Perancangan Sistem Deteksi Penyakit Rongga Hidung Sinusitis dan Rhinitis Serta Pengukur Kepekaan Pendengaran Telinga Berbasis Mikrokontroler

M. Derio Kurniawan[1], Septriandi Wirayoga[2]

[1,2]Progam Studi Teknik Elektronika Kampus Kediri, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]mderiok6@gmail.com, [2]yoga.septriandi@polinema.ac.id

Nomor Handphone : 081249326358

Abstrak

Penelitian ini merancang sistem elektromedis berbasis Arduino Mega 2560 yang terintegrasi dengan sensor dan rangkaian audiometri untuk mendeteksi dini penyakit inflamasi rongga hidung yang dapat berpotensi memicu gangguan pendengaran konduktif. Sistem mengumpulkan data melalui pendekatan multi-sensor dengan akurasi kalibrasi sebesar 91% pada sensor AS7341 untuk analisis warna nasal mukosa, 98,17% pada sensor inframerah MLX90614 untuk mendeteksi anomali suhu wajah, serta 89% pada sensor YF-S01 untuk mengukur dinamika laju aliran udara pernapasan atau *Peak Nasal Expiratory Flow* (PNEF). Ambiguitas gejala klinis diolah menggunakan algoritma *Fuzzy Logic* metode Sugeno untuk mengklasifikasikan kondisi secara otomatis menjadi normal, rhinitis (ringan/akut), atau sinusitis (ringan/akut).

Pengujian lapangan pada 13 responden di UPTD Puskesmas Tanon Papar membuktikan bahwa algoritma sistem mampu memberikan tingkat akurasi diagnostik penyakit sebesar 92,31% saat divalidasi dengan hasil diagnosis medis pada faskes tingkat pertama. Untuk audiometri juga memiliki Tingkat akurasi yang sama, dan di uji pada 13 responden dan memiliki satu kesalahan pada frekuensi 100 hz, 1khz, 5 khz, dan 10khz. Prototipe ini menunjukkan bahwa integrasi komponen sensor digital terjangkau dan kecerdasan buatan dapat menjadi solusi alat skrining alternatif yang baik dan efektif untuk mendeteksi penyakit sinusitis dan rhinitis berdasarkan ciri ciri maupun gejala, serta mendeteksi kepekaan pendengaran dengan pengukuran tingkat desibel di frekuensi yang berbeda – beda.

Kata kunci: *Arduino Mega 2560, Audiometri, Logika Fuzzy Sugeno, Multi-sensor, Rinitis, Sinusitis, Sistem Elektromedis.*

Design of a Microcontroller-Based Detection System for Sinusitis and Rhinitis Nasal Cavity Diseases and Hearing Sensitivity Measurement

Abstract

This research designs an electromedical system based on the Arduino Mega 2560 integrated with sensors and an audiometry circuit for the early detection of nasal cavity inflammatory diseases that can potentially trigger conductive hearing loss. The system collects data through a multi-sensor approach with a calibration accuracy of 91% on the AS7341 sensor for nasal mucosa color analysis, 98.17% on the MLX90614 infrared sensor for detecting facial temperature anomalies, and 89% on the YF-S01 sensor for measuring respiratory airflow dynamics or Peak Nasal Expiratory Flow (PNEF). Clinical symptom ambiguities are processed using the Sugeno method of the Fuzzy Logic algorithm to automatically classify conditions into normal, rhinitis (mild/acute), or sinusitis (mild/acute).

Field testing on 13 respondents at UPTD Puskesmas Tanon Papar demonstrated that the system's algorithm provides a disease diagnostic accuracy rate of 92.31% when validated against medical diagnosis results at the primary healthcare facility. The audiometry testing also achieved the same level of accuracy, being tested on 13 respondents with a single error occurring at the frequencies of 100 Hz, 1 kHz, 5 kHz, and 10 kHz. This prototype demonstrates that the integration of affordable digital sensor components and artificial intelligence can serve as a viable and effective alternative screening tool to detect sinusitis and rhinitis based on their characteristics and symptoms, as well as to assess hearing sensitivity by measuring decibel levels across varying frequencies..

Keywords: *Arduino Mega 2560, Audiometry, Electromedical System, Multi-sensor, Rhinitis, Sinusitis, Sugeno Fuzzy Logic.*

1. PENDAHULUAN

Telinga Hidung Tenggorokan (THT) adalah cabang ilmu kedokteran yang menangani diagnosis, terapi medis, dan tindakan bedah untuk kelainan kepala leher khususnya telinga, hidung, tenggorokan, laring, rongga mulut, dan faring atas. Spesialis THT yang disebut dengan *otorhinolaryngologist* atau *otolaryngologist* bertanggung jawab menjaga fungsi pendengaran, penciuman, bicara, pernapasan, menelan, dan keseimbangan. Mereka menangani kasus mulai dari infeksi akut hingga penyakit kronis, tumor, sleep apnea, dan kelainan anatomi dengan teknik endoskopik, mikroskopik, dan rekonstruktif serta berkolaborasi dengan radiologi dan rehabilitasi. Dua kondisi inflamasi rongga hidung yang sering muncul adalah rhinitis dan rhinosinusitis (sinusitis). Chronic rhinosinusitis (CRS) didefinisikan sebagai peradangan mukosa hidung dan sinus paranasal yang berlangsung selama 12 minggu atau lebih, menurut pedoman Kementerian Kesehatan RI (Keputusan Menteri Kesehatan Nomor HK.01.07/MENKES/1257/2022), RSK/CRS merupakan masalah kesehatan yang signifikan dan diperkirakan mengenai sekitar 5–12% populasi umum. Sedangkan Rhinitis alergi adalah peradangan mukosa hidung yang dimediasi IgE dengan gejala bersin, hidung tersumbat, dan ingus bening, menurut publikasi Kemenkes tahun 2022 terkait rinitis alergi, prevalensi rinitis alergi di Indonesia dilaporkan berkisar sekitar 1,5–12,4% [1].

Peradangan nasal ini dapat memengaruhi telinga dan pendengaran melalui dua mekanisme utama disfungsi tuba *Eustachius* yang menyebabkan akumulasi cairan di telinga tengah dan *conductive hearing loss*). Menurut publikasi ilmiah oleh Francisco Javier Garcia-Callejo, Miguel Juantegui-Azpilicueta, María Díaz-Ferrer, Pablo Tiziano Guastella Almeida, dan John Deiver Cardona Henao (2025) dalam *Acta Otorrinolaringológica Española, chronic rhinosinusitis with nasal polyps* (CRSwNP) secara signifikan berkaitan dengan kejadian otitis media dengan efusi, perubahan tympanogram, dan kejadian *conductive hearing loss* yang lebih tinggi dibandingkan kelompok tanpa profil eosinofilik (yang mencerminkan komponen inflamasi) [2]. Temuan ini mendukung bahwa inflamasi nasal pada CRSwNP dapat mengganggu fungsi tuba Eustachius dan ventilasi telinga tengah sehingga meningkatkan risiko gangguan pendengaran konduktif (García-Callejo et al., 2025) [6]. Dengan demikian, rhinitis dan CRS bukan hanya masalah pernapasan tetapi juga berisiko menurunkan kepekaan pendengaran dan memicu tinnitus.

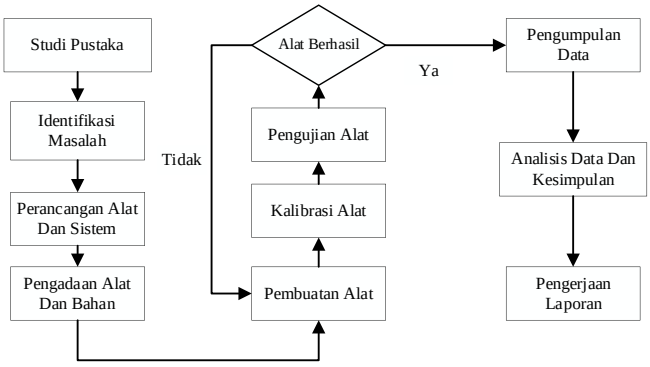
Selain pengukuran resistansi nasal berbasis *multi-sensor fusion* (Youlten et al., 2024), instrumen diagnostik modern turut memanfaatkan sensor optik untuk ekstraksi parameter visual. Penelitian oleh Maulana, Baharin, dan Fitriyah (2021) menunjukkan bahwa sistem tertanam (*embedded system*) berbasis sensor warna dengan algoritma KNN mampu mendiagnosis gangguan pernapasan dengan akurasi mencapai 88,24% [4]. Pendekatan pengolahan spektral optik ini mendasari validitas penggunaan sensor multikanal mutakhir seperti AS7341 untuk menganalisis gradasi warna lendir (*nasal mukosa*) dalam mengklasifikasikan kondisi normal, rhinitis, maupun sinusitis secara otomatis.

