

# RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING* KELELAHAN DAN *TRACKING* PEKERJA KONTRUKSI MELALUI *SAFETY VEST* BERBASIS *IOT*

Vanny Nastiti<sup>1)</sup>, Nurahmad Hadi Cahyadi<sup>2)</sup>, Marsha Anindya Jasmine<sup>3)</sup> dan Indri Santiasih<sup>4)</sup>

<sup>1, 3)</sup>Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>2)</sup>Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>4)</sup>Teknik Keselamatan dan Resiko, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

e-mail: [vannynastiti16@student.ppns.ac.id](mailto:vannynastiti16@student.ppns.ac.id)<sup>1)</sup>, [hadicahyadi30@student.ppns.ac.id](mailto:hadicahyadi30@student.ppns.ac.id)<sup>2)</sup>,  
[marshaanindya@student.ppns.ac.id](mailto:marshaanindya@student.ppns.ac.id)<sup>3)</sup>, [indri.santiasih@ppns.ac.id](mailto:indri.santiasih@ppns.ac.id)<sup>4)</sup>

## ABSTRAK

Peningkatan lapangan kerja dalam sektor konstruksi di Indonesia juga berarti meningkatnya potensi kecelakaan kerja. Penggunaan Alat Pelindung Diri seperti safety vest menjadi langkah penting dalam meminimalisasi risiko kecelakaan. Safety vest tidak hanya meningkatkan visibilitas pekerja, tetapi juga dapat berdampak positif terhadap produktivitas kerja. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan kesejahteraan pekerja melalui inovasi teknologi. Penggunaan safety vest berbasis teknologi neuro fuzzy dengan dukungan Internet of Things (IoT) dan Global Positioning System (GPS) diharapkan dapat membantu monitoring kondisi kesehatan dan tracking posisi pekerja secara real-time. Metode penelitian yang digunakan yakni menggunakan metode kombinasi deskriptif dan eksperimen dengan melakukan percobaan dalam skala prototype. Pengujian dilakukan pada 3 orang relawan dengan waktu 4 jam pemakaian untuk setiap orangnya. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pembacaan sensor dapat diamati pada website secara realtime dengan kecepatan pengiriman data 3scnd/data atau data akan update selama 3 detik sekali. Didapatkan hasil bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dengan akurasi keberhasilan mencapai 95% dan akan disempurnakan. Dengan direalisasikannya penelitian ini, memiliki kontribusi dalam meningkatkan keamanan pekerja konstruksi dalam pemantauan tingkat kelelahan pekerja menggunakan media safety vest yang terintegrasi pada website.

**Kata Kunci:** IoT, Konstruksi, Neuro Fuzzy, Rompi Keselamatan

## ABSTRACT

The increase in employment opportunities in the construction sector in Indonesia also implies a higher potential for work-related accidents. The use of Personal Protective Equipment like safety vests is a crucial step in minimizing the risk of accidents. Safety vests not only enhance workers' visibility but also have a positive impact on work productivity. This research aims to reduce the risk of work-related accidents, improve resource efficiency, and enhance the well-being of workers through technological innovation. The use of neuro-fuzzy technology-based safety vests with the support of the Internet of Things (IoT) and Global Positioning System (GPS) is expected to aid in real-time health condition monitoring and worker position tracking. The research methodology employed involves a combination of descriptive and experimental approaches, conducting experiments on a prototype scale. Testing was carried out on three volunteers, with each individual wearing the vest for four hours. From the results of the conducted tests, sensor readings can be observed on a website in real-time with a data transmission speed of 3 seconds per data or data updates occurring every 3 seconds. The obtained results show that the system functions well with a success accuracy rate of 95%, and further refinement is anticipated. By implementing this research, it contributes to enhancing the safety of construction workers in monitoring their fatigue levels using safety vests integrated into a website.

**Keywords:** Construction, IoT, Neuro Fuzzy, Safety Vest

## I. PENDAHULUAN

SETIAP pekerjaan memiliki potensi terjangkit paparan yang berdampak terhadap masalah kesehatan. Pekerja tidak hanya berisiko tertular penyakit menular dan tidak menular seperti yang terjadi

di masyarakat, tetapi pekerja juga berpotensi mengalami penyakit akibat kerja karena pengaruh faktor risiko yang disebabkan oleh pekerjaan dan lingkungan kerja. Angka kematian akibat kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja cukup tinggi. Data menunjukkan sekitar 380.000 pekerja, atau 13,7% dari

2,78 juta pekerja meninggal setiap tahun akibat kecelakaan atau penyakit akibat kerja. Lebih dari 374 juta orang terluka atau sakit akibat kecelakaan di tempat kerja [1].

Sektor konstruksi tengah mengalami pertumbuhan lapangan kerja yang pesat dan dapat menciptakan lapangan kerja baru dalam setiap proyeknya. Jumlah pekerja konstruksi di Indonesia mencapai 1,15 juta orang pada tahun 2021. Jumlah tersebut naik 1,10% dari tahun sebelumnya sebanyak 1,14 juta orang [2]. Meningkatnya jumlah pekerja sektor konstruksi berbanding lurus dengan potensi terjadinya kecelakaan kerja yang mungkin terjadi. Presentase terjadinya kasus kecelakaan kerja oleh sektor konstruksi mencapai 32% dari total kasus kecelakaan di Indonesia setiap tahunnya, dimana kasus kecelakaan yang disebabkan oleh penyakit akibat kerja termasuk didalamnya [3].

