

Sistem Deteksi Keparahan Apnea berbasis Fuzzy pada Balita melalui Pemantauan Saturasi Oksigen dan Pola Napas

Zidan Aksa Mahendra^{1*}, Afdhal Alip Taliban Kertonegoro², Septriandi Wirayoga³

Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141

zidanmahendra78@gmail.com¹, afdhalalip02@gmail.com², yoga.septriandi@polinema.ac.id³

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima: 22 Agustus 2025

Direvisi: 07 Desember 2025

Disetujui: 27 Januari 2026

Diterbitkan: Maret 2026

Kata Kunci:

Apnea;

Balita;

Fuzzy;

Saturasi Oksigen;

Pola Napas.

ABSTRAK

Apnea tidur pada balita merupakan gangguan pernapasan yang dapat menimbulkan risiko kesehatan serius apabila tidak terdeteksi secara dini. Keterbatasan sistem pemantauan konvensional yang tidak menyediakan pengawasan *real-time* sering menyebabkan keterlambatan identifikasi episode apnea. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi apnea berbasis Fuzzy Sugeno yang mengintegrasikan tiga parameter fisiologis utama, yaitu saturasi oksigen (SpO_2), frekuensi napas, dan tekanan udara ekspirasi. Ketiga parameter tersebut diukur menggunakan sensor MAX30102, Grove Piezoelectric, dan HX710B, kemudian diproses melalui mikrokontroler ESP32. Data yang diperoleh dianalisis oleh sistem inferensi Fuzzy Sugeno dan dikirim secara *real-time* ke aplikasi seluler melalui Firebase untuk memungkinkan pemantauan jarak jauh secara berkelanjutan. Pengambilan data dilakukan pada lima balita berusia 3–5 tahun dalam kondisi lingkungan yang seragam, menghasilkan 75 sampel. Setiap parameter diklasifikasikan ke dalam tiga tingkat keparahan dan diolah untuk menentukan kategori apnea. Validasi dilakukan dengan membandingkan keluaran sistem terhadap evaluasi medis profesional. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi sensor yang tinggi, yaitu 99,8% pada MAX30102, 99,1% pada HX710B, dan 98,9% pada sensor piezo. Akurasi keseluruhan sistem mencapai 94,6%, dengan empat kasus salah klasifikasi pada kategori apnea ringan. Sistem ini menunjukkan potensi sebagai perangkat portabel yang mampu mendukung deteksi dini apnea pada balita melalui pemantauan fisiologis secara *real-time*. Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan antarmuka aplikasi yang mudah digunakan menjadikannya relevan untuk diterapkan di rumah maupun fasilitas kesehatan primer. Pengembangan lanjutan dapat difokuskan pada penyempurnaan aturan fuzzy dan ambang batas untuk meningkatkan sensitivitas sistem.

Penulis Korespondensi:

Zidan Aksa Mahendra,

State Polytechnic of Malang

zidanmahendra78@gmail.com.

1. PENDAHULUAN

Apnea atau *sleep apnoea* merupakan gangguan pernapasan yang ditandai dengan terhentinya napas selama ± 10 detik pada balita [1]. Gangguan ini sering disertai penurunan saturasi oksigen serta perlambatan pola napas sehingga mengurangi suplai oksigen ke jaringan tubuh. Kondisi tersebut tidak hanya menurunkan kualitas tidur, tetapi juga berpotensi mengganggu kesehatan jangka panjang. Kajian *American Academy of Sleep Medicine (AASM)* menunjukkan bahwa apnea pada usia dini berisiko menimbulkan hipertensi, gangguan metabolisme, dan hambatan perkembangan kognitif yang dapat memengaruhi proses belajar anak [2].

Data dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia menunjukkan bahwa gangguan pernapasan, termasuk apnea, merupakan salah satu penyumbang morbiditas tertinggi pada balita [3]. Sistem pemantauan konvensional yang bersifat manual sering tidak mampu menyediakan deteksi *real-time*, sehingga episode apnea tidak teridentifikasi secara tepat waktu. Keterlambatan ini dapat menghambat intervensi medis yang diperlukan guna mencegah risiko kesehatan jangka panjang.

