

Design And Build An Early Warning System For Health Conditions In Climbers Based On Fuzzy Logic

[Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Kondisi Kesehatan Pada Pendaki Gunung Berbasis Fuzzy Logic]

Ahlul A'raaf Femas Salsabil¹⁾, Agus Hayatal Falah²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: agushf@umsida.ac.id

Abstract. Mountain climbing is currently being popular with the public, both young people and adults. However, Many climbers pay little attention to physiological conditions and environmental factors when climbing. This study aims to combine these two factors, namely physiological factors and environmental factors as an effort to minimize the occurrence of accidents in climbing activities. Physiological factors, namely oxygen saturation and heart rate, are combined with environmental factors of air pressure, which will later be processed with fuzzy logic consisting of 27 rule bases. The test results on the sensor showed high accuracy with an average value of 98.21% for SpO2, 98.01% for heart rate, and 99.10% for air pressure. At the time of the air pressure value of <750 hPa the system is also capable of giving an alarm as a warning. Fuzzy logic testing is quite effective in determining a climber's health status, where the system consistently assigns a "Normal" status at low altitudes, changes to "Alert" when the air pressure begins to decrease, until it reaches a "Danger" status in extreme conditions. This proves that the system is able to provide an early warning on the condition of a climber.

Keywords – ESP32; MAX30102; BMP280; Fuzzy Logic; Climber Health Monitoring

Abstrak. Pendakian gunung saat ini semakin populer di kalangan masyarakat, baik anak muda maupun dewasa. Namun, banyak pendaki kurang memperhatikan kondisi fisiologis dan faktor lingkungan saat mendaki. Studi ini bertujuan untuk menggabungkan kedua faktor tersebut, yaitu faktor fisiologis dan faktor lingkungan sebagai upaya untuk meminimalkan terjadinya kecelakaan dalam kegiatan pendakian. Faktor fisiologis, yaitu saturasi oksigen dan detak jantung, dikombinasikan dengan faktor lingkungan berupa tekanan udara, yang kemudian akan diolah dengan logika fuzzy yang terdiri dari 27 basis aturan. Hasil pengujian pada sensor menunjukkan akurasi tinggi dengan nilai rata-rata 98,21% untuk SpO2, 98,01% untuk detak jantung, dan 99,10% untuk tekanan udara. Pada saat nilai tekanan udara <750 hPa, sistem juga mampu memberikan alarm sebagai peringatan. Pengujian logika fuzzy cukup efektif dalam menentukan status kesehatan pendaki, di mana sistem secara konsisten memberikan status "Normal" pada ketinggian rendah, berubah menjadi "Waspada" ketika tekanan udara mulai menurun, hingga mencapai status "Bahaya" dalam kondisi ekstrem. Ini membuktikan bahwa sistem tersebut mampu memberikan peringatan dini tentang kondisi seorang pendaki.

Kata Kunci - ESP32; MAX30102; BMP280; Fuzzy Logic; Pemantauan Kesehatan Pendaki

I. PENDAHULUAN

Pendakian gunung merupakan salah satu olahraga yang saat ini sedang digemari oleh kalangan masyarakat [1]. Pendakian gunung bisa dikategorikan sebagai sebuah olahraga yang ekstrem dan bisa menyebabkan cedera bahkan kematian [2]. Perjalanan seseorang dari dataran rendah menuju dataran tinggi akan mengalami perubahan secara fisiologis yang membuat tubuh harus beradaptasi dengan hal tersebut [3].

Salah satu masalah yang sering terjadi karena perubahan fisiologis terhadap tubuh adalah hipoksia [4]. Hipoksia merupakan sebuah kondisi dimana seseorang mengalami penurunan kadar oksigen didalam tubuhnya yang menyebabkan fungsionalitas organnya terganggu [5]. Hal tersebut bisa terjadi karena tekanan udara yang mulai menurun dan aktivitas yang dilakukan cukup berat.