Dalam upaya untuk meminimalisasi risiko kecelakaan kerja di sektor konstruksi, pekerja diwajibkan menggunakan Alat Pelindung Diri (APD). Hal ini bertujuan untuk melindungi pekerja dari berbagai potensi bahaya dan risiko yang ada di lingkungan kerja. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh [4] menjelaskan bahwa penggunaan APD dapat meningkatkan nilai produktivitas tenaga kerja karena pekerja merasa lebih aman ketika menjalankan tugas-tugas mereka. Disisi lain, pekerja sektor konstruksi dominan melakukan pekerjaan diluar ruangan. Sebagai tindakan pencegahan dan upaya preventif dalam mengurangi resiko kecelakaan, pekerja dilengkapi Alat Pelindung Diri (APD) salah satunya penggunaan *safety vest*. Fungsi utama *safety vest* adalah visibilitas, dimana *safety vest* membantu memudahkan pemantauan pekerja konstruksi di lapangan dan mengidentifikasi posisi pekerja sehingga dapat menghindari bahaya. Menurut penelitian yang dilakukan oleh [5] penggunaan *safety vest* memiliki hubungan yang signifikan dan kuat dengan kinerja pekerja, terlihat dari nilai korelasi positif yang tinggi, yaitu sebesar 0,626. Hubungan yang signifikan ini juga dapat dilihat dari peluang yang lebih rendah dari tingkat signifikansi  $\alpha$  ( $P=0,01 < \alpha=0,05$ ), menunjukkan bahwa hasil ini tidak hanya kebetulan semata.

Pekerja *outdoor* sektor konstruksi dihadapkan oleh beberapa potensi bahaya yang disebabkan oleh lingkungan kerja sehingga dapat mempengaruhi kondisi kesehatan. Penelitian yang dilakukan oleh [6] menyimpulkan bahwa faktor kondisi lingkungan dapat berperan sebagai penghambat atau penggagas keselamatan kerja. Oleh karena itu, dalam upaya manajemen keselamatan kerja dan pengurangan risiko, perlu diperhatikan aspek potensi bahaya dan kecelakaan kerja yang terkait dengan kondisi lingkungan. Dengan mempertimbangkan hal ini, diharapkan keselamatan kerja dapat ditingkatkan secara keseluruhan. Potensi bahaya tersebut sering dihadapi oleh pekerja seperti paparan sinar matahari secara langsung, iklim kerja, kebisingan serta faktor psikologi. Apabila potensi

bahaya tersebut diterima oleh tubuh pekerja dalam waktu yang lama, dapat menyebabkan penurunan kualitas kesehatan pekerja sehingga dapat menyebabkan kelelahan yang dapat menurunkan performa kerja.

Penelitian ini bertujuan untuk membantu mengurangi risiko kecelakaan kerja, memperbaiki efisiensi penggunaan sumber daya, dan meningkatkan kesejahteraan pekerja konstruksi melalui inovasi teknologi keselamatan dan kesehatan dalam bentuk *safety vest* menggunakan metode *neuro fuzzy* berbasis *Internet of Things (IoT)* serta dilengkapi dengan *Global Positioning System (GPS)*. Dengan adanya inovasi ini, diharapkan dapat diimplementasikan suatu alat yang dapat membantu pekerja sektor konstruksi dalam monitoring kondisi kesehatan secara *realtime* dan tracking posisi pekerja. Apabila kondisi pekerja tidak memungkinkan untuk melanjutkan pekerjaan, *safety vest* akan memberikan *feedback* kepada pengguna berupa *vibrator* dan LED pada bagian belakang vest yang menyala sesuai dengan kondisi kesehatan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terkait

Untuk memperkaya teori dalam penelitian yang akan dilakukan, penulis membutuhkan penelitian terkait sebagai salah satu acuan yang dapat digunakan, antara lain perancangan *smart shirt* untuk mengukur tingkat kesehatan dengan menggunakan teknologi sensor dan fitur digital dilakukan oleh [7] untuk memudahkan seseorang dalam memantau kesehatan sehari-hari. Penggunaan *smart shirt* ini dapat memudahkan pengguna dalam memantau kondisi kesehatan mereka. Selanjutnya sistem monitoring kesehatan berbasis *Internet of Things (IoT)* yang direalisasikan oleh [8] dilakukan karena kemungkinan besar pasien akan kehilangan nyawanya sebagai akibat dari kelelahan jantung yang berlebihan selama tidur di malam hari. Perangkat yang menyediakan pemantauan secara terus menerus terhadap pasien ini relatif mahal dan membutuhkan tenaga terlatih untuk menggunakannya. Terdapat juga rancang bangun alat monitoring vital sign pasien rawat inap oleh [9] didasari karena pasien yang sedang menjalani rawat inap di rumah sakit akibat stroke perlu menjalani pemeriksaan rutin terhadap kondisi kesehatannya. Dalam penelitian ini, akan diusulkan rancangan sebuah alat yang dapat mendeteksi tanda-tanda vital manusia menggunakan empat sensor, yaitu sensor suhu, denyut nadi, SpO2 (kadar oksigen dalam darah), dan tekanan darah yang ditampilkan melalui website dan diakses melalui browser pada smartphone.

### B. Landasan Teori

#### 1. Pekerja Konstruksi

Kondisi kerja yang tidak aman merupakan kontributor utama kecelakaan. Sektor konstruksi menjadi salah satu industri dengan resiko kecelakaan

kerja tertinggi, karena pekerja memiliki lingkungan kerja yang dapat menimbulkan penyakit akibat kerja, seperti paparan sinar matahari, lingkungan kerja dan kebisingan [10].

## 2. *Safety vest*

*Safety vest* adalah salah satu Alat Pelindung Diri (APD) yang digunakan memudahkan dalam mengidentifikasi lokasi pekerja. *Safety vest* digunakan saat bekerja di area dengan penerangan redup, di jalan raya atau di lokasi konstruksi agar operator dapat melihat lokasi rekan kerja lainnya.

## 3. Sensor Suhu MLX9061

Sensor MLX90614 adalah sensor *non-contact* dengan menggunakan prinsip radiasi panas, yaitu mendeteksi energi inframerah yang dipancarkan dan dikumpulkan secara melingkar serta difokuskan pada detektor, kemudian diterjemahkan dalam bentuk informasi suhu [11].

