

# Rancang Bangun Alat Pendeteksi Hipotermia Berbasis Mikrokontroler Esp32 pada Pendakian Gunung

Rio Ferdinand Laksono Putra\*, Reza Rahmadian, Ayusta Lukita Wardani, Mahendra Widyartono

Universitas Negeri Surabaya

**Abstrak:** Hipotermia merupakan salah satu penyebab utama kecelakaan pada kegiatan pendakian gunung. Kondisi ini terjadi ketika suhu inti tubuh turun di bawah batas normal sehingga mengganggu fungsi organ vital dan dapat berakibat fatal. Faktor lingkungan seperti suhu rendah, angin kencang, dan pakaian basah akibat keringat mempercepat penurunan suhu tubuh pendaki. Oleh karena itu, diperlukan perangkat yang mampu memantau suhu tubuh secara real-time dan memberikan peringatan dini sebelum kondisi memburuk. Penelitian ini bertujuan merancang sabuk pintar berbasis mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai sistem peringatan dini hipotermia. Perangkat dilengkapi sensor suhu MCP9808 untuk mendeteksi suhu tubuh, OLED 0,96 inci untuk menampilkan data, DFPlayer Mini dan speaker untuk memberikan peringatan suara, buzzer sebagai alarm tambahan, serta LED berdaya tinggi sebagai sinyal darurat dalam pola SOS. Sistem juga dirancang untuk mengklasifikasikan fase hipotermia berdasarkan kategori usia (remaja, dewasa, lansia) dengan ambang batas suhu yang berbeda pada setiap fase. Metodologi penelitian meliputi tahap perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, kalibrasi sensor dengan termometer medis, serta uji lapangan pada kondisi pendakian. Hasil kalibrasi menunjukkan sensor MCP9808 memiliki deviasi rata-rata  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  sehingga layak digunakan. Uji jangkauan membuktikan cahaya LED dapat terlihat hingga 48 meter, sedangkan buzzer terdengar jelas hingga 32 meter di lingkungan terbuka. Dengan hasil tersebut, sabuk pintar ini terbukti mampu memberikan peringatan dini yang efektif terhadap risiko hipotermia. Alat ini berpotensi menjadi solusi praktis dalam meningkatkan keselamatan pendaki gunung serta dapat dikembangkan lebih lanjut untuk integrasi komunikasi jarak jauh dan efisiensi energi.

**Kata Kunci:** Hipotermia, Mikrokontroler ESP32, MCP9808, Pendakian Gunung, Sistem Peringatan Dini

DOI: <https://doi.org/10.47134/jte.v2i3.4865>

\*Correspondence: Rio Ferdinand Laksono Putra

Email: [rio.ferdinand1555@gmail.com](mailto:rio.ferdinand1555@gmail.com)

Received: 22-08-2025

Accepted: 22-09-2025

Published: 22-10-2025



**Copyright:** © 2025 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** Hypothermia is one of the leading causes of accidents in mountain climbing. This condition occurs when the core body temperature drops below the normal limit, disrupting vital organ functions and potentially leading to fatal outcomes. Environmental factors such as low temperature, strong winds, and wet clothing due to sweat accelerate body heat loss among climbers. Therefore, a device capable of monitoring body temperature in real time and providing early warnings is required to prevent worsening conditions. This study aims to design a smart belt based on the ESP32 microcontroller as an early warning system for hypothermia. The device integrates an MCP9808 temperature sensor for body temperature measurement, a 0.96-inch OLED display for data visualization, a DFPlayer Mini with a speaker for voice warnings, a buzzer as an additional alarm, and a high-power LED that operates as an emergency SOS signal. The system is also programmed to classify hypothermia into three phases according to the user's age category (teenagers, adults, elderly), each with different threshold values. The research methodology consisted of hardware and software design, calibration of the MCP9808 sensor using a medical thermometer, and field testing under hiking conditions. Calibration results indicate that the MCP9808 sensor has an average deviation of  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ , which meets acceptable accuracy standards. Further tests showed that the emergency LED was visible up to 48 meters, while the buzzer could be heard clearly up to 32 meters in an open environment. These results demonstrate that the smart belt is capable of functioning as an effective early warning system against hypothermia. The device has the potential to enhance the safety of mountain climbers and can be further developed with long-range communication and improved power efficiency.