Alat ukur konvensional seperti oximeter dan juga barometer saat ini hanya mampu untuk mendeteksi nilai secara mentah tanpa mengetahui kondisi kita secara langsung [6]. Dengan menggunakan kombinasi antara faktor lingkungan (tekanan udara) dan faktor fisiologis (detak jantung dan SpO2) dapat memberikan sebuah gambaran yang komperhensif terhadap kondisi tubuh seorang pendaki.

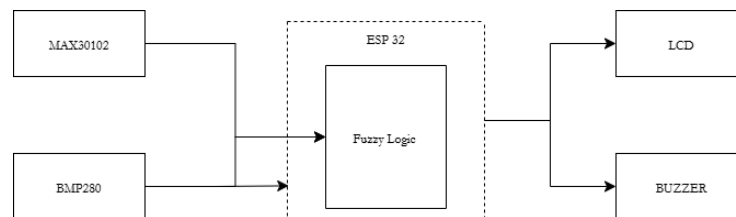
Untuk mengolah data – data tersebut yang memiliki ketidakpastian diperlukan sebuah metode pengambil keputusan yang fleksibel seperti *fuzzy logic* [7]. *Fuzzy logic* merupakan salah satu metode pengambil keputusan yang

dapat mengubah data yang tidak pasti menjadi sebuah himpunan linguistik [8]. Dengan metode *fuzzy logic* ini diharapkan mampu mengambil keputusan yang objektif berdasarkan dari kondisi tubuh dan kondisi pada lingkungan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, dengan menggunakan dua faktor sebagai kombinasi untuk memberikan gambaran terhadap kondisi tubuh, dan juga menggunakan logika *fuzzy* sebagai pengolah data mentah agar menghasilkan sebuah keputusan yang objektif. Diharapkan alat ini dapat meminimalisir terjadinya hal – hal yang tidak diinginkan kedepannya yang terjadi pada seorang pendaki gunung.

II. METODE

A. Perancangan Sistem



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

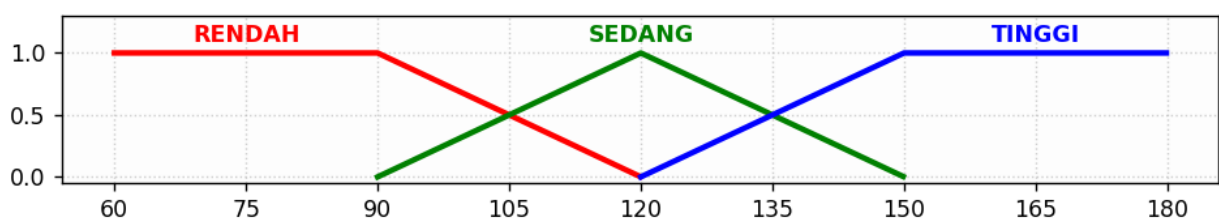
Pada gambar 1 menjelaskan bagaimana sistem bekerja. Dimana sensor MAX30102 dan BMP280 akan dikelola dalam ESP32 melalui *fuzzy logic* terlebih dahulu lalu akan memunculkan sebuah output pada LCD yang berupa kondisi dari pendaki dan juga nilai mentah dari 3 parameter yang digunakan.

Namun pada BMP280 data tekanan udara selain dikelola pada sistem *fuzzy logic* juga dikelola langsung dengan ESP32 untuk menghidupkan output buzzer. Nilai yang disetting untuk menghidupkan buzzer tersebut disesuaikan dengan nilai tekanan udara yang harus diwaspadai oleh seorang manusia yaitu berada direntang 750-850 hPa.