## 4. Sensor Akselerator ADXL345

ADXL335 adalah sensor accelerometer dengan sistem berbasis MEMS (Micro Electronic Mechanical System) untuk mengukur percepatan suatu sistem yang bergerak. Sensor ini digunakan untuk mengetahui perubahan posisi suatu benda terhadap titik acuan pusat grafik. Sensor ADXL335 berukuran kecil, *low power* dan memiliki 3 axis dengan sinyal output AC. Skala pengukuran percepatan minimum  $\pm 3g$  [12].

## 5. Sensor Pulse MAX30100

MAX30100 merupakan sensor untuk mendeteksi detak jantung dan saturasi oksigen (SpO2) menggunakan inframerah dengan cara non-invasif. Sensor ini akan disambungkan dengan mikrokontroler untuk pengolahan data sensor dan akan diolah menggunakan metode *fuzzy* [13].

## 6. GPS

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu secara kontinyu tanpa bergantung waktu dan cuaca bagi banyak orang secara simultan [14].

## 7. ESP32

ESP 32 adalah sebuah mikrokontroler yang diperkenalkan oleh Espressif System sebagai penerus mikrokontroler ESP8266. ESP32 memiliki banyak fungsi namun berdaya rendah dan pada boardnya sudah terdapat Wi-Fi dan Bluetooth Low Energy (BLE) sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi Internet of Things [15]

## 8. Solar Cell

Solar cell atau sel surya merupakan sebuah perangkat yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses efek fotovoltai, oleh karenanya dinamakan juga sel fotovoltai (Photovoltaic cell-disingkat PV). Aktifitas solar cell dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah tidak terbatas langsung

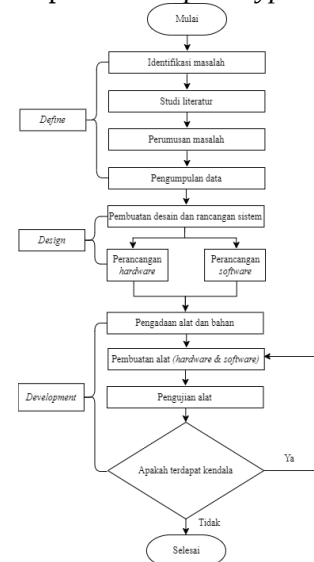
diambil dari matahari sesuai dengan kapasitas alat yang diinstalasikan guna pemenuhan kebutuhan. Dengan ini, sistem sel surya sering disebut ramah lingkungan [16].

## 9. Cell Motor Vibrator

Motor Vibrator adalah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor ini memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan magnet untuk diubah menjadi energi mekanik. Getaran itu sendiri berasal dari gaya sentrifugal bermassa dari stator yang berputar [17].

## III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan oleh penulis pada penelitian ini yakni menggunakan metode kombinasi deskriptif dan eksperimen dengan melakukan percobaan dalam skala *prototype*. Berikut adalah alur penelitian dalam pembuatan *prototype*:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Langkah pertama adalah penentuan (*define*) dari masalah, studi literatur, perumusan masalah dan pengumpulan data. Analisis masalah dilakukan dengan mengidentifikasi masalah untuk menemukan gambaran mengenai masalah yang akan dilaksanakan serta mengevaluasi efektifitas metode terdahulu yang diperoleh berdasarkan studi literatur. Kemudian dilakukan perumusan masalah yang terjadi pada pekerja sektor konstruksi sehingga dilanjutkan dengan pengumpulan data yang digunakan untuk menentukan variabel sebelum merancang *prototype*. Data yang dikumpulkan berupa metode *neuro fuzzy*, variabel kesehatan yang akan dimonitoring, sensor yang akan digunakan, teknologi yang akan digunakan, dan tahapan pengerjaan serta pengambilan data yang dilakukan oleh penelitian terdahulu yang sejenis.

Tahap berikutnya adalah perancangan (*design*) yang meliputi perancangan desain dan sistem inovasi *safety vest* yang optimal dan berkualitas meliputi pemilihan

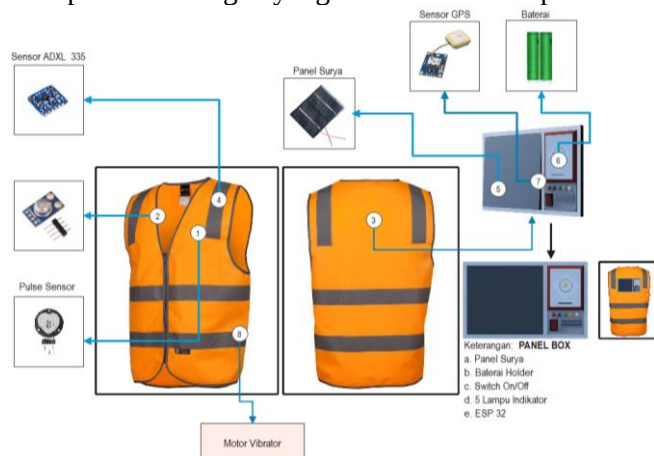
bahan, material hingga komponen yang akan digunakan pada alat ini serta membuat desain UI (*User Interface*) dari *website* untuk monitoring kondisi kesehatan pekerja sektor konstruksi sebagai level indikator kesehatan pekerja. Berikut merupakan rancangan sistem dalam menentukan kondisi kelelahan pekerja berdasarkan 3 data parameter yang kemudian diproses menggunakan metode *neuro fuzzy*.