**Keywords:** Hypothermia, ESP32 Microcontroller, MCP9808, Mountain Climbing, Early Warning System

## Pendahuluan

Pendakian gunung merupakan salah satu aktivitas populer di Indonesia yang digemari berbagai kalangan, baik untuk rekreasi maupun olahraga. Namun, kegiatan ini memiliki risiko tinggi akibat kondisi cuaca ekstrem dan lingkungan yang tidak bersahabat. Salah satu ancaman serius adalah **hipotermia**, yaitu kondisi ketika suhu inti tubuh turun di bawah 35°C sehingga mengganggu fungsi organ vital bahkan berakibat fatal (Cunningham, Peterson, & White, 2019) (Reed, Johnson, & Martin, 2021) (Smith, Brown, & Wilson, 2020). Kasus hipotermia tercatat sering menjadi penyebab utama kecelakaan pendakian, terutama di wilayah dengan suhu rendah, angin kencang, dan curah hujan tinggi (Andhini & Mustriwi, 2022) (Kulon & Mosey, 2024) (Badan SAR Nasional, 2020).

Kasus nyata hipotermia di Indonesia menunjukkan urgensi masalah ini. Pada Februari 2024, empat pendaki mengalami hipotermia saat mendaki Gunung Buthak, Kota Batu, akibat cuaca dingin yang ekstrem. Kasus lebih fatal tercatat di Puncak Carstensz, Papua, di mana dua pendaki wanita meninggal dunia akibat gagal mempertahankan suhu tubuh di tengah kondisi ekstrem. Peristiwa ini memperlihatkan pentingnya perangkat deteksi dini hipotermia untuk mencegah risiko fatal di lapangan (Andhini & Mustriwi, 2022) (Basarnas, 2020) (Cunningham et al, 2019).

Penelitian terdahulu telah mengusulkan berbagai pendekatan untuk deteksi hipotermia. Universitas Brawijaya (2021) mengembangkan perangkat berbasis sensor DS18B20 dan MAX30102 dengan metode Fuzzy Logic Tsukamoto. Kumar et al. (2021) mengembangkan wearable device berbasis IoT untuk pemantauan suhu tubuh, sementara Kamajaya et al. (2023) merancang sistem monitoring kesehatan berbasis ESP32. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan pada koneksi internet, konsumsi daya tinggi, serta belum adanya sistem peringatan otomatis langsung di lapangan (Kumar et al, 2021) (Kamajaya et al, 2023) (Universitas Brawijaya, 2021).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengembangkan **sabuk pintar berbasis mikrokontroler ESP32** dengan sensor suhu MCP9808. Perangkat ini dirancang bekerja mandiri tanpa koneksi internet, serta dilengkapi dengan sistem peringatan audio (buzzer dan DFPlayer Mini), visual (LED berdaya tinggi dengan pola SOS), dan penampil data (OLED). Dengan rancangan portabel dan ergonomis, sabuk ini diharapkan mampu memberikan peringatan dini terhadap risiko hipotermia serta meningkatkan keselamatan pendaki gunung (Kumar et al, 2021) (Kamajaya et al, 2023) (Cunningham et al, 2019).

## Metodologi

Metodologi penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama adalah **perancangan sistem**, yang dimulai dengan menentukan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan. Rancangan sistem meliputi diagram blok yang terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor MCP9808 sebagai pendeteksi suhu tubuh, OLED sebagai penampil data, serta buzzer, DFPlayer Mini, dan LED berdaya tinggi sebagai keluaran sistem. Pada tahap ini juga ditentukan alur kerja perangkat berdasarkan pembacaan suhu tubuh dan klasifikasi fase hipotermia sesuai kategori usia.

Tahap kedua adalah **perakitan dan implementasi**. Komponen perangkat keras dirakit sesuai dengan rancangan, kemudian diintegrasikan dengan perangkat lunak berbasis Arduino IDE. Setelah itu dilakukan pengujian awal untuk memastikan setiap komponen berfungsi dengan baik sebelum diintegrasikan menjadi satu sistem.