Kemajuan teknologi sensor memberikan peluang peningkatan akurasi deteksi apnea. Penelitian sebelumnya memanfaatkan sensor aliran udara dan tekanan untuk memantau perubahan volume serta stabilitas napas sebagai indikator apnea. Studi lain menunjukkan bahwa penurunan saturasi oksigen dapat digunakan untuk mengidentifikasi gangguan pernapasan [4]. Parameter fisiologis seperti saturasi oksigen $\leq 95\%$ [5], [6], frekuensi napas 10–20 kali per menit, serta tekanan ekspirasi -5 hingga 5 kPa [7] digunakan sebagai acuan klinis dalam menilai kestabilan sistem pernapasan.

Karakteristik data fisiologis balita yang fluktuatif memerlukan metode analitis yang mampu menangani ketidakpastian. Metode Fuzzy Sugeno dipilih karena menghasilkan keluaran numerik yang stabil, memiliki efisiensi komputasi tinggi, dan memungkinkan penyesuaian aturan berdasarkan pertimbangan medis [8]. Keunggulan ini membuat Fuzzy Sugeno lebih sesuai dibanding metode fuzzy lain yang hanya menghasilkan keluaran linguistik atau memerlukan komputasi lebih kompleks.

Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi apnea yang mengintegrasikan sensor MAX30102 untuk saturasi oksigen [9], sensor Grove Piezoelectric untuk pola napas, serta modul HX710B untuk tekanan ekspirasi [10]. Ketiga parameter diproses melalui sistem inferensi Fuzzy Sugeno sehingga menghasilkan klasifikasi tingkat keparahan apnea secara lebih presisi. Sistem ini diharapkan mendukung deteksi dini apnea pada balita dan dapat digunakan baik di lingkungan domestik maupun fasilitas kesehatan primer.

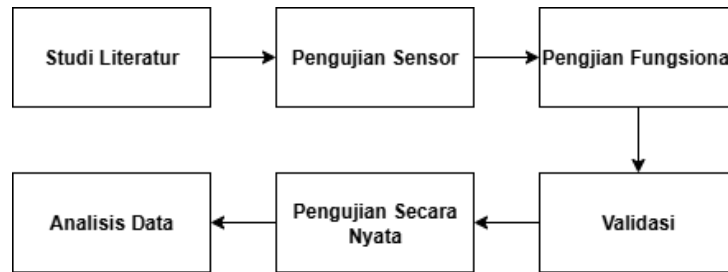
Kontribusi penelitian ini dirangkum sebagai berikut:

- Mengembangkan sistem pemantauan apnea berbasis *internet of things* (IoT) dengan integrasi perangkat seluler untuk pemantauan *real-time*.
- Menggabungkan tiga parameter fisiologis yaitu saturasi oksigen, pola napas, dan tekanan ekspirasi dalam satu platform pemantauan menyeluruh.
- Menerapkan metode inferensi Fuzzy Sugeno untuk klasifikasi otomatis tingkat keparahan apnea.
- Menyediakan solusi deteksi apnea yang portabel dan aplikatif untuk kebutuhan rumah tangga maupun layanan kesehatan primer.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada perancangan serta evaluasi sistem pemantauan kesehatan untuk mendeteksi tingkat keparahan apnea pada balita. Pendekatan yang digunakan menggabungkan metode deskriptif untuk memperoleh pemahaman mengenai kondisi fisiologis balita dengan gejala apnea, serta metode eksperimental untuk menilai akurasi sistem dalam mengklasifikasikan tingkat keparahan apnea. Sistem yang dirancang memantau tiga parameter penting, yaitu saturasi

oksigen, pola pernapasan, dan tekanan hembusan napas, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kondisi respirasi. Sebelum ditampilkan, Gambar 1 dijelaskan sebagai alur penelitian yang menggambarkan seluruh tahapan mulai dari pengumpulan literatur hingga analisis data.



