

## Desain Sistem *Internet of Things* untuk Pemantauan Parameter Fisiologis Tenaga Kerja di Lingkungan Kerja Industri

Bramasta Barella Arsana<sup>1</sup>, Mochamad Yusuf Santoso<sup>1\*</sup> dan Adianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: [yusuf.santoso@ppns.ac.id](mailto:yusuf.santoso@ppns.ac.id)

### Abstrak

Keselamatan dan kesehatan kerja merupakan aspek fundamental dalam dunia industri karena berkaitan langsung dengan kestabilan performa serta upaya pencegahan terhadap gangguan kesehatan yang dapat memicu penurunan konsentrasi dan peningkatan risiko kecelakaan. Seiring dengan perkembangan teknologi, dibutuhkan sistem yang mampu melakukan pemantauan kondisi fisiologis tenaga kerja secara digital, akurat, dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things (IoT)* yang mampu memantau denyut nadi dan suhu tubuh tenaga kerja secara *real-time*. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor MAX30102 untuk mengukur denyut nadi dan saturasi oksigen, serta sensor AHT25 untuk mengukur suhu tubuh. Data yang dikumpulkan dikirimkan secara nirkabel ke platform *Firebase Realtime Database* dan ditampilkan melalui antarmuka *website* yang memiliki fitur *login*, *dashboard*, halaman *monitoring*, grafik historis, dan *log* pencatatan data. Pengujian awal menunjukkan bahwa sistem menghasilkan tingkat kesalahan pengukuran sebesar 13,27% untuk denyut nadi, 13,33% untuk saturasi oksigen, dan 10,78% untuk suhu tubuh. Setelah dilakukan proses kalibrasi perangkat lunak dengan metode penyesuaian terhadap alat pembanding standar, tingkat *error* menurun secara signifikan menjadi masing-masing 6,93%, 3,07%, dan 5,8%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi yang dapat diterima untuk keperluan pemantauan fisiologis dasar. Sistem ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan algoritma adaptif berbasis *machine learning*, fitur peringatan otomatis, serta peningkatan antarmuka pengguna guna mendukung pemantauan keselamatan kerja yang lebih efektif, proaktif, dan terintegrasi secara digital.

**Kata Kunci:** *Internet of Things*, ESP32, Denyut Nadi, Suhu Tubuh, Pemantauan Fisiologis, Keselamatan Kerja

### Abstract

*Occupational safety and health are fundamental aspects in industrial environments, as they are directly linked to maintaining workforce performance and preventing health disturbances that may lead to reduced concentration and increased risk of accidents. With ongoing technological advancements, there is a growing need for systems that can monitor workers' physiological conditions digitally, accurately, and efficiently. This study aims to design and implement a monitoring system based on the Internet of Things (IoT) that is capable of tracking heart rate and body temperature in real time. The system is developed using the ESP32 microcontroller, connected to the MAX30102 sensor for measuring heart rate and oxygen saturation, and the AHT25 sensor for measuring body temperature. Collected data are wirelessly transmitted to the Firebase Realtime Database and visualized through a web-based interface featuring login authentication, dashboards, monitoring pages, historical graphs, and data logging. Initial testing indicated that the system yielded error rates of 13.27% for heart rate, 13.33% for oxygen saturation, and 10.78% for body temperature. After implementing software-based calibration aligned with reference measuring devices, the error rates significantly decreased to 6.93%, 3.07%, and 5.8%, respectively. These results demonstrate that the system offers an acceptable level of accuracy for basic physiological monitoring. Moving forward, the system holds promising potential for further development through the integration of adaptive machine learning algorithms, automated alert features, and improved user interface design to enhance the effectiveness, responsiveness, and digital integration of occupational safety monitoring.*