Banyak prototipe instrumentasi masih belum mengintegrasikan fitur tambahan seperti sensor pengklasifikasi lendir/mukosa (misalanya sensor warna untuk analisis komposisi ingus) atau modul audiometri untuk evaluasi pendengaran, sehingga cakupan diagnostiknya terbatas saat ini. Pendekatan multifungsi yang ideal akan menggabungkan beberapa hal yang berhubungan dengan gejala seperti pengukuran resistansi nasal (tekanan-aliran), PNEF (*Peak Nasal EXpiratory Flow*), parameter suhu, serta komponen audiometri dalam satu platform terintegrasi, dan didukung oleh algoritme seperti *fuzzy logic sugeno* untuk klasifikasi data dan keputusan diagnostik. Walaupun penelitian tentang *fuzzy logic* sudah banyak digunakan dalam diagnosa THT modern, termasuk untuk diagnosis berbasis aplikasi (*Kartika*, 2020) [5]. Pengembangan ini mengintegrasikan klasifikas ingus, pengukuran PNEF (Peak Nasal Espiratory Flow), peningkatan suhu, dan audiometri dalam satu alat, disertai system pengolahan data *fuzzy logic* metode *sugeno*.

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian merupakan metode penelitian yang sesuai dengan keluaran yang dihasilkan. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Research* dan *Development* atau riset dan pengembangan. Tujuan dari penelitian adalah pengembangan alat atau penelitian yang sudah ada atau dapat djadikan solusi melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, pengujian, dan evaluasi, sehingga prototipe yang dihasilkan memiliki tingkat validitas dan efektivitas yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Metode ini sesuai dengan judul yang diangkat dan juga tujuan penelitian yakni mengembangkan peralatan atau penelitian yang sudah ada sebelumnya. Pada penelitian yang akan dilakukan ditujukan untuk merancang alat yang dapat mendeteksi penyakit rongga hidung Sinusitis dan Rhintis, dan serta menguji tentang pengaruhnya terhadap kepekaan pendengaran telinga. Metode penelitian yang diterapkan dalam proyek ini mengikuti alur yang terstruktur, dimulai dari identifikasi masalah hingga penyusunan laporan. Tahapan penelitian yang akan dilakukan dalam pembuatan sistem ditunjukkan pada gambar 2.1

2.1 Tahapan Penelitian

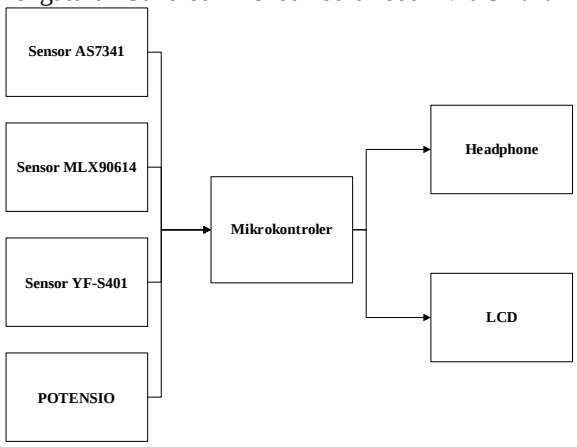


Gambar 1. Tahapan Penelitian

Gambar 2.1 tahapan penelitian yang akan dilakukan dalam pembuatan sisttem dimulai dengan studi pustaka untuk mengumpulkan data data permasalah pada bidang THT, setelahnya dilakukan identifikasi masalah terkait dengan penyakit sinusitis maupun rhinitis, dilanjutkan dengan perancangan alat dan sistem, lalu pengadaan alat dan bahan yang kemudian ke pembuatan alat, setelah alat dibuat maka akan dilakukan proses kalibrasi, yang setelahnya dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan pada instansi medis seperti Puskesmas maupun langsung kepada responden yang terkena penyakit sinusitis maupun rhinitis Jika alat berhasil maka akan lanjut ke pengumpulan data, jika tidak maka akan kembali ke proses pembuatan. Setelah data terkumpul maka akan dilanjutkan ke analisa dan pembuatan laporan akhir.

2.2. Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 2.2 menunjukkan diagram blok sistem yang akan dikembangkan dalam penelitian dengan judul Dispenser Otomatis dengan Pengaturan Suhu dan Kendali Jarak Jauh Via *Smart Phone.*



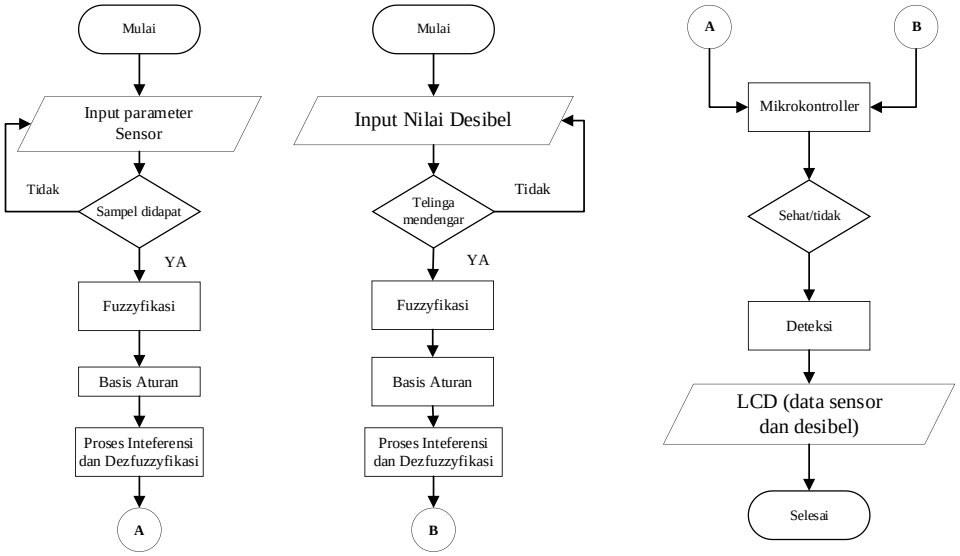
Gambar 2. Blok diagram sistem

Diagram blok rancangan sistem terdiri dari mikrokontroler sebagai otak, mikrokontrolernya ialah Arduino Mega 2560. Lalu ada 4 input yakni Sensor AS7341 yang digunakan untuk mendeteksi warna ingus, sensor MLX90614 yang digunakan untuk mendeteksi suhu permukaan wajah, Sensor YF-S401 yang digunakan untuk membaca *Expiration Nasal Flow* (ENF), serta potensio yang digunakan untuk mengatur DB (Desibel) pada audiometri. Keluaran dari Mikrokontroler berupa Headphone yang digunakan untuk memerikasa telinga pasien apakah tuli atau tidak, LCD yang digunakan untuk menampilkan hasil secara keseluruhan. Semua dihubungkan dalam satu box, sehingga bentuknya lebih ringkas dan dapat dibawa dengan mudah.

2.3 Flowchart Alur Kerja Sistem

Rancangan alur kerja sistem (*flowchart*) pada gambar 2.3 menjalankan seluruh pemrosesan data menggunakan Sistem Logika Fuzzy Metode Sugeno. Cara kerja alat ini terbagi menjadi dua sub-sistem utama yang diproses secara simultan oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560, yaitu sistem deteksi penyakit rongga hidung dan sistem audiometri. Pada sistem deteksi penyakit, saat alat dinyalakan, seluruh sensor masukan—meliputi sensor warna AS7341, sensor suhu MLX90614, dan sensor laju aliran udara YF-S01—secara otomatis menginput data pembacaan sebagai parameter utama. Setelah sampel data terkumpul, sistem melakukan proses

fuzzifikasi untuk menentukan derajat keanggotaan dari masing-masing variabel masukan. Selanjutnya, data diteruskan ke basis aturan (*rule base*) untuk melalui proses inferensi menggunakan aturan *IF-THEN*. Tahap berikutnya adalah defuzzifikasi Sugeno dengan metode rata-rata berbobot (*weighted average*) untuk menghasilkan nilai keluaran tegas (*crisp output*).