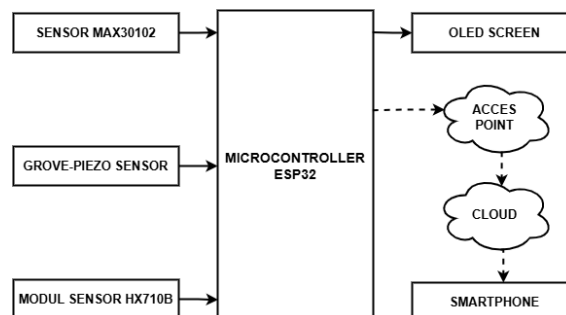
Gambar 1. Alur penelitian.

Tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut.

- a. Studi Literatur
Mengkaji teori, penelitian terdahulu, serta teknologi pendukung untuk menjadi dasar perancangan sistem deteksi apnea.
- b. Pengujian Sensor
Melakukan pengujian awal pada sensor saturasi oksigen, pola napas, dan tekanan napas guna memastikan ketepatan dan konsistensi pembacaan data.
- c. Pengujian Fungsional
Mengevaluasi integrasi sensor, mikrokontroler, rangkaian perangkat keras, dan perangkat lunak agar sistem bekerja sesuai rancangan.
- d. Validasi Sistem
Membandingkan keluaran sistem dengan standar medis atau instrumen pembanding untuk mengukur tingkat akurasi dan reliabilitas.
- e. Pengujian Secara Nyata
Menerapkan sistem pada lima balita sebagai subjek penelitian guna menilai performanya dalam kondisi nyata.
- f. Analisis Data
Mengolah dan menafsirkan data hasil pengujian untuk mengevaluasi efektivitas sistem serta menyusun kesimpulan penelitian.

2.1. Blok Diagram Sistem

Sebelum ditampilkan, Gambar 2 dijelaskan sebagai ilustrasi arsitektur sistem yang menunjukkan hubungan antarkomponen, alur data sensor, serta proses pengiriman data ke aplikasi *mobile*.



Gambar 2. Blok diagram sistem.

Gambar 2 menunjukkan arsitektur sistem pemantauan apnea yang memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data dari tiga jenis sensor. Sensor MAX30102 digunakan untuk mengukur saturasi oksigen (SpO_2) dan denyut nadi balita. Sensor piezoelektrik mendeteksi pola napas melalui perubahan tegangan yang muncul akibat gerakan dada. Sensor HX710B berfungsi mengukur tekanan hembusan napas untuk melihat kestabilan fungsi respirasi.

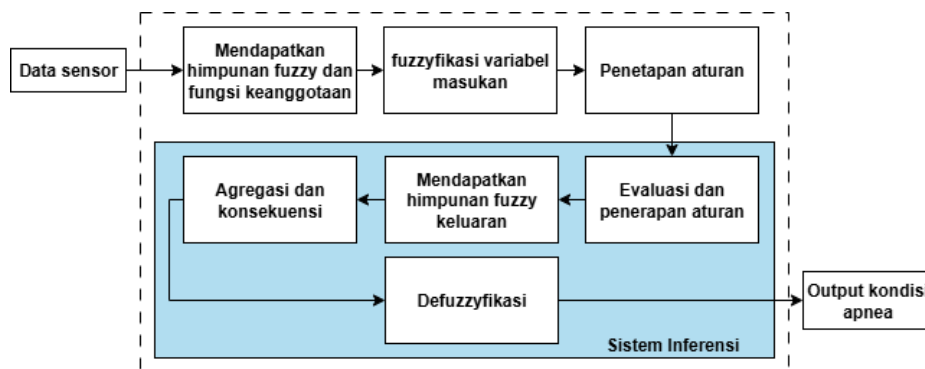
Seluruh data dari ketiga sensor dikumpulkan dan diproses oleh ESP32. Informasi hasil pemantauan ditampilkan secara lokal melalui layar OLED dan dikirim ke aplikasi *mobile* melalui dua mode koneksi, yaitu:

- Access Point*, apabila pengguna berada pada jaringan lokal.
- Firestore *Realtime Database*, apabila pemantauan dilakukan jarak jauh melalui koneksi internet.