B. Desain Fuzzy Logic

Tabel 1. Parameter Detak Jantung

Parameter	BPM
Rendah	60-120
Sedang	90-150
Tinggi	120-180

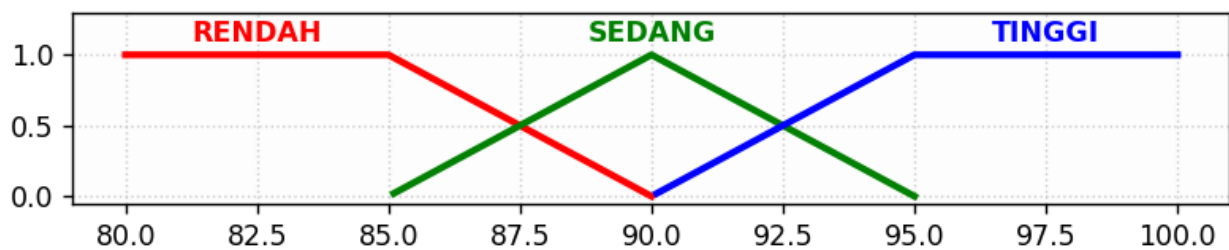


Gambar 2. Variabel Himpunan Fuzzy Detak Jantung

Kontrol *fuzzy* pada parameter tabel 1 disesuaikan dengan aktivitas yang dilakukan, karena pendakian gunung merupakan salah satu aktivitas yang cukup berat. Maka, kemungkinan detak jantung akan melakukan kerja ekstra dan meningkatkan nilai BPM [9]. Kemudian diimplementasikan menggunakan member function seperti gambar 2.

Tabel 2. Parameter Saturasi Oksigen

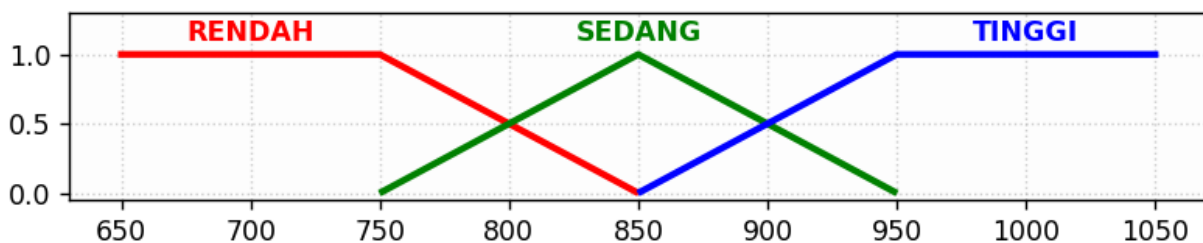
Parameter	%
Rendah	80-90
Sedang	85-95
Tinggi	90-100

**Gambar 3.** Variabel Himpunan *Fuzzy* Saturasi Oksigen

Parameter *fuzzy* pada tabel 2 merupakan hasil dari analisis yang dilakukan pada seseorang yang melakukan aktivitas pendakian. Dimana rata – rata pendaki nilai saturasi oksigen berada diantara 90% - 95% yang tergolong normal untuk aktivitas yang cukup berat [10]. Dan hasil analisis tersebut digambarkan dengan member function seperti gambar 3.

Tabel 3. Parameter Tekanan Udara

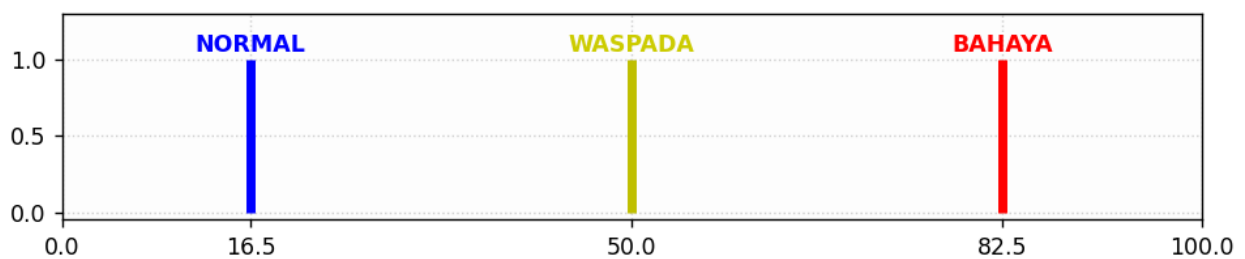
Parameter	hPa
Rendah	650-850
Sedang	750-950
Tinggi	850-1050

**Gambar 4.** Variabel Himpunan *Fuzzy* Tekanan Udara

Parameter tekanan udara pada tabel 3 disesuaikan berdasarkan realita yang terjadi dimana apabila semakin tinggi permukaan tanah maka akan semakin rendah tekanan udara yang terjadi [11]. Kemudian hasil dari analisis terhadap tekanan udara tersebut terbentuk sebuah member function seperti pada gambar 4.