Gambar 3. Flowchart Sistem

Sub-sistem kedua adalah sistem audiometri yang dimulai dengan menginput nilai desibel pada frekuensi menggunakan nada murni (*pure tone*). Penentuan ambang dengar dilakukan dengan memeriksa pada nilai desibel berapa pasien atau orang yang diperiksa mampu mendengar keluaran audio melalui *headset*. Data desibel tersebut kemudian diproses melalui tahap fuzzifikasi, basis aturan, inferensi, dan defuzzifikasi Sugeno.

Seluruh hasil pemrosesan logika fuzzy dikonsolidasikan oleh mikrokontroler untuk menentukan keputusan diagnosis. Jika kondisi pasien berada pada rentang parameter sehat, maka status akan terdeteksi Normal. Namun, jika terdeteksi indikasi sakit, status klasifikasi penyakit rongga hidung akan menampilkan Sinusitis, Rhinitis, atau Penyakit Lain (apabila ada indikasi sakit di luar kriteria sinusitis dan rhinitis). Hal serupa diterapkan pada sistem audiometri untuk mengklasifikasikan kondisi pendengaran menjadi Normal, Tuli Ringan, atau Tuli Berat. Seluruh hasil pembacaan parameter sensor dan keputusan diagnostik akhirnya ditampilkan secara *real-time* pada LCD 20×4.

2.3.1 Varibel Keanggotaan

variabel input dan output yang akan dimasukkan ke sistem fuzzy; tiap variabel diberi istilah linguistik yang mewakili kondisi klinis, dan dalam alat ialah sebagai berikut :

- Bebas (Input)**:** Warna lendir Ingus, Suhu permukaan wajah, PNEF, Ambang dengar
- Terikat (Output**)**: Status deteksi penyakit rongga hidung, dan tingkat desibel yang diterima telinga.
- Kontrol**:** Nilai variabel *Fuzzy Logic.*

2.3.2 Fungsi Keanggotaan

Data fungsi keanggotaan fuzzy merupakan range pembacaan sensor dalam menentukan kalsifikasi variable yang akan dipakai untuk output pembacaan sensor, untuk ukurannya diambil dari datasheet dan disesuikan kembali. Pembacaan ini dipengaruhi oleh lingkungan dan juga konsidi sensor. Untuk uraiannya sebagai berikut :

A. Warna (Sensor AS7341)

$$\mu_{c_bening}(c) = \begin{cases} \frac{c-10750}{1250}, & 10750 < c < 12000 \\ 1, & c \geq 12000 \end{cases}, \quad \mu_{s_bening}(s) = \begin{cases} 1, & s \leq 0.10 \\ \frac{0.20-s}{0.10}, & 0.10 < s < 0.20 \\ 0, & s \geq 0.20 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{bening} = \min(\mu_{c_bening}, \mu_{s_bening}), \quad S_{bening} = \mu_{bening}$$

$$\mu_{c_putih}(c) = \begin{cases} \frac{10500-c}{2000}, & 8500 < c < 10500 \\ 0, & c \geq 10500 \end{cases}, \quad \mu_{s_putih}(s) = \begin{cases} 1, & s \leq 0.08 \\ \frac{0.16-s}{0.08}, & 0.08 < s < 0.16 \\ 0, & s \geq 0.16 \end{cases} \qquad (2)$$

$$\mu_{putih} = \min(\mu_{c_putih}, \mu_{s_putih}), \quad S_{putih} = (1 - \mu_{bening}) \times \mu_{putih}$$

$$\mu_{level_kuning}(n_{kuning}) = \begin{cases} 0, & n \leq 0.02 \\ \frac{n - 0.02}{0.04}, & 0.02 < n \leq 0.06 \\ 1, & n > 0.06 \end{cases}, \quad \mu_{selisih_kuning}(\Delta_{kuning}) \qquad (3)$$

$$= \begin{cases} 0, & \Delta \leq 0.0 \\ \frac{\Delta}{0.03}, & 0.0 < \Delta \leq 0.03 \\ 1, & \Delta > 0.03 \end{cases}$$

$$\mu_{kuning} = \min(\mu_{level_kuning}, \mu_{selisih_kuning}), \quad S_{kuning} = (1 - \mu_{bening}) \times (1 - \mu_{putih}) \times \mu_{kuning}$$

$$\mu_{level_hijau}(n_{hijau}) = \begin{cases} 0, & n \leq 0.02 \\ \frac{n - 0.02}{0.04}, & 0.02 < n \leq 0.06 \\ 1, & n > 0.06 \end{cases}, \quad \mu_{selisih_hijau}(\Delta_{hijau})$$

$$= \begin{cases} 0, & \Delta \leq 0.0 \\ \frac{\Delta}{0.03}, & 0.0 < \Delta \leq 0.03 \\ 1, & \Delta > 0.03 \end{cases} \qquad (4)$$

$$\mu_{hijau} = \min(\mu_{level_hijau}, \mu_{selisih_hijau}), \quad S_{hijau} = (1 - \mu_{bening}) \times (1 - \mu_{putih}) \times \mu_{hijau}$$

B. Selisih Suhu Wajah (Sensor MLX90614)

Variabel masukan: $x = \Delta Suhu = |T_{\text{objek 2}} - T_{\text{objek 1}}|$.

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0.5 \\ \frac{1.5 - x}{1.0}, & 0.5 < x < 1.5 \\ 0, & x \geq 1.5 \end{cases} \qquad (1)$$

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.5 \text{ atau } x \geq 3.0 \\ \frac{x - 0.5}{1.0}, & 0.5 < x < 1.5 \\ 1, & 1.5 \leq x \leq 2.0 \\ \frac{3.0 - x}{1.0}, & 2.0 < x < 3.0 \end{cases} \qquad (2)$$

$$:\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2.0 \\ \frac{x-2.0}{2.0}, & 2.0 < x < 4.0 \\ 1, & x \geq 4.0 \end{cases} \qquad (3)$$

C. Laju Aliran Udara / PNEF (Sensor YF-S01)

$$\mu_{rendah}(enf) = \begin{cases} 1, & enf \leq 6.0 \\ \dfrac{10.0 - enf}{4.0}, & 6.0 < enf < 10.0 \\ 0, & enf \geq 10.0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{sedang}(enf) = \begin{cases} 0, & enf \leq 6.0 \text{ atau } enf \geq 14.0 \\ \dfrac{enf - 6.0}{4.0}, & 6.0 < enf < 10.0 \\ 1, & 10.0 \leq enf \leq 12.0 \\ \dfrac{14.0 - enf}{2.0}, & 12.0 < enf < 14.0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{tinggi}(enf) = \begin{cases} 0, & enf \leq 8.0 \\ \dfrac{enf - 8.0}{4.0}, & 8.0 < enf < 12.0 \\ 1, & enf \geq 12.0 \end{cases} \quad (3)$$

D. Ambang Dengar Audiometri (db_{HL})

$$\mu_{normal}(db) = \begin{cases} 1, & db \leq 20.0 \\ \dfrac{35.0 - db}{15.0}, & 20.0 < db \leq 35.0 \\ 0, & db > 35.0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{ringan}(db) = \begin{cases} 0, & db \leq 20.0 \text{ atau } db \geq 55.0 \\ \dfrac{db - 20.0}{15.0}, & 20.0 < db < 35.0 \\ 1, & 35.0 \leq db \leq 45.0 \\ \dfrac{55.0 - db}{10.0}, & 45.0 < db < 55.0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{berat}(db) = \begin{cases} 0, & db \leq 35.0 \\ \dfrac{db - 35.0}{20.0}, & 35.0 < db < 55.0 \\ 1, & db \geq 55.0 \end{cases} \quad (3)$$

2.3.3 Rules based dan inteferensi

Rules Based (basis aturan) merupakan aturan yang dipenuhi dalam proses fuzzy, dan metode Sugeno menghasilkan output crisp sebagai gabungan basis aturan ini. Data pada inteferensi atau gabungan aturannya diambil dari Kesimpulan berdasarkan literatur gejala, dan ukuran pembacaan medis. yakni sebagai berikut :