Tahap terakhir adalah pengembangan (*development*) yang dimulai dengan pengadaan alat dan bahan yang diperlukan dalam pembuatan sistem. Dari komponen yang diperoleh kemudian dilakukan perakitan untuk membuat alat yang sesuai dengan desain yang telah untuk mengetahui hasil dari *hardware* yang telah dibuat untuk memperbaiki jika terdapat error pada sistem serta melakukan pengambilan data. Setelah *hardware* dibuat, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan *software* berupa *website* sebagai tampilan data yang dihasilkan oleh sensor untuk memudahkan operator dalam mengamati kondisi pekerja menggunakan media *safety vest*. Dalam pembuatan *website* dibutuhkan beberapa *software* pendukung seperti Visual Code Studio, XAMPP, dan lain-lain. Selanjutnya perangkat yang telah dibuat akan dilakukan uji coba untuk mengetahui hasil dari *hardware* yang telah dibuat untuk memperbaiki jika terdapat error pada sistem serta melakukan pengambilan data.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Tahap Desain

Pada tahap awal, penulis merancang sebuah sistem yang digunakan untuk melakukan monitoring kesehatan seorang pekerja konstruksi dengan dilengkapi sistem pelacakan posisi pekerja secara *realtime* dengan memanfaatkan teknologi *IoT* pada *safety vest*. Berikut merupakan rancangan yang telah dibuat oleh penulis:



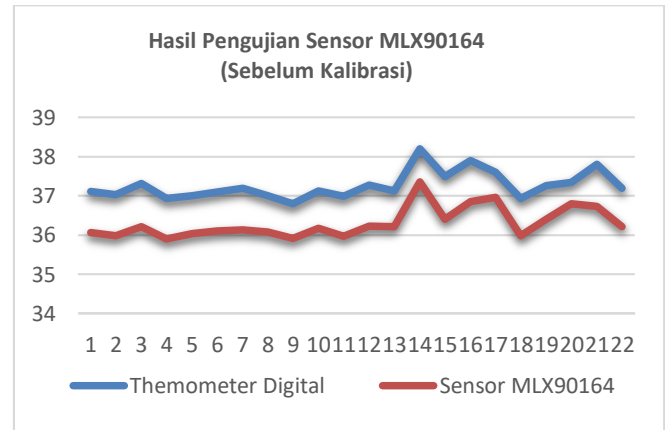
Gambar 2. Diagram Elektronik

##### B. Tahap Kalibrasi Sensor

Sistem yang dirancang menggunakan beberapa sensor kesehatan diantaranya adalah sensor MLX90164 sebagai deteksi suhu tubuh manusia dan sensor MAX30100 yang berfungsi sebagai deteksi denyut nadi

pekerja. Pada implementasinya kedua sensor tersebut harus dilakukan kalibrasi untuk menghasilkan pembacaan dengan akurasi yang tinggi. Pada penelitian ini kalibrasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor sebelum terkalibrasi dengan alat ukur medis yang sudah memenuhi standart, kemudian kedua data tersebut diolah dan dibuatkan persamaan untuk ditambahkan pada program pembacaan kedua sensor. Berikut merupakan grafik hasil pembacaan kedua sensor sebelum dan sesudah terkalibrasi.

##### 1. Kalibrasi Sensor MLX90164

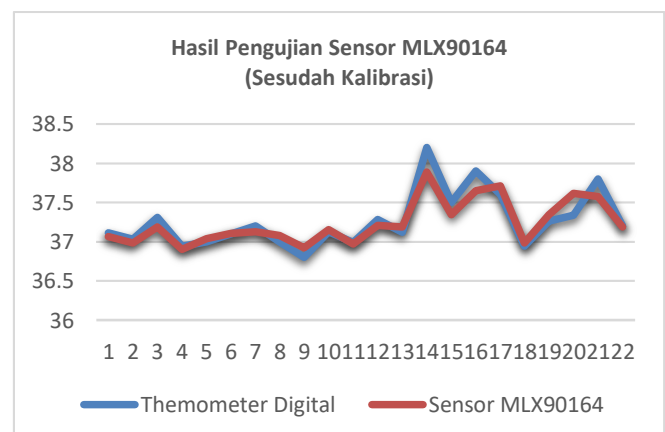


Gambar 3. Grafik Pengujian Sensor MLX90164 Sebelum Kalibrasi

Grafik pada gambar diatas merupakan data perbandingan pembacaan suhu thermometer digital dengan sensor MLX90164. Pada grafik diatas didapatkan selisih dari pembacaan kedua alat tersebut mencapai 1,6°C dan presentase error sebesar 2,6%. Sehingga dibuatkan persamaan untuk menurunkan nilai error dari sensor MLX90164. Berikut adalah persamaan kalibrasi sensor tersebut.

$$y = -0,0572x^2 + 5,0126x - 69,283 \quad (1)$$

Setelah persamaan tersebut diinputkan pada program, akan dilakukan pengukuran ulang sehingga didapatkan grafik hasil pengukuran sebagai berikut :

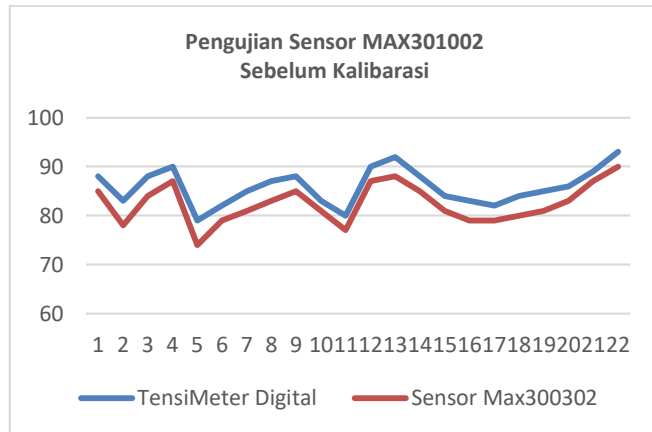


Gambar 4. Grafik Pengujian Sensor MLX90164 Sesudah Kalibrasi

Selisih pembacaan sensor suhu menurun menjadi

0,03°C dengan presentase eror rata rata hanya mencapai 0,06%. Dengan begitu deteksi suhu tubuh manusia pada alat sudah dikalibrasi dengan baik dan layak digunakan. Kemudian dilakukan langkah yang sama pada sensor denyut nadi yaitu sensor MAX30100 dengan yang dibandingkan dengan tensimeter digital sebelum proses kalibrasi.