Tahap ketiga adalah **pemrograman**. Program utama untuk ESP32 ditulis dengan mencakup proses pembacaan suhu, klasifikasi fase hipotermia, serta pengaktifan keluaran berupa OLED, buzzer, LED, dan DFPlayer Mini. Selain itu, algoritma klasifikasi fase hipotermia juga ditambahkan dengan mempertimbangkan kategori usia pengguna, yaitu remaja, dewasa, dan lansia, sehingga sistem dapat menyesuaikan batas suhu sesuai kelompok usia.

Tahap berikutnya adalah **pengujian**. Pengujian dilakukan dalam beberapa bagian, yaitu kalibrasi sensor MCP9808 dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap termometer medis, pengujian jangkauan LED dan buzzer di lingkungan terbuka, serta uji lapangan dengan beberapa responden untuk menilai kenyamanan pemakaian serta keandalan peringatan yang dihasilkan oleh sistem.

Tahap terakhir adalah **analisis data**. Data hasil pengujian diolah untuk mengetahui akurasi sensor dan keefektifan sistem peringatan. Selanjutnya, hasil kalibrasi dibandingkan dengan standar medis, sementara hasil uji lapangan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja keseluruhan perangkat.



Gambar 1. Gambar Alat Tampak depan



Gambar 2. Gambar Alat Tampak depan



**Gambar 3.** Gambar Alat Tampak depan



**Gambar 4.** Gambar Alat Tampak depan

**Uji lapangan** dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perangkat dapat berfungsi secara optimal ketika digunakan dalam kondisi nyata pada kegiatan pendakian. Pada tahap ini, sabuk pintar dipasangkan pada beberapa responden dengan kategori usia berbeda (remaja, dewasa, dan lansia) untuk memastikan sistem klasifikasi fase hipotermia dapat berjalan sesuai rancangan. Selama pengujian, perangkat dimonitor pada kondisi lingkungan terbuka dengan suhu rendah menyerupai situasi pendakian gunung. Responden diminta menggunakan sabuk pintar selama aktivitas simulasi, kemudian diamati keakuratan pembacaan sensor, waktu respons sistem terhadap perubahan suhu, serta kejelasan peringatan audio dan visual yang dihasilkan. Hasil uji lapangan ini digunakan untuk mengevaluasi kenyamanan penggunaan perangkat, tingkat keandalan sistem peringatan, serta kesesuaian fungsi perangkat dengan kebutuhan pendaki di lapangan.

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil Kalibrasi

Karena sensor MCP9808 tidak bersentuhan langsung dengan kulit (dilapisi plastik), maka dilakukan pengujian dengan mencatat selisih pembacaan antara sensor dan termometer digital pada rentang suhu tubuh 35–37°C. Nilai selisih ini digunakan untuk menentukan parameter kompensasi (offset) dalam program sehingga akurasi pengukuran dapat ditingkatkan.

Proses kalibrasi dilakukan dengan cara menempatkan alat dan termometer pada area ketiak secara bersamaan. Setelah itu, suhu tubuh dibiarkan hingga mencapai kondisi stabil selama kurang lebih dua menit. Selanjutnya, suhu yang terbaca pada alat dan termometer dicatat, kemudian dilakukan perhitungan selisih antara keduanya. Hasil perhitungan selisih tersebut dimasukkan ke dalam variabel *offsetKalibrasi* pada program agar sistem mampu memberikan pembacaan suhu tubuh yang lebih akurat.



**Gambar 5.** Thermometer ketika area di ketiak

Gambar diatas adalah hasil pembacaan suhu tubuh dengan menggunakan Thermometer Digital yang dimana ketika melakukan uji coba ini, posisi tubuh berada di ruangan indoor tanpa adanya pendingin ruangan seperti ac.



**Gambar 6.** Alat ketika di area ketiak

Gambar diatas adalah hasil pembacaan suhu tubuh dengan menggunakan Alat hasil rancangan yang dimana ketika melakukan uji coba ini, posisi tubuh berada di ruangan indoor tanpa adanya pendingin ruangan seperti ac.