Aplikasi *mobile* ini memungkinkan orang tua atau tenaga kesehatan memantau kondisi balita secara berkelanjutan serta menerima peringatan dini apabila terdeteksi indikasi apnea atau penurunan saturasi oksigen.

2.2 Blok Diagram Sistem Fuzzy

Sebelum ditampilkan, Gambar 3 dipaparkan sebagai representasi proses pengolahan logika Fuzzy yang menghasilkan keluaran berupa klasifikasi tingkat apnea.



Gambar 3. Blok diagram sistem Fuzzy.

Gambar 3 menggambarkan alur inferensi Fuzzy yang digunakan untuk mendeteksi kondisi apnea. Proses dimulai dari akuisisi tiga parameter sensor (saturasi oksigen, pola napas, dan tekanan ekspirasi). Data tersebut kemudian melalui tahap fuzzifikasi untuk mengubah nilai numerik menjadi variabel linguistik. Selanjutnya, sistem menerapkan aturan *if-then* berdasarkan basis pengetahuan yang telah disusun. Tahap akhir berupa defuzzifikasi menghasilkan nilai tegas yang merepresentasikan kategori tingkat keparahan apnea.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil penelitian serta pembahasan yang dilakukan secara komprehensif. Penyajian hasil dituangkan dalam bentuk tabel, gambar, dan narasi analitis agar memudahkan pembaca dalam memahami temuan penelitian sebagaimana direkomendasikan pada. Untuk penelitian berbasis perancangan, pembahasan diawali dengan evaluasi komponen utama sebelum masuk pada performa sistem secara keseluruhan.

3.1 Pengujian Sensor

Tahap awal penelitian berfokus pada pengujian sensor guna memastikan ketepatan dan konsistensi data fisiologis yang direkam. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan perangkat medis terverifikasi yaitu *pulse oximeter* untuk saturasi

oksigen, metode manual untuk frekuensi napas, serta manometer untuk tekanan ekspirasi. Setiap sensor diuji pada lima subjek dengan sepuluh kali pengulangan agar data yang diperoleh bersifat reliabel.

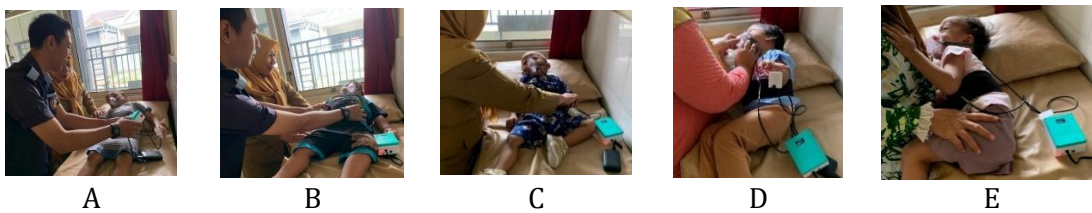
Tabel 1. Hasil kalibrasi sensor.

Sensor	Alat Referensi	Error (%)	Akurasi (%)
MAX30102	<i>pulse oximeter</i>	0.2	99.8
Grove-Piezo	Pengukuran Manual	1.1	98.9
HX710B	Manometer	0.9	99.1

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa sensor MAX30102 memiliki akurasi tertinggi, yaitu 99,8%, sementara HX710B mencapai 99,1%, dan Grove-Piezo 98,9%. Temuan ini membuktikan bahwa seluruh sensor mampu memberikan rekaman data yang stabil dan akurat. Dengan akurasi tersebut, sistem memperoleh fondasi perangkat keras yang kuat untuk mendukung deteksi apnea secara *real-time* menggunakan metode Fuzzy Sugeno.

3.2. Pengujian Secara Nyata

Pengujian lapangan dilakukan untuk menilai performa sistem dalam kondisi nyata. Lima subjek balita berusia 3–5 tahun dipantau dalam lingkungan yang terkontrol. Tiga parameter fisiologis, yaitu saturasi oksigen (SpO₂), respiratory rate (RR), dan tekanan hembusan napas, direkam dan diproses oleh mikrokontroler ESP32. Data tersebut ditampilkan melalui layar OLED serta dikirim ke Firebase *Realtime Database* untuk pemantauan jarak jauh.