- R1: IF Warna = BENING AND $\Delta Suhu$ = RENDAH AND ENF = TINGGI THEN Output = NORMAL
- R2: IF Warna = BENING AND $\Delta Suhu$ = RENDAH AND ENF = SEDANG THEN Output = NORMAL
- R3: IF Warna = PUTIH AND $\Delta Suhu$ = SEDANG AND ENF = TINGGI THEN Output = RHINITIS RINGAN
- R4: IF Warna = KUNING AND $\Delta Suhu$ = RENDAH AND ENF = TINGGI THEN Output = RHINITIS RINGAN
- R5: IF Warna = PUTIH AND $\Delta Suhu$ = SEDANG AND ENF = RENDAH THEN Output = RHINITIS AKUT
- R6: IF Warna = PUTIH AND $\Delta Suhu$ = TINGGI AND ENF = RENDAH THEN Output = RHINITIS AKUT

- R7: IF Warna = KUNING AND $\Delta Suhu$ = SEDANG AND ENF = SEDANG THEN Output = SINUSITIS RINGAN
- R8: IF Warna = KUNING AND $\Delta Suhu$ = RENDAH AND ENF = RENDAH THEN Output = SINUSITIS RINGAN
- R9: IF Warna = HIJAU AND $\Delta Suhu$ = SEDANG AND ENF = SEDANG THEN Output = SINUSITIS RINGAN
- R10: IF Warna = KUNING AND $\Delta Suhu$ = TINGGI AND ENF = RENDAH THEN Output = SINUSITIS AKUT
- R11: IF Warna = HIJAU AND $\Delta Suhu$ = TINGGI AND ENF = RENDAH THEN Output = SINUSITIS AKUT
- R12: IF (Warna = BENING OR PUTIH) AND $\Delta Suhu$ = TINGGI AND ENF = RENDAH THEN Output = PENYAKIT LAIN
- R13: IF $Score_{\text{telinga}} < 20$ THEN Output = NORMAL
- R14: IF $20 \leq Score_{\text{telinga}} < 70$ THEN Output = RINGAN
- R15: IF $Score_{\text{telinga}} \geq 70$ THEN Output = BERAT

2.3.5 Dezfuzzyfikasi

Defuzzifikasi Sugeno menggabungkan kontribusi semua aturan fuzzy yang aktif dengan cara *rata-rata berbobot* (weighted average). Setiap aturan i memiliki *firing strength* w_i(weight), dan sebuah consequent numerik z_i(konstanta atau fungsi linear). Output crisp dihitung sebagai rata-rata tertimbang dari semua consequent. Untuk rumusnya yaknai :

$$Output = \frac{\sum_i \omega_i Z_i}{\sum_i \omega_i}$$

di mana $w_i$adalah derajat kekuatan aturan (dari fungsi keanggotaan input) dan $z_i$nilai konstanta hasil aturan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Alat



Gambar 4 Hasil perakitan alat

Hasil alat terlihat pada gambar 3.1, casignya menggunakan box plastik, ada 2 lampu indikator yakni merah yang menandakan normal, dan kuning yang menandakan error, ada saklar untuk menyalakan alat, fuse sebagai pengaman, plug headset untuk menghubungkan headset dengan alat, serta kabel sensor, terdapat juga LCD serta Potensiometer untuk mengatur volume desibelnya. Untuk sensor yang berada diluar ialah sensor PNEF dan sensor suhu, untuk warnanya berada pas dikotak bolong dengan posisi tengah.

3.2. Hasil Penelitian

3.2.1 Hasil Kalibrasi Sensor dan Audiometri

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi alat dan pembacaan sensor sebelum ke tahap pengujian, untuk memastikan apakah sensor berjalan dengan baik atau tidak. Kalibrasi sensor dilakukan dengan memperhatikan kegunaannya [6]. Untuk sensor warna, dikalibrasi dengan carian atau benda padat yang warnanya sama dengan ingus. Suhu dikalibrasi dengan termogun, dan pnef serta audiometri, dikalibrasi sesuai kebutuhan dan disesuaikan dengan datasheet. Dan berikut ialah hasil hasilnya.

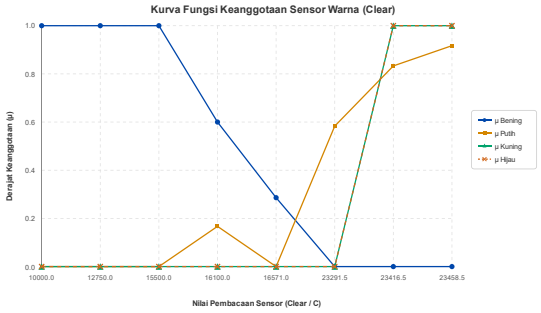
A. Hasil Kalibrasi Sensor warna

Proses kalibrasi sensor warna dilakukan dengan meletakkan objek diatas kaca pada kotak, objek tersebut berupa cairan yang memiliki warna mirip dengan lendir ingus saat terkena kondisi sinusitis maupun rhinitis. Dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Kalibrasi sensor warna

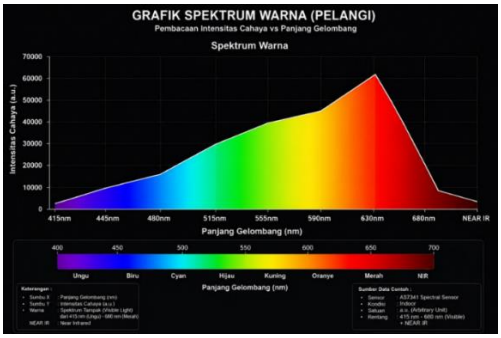
No	warna objek	nilai pembacaan	μ bening	μ putih	μ kuning	μ hijau	hasil
1	Bening	10000.0	1.000	0.000	0.000	0.000	Bening
2	Bening	16100.0	0.600	0.167	0.000	0.000	Bening
3	Putih	23291.5	0.000	0.583	0.000	0.000	Putih
4	Kuning	23458.5	0.000	0.917	1.000	0.000	Kuning
5	Kuning	23416.5	0.000	0.833	1.000	0.000	Kuning
6	Hijau	23458.5	0.000	0.917	0.571	1.000	Hijau
7	Hijau	23416.5	0.000	0.833	0.286	1.000	Hijau
8	Bening	16571.0	0.286	0.000	0.000	0.000	Bening
9	Bening	15500.0	1.000	0.000	0.000	0.000	Bening
10	Bening	12750.0	1.000	0.000	0.000	0.000	Bening

Dari tabel diatas maka didapat grafik sebagai berikut.



Gambar 5 Grafik kalibrasi sensor warna

Hasil kalibrasi sensor warna menunjukkan sistem mampu mengidentifikasi empat kelas warna (bening, putih, kuning, dan hijau). Namun, evaluasi pada area transisi memperlihatkan sensitivitas terhadap *noise* yang memicu ketidakpastian klasifikasi. Pada Sampel 2 (pembacaan 16100.0), sistem mengklasifikasikan "Bening" dengan derajat keanggotaan $\mu_{\text{bening}} = 0.600$ dan $\mu_{\text{putih}} = 0.167$, di mana selisih margin yang sempit membuatnya rentan bergeser ke kelas "Putih". Sementara itu, pada Sampel 3 (pembacaan 23291.5), sistem menghasilkan $\mu_{\text{putih}} = 0.583$, yang termasuk dalam kategori *low-confidence classification* karena berada di bawah ambang batas keyakinan 0.60. Dan utnuk simulasi pembacaan warnanya sebagai berikut.



Gambar 6 simulasi warna

Dalam proses kalibrasi sensor warna terdapat pula kaca mirkropskop yang memiliki indeks pantulan Cahaya yang sangat kecil, sehingga cahaya akan langsung diteruskan ke objek dan tidak mengakibatkan *surface scattering*. Hal ini selaras dengan penelitian sun dkk tentang kekerasan material yang mempengaruhi tingkat pembacaan

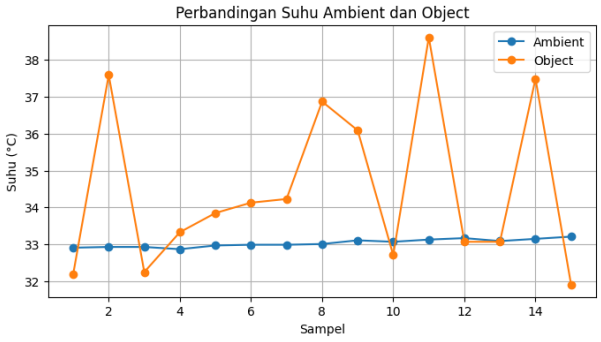
sensor warna [7]. Dan untuk mengatasi viskositsas atau kekentalan cairan, maka harus pada bagian spreed harus di optimalkan dan juga di sesuikan. Hal ini sesuai dengan penelitian Wijaya dan Saputra (2024) bahwa keterbatasan spectral dapat memicu output pembacaan sensor [8]. Dan dalam alat ini menggunakan sensor as7341 sebagai sensor warna, hal ini mengenai integrasi sensor multispektral, di mana normalisasi fraksional dan ekstraksi rentang channel pita sempit terbukti krusial untuk menghasilkan analisis kolorimetri analitik yang kebal terhadap anomali intensitas pencahayaan [9]

B. Hasil Kalibrasi Sensor Suhu

Kalibrasi Sensor suhu dilakukan dengan mengarahkan sensor ke dahi ataupun bagian tubuh lainnya seperti leher, untuk mendapatkan suhu refrensi, lalu di kunci, kemudian mengarahkan ke bagian rongga sinus, maupun hidung, kemudian dikunci untuk keduanya, dan didapat delta atau selisihnya. Dengan hasil kalibrasi berupa tabel dan grafik sebagai berikut.