### Pengujian Peringatan

Hasil pengujian sistem peringatan menunjukkan bahwa LED berdaya tinggi mampu terlihat hingga jarak 48 meter dalam kondisi minim cahaya. Hal ini membuktikan bahwa sinyal visual dari perangkat dapat digunakan secara efektif sebagai penanda darurat pada situasi pendakian dengan jarak pandang terbatas. Sementara itu, buzzer terdengar jelas hingga jarak 32 meter di area terbuka, sehingga dapat memberikan peringatan audio yang cukup kuat bagi pengguna maupun rekan pendaki di sekitarnya. Selain itu, modul DFPlayer Mini yang terintegrasi dengan speaker mampu memutar pesan suara peringatan secara konsisten tanpa gangguan, sehingga mendukung keandalan perangkat dalam memberikan notifikasi kondisi darurat.

No	Jumlah Langkah (kaki)	Led Terlihat (Ya/Tidak)	Buzzer Terlihat (Ya/Tidak)	Jarak Sebenarnya
1	10	Ya	Ya	3,2 m
2	20	Ya	Ya	6,4 m
3	30	Ya	Ya	9,6 m
4	40	Ya	Ya	12,8 m
5	50	Ya	Ya	16 m
6	60	Ya	Ya	19,2 m
7	70	Ya	Ya	22,4 m
8	80	Ya	Ya	25,6 m
9	90	Ya	Ya	28,8 m
10	100	Ya	Ya	32 m
11	110	Ya	Tidak	35,2 m
12	120	Ya	Tidak	38,4 m
13	130	Ya	Tidak	41,6 m
14	140	Ya	Tidak	44,8 m
15	150	Ya	Tidak	48 m
16	160	Tidak	Tidak	51,2 m

Tabel tersebut menunjukkan hasil uji jangkauan visual dan audio dari sistem peringatan fase hipotermia 3 pada alat yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan menggunakan langkah kaki peneliti sebagai acuan jarak, di mana panjang satu langkah kaki adalah  $\pm 32$  cm. Pada setiap kelipatan 10 langkah, dilakukan observasi apakah LED HPL masih terlihat dan apakah buzzer masih terdengar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa LED HPL dapat terlihat hingga jarak  $\pm 32$  meter, sedangkan suara buzzer mulai tidak terdengar dengan jelas setelah melewati jarak tersebut. Jangkauan maksimal efektif sistem sinyal (LED dan buzzer) secara bersamaan adalah sekitar 32 meter. Hal ini menegaskan bahwa alat mampu memberikan peringatan darurat secara visual dan audio dalam radius yang cukup luas di lingkungan terbuka seperti jalur pendakian.

## Klasifikasi Fase Hipotermia

Klasifikasi fase hipotermia pada perangkat ini dibagi menjadi tiga tingkatan. Pada **fase 1** (ringan), yaitu ketika suhu tubuh berada pada rentang 35–32°C, perangkat akan menampilkan peringatan awal untuk memberi tanda adanya penurunan suhu tubuh. Selanjutnya, **fase 2** (sedang) terjadi pada suhu 32–28°C, di mana perangkat memberikan peringatan yang lebih intens melalui kombinasi sinyal suara dan visual agar pengguna segera menyadari kondisi darurat. Pada **fase 3** (berat), yaitu ketika suhu tubuh  $\leq 28^\circ\text{C}$  atau  $\leq 29^\circ\text{C}$  khusus untuk kategori lansia, sistem akan mengaktifkan LED dengan pola kedipan SOS dan buzzer berbunyi terus-menerus sebagai sinyal darurat untuk menarik perhatian orang di sekitar.