Gambar 4. Proses pengujian sistem deteksi Apnea pada subjek balita A, B, C, D, dan E oleh tenaga peneliti di fasilitas kesehatan.

Hasil pengukuran dan validasi tenaga medis pada masing-masing subjek disajikan secara berurutan pada Tabel 2 hingga Tabel 6. Tabel-tabel tersebut mencakup waktu pengambilan data, parameter fisiologis, keluaran sistem, serta status aktual yang ditetapkan oleh tenaga medis.

Tabel 2. Hasil pengujian parameter fisiologis subjek balita A dan validasi sistem deteksi Apnea.

Pengujian Subjek Balita A					
SpO ₂ (%)	RR (BPM)	Expiratory Air Pressure (kPa)	Prediksi	Aktual	
98	28	1.30	Normal	Normal	
97	30	1.25	Normal	Normal	
96	26	1.20	Normal	Normal	
99	27	1.35	Normal	Normal	
98	25	1.40	Normal	Normal	
97	29	1.30	Normal	Normal	
98	24	1.45	Normal	Normal	
100	23	1.50	Normal	Normal	
97	26	1.10	Normal	Normal	

Pengujian Subjek Balita A					
SpO2 (%)	RR (BPM)	Expiratory Air Pressure (kPa)	Prediksi	Aktual	
98	31	1.20	Normal	Normal	
96	33	1.25	Normal	Normal	
99	28	1.35	Normal	Normal	
97	27	1.15	Normal	Normal	
96	32	1.40	Normal	Normal	
98	27	1.31	Normal	Normal	

Analisis Tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh parameter fisiologis subjek A berada dalam rentang normal. Sistem mengklasifikasikan seluruh data sebagai normal, dan hasil tersebut konsisten dengan observasi tenaga medis. Nilai rata-rata yang diperoleh adalah SpO₂ 97%, RR 27 BPM, dan tekanan ekspirasi 1,31 kPa.

Tabel 3. Hasil pengujian parameter fisiologis subjek balita B dan validasi sistem deteksi Apnea.

Pengujian Subjek Balita B					
SpO2 (%)	RR (BPM)	Expiratory Air Pressure (kPa)	Prediksi	Aktual	
96	32	1.40	Normal	Normal	
98	34	1.20	Normal	Normal	
97	30	1.25	Normal	Normal	
100	29	1.35	Normal	Normal	
99	26	1.50	Normal	Normal	
97	28	1.45	Normal	Normal	
96	24	1.30	Normal	Normal	
98	27	1.10	Normal	Normal	
100	31	1.25	Normal	Normal	
99	22	1.35	Normal	Normal	
97	25	1.40	Normal	Normal	
96	30	1.50	Normal	Normal	
98	28	1.20	Normal	Normal	
100	29	1.15	Normal	Normal	
97	33	1.30	Normal	Normal	

Seluruh data fisiologis pada subjek B juga berada dalam kisaran normal. Sistem mengidentifikasi seluruh data sebagai normal dan hasilnya sejalan dengan validasi medis. Nilai rata-rata yang diperoleh yaitu SpO₂ 97%, RR 28 BPM, dan tekanan ekspirasi 1,32 kPa.

Tabel 4. Hasil pengujian parameter fisiologis subjek balita C dan validasi sistem deteksi Apnea.