Tabel 4. Output *Fuzzy*

Parameter	Skor
Normal	0-33
Waspada	33-66
Bahaya	66-100



Gambar 5. Variabel Himpunan *Fuzzy* Output

Pada tabel 4 nilai dari output *fuzzy* dihasilkan dari 3 parameter input yang sudah ditentukan yaitu detak jantung, saturasi oksigen dan juga tekanan udara. Kemudian nilai output yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh nilai – nilai input yang sudah ditentukan dan dapat berubah rubah sesuai dengan nilai input yang dikeluarkan.

Pada penghitungan hasil output menggunakan metode COA (*Center of Area*), dimana metode ini menggunakan titik tengah pada setiap himpunan output untuk menghasilkan hasil yang lebih halus [12]. Metode ini menggunakan persamaan,

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(Z_i).Z_i}{\sum_{i=1}^n \mu(Z_i)} \quad (1)$$

C. Rule Base

Tabel 5. Rule Base *Fuzzy* Logic

No	SpO2	HR	Tekanan	Status (Output)
1	Rendah	Rendah	Rendah	BAHAYA
2	Rendah	Sedang	Rendah	BAHAYA
3	Rendah	Tinggi	Rendah	BAHAYA
4	Sedang	Rendah	Rendah	WASPADA
5	Sedang	Sedang	Rendah	WASPADA
6	Sedang	Tinggi	Rendah	BAHAYA
7	Tinggi	Rendah	Rendah	WASPADA
8	Tinggi	Sedang	Rendah	WASPADA
9	Tinggi	Tinggi	Rendah	WASPADA
10	Rendah	Rendah	Sedang	BAHAYA
11	Rendah	Sedang	Sedang	BAHAYA
12	Rendah	Tinggi	Sedang	BAHAYA

13	Sedang	Rendah	Sedang	WASPADA
14	Sedang	Sedang	Sedang	WASPADA
15	Sedang	Tinggi	Sedang	WASPADA
16	Tinggi	Rendah	Sedang	NORMAL
17	Tinggi	Sedang	Sedang	NORMAL
18	Tinggi	Tinggi	Sedang	WASPADA
19	Rendah	Rendah	Tinggi	BAHAYA
20	Rendah	Sedang	Tinggi	BAHAYA
21	Rendah	Tinggi	Tinggi	BAHAYA
22	Sedang	Rendah	Tinggi	WASPADA
23	Sedang	Sedang	Tinggi	WASPADA
24	Sedang	Tinggi	Tinggi	WASPADA
25	Tinggi	Rendah	Tinggi	NORMAL
26	Tinggi	Sedang	Tinggi	NORMAL
27	Tinggi	Tinggi	Tinggi	WASPADA

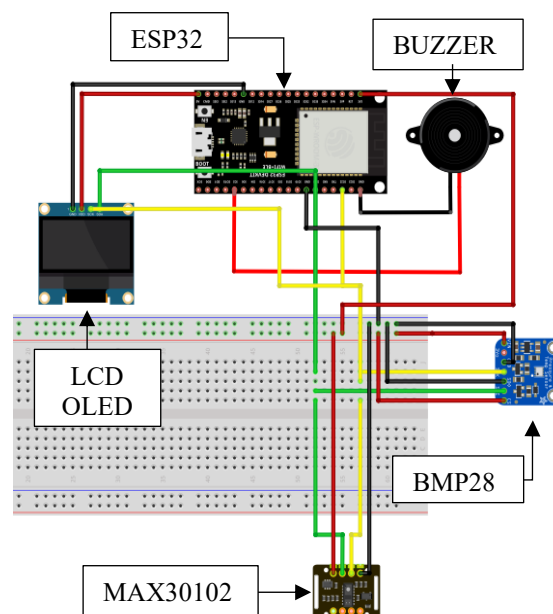
Rule base yang digunakan terdapat 27 aturan yang nantinya akan mengambil sebuah keputusan. Dalam penentuan jumlah *rule base* didasarkan berdasarkan perhitungan probabilitas yang terjadi dengan menghitung jumlah input. Sedangkan dalam pengambilan keputusan berdasarkan analisis pada studi - studi dan juga disesuaikan dengan kondisi yang kemungkinan akan terjadi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Alat

Hasil perancangan alat ini adalah sebuah alat pendeteksi status kesehatan seorang pendaki dan sebuah sistem peringatan dini sebagai peringatan untuk seorang pendaki.