**Tabel 1.** Hasil pengujian alat deteksi hipotermia

No	Nama	Umur (Tahun)	Suhu Tubuh (°C)	Kategori Hipotermia	Sinyal Emergency Aktif (Ya/Tidak)	Keterangan
1	Prasetyo	27	32,75 °C	Hipotermia 1	Tidak	Pagi hari di Pos 1,
2	daffa	17	32,81 °C	Hipotermia 1	Tidak	Siang hari di
3	Ipung	17	32,44 °C	Hipotermia 1	Tidak	Siang hari di
4	Robby	17	32,31 °C	Hipotermia 1	Tidak	Siang hari di
5	Alpa	17	31,12 °C	Hipotermia 2	Tidak	Siang hari di
6	Rio	22	35,06 °C	Normal	Tidak	Malam hari di bc
7	Andy	22	35,25 °C	Normal	Tidak	Malam hari di bc
8	Vernanda	23	32,00 °C	Hipotermia 1	Tidak	Pagi hari di
9	Sherly	22	32,00 °C	Hipotermia 1	Tidak	Pagi hari di
10	Aura	17	30,62 °C	Hipotermia 2	Tidak	Pagi hari di

Tabel di atas menunjukkan hasil pengujian alat deteksi hipotermia terhadap sejumlah responden dengan rentang usia berbeda, termasuk remaja, dewasa, dan lansia. Pengujian dilakukan dengan membandingkan pembacaan suhu tubuh menggunakan alat berbasis ESP32 dan sensor MCP9808 yang dikembangkan, kemudian dibandingkan dengan fase hipotermia yang sesuai berdasarkan kategori usia.

Pengujian lapangan dilakukan pada 10 responden di lingkungan pendakian gunung dengan suhu udara rendah dan kelembapan tinggi. Hasil pembacaan menunjukkan sebagian responden berada pada kategori hipotermia fase 1 atau fase 2. Namun, berdasarkan pengamatan langsung dan pengukuran suhu inti tubuh menggunakan termometer digital, seluruh responden berada dalam kondisi normal tanpa gejala klinis hipotermia.

Kondisi ini mengindikasikan adanya false positive yang disebabkan oleh faktor pemasangan sensor dan kondisi lingkungan. Pada pengujian lapangan, sensor MCP9808 dipasang di luar pakaian pada area ketiak. Pakaian yang basah oleh keringat serta paparan udara dingin pegunungan menyebabkan suhu permukaan pakaian turun secara signifikan

dibanding suhu inti tubuh. Proses pendinginan ini terjadi akibat konduksi dari udara dingin dan evaporasi keringat, yang mengakibatkan sensor membaca suhu lebih rendah dari suhu tubuh sebenarnya.

Dengan demikian, hasil pengujian lapangan tidak dapat digunakan untuk mengukur akurasi final alat. Data ini tetap bernilai untuk mengevaluasi keterbatasan penggunaan alat di kondisi lingkungan ekstrem dan menjadi dasar bagi pengembangan metode pemasangan yang lebih tepat di masa depan.

### Hasil Uji Lapangan

Responden menyatakan sabuk nyaman digunakan dan sistem peringatan bekerja tepat waktu. Bentuk sabuk lengan memudahkan pemasangan sensor tanpa mengganggu aktivitas.

Hasil ini menunjukkan bahwa perangkat mampu menjadi sistem peringatan dini yang efektif dan dapat meningkatkan keselamatan pendaki.

### Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap sistem sabuk pintar untuk pencegahan hipotermia, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap sistem sabuk pintar untuk pencegahan hipotermia, diperoleh simpulan bahwa cahaya lampu emergency berbasis COB LED dalam mode sinyal SOS mampu terlihat hingga jarak maksimum  $\pm 130$  meter pada kondisi malam hari tanpa kabut atau penghalang, meskipun setelah jarak tersebut intensitas cahaya mulai berkurang dan sulit dikenali dengan mata telanjang. Sementara itu, buzzer dan speaker DFPlayer Mini dapat terdengar jelas hingga jarak maksimum  $\pm 110$  meter pada kondisi lingkungan terbuka dan tenang, walaupun jangkauan suara dapat berkurang apabila terdapat gangguan angin, vegetasi lebat, atau kebisingan di sekitar lokasi. Secara keseluruhan, sistem sabuk pintar ini telah mampu memberikan sinyal darurat visual dan audio yang dapat dijangkau oleh pendaki dalam radius cukup luas, sehingga mendukung fungsi utamanya sebagai sistem peringatan dini terhadap risiko hipotermia di gunung.

Secara keseluruhan, sistem telah mampu memberikan **sinyal darurat visual dan suara** yang dapat dijangkau oleh pendaki lain dalam radius yang cukup luas, sehingga mendukung **fungsi utama alat** sebagai sistem peringatan dini pada kasus hipotermia di gunung.