## 2. Kalibrasi Sensor MAX301002

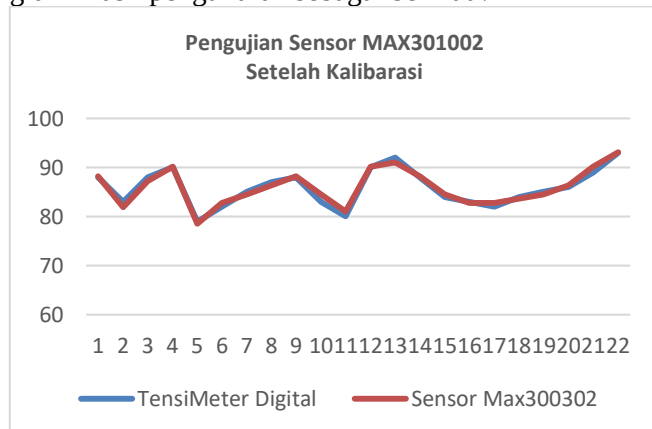


Gambar 5. Grafik Pengujian Sensor MAX301002 Sebelum Kalibrasi

Grafik pada gambar diatas merupakan data perbandingan pembacaan denyut nadi dan tensimeter digital dengan sensor MAX30100. Pada grafik diatas didapatkan selisih dari pembacaan kedua alat tersebut mencapai 5 dbm dan presentase eror sebesar 6%. Sehingga dibuatkan persamaan untuk menurunkan nilai eror dari sensor MAX30100. Berikut adalah persamaan kalibrasi sensor tersebut.

$$y = 0,0097x^2 - 0,6857x + 76,285 \quad (2)$$

Setelah persamaan tersebut diinputkan pada program, akan dilakukan pengukuran ulang sehingga didapatkan grafik hasil pengukuran sebagai berikut :



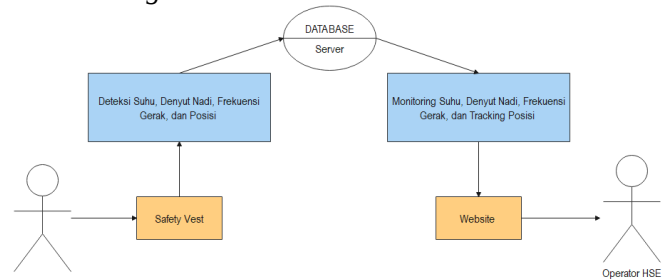
Gambar 6. Grafik Pengujian Sensor MAX301002 Setelah Kalibrasi

Selisih pembacaan sensor denyut nadi menurun menjadi 1,2 dbm dengan presentase eror rata rata hanya menurun hingga 1,8 %. Sehingga deteksi denyut nadi manusia pada alat sudah dikalibrasi dengan baik dan

layak digunakan. Selain memonitoring suhu tubuh dan denyut nadi pengguna, alat yang dirancang juga dilengkapi dengan sistem monitoring frekuensi pergerakan manusia dengan menggunakan sensor ADXL345, sensor akselerometer yang digunakan untuk mengukur percepatan gravitasi pada tiga sumbu: X, Y, dan Z. Menghitung frekuensi gerakan manusia dengan sensor ini dapat dihitung melalui penjumlahan nilai akselerasi sumbu X, Y, Z dan dikalikan dengan waktu.

## C. Implementasi Internet of Things

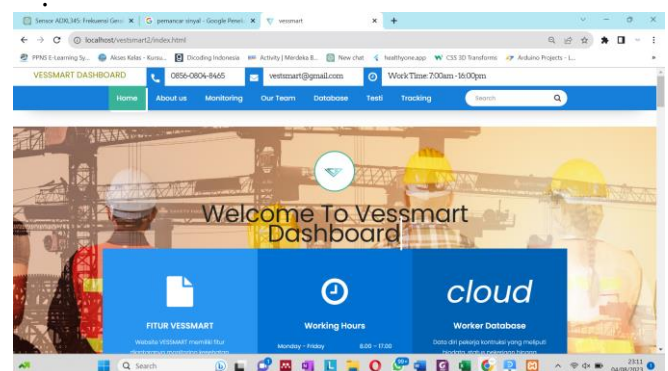
Teknologi yang dikembangkan oleh penulis telah diintegrasikan dengan *Internet of Things* untuk memudahkan monitoring kesehatan pengguna dan pelacakan posisi secara *realtime* menggunakan webserver. Berikut merupakan *use case* sistem yang diterapkan oleh penulis dalam melakukan monitoring dan *tracking*.



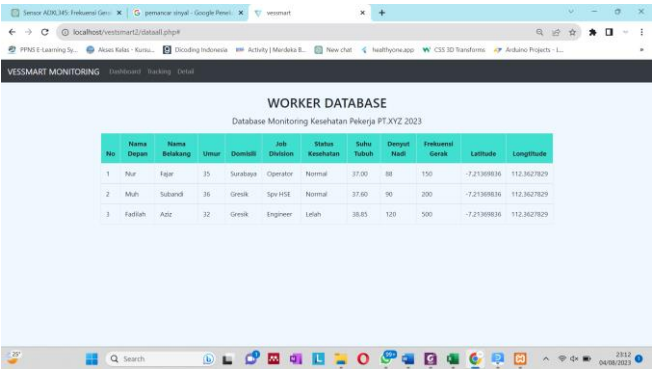
Gambar 7. Use Case IoT System

## D. Tampilan User Interface

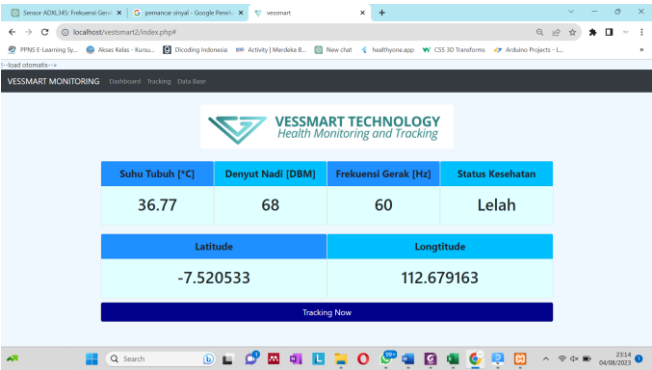
Aplikasi teknologi *Internet of Things* cukup efektif dalam monitoring kesehatan pekerja untuk memudahkan operator HSE dalam mengetahui tingkat kelelahan sehingga dapat meminimalisir angka kecelakaan kerja yang diakibatkan oleh kelelahan. Desain *user interface* (UI) dibuat dengan mudah dalam pembacaan dan pengoperasiannya. Berikut merupakan tampilan *user interface* yang sudah dibuat oleh penulis



