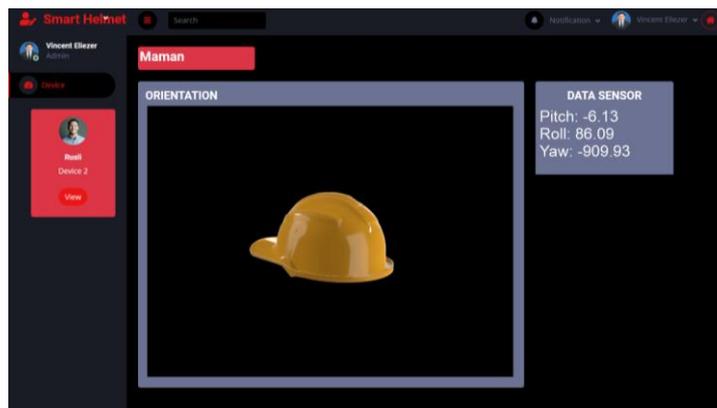
Pada gambar 10 merupakan tampilan dari *gateway* atau gerbang untuk pengiriman data dari *smart helmet* ke database yang akan diteruskan ke web yang sudah disediakan. *Gateway* ini akan menerima data yang dikirimkan *smart helmet*, apabila tidak ada perangkat yang aktif maka *gateway* akan menampilkan bahwa tidak ada perangkat yang tertaut dengan *gateway*.

2. Implementasi Web

Untuk melakukan monitoring pekerja yang menggunakan *smart helmet* pengguna atau petugas keselamatan akan membuka web yang sudah dibuat. Ketika membuka web tersebut, pengguna akan di arahkan pada halaman *Login* sebelum masuk kedalam halaman utama. Pengguna akan mengisi *username* dan *password*, apabila pengguna sudah mengisi dengan benar maka web akan mengarahkan ke halaman utama. Jika gagal maka akan ada peringatan untuk mengisi *username* dan *password* dengan benar. Untuk memvisualisasikan perangkat, penelitian ini menggunakan pustaka java script yaitu *Three js* ntuk membuat dan menampilkan grafik 3D dalam aplikasi web. Pustaka ini dibangun di atas WebGL (Web Graphics Library), sebuah API berbasis JavaScript yang memungkinkan rendering grafik 2D dan 3D di dalam browser tanpa memerlukan plugin tambahan.



Gambar 11. Halaman *Dashboard*



Gambar 12. Halaman *Device 1*

Halaman *dashboard* berisikan tampilan orientasi dari helm perangkat 1 dan perangkat 2, orientasi perangkat 1 berada di sebelah kiri sedangkan perangkat 2 disebelah kanan. Kemudian pada *dashboard* ini juga terdapat pilihan informasi untuk perangkat 1 dan perangkat 2, apabila ingin melihat lebih detail tentang data sensor pada setiap perangkat, pengguna dapat memilih opsi *view* pada perangkat yang diinginkan. Ketika berada pada salah satu perangkat, untuk kembali ke halaman *dashboard*, pengguna dapat menekan pada *icon* rumah atau *home*.

3. Pengujian

3.1 Pengujian *Response Time*

Pengujian *response time* dilakukan untuk mengevaluasi kecepatan dan efisiensi pengiriman data dari perangkat Heltec LoRa32 V2 ke gateway yang menggunakan perangkat yang sama. Dalam pengujian ini, berbagai parameter seperti jarak, kondisi lingkungan, dan beban jaringan akan dianalisis untuk memastikan bahwa waktu respons tetap dalam batas yang dapat diterima. Data yang dikirim dari Heltec LoRa32 V2 akan dipantau secara terus-menerus untuk mendeteksi potensi latensi atau kehilangan data selama proses transmisi. Pengujian ini dilakukan pada jarak 80 meter antara perangkat *smart helmet* dengan *gateway*.

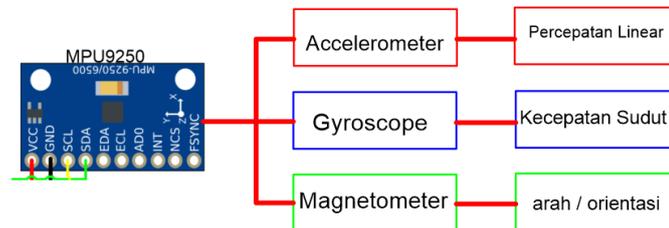
Table 1. *Response Time Terhadap Gateway*

Pengujian	Data Terbaca (waktu)	Data Terkirim (waktu)	Status	Selisih (ms)
1	18:08:42.110	18:08:43.359	Terkirim	1249
2	18:08:43.507	18:08:44.742	Terkirim	1235
3	18:08:44.910	18:08:46.146	Terkirim	1236
4	18:08:46.265	18:08:47.517	Terkirim	1252
5	18:08:47.670	18:08:48.874	Terkirim	1204
6	18:08:49.069	18:08:50.287	Terkirim	1218
7	18:08:50.421	18:08:51.685	Terkirim	1264
8	18:08:51.817	18:08:52.052	Terkirim	1235
9	18:08:53.216	18:08:54.418	Terkirim	1202
10	18:08:54.615	18:08:55.802	Terkirim	1187
Rata-rata Selisih				1228,2

Pengujian *response time* ini dilakukan sebanyak 10 kali dikarenakan untuk menguji seberapa cepat pengiriman data dari *smart helmet* ke *gateway*. Hasilnya didapatkan selisih waktu rata – rata yaitu 1228,2 ms. Dari hasil tersebut menunjukkan proses pengiriman data antara *smart helmet* dan *gateway* yang efisien.