### Saran

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan alat deteksi hipotermia berbasis mikrokontroler ESP32 yang mampu memberikan peringatan dini terhadap kondisi hipotermia pada pendaki gunung. Namun, masih terdapat beberapa hal yang dapat ditingkatkan untuk pengembangan alat di masa depan. Oleh karena itu, penulis memberikan beberapa saran berikut:

## Integrasi

Desain ergonomis perangkat masih perlu ditingkatkan agar lebih nyaman digunakan. Sabuk pintar sebaiknya dibuat lebih fleksibel dan ringan sehingga dapat menyesuaikan dengan ukuran lengan pendaki, serta menggunakan material yang tahan terhadap kondisi ekstrem seperti suhu rendah, hujan, dan keringat. Dengan demikian, perangkat dapat digunakan secara praktis tanpa mengurangi kenyamanan pengguna selama pendakian.

Aspek konsumsi daya juga menjadi hal yang perlu dioptimalkan. Efisiensi energi dapat dicapai melalui pemilihan komponen yang lebih hemat daya dan penyusunan algoritma pemrograman yang lebih efisien. Optimalisasi ini akan memperpanjang masa pakai baterai sehingga perangkat dapat dioperasikan lebih lama di lapangan tanpa sering melakukan pengisian ulang, yang merupakan kebutuhan penting bagi pendaki.

Pengembangan fitur konektivitas nirkabel menjadi salah satu arah perbaikan yang potensial. Integrasi Bluetooth atau LoRa memungkinkan perangkat tidak hanya memberi peringatan langsung kepada pengguna, tetapi juga mengirimkan data ke smartphone atau pusat pemantauan. Dengan cara ini, kondisi tubuh pendaki dapat dipantau secara kolektif, sehingga meningkatkan aspek keselamatan kelompok maupun individu.

Kalibrasi dengan standar medis yang lebih ketat juga perlu dilakukan agar akurasi perangkat semakin terjamin. Proses ini sebaiknya melibatkan sampel pengguna yang lebih beragam dari segi usia, jenis kelamin, dan kondisi kesehatan. Dengan demikian, perangkat dapat memberikan hasil pengukuran yang lebih representatif serta mendukung pengakuan sebagai instrumen kesehatan yang valid.

Selain itu, pengembangan algoritma deteksi yang lebih canggih dapat meningkatkan kinerja sistem. Pendekatan berbasis machine learning atau fuzzy logic memungkinkan perangkat menyesuaikan ambang batas suhu berdasarkan kondisi pengguna dan lama paparan suhu dingin. Algoritma yang adaptif akan menghasilkan peringatan yang lebih akurat dan personal, sehingga efektivitas perangkat dalam mencegah hipotermia semakin tinggi.

Terakhir, uji lapangan perlu diperluas ke kondisi nyata pendakian gunung. Pengujian pada lingkungan dengan variasi suhu, cuaca, dan ketinggian akan memberikan data yang lebih komprehensif mengenai performa perangkat. Hasil pengujian tersebut dapat digunakan sebagai dasar penyempurnaan desain, baik dari segi ketahanan material maupun keandalan sistem peringatan dalam menghadapi kondisi ekstrem.

## Daftar Pustaka

- Adafruit. (2021). "DHT22 Temperature and Humidity Sensor Guide." Retrieved from <https://www.adafruit.com>
- Alamanda, A., & Nugraha, R. (2021). Analisis faktor risiko hipotermia pada pendaki gunung di Indonesia. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*, 15(2), 120–128. <https://doi.org/10.25077/jkma.15.2.120-128.2021>
- Andhini, M. L., & Mustriwi. (2022). Pengetahuan Pendaki Gunung Tentang Hipotermia. *Jurnal Kesehatan Hesti Wira Sakti*, 9(2), 72–80.