**Keywords:** *Internet of Things, ESP32, Heart Rate, Body Temperature, Physiological Monitoring, Workplace Safety*

## 1. PENDAHULUAN

Keselamatan kerja merupakan aspek fundamental dalam dunia industri karena secara langsung memengaruhi kesehatan dan produktivitas tenaga kerja (Supadmo, 2023). Dalam lingkungan kerja yang dinamis, pemantauan kondisi fisiologis tenaga kerja menjadi penting sebagai langkah preventif untuk menjaga kestabilan performa dan menghindari gangguan kesehatan yang dapat berdampak pada keselamatan kerja secara keseluruhan (Robson et al., 2007). Indikator fisiologis seperti denyut nadi dan suhu tubuh dapat memberikan informasi awal mengenai respon tubuh terhadap beban kerja dan kondisi lingkungan. Peningkatan denyut nadi dapat menunjukkan aktivitas fisik yang tinggi, sedangkan perubahan suhu tubuh dapat mencerminkan respons terhadap faktor eksternal seperti suhu ruang kerja atau intensitas aktivitas (Adhari Basri & Suseno, 2023; Maftuh et al., 2021). Salah satu inovasi penelitian Nastiti et al., (2023) menyatakan bahwa kelelahan kerja dapat terpantau dengan baik melalui sistem pemantauan. Berdasarkan penelitian tersebut, terpantau bahwa besaran denyut jantung, suhu tubuh, dan pergerakan tenaga kerja berbanding lurus dengan tingkat kelelahan kerja tenaga kerja.

Seiring dengan berkembangnya teknologi, sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan indikator fisiologis secara *real-time*. Teknologi ini memungkinkan data yang diperoleh dari sensor *wearable* untuk dikirimkan secara otomatis ke server dan ditampilkan melalui platform berbasis *website*. Dengan demikian, proses pemantauan menjadi lebih efisien, akurat, dan dapat diakses secara jarak jauh oleh pihak manajemen tanpa perlu melakukan pemeriksaan secara manual (Umyati et al., 2020; Weber & Weber, 2020).

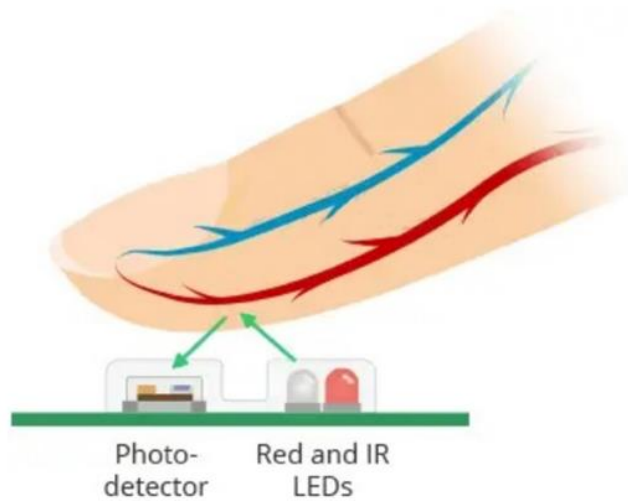
Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan indikator fisiologis tenaga kerja berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor MAX30102 untuk mengukur denyut nadi, serta sensor AHT25 untuk mengukur suhu tubuh dan kelembapan lingkungan. Seluruh data yang dikumpulkan akan ditampilkan dalam bentuk grafik melalui dashboard web, guna mendukung pengawasan kondisi tenaga kerja secara akurat dan efisien sebagai bagian dari upaya peningkatan keselamatan dan kesehatan kerja. Sistem ini dapat menjadi alternatif efektif untuk mendukung peningkatan keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan industri.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *rancang bangun* sistem *monitoring* kondisi fisik tenaga kerja berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan perangkat *wearable* untuk mendeteksi parameter fisiologis utama. Sistem ini dirancang agar dapat mengukur kondisi denyut nadi dan suhu tubuh secara *real-time* serta mengirimkan data secara otomatis ke penyimpanan berbasis *cloud*. Dalam pengembangannya, sistem ini menggunakan mikrokontroler *NodeMCU ESP32* karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain konektivitas *WiFi* bawaan, jumlah *General Purpose Input Output* (GPIO) yang mencukupi, efisiensi konsumsi daya, dan biaya yang relatif rendah. Mikrokontroler ini juga kompatibel dengan berbagai jenis sensor serta mendukung pemrograman berbasis *Arduino IDE*, yang menjadikannya fleksibel untuk kebutuhan integrasi sistem *monitoring* (Espressif, 2024).

Sensor utama yang digunakan meliputi sensor *MAX30102*, yang berfungsi untuk mengukur denyut nadi dan saturasi oksigen dalam darah, serta sensor *AHT25* yang digunakan untuk mengukur suhu tubuh secara akurat. Kedua sensor ini terhubung ke *ESP32* melalui komunikasi *Inter-Integrated Circuit* (I2C) dan secara berkala akan mengirimkan data ke platform *Firebase Realtime Database* (ASAIR, 2021; Maxim Integrated, 2021). Data tersebut kemudian ditampilkan dalam antarmuka *website* dalam bentuk grafik, dan tabel *log* data. Sistem ini dirancang untuk mendukung efisiensi pemantauan kondisi fisik tenaga kerja dalam berbagai aktivitas kerja.