Pengujian Subjek Balita C					
SpO2 (%)	RR (BPM)	Expiratory Air Pressure (kPa)	Prediksi	Aktual	
98	25	1.45	Normal	Normal	

Pengujian Subjek Balita C				
SpO2 (%)	RR (BPM)	Expiratory Air Pressure (kPa)	Prediksi	Aktual
97	24	1.30	Normal	Normal
96	26	1.20	Normal	Normal
98	27	1.35	Normal	Normal
99	28	1.25	Normal	Normal
96	29	1.15	Normal	Normal
100	30	1.10	Normal	Normal
97	31	1.35	Normal	Normal
98	22	1.40	Normal	Normal
99	23	1.50	Normal	Normal
97	24	1.30	Normal	Normal
98	25	1.40	Normal	Normal
100	26	1.45	Normal	Normal
97	27	1.50	Normal	Normal
98	28	1.35	Normal	Normal

Tabel 4 menunjukkan seluruh data berada pada kondisi normal dan konsisten dengan hasil pemeriksaan tenaga medis. Nilai rata-rata parameter pada subjek C yaitu SpO₂ 97%, RR 26 BPM, dan tekanan ekspirasi 1,34 kPa.

Tabel 5. Hasil pengujian parameter fisiologis subjek balita D dan validasi sistem deteksi Apnea.

Pengujian Subjek Balita D				
SpO2 (%)	RR (BPM)	Expiratory Air Pressure (kPa)	Prediksi	Aktual
96	32	1.20	Normal	Normal
98	33	1.25	Normal	Normal
97	35	1.30	Normal	Normal
99	34	1.40	Normal	Normal
100	36	1.35	Normal	Normal
98	37	1.45	Normal	Normal
96	38	1.50	Normal	Normal
97	40	1.48	Normal	Normal
98	39	1.43	Normal	Normal
96	36	1.30	Normal	Normal
97	35	1.25	Normal	Normal
99	34	1.30	Normal	Normal
98	33	1.15	Normal	Normal
97	31	1.10	Normal	Normal
99	30	1.05	Normal	Normal

Pada subjek D, seluruh data juga dikategorikan normal baik oleh sistem maupun tenaga medis. Nilai rata-rata parameter adalah SpO₂ 97%, RR 35 BPM, dan tekanan ekspirasi 1,31 kPa.

Tabel 6. Hasil pengujian parameter fisiologis subjek balita E dan validasi sistem deteksi Apnea.

Pengujian Subjek Balita E				
SpO2 (%)	RR (BPM)	Expiratory Air Pressure (kPa)	Prediksi	Aktual
97	29	1.20	Normal	Normal
93	19	1.05	Ringan	Normal
94	19	1.01	Ringan	Normal
98	30	1.30	Normal	Normal
99	32	1.40	Normal	Normal
97	31	1.20	Normal	Normal
94	20	1.00	Ringan	Normal
97	29	1.15	Normal	Normal
98	30	1.35	Normal	Normal
99	31	1.45	Normal	Normal
94	20	1.05	Ringan	Normal
97	28	1.10	Normal	Normal
98	29	1.25	Normal	Normal
99	31	1.30	Normal	Normal
97	30	1.20	Normal	Normal

Pada subjek E, sistem mengidentifikasi empat data sebagai apnea ringan, meskipun tenaga medis menyatakan seluruhnya masih dalam batas normal. Keempat data tersebut berada pada nilai batas bawah normal, sehingga memicu sensitivitas sistem. Rata-rata parameter subjek E adalah SpO₂ 96%, RR 27 BPM, dan tekanan ekspirasi 1,20 kPa.

3.3. Evaluasi Sistem Menggunakan *Confusion Matrix*

Evaluasi performa sistem dilakukan menggunakan *confusion matrix*, salah satu metode evaluasi paling umum dalam penelitian klasifikasi. Tabel 7 merangkum hasil evaluasi berdasarkan total 75 data uji.

Tabel 7. *Confusion matrix* hasil evaluasi sistem.

Prediksi\Aktual	Apnea (Aktual)	Normal (Aktual)
Apnea (Prediksi)	TP = 0	FP = 4
Normal (Prediksi)	FN = 0	TN = 71

Penjelasan istilah:

- *True Positive (TP)*: deteksi apnea yang benar
- *False Positive (FP)*: sistem memprediksi apnea tetapi kondisi aktual normal
- *False Negative (FN)*: sistem memprediksi normal tetapi sebenarnya apnea
- *True Negative (TN)*: prediksi normal sesuai kondisi aktual

Berdasarkan Tabel 7, seluruh data aktual berada pada kondisi normal sehingga TP = 0 dan FN = 0. Sistem berhasil mengklasifikasikan 71 data sebagai normal (TN), dan empat data sebagai apnea ringan meskipun tenaga medis menyatakan kondisi tersebut normal (FP).