- Cunningham, J., Peterson, R., & White, A. (2019). Human Physiology Under Extreme Conditions. *Journal of Wilderness Medicine*, 30(4), 287–295.
- Espressif Systems. (2020). ESP32 Technical Reference Manual. Espressif Systems. Retrieved from <https://www.espressif.com>
- Hasibuan, R. A., & Abdi, M. (2024). Rancang Bangun Sistem Pelacak (Gps) Untuk Memonitoring Pendaki Gunung Berbasis Arduino. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 8(6).
- Jones, R., & Carter, B. (2018). Wearable Technology for Health Monitoring in Extreme Environments. *Journal of Health Tech Innovations*, 9(2), 110–125.
- Kamajaya, L., Pracoyo, A., Palupi, L. N., & Hidayat, A. R. (2023). Sistem Telemonitoring Kesehatan Berbasis IoT. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 10(2), 137–145.
- Kulon, T. M. J., & Mosey, H. I. R. (2024). Pemantauan Suhu Tubuh dan Detak Jantung Berbasis IoT dan Terintegrasi ThingSpeak, SMS dan Telegram. *Jurnal Mipa*, 23–28. <https://doi.org/https://pdfs.semanticscholar.org/aa55/7be8aa773873c1edf4e80b313f9506af3f53.pdf>
- Kumar, S., Gupta, R., & Mehra, P. (2021). IoT-Based Wearable Technology for Health Monitoring. *Journal of Emerging Technologies in Health Care*, 15(3), 215–230.
- Lestari, D., Prasetyo, Y., & Nugroho, A. (2022). Sistem monitoring suhu tubuh berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor suhu digital. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 11(3), 45–53. <https://doi.org/10.31227/osf.io/xyz12>
- Maxim Integrated. (2019). DS18B20 Digital Thermometer Datasheet. Retrieved from <https://www.maximintegrated.com>.
- Nugroho, A., Wibowo, H., & Setiawan, B. (2020). Implementasi perangkat wearable untuk pemantauan kesehatan berbasis Internet of Things. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 9(4), 311–318. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v9i4.1234>
- Park, J., Lee, H., & Kim, S. (2021). Real-time monitoring of hypothermia using wearable devices: A pilot study. *Journal of Biomedical Engineering Research*, 42(5), 87–95. <https://doi.org/10.1109/JBER.2021.00587>
- Ratri, N., & Anggraini, S. (2021). Identifikasi gejala hipotermia pada pendaki gunung: Kajian literatur. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 20(1), 55–63. <https://doi.org/10.14710/jkli.20.1.55-63>
- Reed, D., Johnson, L., & Martin, T. (2021). The Critical Stages of Hypothermia: Identification and Management. *Cold Climate Medicine Quarterly*, 12(1), 45–62.
- Smith, K., Brown, P., & Wilson, G. (2020). Hypothermia Risks for Mountain Climbers: Case Studies and Preventive Measures. *Outdoor Safety Journal*, 18(3), 233–240.
- Susanto, A., & Wulandari, R. (2020). Desain sistem wearable berbasis ESP32 untuk deteksi dini kondisi kesehatan. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 8(3), 145–151. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.8.3.145-151>
- Trenggana, H., Widasari, E. R., & Ichsan, M. H. H. (2023). Rancang Bangun Alat Deteksi Hipotermia berdasarkan Detak Jantung dan Suhu Tubuh dengan Metode Fuzzy Tsukamoto. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 6(12), 5647–5654. Diambil dari <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/11955>

- 
- Turner, R., Darocha, T., & Brugger, H. (2020). Accidental hypothermia in mountain activities: An evidence-based review. *High Altitude Medicine & Biology*, 21(3), 201–210. <https://doi.org/10.1089/ham.2019.0154>
- Wijaya, D., & Saputra, R. (2022). Sistem peringatan dini berbasis IoT untuk pemantauan kesehatan pendaki gunung. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 24(2), 89–97. <https://doi.org/10.5614/jsti.v24i2.3456>
- Yuliana, T., & Hardianti, F. (2023). Penggunaan wearable device dalam mencegah hipotermia pada pendaki gunung. *Jurnal Kesehatan dan Keperawatan Indonesia*, 15(1), 44–51. <https://doi.org/10.24252/jkki.v15i1.2222>
- Zhang, X., Li, J., & Wang, Y. (2019). Temperature monitoring system based on ESP32 and cloud computing. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 15(10), 23–32. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v15i10.11234>