Sensor utama yang digunakan dalam sistem ini terdiri atas sensor *MAX30102* dan sensor *AHT25*. Sensor *MAX30102* merupakan sensor optik yang berfungsi untuk mengukur denyut jantung dan kadar oksigen dalam darah ( $SpO_2$ ). Sensor ini bekerja dengan menggunakan prinsip *photoplethysmography* (PPG), yaitu dengan memanfaatkan cahaya *LED* merah dan inframerah untuk mendeteksi perubahan volume darah melalui pantulan cahaya (Maxim Integrated, 2021), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sementara itu, sensor *AHT25* digunakan untuk mengukur suhu tubuh dan kelembapan lingkungan. Sensor yang bentuknya seperti pada Gambar 2.3 ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi serta dilengkapi dengan sistem kompensasi otomatis terhadap perubahan lingkungan, dan dirancang untuk beroperasi dengan konsumsi daya yang rendah (ASAIR, 2021). Kedua sensor tersebut terhubung langsung dengan mikrokontroler *ESP32* melalui protokol komunikasi *Inter-Integrated Circuit* (I2C), yang memungkinkan pengiriman data secara efisien dan sinkron (Andrianto et al., 2019; Scott & Shiloh, 2012).



Sumber: (Uddin & Koo, 2024)

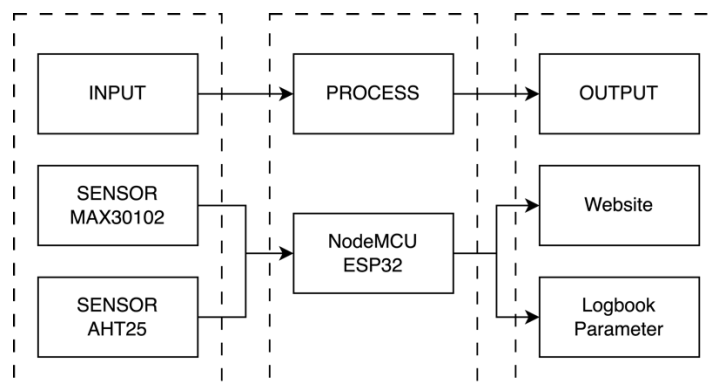
Gambar 1. Deteksi detak jantung dan saturasi oksigen dengan metode photoplethysmogram



Sumber: (ASAIR, 2021)

Gambar 2. Sensor AHT25

Kedua sensor ini terintegrasi dengan mikrokontroler *NodeMCU ESP32* melalui komunikasi antarmuka *Inter-Integrated Circuit (I2C)*, yang selanjutnya memproses data dan mengirimkannya secara nirkabel ke platform *Firestore Realtime Database*. *Firestore* berfungsi sebagai media penyimpanan berbasis *cloud* yang memungkinkan data diakses dan dimonitor secara langsung melalui antarmuka *website*. Melalui *website* ini, informasi mengenai parameter fisiologis pengguna disajikan dalam bentuk visualisasi data dan *log* pencatatan parameter, sehingga dapat dimanfaatkan oleh pihak terkait untuk mendukung proses pemantauan kondisi kerja secara *real-time* dan berbasis data (Google, 2022).