Gambar 8. Tampilan Dashboard Website



Gambar 9. Tampilan Database Website



Gambar 10. Tampilan Detail Monitoring

Website yang dibuat menggunakan framework bootstrap 4.0 menggunakan perpaduan syntax pemrograman PHP, HTML dan CSS untuk menghasilkan tampilan yang baik dan responsible sehingga bisa menyesuaikan tampilan atau ukuran layar gadget yang mengakses.

E. Implementasi Neuro Fuzzy

Dalam menentukan tingkat kualitas kesehatan pekerja melalui beberapa tiga input parameter akan diolah menggunakan metode *neuro fuzzy* untuk mendapatkan keputusan sistem yang adaptif dan efektif. Penerapan metode ini diawali dengan menentukan input *memberships function* (mf) dari masing masing variabel serta output mf.

Tabel 1. Input Mf Variabel

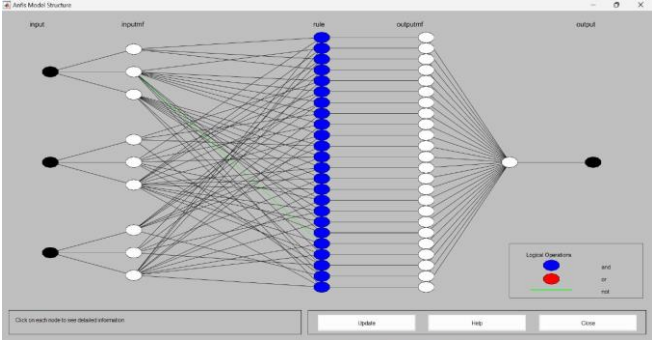
| No | Variabel        | Indikator   | Derajat Keanggotaan | Satuan        |
|----|-----------------|-------------|---------------------|---------------|
| 1  | Suhu Tubuh      | Normal      | 34 – 37,5           | °C            |
|    |                 | Hipertermia | 36 – 40             | °C            |
| 2  | Denyut Nadi     | Bradikardia | 20 - 60             | dbm           |
|    |                 | Normal      | 50 – 100            | dbm           |
|    |                 | Takikardia  | 90 - 180            | dbm           |
| 3  | Frekuensi Gerak | Normal      | 0 – 55              | langkah/menit |
|    |                 | Aktif       | >56                 | langkah/menit |

Tabel 2. Output Mf

| No | Variabel          | Indikator       | Derajat Keanggotaan | Indikator |
|----|-------------------|-----------------|---------------------|-----------|
| 1  | Tingkat kelelahan | Normal          | 25                  | LED Biru  |
|    |                   | Kelelahan Kerja | 50                  | LED Hijau |
|    |                   | Ringan          |                     |           |

|                              |     |            |
|------------------------------|-----|------------|
| (KKR)                        |     |            |
| Kelelahan Kerja Sedang (KKS) | 75  | LED Orange |
| Kelelahan Kerja Berat (KKB)  | 100 | LED Merah  |

Tahap berikutnya adalah membuat arsitektur pemodelan dengan menggunakan algoritma *adaptive neuro fuzzy* inferensi sistem melalui *software* matlab sehingga dapat menyimulasikan pemodelan segala kondisi kesehatan pekerja. Berikut merupakan pemodelan dari algoritma *neuro fuzzy* yang telah dirancang oleh penulis :



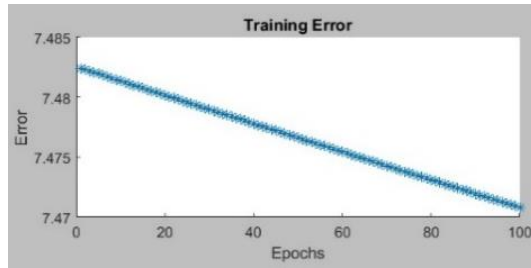
Gambar 11. Pemodelan *Neuro fuzzy*

Pada tahap sebelum membuat arsitektur algoritma *neuro fuzzy* harus ditentukan rule atau aturan yang akan diterapkan dalam menentukan kondisi kesehatan pekerja berdasarkan 3 variabel yang telah ditentukan sebelumnya. Pada penelitian ini penulis menentukan 24 aturan keanggotaan fuzzy. Setelah rule dan arsitektur pemodelan selesai dibuat, dilanjutkan dengan pembuktian logika *fuzzy* untuk menentukan status kesehatan pekerja melalui simulasi matlab.



Gambar 12. Pembuktian Logika Fuzzy

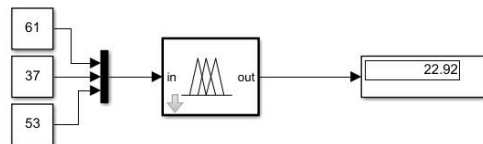
Pengolahan data dengan menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dilaksanakan melalui logika fuzzy dengan bantuan perangkat lunak MATLAB, bertujuan untuk memproyeksikan tingkat kelelahan berdasarkan input data yang telah ditentukan oleh penulis. Proses simulasi pada MATLAB melibatkan dua tahap utama, yaitu data latih (training) dan pengujian (testing).



Gambar 13. Load Data Training

Data latih mencakup input seperti suhu tubuh, denyut nadi, dan frekuensi gerak yang akan digunakan untuk melatih sistem dan memungkinkan ANFIS untuk belajar dari pola data tersebut. Model yang dikembangkan menggunakan Algoritma Backpropagation, dan fungsi output MF yang diterapkan adalah fungsi konstan. Didapatkan nilai eror terkecil sebesar 7,4 % pada iterasi ke 100.