Tabel 2 Hasil kalibrasi sensor suhu

No	Suhu Ambient	Suhu Objek	selisih	Rendah	Sedang	Tinggi	status
1	32,29	32,19	0,	1	0	0	RENDAH
2	32,93	37,59	4,66	0	0	1	TINGGI
3	32,93	32,25	0,68	1	0	0	RENDAH
4	32,99	34,23	1,24	0,76	0,24	0	RENDAH
5	33,01	36,87	3,86	0	0,14	0,86	TINGGI
6	34,55	36,09	1,54	0	1	0	SEDANG
7	33,07	32,71	0,36	1	0	0	RENDAH
8	33,13	38,61	5,48	0	0	1	TINGGI
9	33,17	33,07	0,1	1	0	0	RENDAH
10	33,09	33,07	0,02	1	0	0	RENDAH
11	33,15	37,49	4,34	0	0	1	TINGGI



Gambar 7 grafik kalibrasi sensor suhu

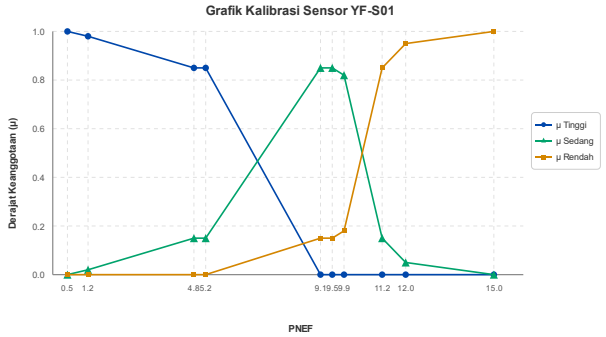
Dalam kalibrasi sensor suhu menggunakan sensor mlx90614 yang memiliki keandalan dalam membaca inframerah pada objek [10]. Dan dalam kalibrasi ini harus diperhatikan dengan FOV (*field of view*), dalam alat ini sensor menggunakan sensor mlx90614 dengan FOV 90°, hal ini mempengaruhi jarak pembacaan, yakni sensor harus diletakkan kurang lebih 3 hingga 7 cm didepan objek, jika diluar jarak ini maka pembacaan akan kurang baik. Serta, penggunaan alat ini harus berada didalam ruangan agar pembacaan suhunya lebih stabil dengan suhu ruang. Dan untuk tingkat kalibrasi dengan sensor yang dijual di market hasilnya ialah 98%. Hal ini menunjukkan sensor dapat mendeteksi suhu dengan baik.

C. Hasil Kalibrasi Sensor PNEF

Dalam proses kalibrasi PNEF yakni menggunakan sensor yf-s01, dengan meletakkan tubing selang yang terhubung dengan sensor ke hidung responden, guna mengetahui nilai maksimal dalam kondisi normal, dengan hasil tabel dan grafik sebagai berikut.

Tabel 3 Kalibrasi sensor PNEF

No	L/Min	Ket	Tinggi	Sedang	Rendah
1	0,50	Tinggi	1,00	0,00	0,00
2	1,20	Tinggi	0,98	0,02	0,00
3	4,80	Tinggi	0,85	0,15	0,00
4	5,20	Tinggi	0,85	0,15	0,00
5	9,10	Sedang	0,00	0,85	0,15
6	9,50	Sedang	0,00	0,85	0,15
7	9,90	Sedang	0,00	0,82	0,18
8	11,20	Rendah	0,00	0,15	0,85
9	12,00	Rendah	0,00	0,05	0,95
10	15.00	Rendah	0,00	0,00	1,00



Gambar 8 grafik sensor pnef

Akurasi sistem diperoleh dari rata-rata nilai derajat keanggotaan tertinggi (μ_{max}) pada 10 sampel, menghasilkan tingkat akurasi sekitar 89% yang juga dipengaruhi oleh hambatan penyesuaian fluida pada sensor. Dikarenakan sensor ini digunakan untuk air, namun dalam alat ini digunakan untuuk laju udara, sehingga perlu penyesuaian [11]. Sementara itu, konversi nilai pembacaan puncak sensor YF-S01 sebesar 15 L/min menggunakan prinsip kesebangunan dinamis fluida menghasilkan laju aliran ekspirasi napas aktual (PNEF) sebesar 124,4 L/min. Hasil kalkulasi yang telah mengompensasi perbedaan massa jenis fluida serta koefisien *slip* aerodinamis ini berada dalam rentang patensi hidung normal orang dewasa sehat (120–160 L/min), hal ini menunjukkan bahwa sensor dapat digunakan untuk membaca PNEF.

D. Hasil Kalibrasi Audiometri

Kalibrasi audiometri dilakukan dengan memainkan nada murni di 4 frekuensi guna melihat kepekaan pendengan, frekuensi yang digunakan ialah 100 hz, 1khz, 5khz, dan 10 khz. Dengan hasil kalibrasi sebagai berikut. Dan untuk desibel yang digunakan yakni 85 db. Alat ini dikalibrasi dengan headset sony mdr-xb450, lalu untuk pembacaannya disesikan dengan nilai adc, hal ini sesuai dengan penelitian msrinov (2022), bahwa penerapan algoritma linierisasi (aproksimasi) pada tahap konversi *Analog-to-Digital Converter* (ADC) terbukti krusial untuk mengompensasi sifat non-linieritas perangkat keras, sehingga meminimalkan beban memori komputasi [12], dan berikut adalah hasil kalibrasinya.

Tabel 4 Kalibrasi audiometri frkuensi 100 hz

No	Nilai Adc Puncak	Tegangan Yang Terbaca (mVac)	Tingkat Suara (Db / Hl)	Akurasi Sistem (%)
1	0	0,00	0,00 Db	94,12%
2	110	1,68	8,54 Db	95,31%
3	220	3,37	17,68 Db	95,88%
4	330	5,05	27,20 Db	94,75%
5	440	6,73	36,98 Db	95,12%
6	550	8,42	47,01 Db	93,94%
7	660	10,10	57,12 Db	94,25%
8	770	11,79	67,24 Db	93,88%
9	880	13,47	77,00 Db	94,61%
10	980	15,00	85,00 Db	95,05%

100 hz berada di rentang di bawah 250 Hz digunakan untuk mengevaluasi sistem telinga tengah (seperti *Eustachian Tube Dysfunction* atau otitis media). Gelombang ini sangat sensitif terhadap perubahan *stiffness* pada gendang telinga dan osikula.

Tabel 5 Kalibrasi audiometri frekuensi 1khz

No	Nilai Adc Puncak	Tegangan Yang Terbaca (Mvac)	Tingkat Suara (Db / Hl)	Akurasi Sistem (%)
1	0	0,00 mvac	0,00 db	94,12%
2	110	2,74 mvac	12,50 db	95,31%
3	220	5,48 mvac	25,00 db	95,88%
4	330	8,23 mvac	33,75 db	94,75%
5	440	10,97 mvac	42,50 db	95,12%
6	550	13,71 mvac	51,16 db	93,94%
7	660	16,45 mvac	59,81 db	94,25%
8	770	19,19 mvac	68,47 db	93,88%
9	880	21,94 mvac	77,13 db	94,61%
10	980	24,43 mvac	85,00 db	95,05%

Frekuensi ini sebagai frekuensi kalibrasi standar internasional (ISO 389-1) karena resonansi alami telinga manusia (meatus akustikus) memberikan redaman dan amplifikasi paling netral pada titik ini. Ini adalah frekuensi dasar (0 dB HL).