Gambar 3. Diagram Blok Sistem

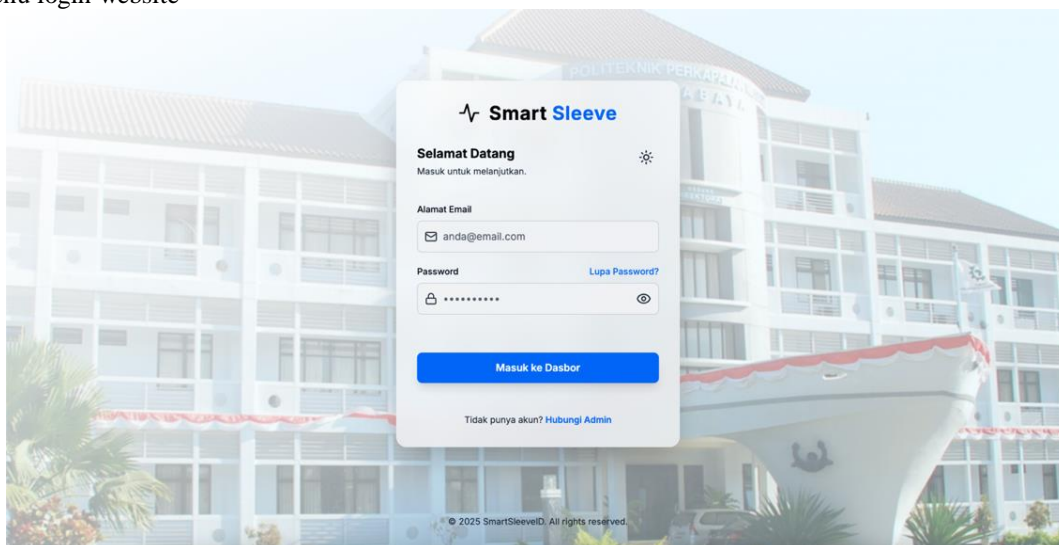
Berdasarkan Gambar 3. Sistem terdiri atas tiga komponen utama, yaitu *input* berupa sensor *MAX30102* dan *AHT25*, *process* yang dijalankan oleh mikrokontroler *ESP32*, serta *output* yang ditampilkan melalui antarmuka *website* dan *logbook* digital. Dengan desain tersebut, sistem ini mampu menyajikan informasi yang relevan secara *real-time* untuk mendukung proses pengawasan terhadap kondisi fisik tenaga kerja. Pendekatan ini menjadi penting terutama dalam aktivitas kerja atau praktikum yang melibatkan beban fisik tinggi dan membutuhkan pemantauan kondisi tubuh secara berkelanjutan (Utomo et al., 2019). Pada bagian *input*, terdapat dua sensor utama, yaitu sensor *MAX30102* yang digunakan untuk mendeteksi tingkat denyut nadi dan saturasi oksigen dalam darah, serta sensor *AHT25* yang digunakan untuk mengukur suhu eksternal tubuh. Kedua sensor tersebut menghasilkan tiga parameter fisiologis yang diolah oleh mikrokontroler *NodeMCU ESP32*. Data hasil pembacaan kemudian dikirim secara nirkabel menuju *Firebase Realtime Database* dan ditampilkan melalui antarmuka *website*, serta disimpan dalam *Google Spreadsheet* sebagai bagian dari sistem *log data output* pengguna.

Hasil pembacaan data dari kedua sensor dikirim secara *real-time* ke platform *Firebase* melalui koneksi *WiFi* yang terintegrasi dengan *ESP32*. *Firebase* digunakan sebagai *backend* penyimpanan data berbasis *cloud* yang berfungsi mencatat dan menyimpan hasil pengukuran dalam format *JavaScript Object Notation (JSON)*. Platform *Firebase Realtime Database* memungkinkan sinkronisasi data secara langsung dan akses dari berbagai perangkat secara fleksibel. Untuk memudahkan proses visualisasi, data yang tersimpan ditampilkan dalam bentuk grafik melalui antarmuka *website* yang telah dikonfigurasi dengan *Firebase*. Dengan demikian, sistem ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi fisiologis tenaga kerja secara *real-time* dari jarak jauh menggunakan perangkat digital seperti *laptop* atau *smartphone* (Google, 2022).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe alat dan *website* pemantauan yang telah dibuat, dijalankan dan diujikan pada peramban google chrome. Pada *website* pemantauan yang dibuka melalui peramban ini terdapat beberapa menu yang digunakan, diantaranya:

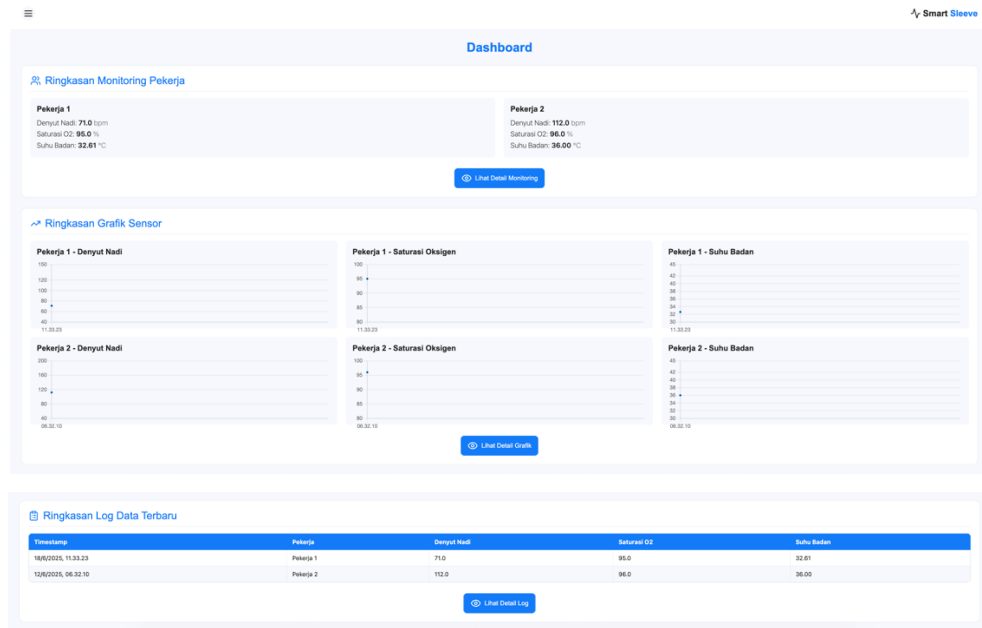
1. Menu login *website*



Gambar 4. Tampilan Halaman Login

Gambar 4. menampilkan halaman *login* yang merupakan pintu masuk utama saat mengakses sistem informasi. Fungsi dari halaman *login* adalah untuk menjaga keamanan dari sistem ini agar tidak dapat di akses oleh orang yang tidak berkepentingan atau berisiko menyebabkan kerusakan atau terganggunya sistem. Melalui halaman ini *user* diminta untuk memasukkan *email* dan *password* mereka sebagai persyaratan untuk masuk ke dalam sistem informasi. Sebelum mengakses sistem, *user* harus melewati halaman *login* terlebih dahulu. *User* tidak dapat mengakses sistem ini tanpa memasukkan email dan *password* yang benar.

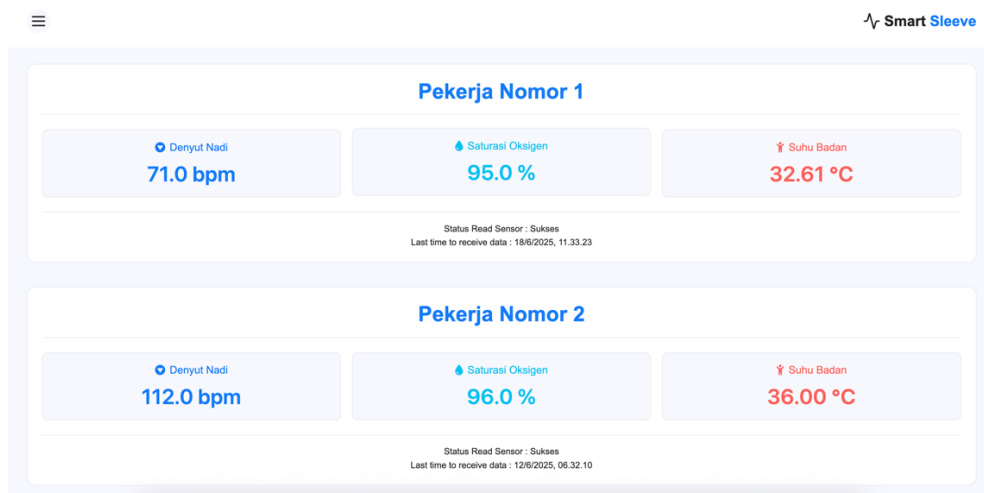
## 2. Menu *Dashboard*



Gambar 5. Tampilan Halaman Dashboard

Halaman *dashboard* ditunjukkan pada Gambar 5. Halaman ini akan muncul setelah *user* berhasil melakukan proses *login* pada sistem. Fungsi dari halaman ini adalah untuk memberikan gambaran umum secara real-time mengenai kondisi pekerja berdasarkan data yang diperoleh dari sensor. Halaman *dashboard* dirancang agar mudah diakses dan dipahami oleh *user*, dengan tampilan yang bersih, informatif, dan responsif terhadap pembaruan data terkini.