3.2 Akuisisi Data Gerak

Pada bagian akuisisi data gerak ini, data yang dihasilkan dari sensor akan diolah dan dibagi menjadi 3 bagian untuk mendeteksi gerak objek. Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan metode *fuzzy logic*. Penggunaan *fuzzy logic* dengan *Multiple Input – Single Output (MISO)* dikarenakan sensor memiliki tiga buah masukan yaitu percepatan, kecepatan sudut serta arah atau orientasi dan memiliki satu buah keluaran yaitu gerakan objek.

**Gambar 13.** Akuisisi Data Sensor

Pada pengujian ini juga menggunakan *sensor fusion* untuk menggabungkan nilai sensor dan diubah menjadi *Roll*, *Pitch*, dan *Yaw*. Sebuah metode yang digunakan untuk menggabungkan data dari beberapa sumber yang berbeda, seperti sensor-sensor yang berbeda jenis dan sumber, untuk menghasilkan output data yang lebih akurat dan lengkap. Untuk mendapatkan deteksi jatuh maka ditentukan nilai *threshold* untuk tiap gerakannya. Pada gambar 16 ditunjukkan 3 perbedaan gerak dengan disertakan grafiknya menggunakan *serial plotter* dari Arduino IDE.



Gambar 14. Aktifitas Ringan (a), Gerak Jatuh (b), Aktifitas Menunduk (c)

Dapat dilihat bahwa perbedaan ketika pengguna *smart helmet* dalam 3 keadaan yang berbeda, maka akan menghasilkan grafik yang berbeda juga. Pada bagian b, ketika terdeteksi jatuh grafik tampil dengan tidak beraturan.

Table 2 Nilai Ambang Batas

Accelerometer	Data Masukan		Gerakan
	Gyroscope	Magnetometer	
$1 \leq a \leq 4$	$1 \leq g \leq 1.2$	$1 \leq m \leq 1.5$	Aktifitas Ringan
$3 \leq a \leq 5$	$3 \leq a \leq 5$	$3 \leq a \leq 5$	Aktifitas Berat
$a \geq 4$	$g \geq 2$	$g \geq 2.5$	Gerak Jatuh

Pada Tabel diatas merupakan pengaturan ambang batas untuk menentukan setiap jenis gerakan. Untuk mendapatkan output kategori gerakan, diberlakukan aturan fuzzy rule based IF-THEN.

3.3 Pengujian Deteksi Jenis Gerakan

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi gerakan objek. Metode yang digunakan untuk evaluasi ini adalah confusion matrix, yang membagi hasil pengujian menjadi empat kondisi umum sebagai berikut:

1. True Positive (TP): Terjadi ketika kondisi aktual adalah jatuh dan sistem berhasil mendeteksi bahwa objek tersebut jatuh.
 2. True Negative (TN): Terjadi ketika kondisi aktual adalah tidak jatuh dan sistem berhasil mendeteksi bahwa objek tersebut tidak jatuh.
 3. False Positive (FP): Terjadi ketika kondisi aktual adalah tidak jatuh tetapi sistem mendeteksi bahwa objek tersebut jatuh.
- False Negative (FN): Terjadi ketika kondisi aktual adalah jatuh tetapi sistem mendeteksi bahwa objek tidak jatuh.

Table 3 Pengujian Deteksi Aktifitas Ringan

Pengujian	Aktual	Sistem	Keterangan	Aktifitas Ringan
1	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
2	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
3	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
4	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
5	Tidak Jatuh	Jatuh	FP	
6	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
7	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
8	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
9	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
10	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	

Table 4 Pengujian Deteksi Aktifitas Berat

Pengujian	Aktual	Sistem	Keterangan	Aktifitas Berat / Menunduk
1	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
2	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
3	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
4	Tidak Jatuh	Jatuh	FP	
5	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
6	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
7	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
8	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	
9	Tidak Jatuh	Jatuh	FP	
10	Tidak Jatuh	Tidak Jatuh	TN	

Table 5 Pengujian Deteksi Gerak Jatuh

Pengujian	Aktual	Sistem	Keterangan	Gerak Jatuh
1	Jatuh	Jatuh	TP	
2	Jatuh	Jatuh	TP	
3	Jatuh	Jatuh	TP	
4	Jatuh	Jatuh	TP	
5	Jatuh	Jatuh	TP	
6	Jatuh	Jatuh	TP	
7	Jatuh	Jatuh	TP	
8	Jatuh	Tidak Jatuh	FN	
9	Jatuh	Jatuh	TP	
10	Jatuh	Tidak Jatuh	FN	

Pengujian ini dilakukan sebanyak 30 kali. Kondisi deteksi yang didapatkan adalah *True Positif* (TP) sebanyak 8 kali, *True Negatif* (TN) sebanyak 17 kali, *False Positif* (FP) sebanyak 3 kali, dan *False Negatif* (FN) sebanyak 2 kali.