Setelah model ANFIS terlatih, tahap pengujian dilakukan untuk menguji performa model pada data baru yang tidak pernah dilihat sebelumnya. Data pengujian mencakup input serupa dengan data latih, dan output yang dihasilkan oleh ANFIS dibandingkan dengan hasil sebenarnya untuk mengevaluasi keakuratannya. Detail visualisasi dapat diidentifikasi dalam ilustrasi berikut:



Gambar 14. Sampel Load Data Testing

Nilai akurasi data testing yang disimulasikan pada pada software MATLAB mencapai angka 99,6% sehingga pemodelan ini dapat di implementasikan pada smart safety vest sebagai sistem penentuan kelelahan pada pekerja

#### F. Simulasi Pengujian

Simulasi dilakukan dengan cara memberikan nilai input pada setiap variabel yaitu suhu tubuh, denyut nadi, dan frekuensi gerak. Dengan input suhu sebesar 37°C, input denyut nadi sebesar 100 dbm, dan input frekuensi sebesar 180 Hz ketiga inputan variabel diproses oleh fuzzy logic dan menghasilkan output Mf sebesar 82,8 yang artinya kondisi tersebut kondisi yang sangat lelah sehingga membutuhkan istirahat. Penulis juga telah melakukan beberapa simulasi percobaan dengan berbagai kondisi untuk membuktikan efektifitas fuzzy logic dalam menentukan kondisi kesehatan. Data hasil percobaan ditampilkan pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Hasil Pengujian *Neuro fuzzy Logic*

| No | Input Mf |     |                | Output Mf              | Validasi |
|----|----------|-----|----------------|------------------------|----------|
|    | °C       | Dbm | Langkah/ menit |                        |          |
| 1  | 37       | 100 | 55             | Normal                 | Sesuai   |
| 2  | 36,7     | 108 | 57             | Kelelahan Kerja Sedang | Sesuai   |
| 3  | 38       | 112 | 79             | Kelelahan Kerja Berat  | Sesuai   |
| 4  | 37,7     | 85  | 53             | Normal                 | Sesuai   |
| 5  | 36,9     | 102 | 65             | Kelelahan              | Sesuai   |

|    |      |     |    |                        |              |
|----|------|-----|----|------------------------|--------------|
|    |      |     |    | Kerja Ringan           |              |
| 6  | 37,3 | 106 | 56 | Normal                 | Sesuai       |
| 7  | 37,2 | 121 | 62 | Kelelahan Kerja Sedang | Sesuai       |
| 8  | 38   | 114 | 58 | Kelelahan Kerja Berat  | Tidak Sesuai |
| 9  | 37,5 | 85  | 54 | Normal                 | Sesuai       |
| 10 | 37   | 70  | 67 | Kelelahan Kerja Ringan | Sesuai       |
| 11 | 38   | 110 | 54 | Kelelahan Kerja Berat  | Tidak Sesuai |
| 12 | 37,2 | 85  | 54 | Normal                 | Sesuai       |
| 13 | 37,1 | 78  | 63 | Kelelahan Kerja Ringan | Sesuai       |
| 14 | 37,1 | 95  | 57 | Normal                 | Sesuai       |
| 15 | 36,9 | 90  | 52 | Kelelahan Kerja Sedang | Sesuai       |
| 16 | 38   | 110 | 77 | Kelelahan Kerja Berat  | Sesuai       |
| 17 | 37,7 | 89  | 53 | Normal                 | Sesuai       |
| 18 | 37,5 | 77  | 62 | Kelelahan Kerja Ringan | Sesuai       |
| 19 | 38   | 115 | 76 | Kelelahan Kerja Berat  | Sesuai       |
| 20 | 37,8 | 85  | 54 | Normal                 | Sesuai       |
| 21 | 37,2 | 88  | 62 | Kelelahan Kerja Ringan | Sesuai       |
| 22 | 37,5 | 80  | 61 | Kelelahan Kerja Ringan | Sesuai       |
| 23 | 38,1 | 112 | 72 | Kelelahan Kerja Berat  | Sesuai       |
| 24 | 37,6 | 84  | 54 | Normal                 | Sesuai       |
| 25 | 37,1 | 79  | 61 | Kelelahan Kerja Ringan | Sesuai       |
| 26 | 37,2 | 58  | 62 | Kelelahan Kerja Ringan | Sesuai       |
| 27 | 38,1 | 110 | 90 | Kelelahan Kerja Berat  | Sesuai       |
| 28 | 37,5 | 87  | 53 | Normal                 | Sesuai       |
| 29 | 37   | 80  | 62 | Kelelahan Kerja Ringan | Sesuai       |

#### G. Pengujian Keseluruhan Sistem

Setelah sistem telah berhasil dibuat, dilanjutkan dengan perakitan *hardware* dan juga pengujian alat secara keseluruhan dalam skala laboratorium. Pengujian dilakukan di laboratorium robotika dan kecerdasan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya pada tanggal 25 juli 2023 hingga 05 agustus 2023

dengan rincian data pengujian ditampilkan dalam bentuk tabel dibawah ini:

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem

| No | Pembacaan Sensor |     |                   |     | Output |       |
|----|------------------|-----|-------------------|-----|--------|-------|
|    | Suhu             | dbm | Langkah/<br>menit | Loc | LED    | Motor |
| 1  | 38,1             | 120 | 100               | -   | Merah  | 80    |
| 2  | 37,5             | 80  | 53                | -   | Biru   | 0     |
| 3  | 36,3             | 56  | 57                | -   | Hijau  | 40    |
| 4  | 37,2             | 90  | 60                | -   | Biru   | 0     |
| 5  | 37,0             | 94  | 75                | -   | Hijau  | 40    |
| 6  | 36,9             | 88  | 50                | -   | Biru   | 0     |
| 7  | 37,3             | 82  | 48                | -   | Biru   | 0     |
| 9  | 37,5             | 93  | 53                | -   | Biru   | 0     |
| 10 | 38,0             | 84  | 58                | -   | Biru   | 0     |

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan pada 10 orang relawan dalam waktu 4 jam pemakaian untuk setiap orangnya. Pembacaan sensor dapat diamati pada *website* secara *realtime* dengan kecepatan pengiriman data 3scnd/data atau data akan update selama 3 detik sekali. Didapatkan hasil bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dengan akurasi keberhasilan mencapai 95% dan akan disempurnakan.