Sistem ini memberikan sebuah alarm peringatan ketika nilai tekanan udara berada diangka <750 hPa. Selain itu, dapat juga mendeteksi status kesehatan dengan cara menempelkan jari ke sensor MAX30102. Kemudian dengan menggunakan 3 parameter yang sudah ditentukan dan pengolahan data dengan *fuzzy logic* lcd akan menampilkan hasil dari status kesehatan seorang pendaki.



Gambar 6. Rangkaian Wiring Alat



Gambar 7. Alat Dalam Mode Siaga



Gambar 8. Alat Dalam Kondisi Pengujian

B. Pengujian Sensor

Pada pengujian ini hasil dari pembacaan sensor akan dibandingkan dengan hasil dari alat ukur standar. Pengujian ini berfokus pada mencari nilai persentase kesalahan dan persentase akurasi antara pembacaan sensor dan alat ukur standar dengan menggunakan 2 perhitungan, perhitungan pertama yaitu mencari nilai error dari hasil pembacaan sensor terhadap hasil alat ukur standar,

$$Error(\%) = \frac{X_s - X_r}{X_s} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

X_s = Nilai alat ukur standar

X_r = Nilai pembacaan sensor

Setelah melakukan perhitungan dan mendapatkan hasil nilai error maka akan dicari nilai akurasi dari hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar, dengan menggunakan perhitungan yang kedua,

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error(\%) \quad (3)$$

Tabel 2. Pengujian Hasil Detak Jantung

No	X_s	X_r	Error(%)	Akurasi(%)
1	92	91	1,08	98,92
2	91	90	1,09	98,91
3	87	85	2,29	97,71
4	85	82	3,52	96,48
Rata – Rata			1,99	98,01

Tabel 3. Pengujian Hasil Saturasi Oksigen

No	X_s	X_r	Error(%)	Akurasi(%)
1	99	100	1,01	98,99
2	98	100	2,04	97,96
3	98	99	1,02	98,98
4	97	100	3,09	96,91
Rata – Rata			1,79	98,21

Pengujian ini dilakukan dengan 4 kali percobaan, yang dimana sensor MAX30102 untuk mendeteksi nilai saturasi oksigen dan detak jantung dibandingkan dengan alat ukur oximeter yang mendeteksi parameter yang sama. Pada tabel 2 yaitu parameter detak jantung menghasilkan nilai rata – rata akurasi 98,01%. Sedangkan pada tabel 3 yaitu parameter saturasi oksigen mendapatkan rata – rata akurasi 98,21% yang dimana kedua hasil tersebut dapat membuktikan bahwasannya hasil pembacaan dari sensor cukup presisi dengan pembacaan alat ukur standar.

Tabel 4. Pengujian Hasil Tekanan Udara

No	X_s	X_r	Error(%)	Akurasi(%)
1	1011	1010	0,98	99,02
2	987	1009	2,22	97,78
3	852,3	850,1	0,25	99,75
4	750	749,1	0,12	99,88
Rata – Rata			0,89	99,10

Pada hasil pengujian tekanan udara di tabel 4 ini dilakukan pada 4 tempat dengan ketinggian yang berbeda. Perbandingan ini menggunakan sensor BMP280 dan sebuah website the weather channel untuk

mendeteksi nilai tekanan udara. Hasil dari pengujian tersebut mendapat nilai rata – rata diangka 99,10% dimana hasil pembacaan sensor dan juga hasil pada website sangat presisi.

C. Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian keseluruhan alat dilakukan dengan melakukan sebuah pendakian di puthuk gragal. Pengujian dilakukan oleh 4 pendaki yang berbeda dan 3 ketinggian yang berbeda.