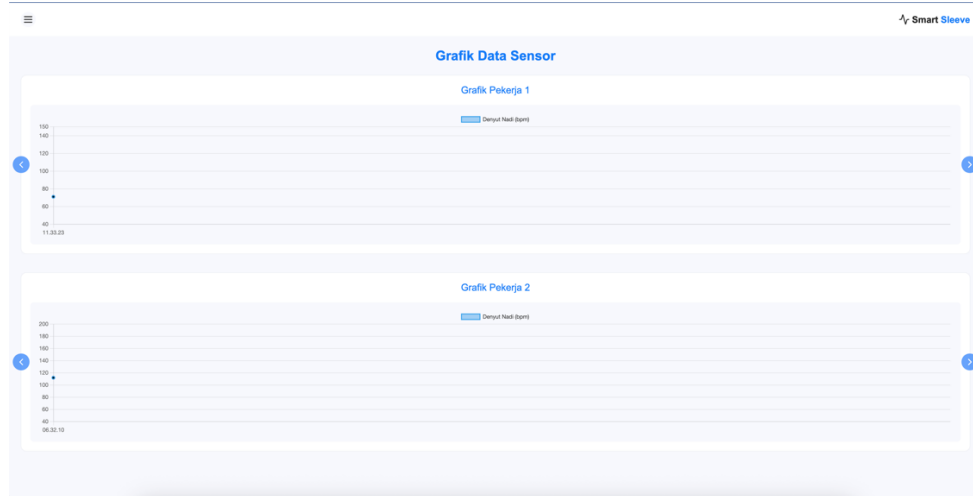
## 3. Menu *Monitoring*



Gambar 6. Tampilan Halaman Monitoring

Halaman *monitoring* merupakan bagian lanjutan dari sistem antarmuka yang menampilkan data fisiologis pekerja secara lebih mendalam dan terperinci berdasarkan hasil pembacaan sensor, yang ditunjukkan pada Gambar 6. Halaman ini berperan penting dalam proses pengawasan kondisi pekerja secara real-time, tampilan halaman *monitoring* disusun secara sistematis berdasarkan identitas masing-masing pekerja.

#### 4. Menu Grafik Data



Gambar 7. Tampilan Halaman Grafik Data Sensor

Halaman grafik data sensor pada Gambar 7. merupakan fitur visualisasi yang menampilkan data historis mengenai tingkat kondisi fisiologis pekerja dalam bentuk grafik. Tujuan utama dari halaman ini adalah untuk memberikan gambaran tren fisiologis secara kuantitatif dan temporal, sehingga pengguna sistem dapat melakukan pemantauan berbasis waktu secara lebih objektif dan informatif. Tampilan grafik disusun berdasarkan identitas masing-masing pekerja dan menampilkan data dalam skala waktu tertentu sesuai dengan pembaruan sensor yang diterima.

#### 5. Menu Log Data

Log Pekerja 1			
Tipe Sensor	Denyut Nadi (Bpm)	Saturasi O2 (%)	Suhu Badan (°C)
18/02/2025, 11:33:23	71.0	95.0	32.01

Log Pekerja 2			
Tipe Sensor	Denyut Nadi (Bpm)	Saturasi O2 (%)	Suhu Badan (°C)
18/02/2025, 06:32:10	112.0	96.0	36.00

Gambar 8. Tampilan Halaman Log Data Sensor

Tampilan halaman grafik log data sensor disajikan pada Gambar 8. Halaman ini merupakan komponen penting dalam sistem monitoring yang berfungsi untuk merekam seluruh hasil pengukuran parameter fisiologis secara berkala dan tersimpan dalam format tabel. Tujuan dari halaman ini adalah menyediakan rekaman historis yang dapat dijadikan sebagai evaluasi performa pekerja, serta sebagai bukti objektif dalam kegiatan audit keselamatan kerja.

Berdasarkan pengujian prototipe menggunakan sensor *MAX31020* dan sensor *AHT25* dan *website* pemantauan denyut nadi dan suhu tubuh menunjukkan bahwa seluruh hasil pengukuran menggunakan sensor prototipe memiliki nilai yang tidak konsisten dengan nilai *error rate* sebesar 13% jika dibandingkan dengan menggunakan oksimeter digital dan *thermometer gun* digital. Rata-rata dan hasil detail pengujian denyut nadi menggunakan sensor *MAX31020* dan sensor *AHT25* dapat dilihat pada tabel 3.1.