Tabel 6 Kalibrasi audiometri frekuensi 5khz

No	Nilai Adc Puncak	Tegangan Yang Terbaca (Mvac)	Tingkat Suara (Db/ Hl)	Akurasi Sistem (%)
1	0	0,00	0,00 dB	94,12%
2	110	62,70	12,16 dB	95,31%
3	220	125,39	22,36 dB	95,88%
4	330	188,09	31,88 dB	94,75%
5	440	250,78	41,06 dB	95,12%
6	550	313,48	50,07 dB	93,94%
7	660	376,18	58,82 dB	94,25%
8	770	438,87	67,41 dB	93,88%
9	880	501,57	75,82 dB	94,61%
10	980	558,57	85,00 dB	95,05%

Digunakan sebagai pelengkap kritis dalam mendeteksi *Noise-Induced Hearing Loss* (NIHL). Kerusakan sel rambut koklea akibat bising paling sering terjadi pertama kali di area 4 kHz hingga 6 kHz.

Tabel 7 Kalibrasi audiometri 10khz

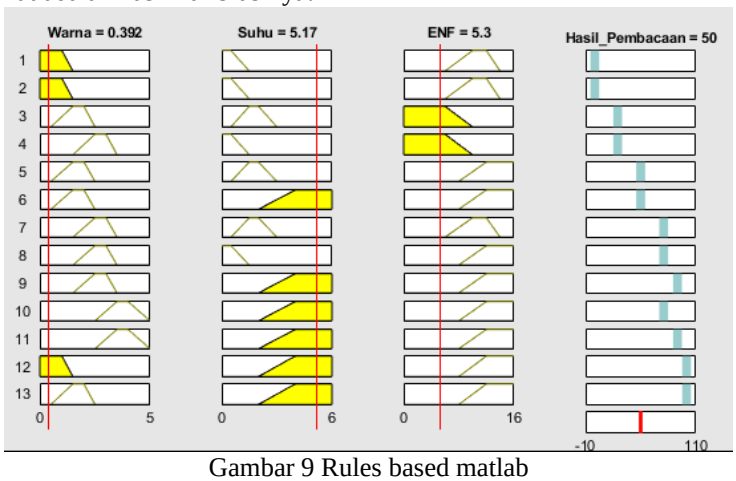
No	Nilai Adc Puncak	Tegangan Yang Terbaca (Mvac)	Tingkat Suara (Db/ Hl)	Akurasi Sistem (%)
1	0	0,00	0,00 Db	94,12%
2	110	241,33	16,41 Db	95,31%
3	220	482,65	27,63 Db	95,88%
4	330	723,98	37,49 Db	94,75%
5	440	965,31	46,58 Db	95,12%
6	550	1206,63	55,08 Db	93,94%
7	660	1447,96	63,07 Db	94,25%
8	770	1689,29	70,81 Db	93,88%
9	880	1930,61	78,20 Db	94,61%
10	980	2150,00	85,00 Db	95,05%

Frekuensi tinggi ini secara eksklusif digunakan untuk memantau dua patologi utama yakni Presbikusis (penuaan alami) dan Ototoksisitas (keracunan obat sistemik seperti kemoterapi Cisplatin atau antibiotik Aminoglikosida). Secara klinis dan fisika, pergeseran (peningkatan) nilai dB ini terjadi secara spesifik dan dominan pada frekuensi yang berbeda beda. Kondisi dimana di frekuensi rendah ini menghasilkan profil audiogram yang dikenal sebagai Tuli

Konduktif Frekuensi Rendah (*Low-Frequency Conductive Hearing Loss*). Hasil kalibasi ini dilihat dari tegangan yang terbaca sebagai input di headset, dan juga datasheet dari headset yang digunakan, serta sangat dipengaruhi oleh nilai ADC pada potensio Stereo yang digunakan adalam pembacaan nilai ADC, dengan menyambungkan pada bagian baris kedua ke pin Arduino mega.

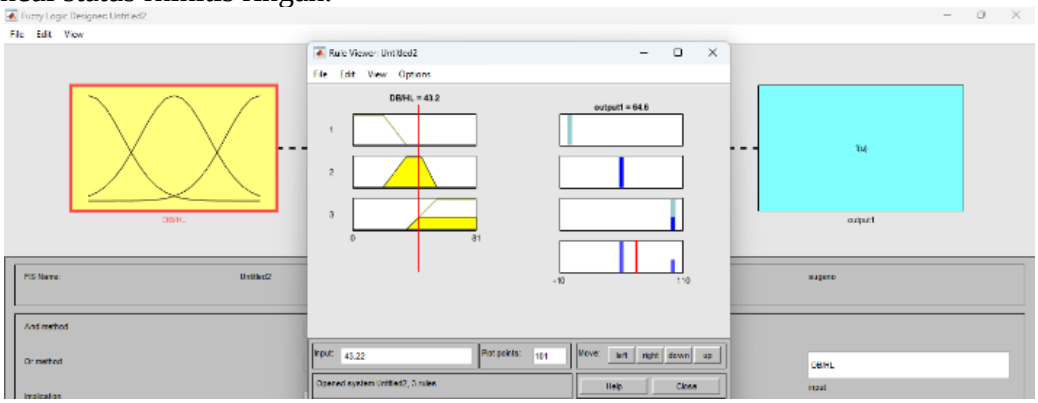
3.2.2 Kalibrasi dan Uji Coba *Fuzzy logic*

Hal ini bertujuan mengkalibrasi dan mengevaluasi respons sistem logika fuzzy menggunakan *software* MATLAB yang andal dalam simulasi fuzzy. Tahap awal dilakukan dengan menetapkan fungsi keanggotaan fuzzy pada setiap variabel masukan, mencakup warna, suhu, dan PNEF untuk deteksi penyakit, serta dB HL untuk pengujian audiometri. Berikut adalah hasil kalibrasinya.



Gambar 9 Rules based matlab
Sumber : Matlab 2026

Gambar diatas merupakan Contoh eksekusi rules based dengan matlab. Berdasarkan data input sensor yang dimasukkan yaitu Warna 0,392, Suhu 5,17, dan ENF 5,3 sistem mengevaluasi 13 aturan logika yang aktif secara simultan. Melalui proses agregasi dan defuzzifikasi, sistem akhirnya menghasilkan nilai keluaran (*crisp output*) sebesar 50. Dan output inilah yang digunkan untuk menentukan Keputusan, sebagai contoh ketika ouput berada di angka 25, maka akan muncul status rhinitis ringan.



Gambar 10 Fuzzy Audiometri
Sumber : Matlab 2026

Sistem inferensi fuzzy ini mengklasifikasikan tingkat pendengaran berdasarkan variabel input DB/HL ke dalam tiga kategori utama: Normal, Tuli Ringan, dan Tuli Berat. Dengan mengevaluasi derajat keanggotaan input pada setiap kategori tersebut, sistem melakukan pemrosesan logika untuk menentukan status pendengaran secara otomatis sesuai dengan desibel yang terbaca.

3.2.3 Hasil Uji Coba Langsung

A. Waktu dan tempat

Pengujian dilaksanakan pada 24–29 Juni 2026 (Rabu, Kamis, Jumat, dan Senin) pukul 07.30–12.30 WIB di Poli Pemeriksaan Umum UPTD Puskesmas Tanon, Papar, Kabupaten Kediri, Jawa Timur, dengan pendampingan tenaga kesehatan setempat. Pengujian ditiadakan pada Sabtu dan Minggu karena operasional layanan rawat jalan libur serta hanya melayani instalasi gawat darurat (IGD) dan rawat inap.