Perhitungan akurasi dilakukan dengan Persamaan (1):

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan memasukkan nilai ke dalam Persamaan (2):

$$Accuracy = \frac{0 + 71}{0 + 4 + 0 + 71} \times 100\% = \frac{71}{75} \times 100\% = 94.6\% \quad (2)$$

Dengan demikian, sistem memiliki tingkat akurasi sebesar 94,6%, yang menunjukkan tingkat kesesuaian yang cukup tinggi terhadap observasi tenaga kesehatan, meskipun terdapat beberapa kasus overdeteksi ringan. Berdasarkan *confusion matrix* yang disajikan pada bagian sebelumnya, sistem menunjukkan performa klasifikasi yang baik dengan tingkat akurasi mencapai 94,6%. Seluruh data yang terklasifikasi sebagai normal telah terverifikasi oleh tenaga medis (TN = 71), sementara empat data diklasifikasikan sistem sebagai apnea ringan, meskipun observasi menyatakan sebaliknya (FP = 4).

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan performa klasifikasi yang baik. Kasus *false positive* muncul karena sistem cenderung sensitif terhadap nilai parameter mendekati ambang batas. Ke depannya, penyempurnaan aturan inferensi fuzzy dan pengaturan ulang ambang batas dapat meningkatkan keseimbangan antara sensitivitas dan spesifisitas sistem.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengevaluasi sistem deteksi keparahan apnea pada balita berbasis metode Fuzzy Sugeno, dengan memanfaatkan tiga parameter fisiologis utama yang mencerminkan kondisi pernapasan, yaitu saturasi oksigen (SpO₂), pola napas, dan tekanan hembusan napas. Sistem dibangun dengan integrasi sensor MAX30102, Grove-Piezo, dan HX710B, yang diproses oleh mikrokontroler ESP32 untuk menghasilkan pemantauan real-time serta pengiriman data ke Firebase dan visualisasi melalui OLED.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor memiliki tingkat akurasi yang tinggi terhadap alat medis pembanding, dengan rata-rata akurasi di atas 98%. Evaluasi terhadap lima subjek balita menghasilkan total 75 sampel data, di mana 94,6% klasifikasi sistem sesuai dengan validasi tenaga medis. Sebanyak 71 data teridentifikasi dengan tepat sebagai kondisi normal, sementara empat data berada pada kategori false positive. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki reliabilitas yang baik, meskipun masih menunjukkan sensitivitas terhadap nilai parameter yang berada pada batas bawah normal.