Berdasarkan Tabel 3.1, dapat diidentifikasi bahwa saat melakukan pengukuran menggunakan sensor *MAX31020*, pada parameter denyut nadi terdapat *error rate* dengan rentang 12% hingga 14% dengan *error rate* rata-rata adalah 13.27%. Pada parameter saturasi oksigen juga terdapat *error rate* dengan rentang 12% hingga 14% dengan *error rate* rata-rata adalah 13.33%. Pada sensor *AHT25*, terdapat *error rate* dengan rata-rata 10.78%. Oleh karena itu, agar pengukuran mendapat *error rate* kurang dari 10% atau lebih akurat perlu dilakukannya proses kalibrasi pada

sensor *MAX30102* dan sensor *AHT25*.

**Tabel 1. Hasil Detail Pengujian Sebelum Kalibrasi**

No	Oksimeter		<i>Thermometer</i>	Sensor <i>MAX30102</i>		Sensor <i>AHT25</i>
	Denyut Nadi (BPM)	Saturasi Oksigen (%)	Suhu Tubuh (°C)	Denyut Nadi (BPM)	Saturasi Oksigen (%)	Suhu Tubuh (°C)
1	98	96	36.1	111	83	40.0
2	70	98	36.3	79	86	40.2
3	76	99	36.2	87	87	40.1
4	99	97	36.4	112	85	40.3
5	92	98	36.1	105	86	40.0
6	95	97	36.2	107	85	40.1
7	84	99	36.2	95	86	40.1
8	90	97	36.3	102	85	40.2
9	79	98	36.1	89	86	40.0
10	99	96	36.0	112	81	39.9

Kalibrasi yang dilakukan pada kedua sensor ini adalah dengan membuat formula matematika pada *software* untuk mengatur tingkat keakuratan sensor. Formula dibuat dengan menyesuaikan hasil dari oksimeter dan *thermometer gun* digital yang ditulis pada aplikasi Arduino IDE. Formula yang dibuat dilanjutkan pada tahapan *compile* dan dilakukan *upload* ulang pada mikrokontroler. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian ulang untuk memastikan kalibrasi telah dilakukan pada kedua sensor. Berdasarkan hasil pengujian ulang terhadap 10 responden, data pengukuran dari sensor diidentifikasi memiliki *error rate* rata-rata sebesar 8%. Rata-rata dan hasil detail pengujian yang sudah terkalibrasi denyut nadi menggunakan sensor *MAX30102* dan sensor *AHT 25* dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 2. Hasil Detail Pengujian Setelah Kalibrasi**

No	Oksimeter		<i>Thermometer</i>	Sensor <i>MAX30102</i>		Sensor <i>AHT25</i>
	Denyut Nadi (BPM)	Saturasi Oksigen (%)	Suhu Tubuh (°C)	Denyut Nadi (BPM)	Saturasi Oksigen (%)	Suhu Tubuh (°C)
1	89	95	36.2	96	99	38.3
2	75	99	36.1	80	96	38.2
3	82	97	36.0	88	95	38.1
4	94	98	36.2	101	95	38.3
5	87	97	36.4	93	99	38.5
6	92	98	36.3	98	95	38.4
7	87	99	36.3	93	95	38.4
8	87	98	36.4	92	95	38.5
9	89	98	36.2	95	95	38.3
10	97	98	36.2	104	95	38.3

Berdasarkan Tabel 3.2, dapat diidentifikasi bahwa saat melakukan pengukuran menggunakan kedua sensor, terdapat *error rate* dengan rentang yang lebih rendah dari sebelumnya pada parameter denyut nadi yaitu dengan rata-rata 6.93%, untuk parameter saturasi oksigen dengan rata-rata 3.07%, dan untuk parameter suhu tubuh dengan rata-rata 5.8%. Sehingga hasil pengukuran menggunakan sensor dapat dikatakan layak atau akurat dengan alat pembanding yaitu oksimeter dan *thermometer gun* digital (Kim & Shin, 2017; OECD, 2015).

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kondisi fisiologis tenaga kerja berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan mikrokontroler *NodeMCU ESP32* yang terintegrasi dengan sensor *MAX30102* dan *AHT25*. Sistem ini mampu merekam parameter denyut nadi, saturasi oksigen, dan suhu tubuh secara *real-time*, kemudian mengirimkan data ke platform *Firebase Realtime Database* dan menampilkannya dalam antarmuka *website* yang informatif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setelah dilakukan proses kalibrasi, sistem menghasilkan data dengan *error rate* yang relatif rendah dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, sehingga dapat diandalkan sebagai alat bantu pemantauan dasar kondisi fisik tenaga kerja.