D. Simpulan

Kesimpulan dari penelitian ini, sistem berhasil untuk dapat mendeteksi jatuh dengan baik. Pengguna dapat memonitoring gerak jatuh dan orientasi atau arah dari

pekerja konstruksi yang menggunakan *smart helmet*. Proses pengiriman data dapat dinyatakan efisien dikarenakan waktu interaksi yang efisien. Penggunaan LoRa dapat dibuktikan untuk mentransmisikan data dengan baik. Untuk pendeteksian jatuh dapat disimpulkan akurasi sebesar 80%. Sedangkan untuk pendeteksian tidak jatuh memiliki akurasi sebesar 85%. Sehingga dapat disimpulkan, sistem deteksi jatuh ini memiliki tingkat akurasi sebesar 83%. Dari sistem ini diharapkan dapat membantu petugas keselamatan di sektor konstruksi untuk memantau kondisi pekerja secara *realtime* dan dapat menangani jika ada kecelakaan kerja dengan cepat.

E. Referensi

- [1] I. N. Y. Darmika, N. K. Armaeni, and I. W. G. E. Triswandana, "Rencana Keselamatan Konstruksi (Rkk) Proyek Pembangunan Gedung Bri Kantor Cabang Gatot Subroto – Bali Pada Tahap Konstruksi," *J. Tek. Gradien*, vol. 14, no. 02, pp. 82–88, 2022, doi: 10.47329/teknikgradien.v14i02.942.
- [2] N. Sulistyaningtyas, "Analisis Faktor-Faktor Penyebab Kecelakaan Akibat Kerja Pada Pekerja Konstruksi: Literature Review," *J. Heal. Qual. Dev.*, vol. 1, no. 1, pp. 51–59, 2021, doi: 10.51577/jhqd.v1i1.185.
- [3] H. Wacono *et al.*, "Jurnal sondir," vol. 6, no. 1, pp. 12–27, 2022.
- [4] F. Firdaus and D. Erwandi, "Kajian Literatur: Faktor Penyebab Kecelakaan Jatuh Dari Ketinggian Di Sektor Konstruksi," *J. Kesehat. Tambusai*, vol. 4, no. 2, pp. 2297–2302, 2023, doi: 10.31004/jkt.v4i2.15650.
- [5] P. Kuhar, K. Sharma, Y. Hooda, and N. K. Verma, "Internet of Things (IoT) based Smart Helmet for Construction," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1950, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1950/1/012075.
- [6] V. Jayasree and M. N. Kumari, "IOT based smart helmet for construction workers," *2020 7th Int. Conf. Smart Struct. Syst. ICSSS 2020*, vol. 10, no. 3, pp. 6–10, 2020, doi: 10.1109/ICSSS49621.2020.9202138.
- [7] J. González-Alonso, D. Oviedo-Pastor, H. J. Aguado, F. J. Díaz-Pernas, D. González-Ortega, and M. Martínez-Zarzuola, "Custom imu-based wearable system for robust 2.4 ghz wireless human body parts orientation tracking and 3d movement visualization on an avatar," *Sensors*, vol. 21, no. 19, 2021, doi: 10.3390/s21196642.
- [8] S. Gupta, "Analysis of BLE on Sensor Tag," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 9, no. VI, pp. 5183–5187, 2021, doi: 10.22214/ijraset.2021.36135.
- [9] M. Faizullin and G. Ferrer, "Best axes composition: Multiple gyroscopes imu sensor fusion to reduce systematic error," *2021 10th Eur. Conf. Mob. Robot. ECMR 2021 - Proc.*, 2021, doi: 10.1109/ECMR50962.2021.9568800.
- [10] M. A. R. Wicaksono, F. Kurniawan, and L. Lasmadi, "Kalman Filter untuk Mengurangi Derau Sensor Accelerometer pada IMU Guna Estimasi Jarak," *Avitec*, vol. 2, no. 2, pp. 145–159, 2020, doi: 10.28989/avitec.v2i2.752.
- [11] I. Print, I. Online, A. Yoshana, M. F. Putra, and R. Setiowati, "GAP ANALYSIS PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN K3 ISO 45001 : 2018 DI PT . CITRA ABADI SEJATI (CAS)," vol. 1, pp. 17–26, 2022, doi: 10.52330/jtm.v20i1.52.
- [12] Hamimi, M. Jamaludin, and T. Kurniawan, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Multi Nodes Arus dan Tegangan Menggunakan Trasciever LoRa SX1278 Secara Real Time," *J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 23–31, 2021.

- [13] I. Carvalho, F. Sá, and J. Bernardino, "Performance Evaluation of NoSQL Document Databases: Couchbase, CouchDB, and MongoDB," *Algorithms*, vol. 16, no. 2, 2023, doi: 10.3390/a16020078.