Tabel 5. Pengujian Alat Pada Ketinggian 214 MDPL

No	Saturasi Oksigen (%)	HR (BPM)	Tekanan Udara (Hpa)	Status (Output)
1	100	91	1009	Normal
2	100	90	1009	Normal
3	99	85	1009	Normal
4	100	82	1009	Normal

Tabel 6. Pengujian Alat Pada Ketinggian 1165 MDPL

No	Saturasi Oksigen (%)	HR (BPM)	Tekanan Udara (Hpa)	Status (Output)
1	92	130	850,1	Waspada
2	90	125	850,1	Waspada
3	87	120	850,1	Waspada
4	88	119	850,1	Waspada

Tabel 7. Pengujian Alat Pada Ketinggian 1480 MDPL

No	Saturasi Oksigen (%)	HR (BPM)	Tekanan Udara (Hpa)	Status (Output)
1	84	135	749,1	Bahaya
2	83	130	749,1	Bahaya
3	85	133	749,1	Bahaya
4	84	132	749,1	Bahaya

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 5,6 dan 7, sistem ini menunjukkan performa yang responsif dan akurat dalam mengklasifikasikan hasil status kesehatan seorang pendaki. Pada ketinggian 214 MDPL dengan tekanan udara 1009 hPa, sistem menetapkan status normal karena nilai dari saturasi oksigen (SpO2) mendapatkan nilai yang optimal dan detak jantung berada dalam batas wajar. Seiring dengan meningkatnya ketinggian di 1165 MDPL nilai tekanan udara menurun di angka 850,1 hPa, yang mengakibatkan kompensasi tubuh berupa peningkatan detak jantung dan penurunan saturasi oksigen, sehingga algoritma *fuzzy* mengubah status menjadi waspada. Kondisi yang mengkhawatirkan terjadi pada ketinggian 1480 MDPL dengan penurunan tekanan udara yang cukup drastis 749,1 hPa, yang memicu alarm, penurunan nilai saturasi oksigen dan peningkatan nilai detak jantung yang cukup drastis, hal tersebut mengubah algoritma *fuzzy* menjadi bahaya. Hal ini membuktikan bahwa integrasi sensor MAX30102 dan BMP280 melalui logika Fuzzy mampu memberikan peringatan dini yang konsisten terhadap risiko kesehatan pendaki akibat perubahan tekanan atmosfer yang ekstrem di dataran tinggi.

IV. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil membuat purwarupa alat monitoring status kesehatan seorang pendaki yang mengintegrasikan sensor MAX30102 dan BMP280. Cara kerja alat ini diawali dengan pendeteksian nilai tekanan

udara yang nantinya sebagai sebagai alarm apabila nilai tekanan udara berada diangka <750 hPa dan sebagai penentuan ketinggian (MDPL). Kemudian, dengan menempelkan jari ke sensor MAX30102 sebagai pengambilan nilai saturasi oksigen dan detak jantung. Data mentah dari 3 parameter tadi diolah menggunakan algoritma *fuzzy* dengan 27 rule base untuk menghasilkan klasifikasi status kesehatan yang nantinya ditampilkan pada layar oled.