Sistem ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut, seperti dari segi fungsionalitas. Penambahan sensor lain yang mampu merekam indikator fisiologis tambahan, terutama yang berkaitan dengan respons tubuh terhadap tekanan lingkungan atau beban aktivitas, dapat menjadi langkah peningkatan berikutnya. Selain itu, integrasi dengan fitur analisis data berbasis *machine learning* serta sistem notifikasi otomatis berbasis ambang batas nilai juga dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam memberikan peringatan dini. Dengan pengembangan tersebut, sistem ini diharapkan dapat berkontribusi lebih luas sebagai alat pendukung pengambilan keputusan dalam menjaga keselamatan dan kesehatan kerja secara berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhari Basri, A., & Suseno, A. (2023). Klasifikasi Beban Kerja Berdasarkan Denyut Jantung Untuk Mengurangi Tingkat Kelelahan Dalam Bekerja. *JSE: Jurnal Serambi Engineering*, VIII(3), 6056–6061.
- Andrianto, W., Rohmah, M. F., & Sugianto. (2019). Sistem Pengontrolan Lampu menggunakan Arduino berbasis Android. *Jurnal TEKINKOM*, 1, 1–10. <http://repository.unim.ac.id/id/eprint/285>
- ASAIR. (2021). *Technical Reference Manual AHT25*.
- Espressif. (2024). Technical Reference Manual ESP32 5.2. In *espressif*. [http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS\\_Technical\\_Reference\\_Manual\\_\(CPD-74B\).pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical_Reference_Manual_(CPD-74B).pdf)
- Google. (2022). *Documentation of Google Firebase*.
- Kim, C. H., & Shin, D. H. (2017). A Formal Approach to the Selection by Minimum Error and Pattern Method for Sensor Data Loss Reduction in Unstable Wireless Sensor Network Communications. *Sensors (Switzerland)*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/s17051092>
- Maftuh, M., Haryanti, T., & Johar, S. A. (2021). Pengaruh Iklim Kerja Panas Terhadap Kelelahan Kerja pada Operator Steam di PT. XYZ Boyolali. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 2(2), 141–147. <https://doi.org/10.15294/jppkmi.v2i2.52432>
- Maxim Integrated. (2021). Technical Reference Manual MAX30102. *Maxim Integrated*, 1–32. <https://www.maximintegrated.com/en/products/sensors/MAX30102.html>
- Nastiti, V., Cahyadi, N. H., Jasmine, M. A., & Santiasih, I. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kesehatan Dan Tracking Pekerja Kontruksi Melalui Safety Vest Berbasis Iot. *NJCA (Nusantara Journal of Computers and Its Applications)*, 8(2), 39. <https://doi.org/10.36564/njca.v8i2.321>
- OECD. (2015). Frascati Manual 2015. In *The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*. [http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/frascati-manual-2015\\_9789264239012-en](http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/frascati-manual-2015_9789264239012-en)
- Robson, L. S., Clarke, J. A., Cullen, K., Bielecky, A., Severin, C., Bigelow, P. L., Irvin, E., Culyer, A., & Mahood, Q. (2007). The effectiveness of occupational health and safety management system interventions: A systematic review. *Safety Science*, 45(3), 329–353. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2006.07.003>
- Scott, F., & Shiloh, M. (2012). Arduino Projects book. *Arduino*, 175. <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/IN1060/v21/arduino/arduino-projects-book.pdf>
- Supadmo, H. (2023). Peran Bpjs Ketenagakerjaan Dalam Pelaksanaan Program Jaminan Kecelakaan Kerja (Jkk). *Borneo Law Review*, 6(2), 205–218. <https://doi.org/10.35334/bolrev.v6i2.3243>
- Umyati, A., Kusumaningrum, E., Susihono, W., & Gunawan, A. (2020). Pengukuran Tingkat Kelelahan Kerja Karyawan pada Departemen Operation Director PT. XYZ. *Journal Industrial Servicess*, 6(1), 62. <https://doi.org/10.36055/jiss.v6i1.9477>
- Utomo, A. S., Negoro, E. H. P., & Sofie, M. (2019). Monitoring Heart Rate Dan Saturasi Oksigen Melalui Smartphone. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 10(1), 319–324. <https://doi.org/10.24176/simet.v10i1.3024>
- Weber, R. H., & Weber, R. (2020). Internet of Things: Legal Perspectives. In *Springer* (Vol. 63). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23585-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23585-1_2)