B. Hasil Uji Coba Secara Langsung

Hasil pengujian ini mendapatkan 13 responden dalam kurun waktu 4 hari, dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 8 Hasil Pengujian Sistem Deteksi Penyakit Rongga Hidung

No.	Tanggal dan waktu	Warna	Suhu (Δ °c)	PNEF (l/min)	Hasil fuzzy	Status deteksi
1	25-06-2026 09 : 46 WIB	Bening	0.3	4.0	100.0	Penyakit Lain
2	25-06-2026 10 : 22 WIB	Bening	1.2	6.1	38.5	Rhinitis Ringan
3	25-06-2026 10:45 WIB	Kuning	2.1	7.0	85.0	Sinusitis Ringan
4	25-06-2026 11 :18 WIB	Bening	0.4	5.0	95.0	Penyakit Lain
5	29-06-2026 08: 04 WIB	Putih	1.8	6.5	35.0	Rhinitis Ringan
6	29-06-2026 08 : 22 WIB	Bening	1.5	7.2	36.0	Rhinitis Ringan
7	26-06-2026 09 : 15 WIB	Putih	0.2	11.0	98.0	Penyakit Lain
8	26-06-2026 09 : 28 WIB	Bening	0.1	4.5	92.0	Penyakit Lain
9	29-06-2026 08:52 WIB	Hijau	2.5	8.0	88.0	Sinusitis Ringan
10	29-06-2026 09.00 WIB	Putih	1.9	6.8	34.5	Rhinitis Ringan
11	29-06-2026 09:12 WIB	Bening	1.7	6.9	35.5	Rhinitis Ringan
12	29-06-2026 11:05 WIB	Bening	0.2	5.5	99.0	Penyakit Lain
13	29-06-2026 12.30 WIB	Bening	0.2	12.0	5.0	Normal

Pengujian prototipe pada 13 responden (16–80 tahun) berjalan efektif dalam mendeteksi sinusitis, rhinitis, dan flu, dengan penyesuaian konfirmasi lisan khusus responden lansia. Berdasarkan validasi medis, sistem mencatatkan tingkat akurasi 92,3% (12 dari 13 data terkonfirmasi benar). Yang tidak sesuai berwarna kuning.

Secara klinis, kasus sinusitis ringan teridentifikasi melalui lendir kuning, hambatan napas (PNEF rendah), dan peningkatan selisih suhu lokal. Sebaliknya, lima pasien rhinitis alergi ringan ditandai lendir bening hingga putih, nilai PNEF yang lebih baik, serta kenaikan suhu minimal. Satu data mengalami misklasifikasi akibat kemiripan profil gejala dengan rhinitis. Pada proses defuzifikasi contoh kasus nomor 5, metode *centroid* menghasilkan *crisp output* sebesar 25,0 yang dieksekusi mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai luaran "Rhinitis_Ringan". Dan berikut adalah hasil uji dengan audiomeri.

Tabel 9 Hasil Uji Audiometri frekuensi 1KHZ

No.	Tanggal dan waktu	DB/HL	Status Telinga
1	25-06-2026 09 : 46 WIB	30 DB/HL	Tuli Ringan
2	25-06-2026 10 : 22 WIB	30 DB/HL	Tuli ringan

3	25-06-2026 10:45 WIB	42 DB/HL	Tuli Ringan
4	25-06-2026 11 :18 WIB	31 DB/HL	Tuli Ringan
5	29-06-2026 08: 04 WIB	37 DB/HL	Tuli ringan
6	29-06-2026 08 : 22 WIB	31 DB/HL	Tuli Ringan
7	26-06-2026 09 : 15 WIB	30 DB/HL	Tuli Ringan
8	26-06-2026 09 : 28 WIB	17 DB/HL	Normal
9	29-06-2026 08:52 WIB	31 DB/HL	Tuli Ringan
10	29-06-2026 09.00 WIB	31 DB/HL	Tuli Ringan
11	29-06-2026 09:12 WIB	30 DB/HL	Tuli Ringan
12	29-06-2026 11:05 WIB	52 DB/HL	Tuli Berat
13	29-06-2026 12.30 WIB	22 DB/HL	Normal

Hasil pemeriksaan audiometri pada frekuensi 1 kHz menunjukkan prototipe mampu mengklasifikasikan status pendengaran secara valid terhadap indikasi sinusitis maupun rhinitis. Responden terdiagnosis influenza tidak mengalami sumbatan telinga, membuktikan bahwa flu tidak selalu mengganggu fungsi pendengaran. Selain penyakit, faktor degeneratif dan okupasi turut memengaruhi hasil, seperti gangguan pendengaran berat akibat presbiakusis pada responden nomor 12 (80 tahun) serta penurunan sensitivitas pada responden nomor 5. Dan untuk uji pada frekuensi lainnya sebagai berikut.

Tabel 10 Hasil uji audiometri frekuensi 100 hz, 5khz, dan 10khz

No.	Tanggal Dan Waktu	100 Hz (Db/Hl)	5 Khz (Db/Hl)	10 Khz (Db/Hl)	Kondisi Telinga
1	25-06-2026 09:46 WIB	26,5 dB	35,0 dB	38,5 dB	Tuli Ringan
2	25-06-2026 10:22 WIB	26,0 dB	36,0 dB	40,0 dB	Tuli Ringan
3	25-06-2026 10:45 WIB	36,0 dB	48,5 dB	52,0 dB	Tuli Ringan
4	25-06-2026 11:18 WIB	27,0 dB	37,5 dB	41,0 dB	Tuli Ringan
5	29-06-2026 08:04 WIB	32,0 dB	43,0 dB	46,5 dB	Tuli Ringan
6	29-06-2026 08:22 WIB	26,0 dB	38,0 dB	42,0 dB	Tuli Ringan
7	26-06-2026 09:15 WIB	25,5 dB	35,5 dB	39,0 dB	Tuli Ringan
8	26-06-2026 09:28 WIB	14,0 dB	18,5 dB	20,0 dB	Normal
9	29-06-2026 08:52 WIB	26,0 dB	37,0 dB	40,5 dB	Tuli Ringan
10	29-06-2026 09:00 WIB	27,5 dB	36,5 dB	39,5 dB	Tuli Ringan
11	29-06-2026 09:12 WIB	25,0 dB	35,0 dB	38,0 dB	Tuli Ringan
12	29-06-2026 11:05 WIB	44,0 dB	62,5 dB	64,0 dB	Tuli Berat
13	29-06-2026 12:30 WIB	18,0 dB	24,0 dB	25,0 dB	Normal

Pada tabel diatas menunjukkan bahwasannya saat duji dengan frekuensi lain, responden mengalami penurun pendengaran saat terkena penyakit sinusitis maupun rhinitis dan juga penyakit telinga yang lainnya, dan ini juga menunjukkan bahwasannya ketika ada di frekuensi tinggi maka ada penurunan pendengaran. Hal ini selaras dengan dasar teori yang ada. Namun, hanya 1 data yang kurang sesuai, hal ini juga menunjukkan bahwasannya tidak semus kondisi penyakit hidung menyebabkan telinga tersumbat, namun kemungkinannya sangat kecil. Sehingga berdasarkan hasil hasil diatas menunjukkan bahwa alat bisa digunakan dengan baik di frekuensi berbeda.

C. Validasi Medis

Validasi medis merupakan langkah untuk memastikan apakah keluaran atau hasil deteksi oleh alat sesuai dengan keputusan medis. Hal ini diperlukan agar data yang dihasilkan dapat dipertanggung jawabkan. Tabel berikut adalah hasil perbandingan validitas medis dan pembacaan alat.

Tabel 11 Perbandingan dengan petugas medis

No	Nama Responden	Hasil Petugas	Hasil Pembacaan Alat
1	Nakiatus	Pilek	Penyakit Lain
2	Sumarni	Pilek / influenza	Rhinitis Ringan

3	Anisa Khoiruna	Sinusitis	Sinusitis Ringan
4	Arfina	Flue	Penyakit lain
5	Daus	Rhinitis	Rhinitis Ringan
6	Sunarto	Rhinitis	Rhinitis Ringan
7	Indra	Influenza	Penyakit lain
8	Lilis Aprlia	Influenza	Penyakit Lain
9	Tukini	Sinusitis	Sinusitis Ringan
10	Ike Fiana	Rhinitis	Rhinitis Ringan
11	Hanis	Rhintiis	Rhintiis Ringan
12	Martini	Flue	Penyakit Lain
13	Nur Riyanti	Normal	Normal

Validasi medis prototipe alat di Puskesmas Tanon dilakukan di bawah supervisi Nur Riyanti, S.Kep., Ns., serta dikonfirmasi oleh dr. Arfina dan dr. Daus. Sistem terbukti andal dalam mendeteksi sinusitis dan rhinitis dengan hanya 1 kesalahan dari 13 sampel akibat ketidaksesuaian (*overlapping*) manifestasi klinis. Pengujian terbatas pada 13 subjek karena rendahnya angka kunjungan pasien bergejala spesifik sinus dan hidung di fasilitas tersebut, yang didominasi oleh keluhan umum (gastroenteritis, demam, sefalgia, diare, dan *common cold*) [13]. Meskipun sampel terbatas, pihak medis menyatakan alat ini sangat bermanfaat sebagai instrumen skrining awal di layanan primer.