Gambar 15. PCB Hardware Smart Safety Vest

## V. KESIMPULAN

Penilaian ini memiliki tujuan untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan kesejahteraan pekerja melalui inovasi teknologi. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sensor pada alat sudah dikalibrasi dengan baik dan layak digunakan. Pembacaan sensor dapat diamati pada *website* secara *realtime* dengan kecepatan pengiriman data 3scnd/data atau data akan update selama 3 detik sekali. Didapatkan hasil bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dengan akurasi keberhasilan mencapai 95%. Saran untuk peneliti selanjutnya yakni perlu dilakukan pengembangan fitur keselamatan tambahan sehingga tidak hanya fitur monitoring kesehatan saja serta optimalisasi sensor dan teknologi agar menjadi lebih canggih dan akurat dalam memberikan hasil yang konsisten dan akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] ILO, "Meningkatkan Keselamatan dan Kesehatan Pekerja Muda," Jakarta, 2018.

- [2] BPJS, "Pekerja Konstruksi di Indonesia Sebesar 1,2 Juta Orang pada 2021," 2021.
- [3] Kementrian Ketenagakerjaan, "Penyumbang Kasus Kematian Terbanyak di Indonesia, Ini Pentingnya Terapkan Keselamatan Kerja di Sektor Konstruksi," Surabaya, 2022.
- [4] J. M. Tumiwa, J. Tjakra, and R. L. Inkiwang, "Pengaruh Penerapan Alat Pelindung Diri Terhadap Produktivitas Tenaga Kerja Konstruksi Gedung Bertingkat Pembangunan Gedung Pendidikan FPIK Universitas Sam Ratulangi," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 9, pp. 1197–1202, 2019.
- [5] M. Hazlansyah, E. Mulyani, and S. M. Nuh, "Analisis Evaluasi Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Terhadap Kinerja Pekerja Konstruksi (Studi Kasus Proyek 7 in 1 Universitas Tanjungpura)," *JeLAST J. PWK, Laut, Sipil, Tambang*, vol. 5, no. 3, pp. 1–11, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/30763>
- [6] R. Rosness, H. C. Blakstad, U. Forseth, I. B. Dahle, and S. Wiig, "Environmental conditions for safety work - Theoretical foundations," *Saf. Sci.*, vol. 50, no. 10, pp. 1967–1976, 2012, doi: 10.1016/j.ssci.2011.12.029.
- [7] T. A. P. Santoso, "Smart Shirt untuk Mengukur Tingkat Kesehatan dengan Menggunakan Teknologi Sensor dan Fitur Digital," *J. Sist. Cerdas*, vol. 4, no. 2, pp. 104–113, 2021, doi: 10.37396/jsc.v4i2.94.
- [8] S. Ratna, "SISTEM MONITORING KESEHATAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," *Al Ulum J. Sains Dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, p. 83, 2020, doi: 10.31602/ajst.v5i2.2913.
- [9] A. Zafia, "Prototype Alat Monitoring Vital Sign Pasien Rawat Inap Menggunakan Wireless Sensor Sebagai Upaya Physical Distancing menghadapi Covid-19," *J. Informatics, Inf. Syst. Softw. Eng. Appl.*, vol. 2, no. 2, pp. 61–68, 2020, doi: 10.20895/inista.v2i2.126.
- [10] L. Parinduri and T. Parinduri, "IMPLEMENTASI MANAJEMEN KESELAMATAN KONSTRUKSI," vol. 15, no. 3, pp. 222–228, 2020.
- [11] I. Inayah, "Analisis Akurasi Sistem Sensor IR MLX90614 dan Sensor Ultrasonik berbasis Arduino terhadap Termometer Standar," *J. Fis. Unand*, vol. 10, no. 4, pp. 428–434, 2021, doi: 10.25077/jfu.10.4.428-434.2021.
- [12] U. J. Shobrina, R. Pramananda, and R. Maulana, "Analisis Kinerja Pengiriman Data Modul Transceiver NRF24L01 , Xbee dan Wifi ESP8266 Pada Wireless Sensor Network," vol. 2, no. 4, pp. 1510–1517, 2018.
- [13] D. B. S. Budi, R. Maulana, and H. Fitriyah, "Sistem Deteksi Gejala Hipoksia Berdasarkan Saturasi Oksigen Dengan Detak Jantung Menggunakan Metode Fuzzy Berbasis Arduino," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komputer.*, vol. 3, no. 2, pp. 1925–1933, 2019, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [14] H. S. Pramono, "Pembacaan Posisi Koordinat dengan GPS sebagai Pengendali Palang Pintu Rel Kereta Api secara Otomatis untuk Penambahan Aplikasi Modul Praktik Mikrokontroler," *J. Pendidik. Teknol. dan Kejuru. UNY*, vol. 20, no. 2, p. 163808, 2011.
- [15] A. Prafanto et al., "PENDETEKSI KEHADIRAN MENGGUNAKAN ESP32 UNTUK SISTEM PENGUNCI," vol. 7, pp. 37–43, 2021.
- [16] S. Yuwono, D. Diharto, and N. W. Pratama, "Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid," *Energi & Kelistrikan*, vol. 13, no. 2, pp. 161–171, 2021, doi: 10.33322/energi.v13i2.1537.
- [17] R. C. G. Tangdiongan, E. K. Allo, S. R. U. A. Sompie, and J. T. Elektro-ft, "Rancang Bangun Alat Bantu Mobilitas Penderita Tunanetra Berbasis Microcontroller Arduino Uno," vol. 6, no. 2, pp. 79–86, 2017.