Berdasarkan hasil pengujian validasi sensor, perangkat ini memiliki tingkat keandalan yang sangat tinggi dengan rata-rata akurasi sensor BMP280 mencapai 99,10%, serta sensor MAX30102 sebesar 98,21% untuk SpO2 dan 98,01% untuk detak jantung. Tingginya nilai akurasi ini memastikan data input yang diproses oleh sistem adalah valid. Dari sisi fungsionalitas, penerapan logika Fuzzy terbukti efektif dalam memetakan kondisi kesehatan pendaki, sistem secara konsisten memberikan status "Normal" pada ketinggian rendah (214 MDPL), berubah menjadi "Waspada" saat tekanan udara mulai menurun (1165 MDPL), hingga mencapai status "Bahaya" pada kondisi ekstrem (1480 MDPL) di mana saturasi oksigen turun di bawah ambang batas normal. Dengan demikian, alat ini berhasil memenuhi tujuan penelitian sebagai instrumen peringatan dini yang akurat untuk mencegah risiko hipoksia pada pendaki gunung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkah dan bimbingan ilahi-Nya yang tak ada habisnya. Penghargaan tulus juga disampaikan kepada orang tua dan para dosennya, yang dukungan tak tergoyahkan dan bantuan tak ternilainya sangat berperan penting dalam penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- [1] G. Rizki Padilah, G. Purnama Insany, and K. Kamdan, "Rancang Bangun Website bagi Komunitas Pendaki Indonesia Menggunakan Metode Waterfall: Studi Kasus Gunung Gede Pangrango," *Pros. TAU SNARS-TEK Semin. Nas. Rekayasa Dan Teknol.*, vol. 4, no. 1, pp. 24–34, Aug. 2024, doi: 10.47970/snarstek.v2i1.710.
- [2] Z. D. Mutia Rahmi1, "Persepsi Risiko Keselamatan dalam Kegiatan Pendakian Gunung," 2021.
- [3] F. P. Salipadang, V. R. Danes, and M. E. W. Moningka, "Hubungan Perbedaan Ketinggian dengan Perubahan Tekanan Darah pada Pelaku Perjalanan dari Dataran Rendah ke Dataran Tinggi dan dari Dataran Tinggi ke Dataran Rendah," 2022.
- [4] R. Rositasari, "ANCAMAN HIPOKSIA BAGI EKOSISTEM PESISIR; PENGGUNAAN INDEKS AMMONIA-ELPHIDIUM (A-E) SEBAGAI PROKSI," *OSEANA*, vol. 45, no. 1, pp. 82–92, Apr. 2020, doi: 10.14203/oseana.2020.Vol.45No.1.88.
- [5] A. H. Wahyudi, E. R. Widasari, and H. Fitriyah, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Hipoksia berdasarkan Detak Jantung dan Saturasi Oksigen menggunakan Low Power Mode dengan Metode Naïve Bayes," 2022.
- [6] B. Yulianti and I. Prakoso, "Rancang Bangun Pulse Oximeter Menggunakan Aplikasi Blynk," vol. 12, 2023.
- [7] J. Jamaaluddin, E. Rosnawati, I. Anshory, I. Sulistiyowati, and S. Syahririni, "The utilization of levelled fuzzy logic for more precision results," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1402, no. 7, p. 077037, Dec. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1402/7/077037.
- [8] J. Jamaaluddin, D. Hadidjaja, I. Sulistiyowati, E. Suprayitno, I. Anshory, and S. Syahririni, "Very short term load forecasting peak load time using fuzzy logic," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 403, p. 012070, Oct. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/403/1/012070.
- [9] H. D. Puspita and G. Puspawardhani, "PENENTUAN KLASIFIKASI BEBAN KERJA BARU BERDASARKAN PREDIKSI KADAR OKSIGEN DALAM DARAH DENGAN MEMPERTIMBANGKAN DENYUT JANTUNG, TEMPERATUR TUBUH DAN KONSUMSI OKSIGEN PADA PEKERJA JASA KULI ANGKUT," *Infomatek*, vol. 22, no. 2, pp. 89–100, Dec. 2020, doi: 10.23969/infomatek.v22i2.3338.
- [10] M. R. Baihak, "ANALISIS PENGGUNAAN SMARTWATCH DALAM PEMANTAU DATA FISILOGIS PENDAKI GUNUNG GENERASI Z," UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA, 2025.
- [11] A. S. Graha, "EFEK TEKANAN UDARA TERHADAP FISILOGI TUBUH ATLET," *MEDIKORA*, no. 1, Jun. 2015, doi: 10.21831/medikora.v0i1.4689.
- [12] A. H. Falah, M. Rivai, and D. Purwanto, "Implementation of Gas and Sound Sensors on Temperature Control of Coffee Roaster Using Fuzzy Logic Method," in *2019 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, Surabaya, Indonesia: IEEE, Aug. 2019, pp. 80–85. doi: 10.1109/ISITIA.2019.8937148.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.