Secara keseluruhan, sistem deteksi berbasis Fuzzy Sugeno ini menunjukkan potensi yang kuat sebagai solusi portabel untuk pemantauan dini gangguan pernapasan pada balita. Kemampuannya dalam memberikan pemantauan berkelanjutan dan notifikasi real-time menjadikannya relevan untuk digunakan baik di fasilitas kesehatan maupun di lingkungan rumah. Untuk meningkatkan performa klasifikasi, penyesuaian lanjutan terhadap aturan Fuzzy dan penetapan nilai ambang sangat dianjurkan agar sensitivitas dan spesifisitas sistem terhadap berbagai tingkat keparahan apnea semakin optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada RSUD Kabupaten Kediri atas dukungan dan fasilitasi yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Apresiasi yang tinggi juga disampaikan kepada dr. Budi Shanjaya selaku dokter pembimbing atas bimbingan, masukan ilmiah, serta wawasan profesional yang sangat berharga dalam pelaksanaan penelitian ini. Selain itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada Septiandi Wirayoga atas diskusi, pandangan, dan arahan yang turut berkontribusi dalam penyempurnaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A. Polytarchou et al., “An update on diagnosis and management of obstructive sleep apnoea in the first 2 years of life,” *Eur Respir Rev*, vol. 33, no. 171, p. 230121, Jan. 2024, doi: 10.1183/16000617.0121-2023.
- [2] R. K. Malhotra, “AASM Scoring Manual 3: a step forward for advancing sleep care for patients with obstructive sleep apnea,” *Journal of Clinical Sleep Medicine*, vol. 20, no. 5, pp. 835–836, May 2024, doi: 10.5664/jcsm.11040.
- [3] KEMENTERIAN KESEHATAN RI, *PROFIL KESEHATAN INDONESIA 2023*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2024.
- [4] S. Incerti Parenti, M. L. Bartolucci, A. Fiordelli, P. Gigola, C. Paganelli, and G. Alessandri-Bonetti, “The Diagnostic Accuracy of Overnight Oximetry for Pediatric Obstructive Sleep Apnea: A Systematic Review and Meta-Analysis,” *Applied Sciences*, vol. 14, no. 22, p. 10208, Nov. 2024, doi: 10.3390/app142210208.
- [5] H. Yuniarti, R. Sigit, and M. A. Rofiq, “Penerapan Fuzzy Tsukamoto pada Alat Deteksi Penyakit Hipoksemia, Hipotermia, Hipertensi, dan Diabetes untuk Health Care Kiosk,” *JAIC*, vol. 4, no. 2, pp. 163–173, Dec. 2020, doi: 10.30871/jaic.v4i2.2643.
- [6] S. Maqbool, I. S. Bajwa, S. Maqbool, S. Ramzan, and M. J. Chishty, “A Smart Sensing Technologies-Based Intelligent Healthcare System for Diabetes Patients,” *Sensors*, vol. 23, no. 23, p. 9558, Dec. 2023, doi: 10.3390/s23239558.
- [7] M. Z. Dini, A. Rakhmatsyah, and A. A. Wardana, “Detection of Oxygen Levels (SpO₂) and Heart Rate Using a Pulse Oximeter for Classification of Hypoxemia Based on Fuzzy Logic,” *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, vol. 8, no. 1, p. 17, Apr. 2022, doi: 10.26555/jiteki.v8i1.22139.
- [8] J. Honda, M. Murakawa, and S. Inoue, “Effect of averaging time and respiratory pause time on the measurement of acoustic respiration rate monitoring,” *JA Clin Rep*, vol. 9, no. 1, p. 61, Sep. 2023, doi: 10.1186/s40981-023-00654-4.
- [9] M.-F. Wu et al., “Detection Performance Regarding Sleep Apnea-Hypopnea Episodes with Fuzzy Logic Fusion on Single-Channel Airflow Indexes,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 5, p. 1868, Mar. 2020, doi: 10.3390/app10051868.
- [10] A. Pintanel, G. Dimuro, E. Borges, G. Lucca, and C. Barcelos, “Fuzzy Logic for Diabetes Predictions: A Literature Review:,” in *Proceedings of the 25th International Conference on Enterprise Information Systems, Prague, Czech Republic: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2023*, pp. 476–483. doi: 10.5220/0011851500003467.
- [11] I. Campero-Jurado et al., “Fuzzy Logic Prediction of Hypertensive Disorders in Pregnancy Using the Takagi–Sugeno and C-Means Algorithms,” *Mathematics*, vol. 12, no. 15, p. 2417, Aug. 2024, doi: 10.3390/math12152417.
- [12] U. A. Contardi, M. Morikawa, B. Brunelli, and D. V. Thomaz, “MAX30102 Photometric Biosensor Coupled to ESP32-Webserver Capabilities for Continuous Point of Care Oxygen Saturation and Heart rate Monitoring,” in *The 2nd International Electronic Conference on Biosensors*, MDPI, Oct. 2021, p. 9. doi: 10.3390/IECB2022-11114.
- [13] V. Sivalingam, J. Jayaraj, and S. H. J. Paul, “Measuring flow rate and purity in portable oxygen concentrators,” *Bull Natl Res Cent*, vol. 48, no. 1, p. 58, May 2024, doi: 10.1186/s42269-024-01209-y.