D. Keterbatasan Alat

Batasan pada pengembangan alat saya cukup banyak dan dijadikan evaluasi untuk penelitian selanjutnya, untuk keterbatasan alat saya setelah pengujian dilaksanakan yakni sebagai berikut :

1. Lingkungan yang digunakan untuk uji coba berada didalam ruangan ber AC, bukan pada kondisi ekstrem maupun diluar ruangan yang memiliki suhu lebih dari suhu tubuh, dengan kondisi yang berubah ubah. Sehingga apabila digunakan diluar ruangan atau kondisi yang lain, maka perlu dilakukan penyesuaian. Sebagai gambarannya bisa dilihat pada lampiran.
2. Penyesuaian peletakkan sensor perlu dipertimbangkan kembali karena untuk sensor suhu, dan enf masih kurang efektif, sensor suhu hanya diwadah kotak kecil Panjang. Untuk proses pembacaan suhu di jarak 3 -7 cm dan dilakukan di suhu ruangan di range $23\,°C - 28\,°C$ seperti yang dijelaskan sebelumnya, dan enf langsung dipasang selang dan tubing tape. Sehingga perlu adanya modifikasi lebih lanjut mengenai bentuk dari penempatan kedua sensor tersebut.
3. Untuk sensor warna yang digunakan pada alat hanya bisa mendeteksi 4 warna saja, yakni bening, kuning, hijau, dan putih. Jika ada warna lain yang dicoba pada alat ini maka hasilnya akan kurang sesuai, hal ini diakibatkan oleh pemograman pada alat yang terfokus pada 4 warna tersebut, sehingga perlu disesuaikan kembali apabila dicoba untuk deteksi warna selain 4 warna tersebut.
4. Sensor yf-S01 sebagai enf memiliki keterbatasan dalam penggunaan. Yang terbaca pada yf-S01 ialah 15 L/min hal ini sebenarnya tidak sesuai dengan karateristik aliran pnef berdasarkan literatur medis, sehingga perlu adanya pengembangan kembali dengan sensor yang dapat membaca sesuai dengan literatur medis yang ada. Dan juga penggunaan sambungan pada selang serta penyesuaian bentuk tube yang digunakan, hal ini menyebabkan kurangnya akurasi pembacaan pada sensor, sehingga hal ini perlu ditinjau kembali pada pengembangan berikutnya.
5. Untuk prototipe audiometri, walaupun hasil di lapangan menunjukkan hasil yang bagus, namun kalibrasinya kurang maksimal, dikarenakan bentuk rangkaian dan juga proses kalibrasinya masih kurang sesuai dengan refrensi audiometri asli yang ada. Hasil output db juga disesuikan dengan nilai adc sehingga masih kurang valid. Dengan hal ini menunjukkan bahwasannya pengembangan audiometri dan juga seluruh rangkainnya perlu diperbaiki dan dikembangkan lebih lanjut.
6. Hasil akhir untuk push button yang berupa 6 tombol adalah bentuk kesalahan pembuatan, 2 diantaranya digunakan untuk berpindah frekuensi, perpindahan pada alat ini memakai push button yang harusnya bisa memakai knop, sehingga sedikit menyulitkan untuk pengoprasiannya.
7. Logika yang terdapat dalam alat didasarkan pada gejala yang dapat dideteksi sensor, sehingga untuk gejala, yang tidak dapat dideteksi sensor seperti hidung terasa berat untuk sinusitis, dan hidung gatal – gatal untuk rhinitis, tidak bisa dideteksi. Sehingga perlu adanya pengembangan dan riset lebih lanjut untuk hal tersebut.
8. Sistem yang digunakan merupakan Fuzzy Logic Metode Sugeno, dikarenakan sensor AS7341, YFS01, dan pembacaan DB, angka pembacaannya disesuaikan dengan kondisi yang ada.

Berdasarkan keterbatasan tersebut maka perlu ditinjau ulang untuk pengembangan selanjutnya.

4. KESIMPULAN

Perancangan prototipe sistem elektromedis cerdas untuk deteksi penyakit rongga hidung dan pengukur kepekaan pendengaran berhasil direalisasikan berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560. Sistem ini mengintegrasikan sensor warna AS7341 untuk menganalisis spektrum warna lendir/ingus, sensor inframerah MLX90614 untuk mendeteksi selisih suhu lokal wajah, serta sensor YF-S01 untuk mengukur laju aliran udara ekspirasi pernapasan. Tahap kalibrasi membuktikan bahwa seluruh instrumen bekerja dengan presisi tinggi, masing-masing mencatatkan tingkat akurasi sebesar 91% pada sensor warna, 98,17% pada sensor suhu, dan 89% pada sensor aliran udara. Pengolahan data multi-sensor dieksekusi menggunakan algoritma *Fuzzy Logic* metode Sugeno, yang terbukti efektif mengatasi ambiguitas data masukan fisis menjadi keluaran keputusan diagnosis yang tegas dan otomatis.

Uji klinis langsung terhadap 13 responden lintas usia (16–80 tahun) di UPTD Puskesmas Tanon Papar menunjukkan performa alat yang andal dengan tingkat akurasi diagnostik mencapai 92,31%. Sebanyak 12 data terkonfirmasi valid sesuai hasil diagnosis tenaga medis, sementara 1 data mengalami ketidaksesuaian akibat adanya tumpang tindih (*overlapping*) pada karakteristik gejala klinis subjek. Selain fungsi deteksi penyakit hidung, fitur audiometri manual yang diuji pada rentang frekuensi 100 Hz, 1 kHz, 5 kHz, dan 10 kHz mampu memetakan tingkat kepekaan pendengaran secara akurat, mengklasifikasikan kondisi subjek ke dalam kategori pendengaran normal, tuli ringan, maupun tuli berat berdasarkan ambang batas desibel yang terukur. Hal ini menunjukkan bahwasannya prototipe alat dapat digunakan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Keputusan Menteri Kesehatan Nomor HK.01.07/MENKES/1257/2022 tentang Pedoman Nasional Pelayanan Kedokteran Tatalaksana Rinitis Alergi dan Rinosinusitis Kronis," Jakarta, Indonesia, 2022.

[2] F. J. García-Callejo, M. Juantegui-Azpilicueta, M. Díaz-Ferrer, P. T. Guastella Almeida, and J. D. Cardona Henao, "Chronic rhinosinusitis with nasal polyps (CRSwNP) and conductive hearing loss," *Acta Otorrinolaringológica Española*, 2025.

[3] M. Youlten *et al.*, "Multi-Sensor Fusion for Nasal Resistance and Respiratory Dynamics Measurement," 2024.

[4] R. Maulana, A. A. Baharin, and H. Fitriyah, "Classification of lung condition for early diagnosis of pneumonia and tuberculosis based on embedded system," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1816, no. 1, p. 012015, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1816/1/012015.

[5] Kartika, "Sistem Pakar Fuzzy Logic untuk Diagnosis Penyakit THT Berbasis Aplikasi," 2020.

[6] J. Smith and A. Jones, "Sensor Calibration and Measurement Uncertainty Tolerances in Medical Instrumentation," 2023.

[7] Y. Sun *et al.*, "Surface roughness classification using light scattering matrix and deep learning," *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 67, no. 2, pp. 1-16, 2023, doi: 10.1007/s11431-023-2550-6.

[8] A. Wijaya and B. Saputra, "Spektral Optik dan Analisis Warna Menggunakan Sensor Multikanal AS7341," 2024.

[9] Hassan and Ahmad, "Integrasi Sensor Multispektral dan Analisis Kolorimetri Analitik," 2020.

[10] R. Sulistiyowati and M. Siddiq, "Penerapan Sensor Inframerah MLX90614 dalam Pengukuran Suhu Non-Kontak Permukaan Tubuh," 2021.

[11] Y. Zhang *et al.*, "Respiratory Airflow Sensor Calibration and Conversion Methods," 2022.

[12] M. B. Marinov and S. Dimitrov, "Linear Interval Approximation for Smart Sensors and IoT Devices," *Sensors*, vol. 22, no. 3, p. 949, 2022, doi: 10.3390/s22030949.

[13] N. Riyanti, "Hasil Wawancara dan Validasi Medis Lapangan," UPTD Puskesmas Tanon Papar, Kediri, Indonesia, 2026.